

SOCIETÀ ITALIANA  
DEGLI STORICI DELL'ECONOMIA

*Innovazione e sviluppo.  
Tecnologia e organizzazione  
fra  
teoria economica e ricerca storica  
(secoli XVI-XX)*

ATTI DEL SECONDO CONVEGNO NAZIONALE  
4 - 6 MARZO 1993

MONDUZZI EDITORE

CARLO BARDINI\*

# PRODUZIONE DEI BENI CAPITALI E DIFFUSIONE DELLE TECNOLOGIE: LE CALDAIE A VAPORE IN ITALIA SECONDO LA STATISTICA DEL 1890\*\*

## INTRODUZIONE

L'uso del vapore per ottenere forza motrice o come fonte di calore ha rappresentato una delle tecnologie più avanzate del XIX secolo. Essa si basava sullo sfruttamento intensivo di una materia prima, il carbone, della quale l'Italia era completamente priva ma il cui prezzo, in funzione della diminuzione dei noli, calò per quasi tutta la seconda metà del XIX secolo<sup>1</sup>. Quest'ultimo fatto dovrebbe aver favorito l'adozione nel nostro paese di tecnologie meccanizzate che usavano l'energia del vapore. È però necessario chiedersi anche se si "sapeva come fare" a usare, mantenere e costruire le relative macchine<sup>2</sup>. Queste compe-

---

\* Dipartimento di scienze economiche, Università degli studi "Ca' Foscari" di Venezia.

\*\* L'autore, pur rimanendo l'unico responsabile del contenuto del saggio, desidera ringraziare Renato Giannetti per averne letto e commentato una prima stesura e Paolo Bardini per aver collaborato al lungo lavoro di *data-entry* necessario per la trattazione informatizzata della *Statistica delle caldaie a vapore*.

<sup>1</sup> Sulla esiguità della produzione nazionale di carbone, cfr. C. BARDINI, *L'economia energetica italiana: una prospettiva inconsueta per lo studio di un processo di industrializzazione*, in "Rivista di storia economica", 1991, n. unico, pp. 81-114; per il declino dei noli per il trasporto del carbone si può vedere C. KNICK HARLEY, *Coal Exports and British Shipping, 1850-1913*, in "Explorations in Economic History", 26 (1989), pp. 311-338. Secondo Harley, il declino del costo medio del trasporto di carbone ottenuto grazie all'introduzione delle navi in metallo azionate col vapore si situa tra metà degli anni '60 e inizio degli anni '90; calando ad un tasso tra il 2,5 e il 3% annuo, esso alla fine del periodo era sceso al 45% del livello che aveva all'inizio (*ibid.*, p. 315).

<sup>2</sup> Questo almeno se, come suggeriscono alcuni sviluppi ormai non più recentissimi della ricerca teorica sul cambiamento tecnico, si intende la tecnologia non come un "medium" perfettamente permeabile bensì come, per dirla con K. Pavitt, "the combination of skills and organisation necessary to do useful things and make useful artifacts" (K. PAVITT, seminario tenuto presso l'Istituto universitario europeo, 1992). Ciò significa ipotizzare che essa abbia delle caratteristiche di cumulatività tali da rendere costoso e comunque non immediato il padroneggiamento delle nuove tecniche da adottare.

tenze tecniche sono dovute a diversi fattori e si possono ottenere in vari modi.

Tra questi, Nathan Rosenberg ha sostenuto con decisione il ruolo critico del settore di produzione dei beni capitali nella determinazione del tipo di tecniche e di competenze a disposizione di un paese<sup>3</sup>. Egli ha sottolineato, a questo proposito, il processo di apprendimento e di predisposizione alla progettazione e alla produzione di macchinari specializzati che accompagna la presenza di una attività di produzione di beni capitali, e che costituisce “an external economy of enormous importance to other sectors of the economy”<sup>4</sup>. L’importazione dei medesimi beni capitali, invece, anche laddove sia possibile, ha comunque almeno il costo di non fornire questo contributo alla formazione delle competenze, e, dunque, al superamento delle rigidità che nel lungo periodo possono ostacolare l’adozione delle tecnologie più avanzate<sup>5</sup>.

Utilizzando i dati della statistica delle caldaie a vapore pubblicata nel 1890<sup>6</sup>, si cercherà qui dunque di indagare sulla situazione nel nostro paese della produzione di questo bene capitale indispensabile per l’uso del vapore. Nel par. 1 si tratteggerà brevemente la tecnologia della caldaia a vapore, sottolineandone gli aspetti cruciali e la direzione del progresso tecnico. Nel par. 2 si presenteranno i dati disponibili, che come abbiamo visto si riferiscono ad un periodo preceduto da almeno vent’anni di forte calo del prezzo del carbone. Attraverso questi dati si valuteranno il peso e le caratteristiche della produzione nazionale di caldaie, osservando il segmento di mercato che essa riusciva ad occupare e la sua capacità di far fronte alle principali complessità tecniche. In funzione del risultato si potranno tentare dei giudizi sulla capacità del settore che produceva le caldaie di svolgere un ruolo trainante per la formazione delle competenze tecniche necessarie per sfruttare l’occasione offerta dalla possibilità di disporre di carbone ad un prezzo più vantaggioso che in passato.

## 1. TECNOLOGIA DELLA CALDAIA A VAPORE

Tra le componenti dell’impianto per la generazione di energia meccanica col vapore, alla caldaia è stato in genere riconosciuto un ruolo di secondo piano rispetto al motore vero e proprio. Questo vale sia per i tecnici e gli osservatori del tempo (almeno fino alla metà del XIX secolo) che, e forse ancor più, per

<sup>3</sup> N. ROSENBERG, *Capital Goods, Technology and Economic Growth*, in ID., *Perspectives on Technology*, Cambridge 1976.

<sup>4</sup> *Ibid.*, p. 144.

<sup>5</sup> Come suggerisce Rosenberg, i paesi che non possono produrre i propri beni capitali “have typically imported their capital goods from abroad, but this has meant that they have not developed the technological base of skills, knowledge, facilities and organization upon which further technological change is largely dependent” (*ibid.*, p. 147).

<sup>6</sup> MINISTERO DI AGRICOLTURA, INDUSTRIA E COMMERCIO, *Statistica delle caldaie a vapore esistenti nel Regno*, Roma 1890. La statistica esclude soltanto le caldaie delle locomotive e delle navi, e riporta, caldaia per caldaia, un gran numero di dati relativi ad un momento tra il 1886 e il 1889 a seconda della provincia. Il volume citato è composto interamente dalla tav. 1, cioè dall’elenco delle caldaie e dei relativi dati: manca qualunque forma di elaborazione finale, e questo è il motivo della sottoutilizzazione di questa fonte. Per usarla si è qui proceduto alla sua elaborazione informatizzata.

i lavori di ricostruzione storica<sup>7</sup>. La causa di questa scarsa attenzione verso la caldaia è stata probabilmente la sua apparente semplicità. Ad uno sguardo più ravvicinato ci si rende però conto che il suo *design* e le sue tecniche di costruzione potevano essere molto complicate, e che il suo rendimento era assolutamente dipendente dal livello di sofisticatezza che si riusciva a raggiungere.

La caldaia ha il duplice compito di produrre e immagazzinare il vapore. Il vapore si produce grazie allo scambio di calore tra i prodotti della combustione e l'acqua, effettuato in gran parte attraverso l'irraggiamento della superficie della caldaia esposta alle fiamme o al calore dei gas e dei fumi prodotti dalla combustione. L'elemento cruciale dello scambio di calore, e dunque della produzione di vapore, è perciò la *superficie riscaldata*, definibile come "quella superficie che da una parte è bagnata dall'acqua e dall'altra è in contatto coi prodotti caldi della combustione"<sup>8</sup>. Quanto al ruolo di serbatoio di vapore, la caldaia lo assumeva per il semplice fatto di essere un corpo chiuso, solo in parte riempito con acqua. Nella sua forma più semplice la caldaia è dunque un recipiente chiuso, riempito per metà o tre quarti di acqua, riscaldato da un focolare e dotato di una presa per l'alimentazione dell'acqua e di una valvola per fornire il vapore<sup>9</sup>. Col tempo, e col crescere delle dimensioni e delle pressioni, le vennero aggiunti accessori sempre più complessi, come la valvola di sicurezza, le pompe e gli iniettori per l'alimentazione dell'acqua, i misuratori della pressione e del livello dell'acqua, gli economizzatori, i surriscaldatori del vapore, ecc.<sup>10</sup>.

La struttura della caldaia doveva essere in grado di trattenere l'acqua ed il vapore, e di sostenere il peso proprio e quello dell'acqua; essa era inoltre continuamente sottoposta allo sforzo causato dalle espansioni e contrazioni cui era soggetta per via dell'alternarsi del riscaldamento (di giorno, durante il funzionamento) e del raffreddamento (di notte). È dunque chiaro che la *resistenza* della caldaia costituisce un problema fondamentale, che coinvolgeva la scelta dei materiali e delle tecniche per la sua costruzione e che si acuiva al crescere delle pressioni<sup>11</sup>. Le lamiere per la costruzione del recipiente, dei tubi,

<sup>7</sup> Le rassegne di storia della tecnologia dedicano regolarmente un ampio spazio alla evoluzione del motore a vapore, ma quasi mai si soffermano sulla caldaia. Esempio tipico è la importante storia della tecnologia in sette volumi a cura di C. SINGER *et al.*, *A History of Technology*, Oxford 1954-78. Lo stesso si riscontra in D. LANDES, *Prometeo liberato*, Torino 1978 o, più di recente, in G. BASALLA, *The Evolution of Technology*, Cambridge 1988 e in J. MOKYR, *The Lever of Riches*, Oxford 1990. Nei volumi espressamente dedicati alla storia dell'uso del vapore si trova invece normalmente anche un capitolo dedicato alle caldaie. Si possono ricordare in particolare il cap. 6, "Generation of steam: evolution of the furnace boiler", pp. 301-392, in L. HUNTER, *A History of Industrial Power in the United States, 1780-1930*, vol. II, *Steam Power*, Charlottesville 1985, e il cap. 7, "Good servants but bad masters", pp. 120-140, in R. L. HILLS, *Power from Steam: a History of the Stationary Steam Engine*, Cambridge 1989.

<sup>8</sup> A. GILARDI, *Manuale per il conduttore e il proprietario di caldaie a vapore*, Milano 1899, p. 65.

<sup>9</sup> HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., p. 304.

<sup>10</sup> Cfr. L. V. ROSSI, *Caldaie e macchine a vapore: teoria, descrizione, costruzione, esercizio*, Padova 1895 e HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., pp. 340-343.

<sup>11</sup> La tendenza ad aumentare la pressione di funzionamento dei motori, e dunque delle caldaie, fu continua per tutto l'Ottocento. Si tratta di un punto molto importante, sottolineato sia nelle storie della tecnologia che in quelle del motore a vapore. Purtroppo, una sua trattazione anche solo sommaria costringerebbe ad oltrepassare di molto i limiti di questo saggio.

ecc., dovevano essere abbastanza spesse da resistere a questi sforzi, ma dovevano poter essere lavorate, ovvero incurvate e poi inchiodate e saldate tra loro<sup>12</sup>.

Proprio le giunture costituivano il punto più debole della struttura della caldaia di fronte alle sollecitazioni della crescita delle pressioni<sup>13</sup>. In un resoconto della fine dell'Ottocento si riporta che le lamiere erano "cucite insieme con chiodi ribaditi a caldo, e i tubi [erano]... applicati mediante ferri d'angolo (cerniere) o strisce di lamiera piegate ad angolo retto... o colla chiodatura dei lembi arrovesciati (flangiati)"<sup>14</sup>. Per la futura tenuta della caldaia era vitale che queste operazioni fossero compiute con la massima precisione possibile, e nel corso dell'Ottocento si misero a punto varie tecniche costruttive che avevano questo obiettivo. L'elemento decisivo in questo campo fu la sostituzione della forza e dell'abilità umana con strumenti meccanizzati<sup>15</sup>.

La produzione del vapore e l'accrescimento della pressione dipendono invece, come abbiamo visto, dalla estensione della superficie riscaldata, che a sua volta dipende essenzialmente dalla forma della caldaia e dagli accorgimenti adottati per utilizzare al meglio il calore della combustione. Nel corso dell'Ottocento la forma dominante del recipiente d'acqua e di vapore della caldaia diventò presto quella cilindrica, per la migliore distribuzione dello sforzo sulla superficie della lamiera<sup>16</sup>. L'esigenza di aumentare la superficie riscaldata e di utilizzare al massimo il calore dei gas e dei fumi della combustione spinse a raccogliere questi ultimi in uno o più tubi che ripercorressero una o più volte la superficie della caldaia, o addirittura attraversassero lo stesso corpo cilindrico principale prima di uscire per il camino. Il passo successivo fu quello di mettere il focolare all'inizio del tubo che attraversava la caldaia stessa (il cosiddetto "focolare interno"), principio che contraddistingue la caldaia Cornovaglia e la Lancashire (la versione a due focolari interni). La Cornovaglia e la Lancashire furono le caldaie che permisero l'uso delle alte pressioni già nella prima metà dell'Ottocento. Esse furono riviste e perfezionate attraverso numerosi accorgimenti, che servivano a migliorarne la resistenza, la facilità di pulizia e la superficie riscaldata. Di particolare interesse sono due filoni di questi perfezionamenti: l'aumento dei tubi del fumo, che vennero fatti passare più volte dentro e fuori la caldaia, e l'aggiunta, accanto al corpo principale della caldaia, di contenitori secondari, detti tubi bollitori. Portando questi sviluppi alle loro estreme conseguenze si arriverà infatti ai modelli più avanzati di caldaia, le caldaie tubolari, che potevano essere a tubi d'acqua o a tubi da fumo. La caldaia a tubi da fumo era costituita da un corpo cilindrico orizzontale o verticale, attraversato per il senso della lunghezza da una batteria di piccoli tubi che si dipartivano dal

<sup>12</sup> HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., pp. 309 ss.

<sup>13</sup> N. BASEGGIO, *I difetti più frequenti delle caldaie a vapore*, in "L'industria", 6 (1892), pp. 19-21 e 38-39.

<sup>14</sup> GILARDI, *Manuale per il conduttore* cit., p. 71.

<sup>15</sup> Per una descrizione dei problemi incontrati per lo sviluppo degli strumenti adatti alla costruzione di caldaie, cfr. HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., pp. 310-317, e HILLS, *Power from Steam* cit., pp. 139-140. La maggior precisione ottenibile attraverso l'uso delle macchine è suggerita anche dallo stesso Gilardi, il quale sostiene che "è da preferirsi per le caldaie la chiodatura fatta a macchina" (*Manuale per il conduttore* cit., p. 71).

<sup>16</sup> Cfr. HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., pp. 317 ss., in particolare la figura a p. 318 in cui sono riportati gli esempi delle numerose conformazioni assunte dalla caldaia; cfr. anche HILLS, *Power from Steam* cit., pp. 124 ss.

focolare situato ad una delle estremità del cilindro. Le caldaie a tubi da fumo occupavano poco posto e producevano molto vapore, ma ancora alla fine dell'Ottocento erano ritenute molto costose, e in più richiedevano frequenti riparazioni e una accurata pulizia, tanto che erano convenienti soprattutto per l'uso come caldaie locomobili<sup>17</sup>. Nelle caldaie a tubi d'acqua, invece, veniva invertita la relazione tra il calore e l'acqua vigente nelle caldaie a tubi da fumo, facendo passare l'acqua all'interno dei tubi circondata dalla fonte di calore anziché il contrario<sup>18</sup>. Esse erano in effetti efficienti, economiche e sicure, occupavano poco spazio, potevano essere costruite a pezzi, trasportate e montate sul posto di utilizzazione e avevano una ottima circolazione d'acqua<sup>19</sup>. Il ritardo tra la prima apparizione delle caldaie a tubi d'acqua e la loro definitiva affermazione è spiegato però dai formidabili problemi tecnici posti dalla loro costruzione. Le testimonianze che si possono raccogliere, specialmente prima della fine del secolo, parlano tutte della difficoltà della loro costruzione e dunque del loro alto costo<sup>20</sup>. Ciò era dovuto innanzitutto all'elevato numero delle componenti, che rendeva difficile la progettazione dell'insieme ma anche la realizzazione materiale delle connessioni e delle giunture. Queste ultime hanno costituito, come abbiamo visto, il tallone d'Achille delle caldaie fin dalla loro nascita, ma tutta l'evoluzione dei generatori di vapore, dalle caldaie Cornovaglia fino alla multitubolare, ha continuato ad accrescerne il numero e la delicatezza attraverso il moltiplicarsi dei corpi e dei tubi, contribuendo così non poco alla crescita della difficoltà di costruzione delle versioni via via più recenti<sup>21</sup>.

In conclusione, la successione dei vari tipi di caldaia e l'adozione dei possibili miglioramenti ed accessori non fu, nella pratica, ordinata e regolare, ma portò comunque ad una evoluzione di lungo periodo che indusse vantaggi evidenti, sintetizzabili in un più facile innalzamento delle pressioni, in una maggiore resistenza, economia e sicurezza. Ciò si ottenne però al prezzo di una continua crescita della complessità tecnologica della caldaia e di una sempre maggiore difficoltà nel padroneggiamento delle tecniche più avanzate necessarie per la sua costruzione.

<sup>17</sup> GILARDI, *Manuale per il conduttore* cit., p. 73; nello stesso volume si trova una dettagliata descrizione delle caldaie locomobili, per le quali erano stati studiati degli accorgimenti *ad hoc* come il camino pieghevole, il rivestimento della caldaia in feltro o legno, ecc. Cfr. anche *Manuale del fuochista e macchinista basato sul programma ministeriale del 3 aprile 1890*, Ascoli Piceno 1891, p. 11.

<sup>18</sup> Per l'individuazione della "inversione" del concetto, cfr. HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., p. 336. Le prime caldaie Belleville a tubi d'acqua si diffusero nell'industria intorno al 1850 (cfr. L. CEI, *La caldaia multitubolare. Come funziona e come è costruita*, Torino 1909, p. 17), ma le caldaie a tubi d'acqua raggiunsero la loro maturità solo dopo il 1900, quando, grazie alla loro capacità di produrre rapidamente vapore a pressioni molto elevate, arrivarono a costituire, in coppia con la turbina, la nuova forza motrice dell'industria (HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., pp. 337 s.).

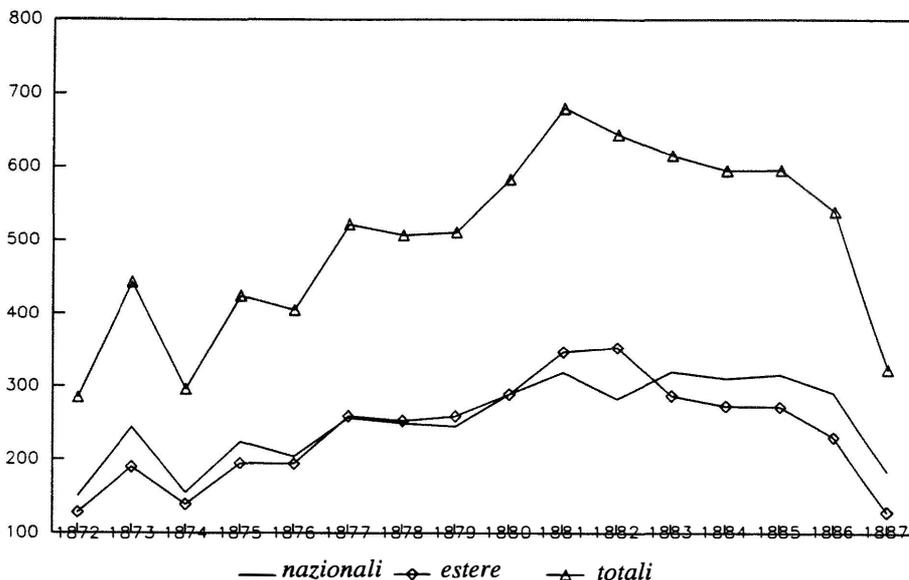
<sup>19</sup> CEI, *La caldaia multitubolare* cit., pp. 5-6 e 17 s.; HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., pp. 337 ss.; GILARDI, *Manuale per il conduttore* cit., pp. 73-75.

<sup>20</sup> "La difficoltà di costruzione ed il costo elevato sono stati per molto tempo degli ostacoli al rapido suo propagarsi, poiché in nessun altro generatore come in questo si richiede nel costruttore la specializzazione nei più minuti dettagli costruttivi, e tuttora sono in numero limitato le ditte costruttrici di riconosciuta e bene assodata valentia" (CEI, *La caldaia multitubolare* cit., p. 6).

<sup>21</sup> Fino, appunto, alla multitubolare, tra i cui difetti principali CEI ricorda in primo luogo proprio le "avarie agli attacchi e alle giunzioni" (*La caldaia multitubolare* cit., p. 18).

## 2. LA DIFFUSIONE DELLE CALDAIE E I CARATTERI DELLA PRODUZIONE NAZIONALE

La produzione di caldaie a vapore viene in genere ricordata come uno dei pochi campi in cui la meccanica italiana era attiva già nel terzo quarto del XIX secolo<sup>22</sup>, ed in effetti al momento della “fotografia” scattata dalla statistica del 1890 più della metà delle caldaie a vapore censite era stata prodotta dall’industria nazionale. Delle 9.984 caldaie esistenti, infatti, 5.112 (51,2%), per una potenza di 81.937 CV (52,1%) erano state prodotte in Italia, 4.578 (45,9%) per 72.628 CV (46,1%) provenivano dall’estero e di 294 (2,9%) per 2.826 CV (1,8%) non era stata riportata la provenienza. La quota delle caldaie importate rimaneva comunque abbastanza alta, e in più, come mostra la fig. 1, non sembra che nel ventennio antecedente la data della rilevazione si sia verificato un processo di sostituzione delle importazioni: l’installazione di caldaie italiane e quella di caldaie estere si sono infatti evolute con un ritmo molto simile, che



**Figura 1.** Numero di caldaie di provenienza nazionale ed estera (distribuzione per anno d’impianto, 1872-87).

Fonte: ns. elaborazione sui dati della *Statistica delle caldaie a vapore* cit.; si noti che i dati si riferiscono all’anno di impianto delle caldaie esistenti, e dunque potrebbero essere soggetti ad un *bias* se le caldaie estere ed italiane avessero avuto una diversa durata. Il declino successivo al 1885 è in gran parte dovuto al fatto che le province non furono censite contemporaneamente bensì nell’arco del periodo 1886-90 (*ibid.*, p. VII).

<sup>22</sup> Cfr. ad esempio l’accenno presente in R. MORANDI, *Storia della grande industria in Italia*, Torino 1977 (1<sup>a</sup> ed. 1951), pp. 203-204 e, più recentemente, in V. ZAMAGNI, *Dalla periferia al centro*, Bologna 1990, p. 126.

pare determinato per entrambe dalla domanda del mercato<sup>23</sup>. Solo negli ultimissimi anni, durante i quali la curva relativa alle caldaie italiane rimane al di sopra dell'altra, si verifica forse una leggera tendenza alla sostituzione. Questa similitudine dell'andamento della produzione e delle importazioni di caldaie fa pensare che ci sia stata una qualche forma di specializzazione delle due categorie di produttori, entrambe sollecitate in maniera simile dalle richieste della domanda. L'analisi dei dati forniti dalla statistica del 1890 suggerisce che in effetti c'è una notevole differenza di comportamento tra le caldaie fisse da una parte e le caldaie locomobili e semifisse dall'altra<sup>24</sup>.

Dal punto di vista tecnico, le caldaie locomobili hanno una potenza minore ma, come abbiamo visto, sono in genere più difficili da costruire, soprattutto perché per ragioni di spazio costringono ad usare praticamente sempre la più complessa struttura "a tubi da fumo"<sup>25</sup>. D'altra parte caldaie fisse e caldaie locomobili o semifisse hanno anche dei mercati abbastanza diversi tra loro. Come si può vedere dalla tab. 1, il grosso delle caldaie locomobili e semifisse era impegnato nell'agricoltura, specialmente per i lavori di trebbiatura, e solo in misura molto minore esse si impiegavano nella meccanica, negli alimentari e nei tessili. Le caldaie fisse fornivano invece il grosso del vapore all'industria, con in testa il settore tessile e poi, distanziati, gli alimentari, la meccanica e infine l'agricoltura stessa, stavolta per i lavori di prosciugamento e per i frantoi<sup>26</sup>. La tab. 1 mostra anche il diverso *pattern* di provenienza delle caldaie fisse e delle caldaie locomobili. Salvo pochissime eccezioni, in tutti i settori più della metà delle caldaie locomobili veniva prodotta all'estero, e nell'aggregato la percentuale di caldaie di questo tipo di provenienza estera era pari al 66,6% in numero e al 66,3% in potenza, contro rispettivamente il 29,6% e il 30% riservati alla produzione italiana<sup>27</sup>. Secondo un manuale di fine Ottocento<sup>28</sup>, inoltre,

<sup>23</sup> Poiché, come vedremo, i due tipi di provenienza si rivolgevano a mercati abbastanza diversi, il parallelismo del loro andamento pone delle interessanti questioni su cosa in realtà abbia guidato la loro domanda. Una investigazione delle possibili ipotesi che si possono avanzare per rispondere ad esse (es. l'andamento del prezzo del carbone, o la diffusione di una maggior familiarità e capacità di padroneggiamento dell'uso del vapore) va comunque al di là degli scopi del presente lavoro.

<sup>24</sup> Secondo la statistica delle caldaie a vapore, nel periodo 1886-89 esistevano in Italia 589 caldaie semifisse (5,9%), 5.688 caldaie fisse (57,0%) e 3.638 caldaie locomobili (36,4%). Data la loro maggiore potenza unitaria media, la parte delle caldaie fisse diventa molto maggiore se si calcolano le quote in CV. La situazione nel 1911 sarà invece di 3.455 caldaie semifisse (10,1%), 12.879 caldaie fisse (37,7%) e 17.796 caldaie locomobili (52,1%) (cfr. MINISTERO DI AGRICOLTURA, INDUSTRIA E COMMERCIO, *Caldaie e recipienti di vapore. Notizie statistiche al 1° gennaio 1911*, Roma 1911).

<sup>25</sup> Sul fatto che le caldaie locomobili fossero principalmente caldaie a tubi da fumo cfr. *supra*, par. 1. La diversa complessità di costruzione a seconda del tipo di mobilità richiesta è affermata ad es. anche in HUNTER, *A History of Industrial Power* cit.: "among the major types of steam-power plants, stationary engine boilers were the least demanding" (p. 303).

<sup>26</sup> Le categorie indicate nella tab. 1 sono definite per l'industria come in S. FENOALTEA, *Il valore aggiunto dell'industria italiana nel 1911, in I conti economici dell'Italia*, vol. II, *Una stima del valore aggiunto per il 1911*, a cura di G.M. REY, Roma-Bari 1992, pp. 105-190; per gli altri settori come in ISTAT, *Classificazione delle attività economiche*, in "Metodi e norme", s. C, 2, Roma 1959.

<sup>27</sup> Il restante 3,8% in numero e 3,7% in potenza erano relativi alle caldaie per le quali la statistica non riporta la provenienza.

<sup>28</sup> GILARDI, *Manuale per il conduttore* cit., pp. 195-196.

**Tabella 1.** *Distribuzione delle caldaie secondo la provenienza, la mobilità ed il settore di utilizzazione (Italia, 1890).*

	potenza totale (CV)		motori italiani (%)		motori esteri (%)		motori prov.n.d. (%)		totale motori (numero)	
	(f)	(l)	(f)	(l)	(f)	(l)	(f)	(l)	(f)	(l)
1.01.P	5595	999	78,0	63,2	22,0	36,8	0,0	0,0	164	106
1.01.T	300	18658	33,3	28,0	60,6	68,2	6,1	3,8	33	2795
1.01.tot.	10591	21573	64,3	28,1	31,1	68,0	4,5	3,9	594	3171
2	5209	540	55,5	28,3	43,4	71,7	1,1	0,0	182	46
3A	27102	1795	70,2	35,2	27,9	62,3	1,9	2,5	1236	236
3B	42518	1836	71,4	33,3	26,7	61,8	1,9	4,8	1898	186
3C	1197	31	86,7	25,0	13,3	62,5	0,0	12,5	60	8
3D	1097	24	77,3	80,0	21,6	20,0	1,1	0,0	88	5
3E	1866	431	69,4	32,4	26,4	63,2	4,1	4,4	121	68
3F	7236	372	62,3	38,6	37,7	61,4	0,0	0,0	215	44
3G	11426	2967	66,2	38,5	31,5	56,8	2,2	4,7	539	234
3H	2210	790	66,9	26,5	30,0	67,6	3,1	5,9	130	68
3I	7079	392	67,0	34,8	31,8	60,9	1,2	4,3	330	46
3J	4983	324	54,3	26,5	40,7	73,5	5,0	0,0	199	49
3K	560	67	68,8	12,5	31,3	87,5	0,0	0,0	32	8
4	24	154	50,0	0,0	50,0	100,0	0,0	0,0	2	18
5.1	3794	383	28,3	50,0	71,7	44,4	0,0	5,6	46	18
5.2-3	499	83	56,7	22,2	43,3	66,7	0,0	11,1	30	9
6	181	35	93,1	50,0	3,4	50,0	3,4	0,0	29	14
7.01	583	238	30,0	28,3	58,0	71,7	12,0	0,0	50	46
7.02	160	200	66,7	3,6	33,3	92,9	0,0	3,6	12	28
9.01	528	48	74,4	69,2	20,5	30,8	5,1	0,0	39	13
9.02	26	0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3	0
10	248	44	86,7	50,0	13,3	50,0	0,0	0,0	15	4
n.d.	35	126	42,9	50,0	42,9	50,0	14,3	0,0	7	14

Fonte: ns. elaborazione sui dati della *Statistica delle caldaie a vapore* cit.; le colonne con (f) si riferiscono alle caldaie fisse, quelle con (l) alla somma delle caldaie locomobili, semifisse e quelle di cui mancava l'indicazione sulla mobilità. I settori di attività sono:

1.01.P	= opere di prosciugamento	1.01.T	= lavori di trebbiatura,
1.01.tot.	= tot. agric. (incl. 1.01.P e 1.01.T)	2	=i industrie estrattive
3A	= industrie alimentari	3B	= industrie tessili
3C	= industrie dell'abbigliamento	3D	= industrie delle pelli e cuoio
3E	= industrie del legname	3F	= industria metallurgica
3G	= industria meccanica	3H	= industrie dei minerali non metalliferi
3I	= industria chimica	3J	= industria della carta e poligrafica
3K	= industrie varie	4	= industria delle costruzioni
5.1	= produzione di elettricità	5.2-3	= industria dell'acqua e gas
6	= commercio	7.01	= trasporti*
7.02	= ausiliari dei trasporti	9.01	= servizi per l'igiene
9.02	= servizi sanitari	10	= pubblica amministrazione
n.d.	= destinazione non disponibile		

\*Nei trasporti non sono comprese le caldaie di navi e locomotive, escluse dalla statistica.

Le caldaie a destinazione mista sono state contate due volte (per cui si hanno 10.190 dati anziché 9.984 quante sono le caldaie censite); per alcune delle caldaie (38 in tutto, delle quali 16 in 3B) la statistica non fornisce l'indicazione della potenza.

**Tabella 2.** Distribuzione delle caldaie per mobilità e pressione di funzionamento (Italia 1890)

	alta pressione (oltre 7)	pressione medio- alta (da 4,2 a 7)	pressione medio- bassa (da 1 a 4,2)	bassa pressione (fino a 1)	dato pressione n.d.	totale
a) caldaie fisse						
<i>(numero)</i>						
Italia	201	1793	1718	84	46	3842
estero	246	853	593	7	16	1715
n.d.	9	53	54	3	12	131
totali	456	2699	2365	94	74	5688
<i>(potenza, CV)</i>						
Italia	5117	40958	24933	259	992	72260
estero	13336	27696	9795	24	413	51266
n.d.	120	780	597	11	126	1636
totali	18573	69435	35326	294	1532	125163
b) caldaie locomobili						
<i>(numero)</i>						
Italia	50	579	405	0	29	1063
estero	131	1141	1079	3	82	2436
n.d.	4	105	11	0	19	139
totali	185	1825	1495	3	130	3638
<i>(potenza, CV)</i>						
Italia	339	4293	2758	0	171	7561
estero	854	8372	7407	63	541	17238
n.d.	20	854	50	0	111	1035
totali	1213	13520	10215	63	823	25835
c) caldaie semifisse						
<i>(numero)</i>						
Italia	6	98	76	0	0	180
estero	55	192	144	1	5	397
n.d.	0	7	3	0	2	12
totali	61	297	223	1	7	589
<i>(potenza, CV)</i>						
Italia	120	1320	321	0	0	1761
estero	1175	1670	887	1	70	3805
n.d.	0	33	14	0	15	62
totali	1295	3023	1223	1	85	5629

Fonte: ns. elaborazione sulla base di *Statistica delle caldaie a vapore* cit. I valori della pressione che definiscono le categorie sono espressi in atmosfere, e sono tratti dalla voce "pressione massima di funzionamento" della statistica. Ogni categoria comprende il proprio estremo superiore (es. caldaie di 4,2 atm sono considerate a pressione medio-bassa). I limiti delle categorie (alta, media e bassa pressione) sono tratti dalla classificazione di GILARDI, *Manuale per il conduttore* cit., p. 72, riferita alla fine dell'Ottocento ma confermata anche da altre notizie. Il limite intermedio nella categoria della media pressione è stato scelto pari al limite massimo di assicurabilità fissato nel 1854 dalla Manchester Steam Using Association, espressione di una concezione estremamente prudente di "alta pressione" (cfr. HILLS, *Power from Steam* cit., p. 137). Mancano dalla tabella le 69 caldaie (per 762 CV) delle quali non si conoscono le caratteristiche di mobilità.

alcune delle caldaie locomobili costruite in Italia erano prodotte da emanazioni delle case straniere, che adottavano questa soluzione per via delle forti spese di trasporto, degli elevati dazi di importazione e della forte concorrenza.

Le caldaie locomobili erano dunque, in genere, più complicate da costruire, e nel periodo che precede la rilevazione il loro mercato, costituito in gran parte da applicazioni agricole, era dominato dall'industria straniera. La situazione si inverte per le caldaie fisse, per le quali, come mostrano i dati della tab. 1, prevale la produzione nazionale. A livello aggregato si nota però già una differenza rispetto al predominio estero nelle caldaie locomobili: mentre in quel caso le quote rimanevano più o meno stabili sia che si calcolassero in base al numero che in base alla potenza, per le caldaie fisse non è più così. Tra le caldaie fisse, quelle prodotte in Italia costituivano il 67,5% del totale, ma fornivano solo il 57,7% della potenza; corrispondentemente, le caldaie fisse estere erano il 30,2% nel primo caso e il 41,0% nel secondo<sup>29</sup>. Questa maggior potenza unitaria media delle caldaie fisse d'importazione suggerisce l'introduzione dell'importanza dell'elemento qualitativo. Tale importanza è confermata dai dati della tab. 2, nella quale viene considerata una variabile fondamentale per la determinazione della qualità e del livello tecnico delle caldaie, ovvero la loro pressione di funzionamento. Dalla discussione svolta nel par. 1 sappiamo che i problemi tecnici della costruzione delle caldaie erano direttamente proporzionali alla pressione di funzionamento, alla quale erano però legate anche le prestazioni e l'economia della caldaia. I dati della tab. 2 mostrano che la categoria di pressione più diffusa in Italia era quella media, con una certa prevalenza della frazione medio-alta. Questa categoria corrisponde grosso modo, almeno per le caldaie fisse, all'area di applicazione delle caldaie Cornovaglia e Lancashire, più o meno elaborate ed accessoriate. Si tratta della tipologia di caldaie più diffusa in Europa in quel periodo<sup>30</sup>, la cui tecnologia era ormai consolidata anche in Italia. Al di sopra delle 7 atmosfere, però, anche per le caldaie fisse diventava prevalente il ricorso all'importazione, specialmente per gli impianti più grandi. I dati della tab. 2 a questo proposito sono inequivocabili: il 70% della potenza delle caldaie fisse ad alta pressione è fornita da caldaie costruite all'estero. Questo è probabilmente dovuto sia alla maggior difficoltà di costruire anche le tradizionali Lancashire e Cornovaglia per grandi pressioni e grandi impianti, sia al fatto che per accrescere le pressioni era anche necessario passare ai tipi più evoluti di caldaia, a tubi d'acqua o da fumo, tecnologicamente molto più complesse e più difficili da progettare e da produrre delle altre. Come già per le caldaie locomobili, dunque, anche nel caso delle caldaie fisse i motivi tecnici sembrano aver giocato un ruolo importante nella determinazione delle quote del mercato nazionale detenute dalla produzione italiana e da quella d'importazione.

<sup>29</sup> Le caldaie fisse delle quali non è nota la provenienza erano il 2,3% in numero e l'1,3% in potenza.

<sup>30</sup> Cfr. la interessante tabella in HUNTER, *A History of Industrial Power* cit., p. 324, secondo la quale alla metà degli anni '90 più del 50% delle caldaie in Germania, Svizzera e Regno Unito erano Cornovaglia o Lancashire, mentre in Francia prevaleva la variante a focolare esterno come negli Stati Uniti.

## CONCLUSIONI

Dai dati della statistica delle caldaie a vapore appare dunque che alla fine degli anni '80 l'industria meccanica italiana era in grado di produrre caldaie per una consistente fetta (poco più di metà) del mercato nazionale. La ripartizione del mercato tra caldaie italiane e straniere appare però legata ad una specializzazione fondata in primo luogo su ragioni tecniche, e questa impressione è rafforzata dall'assenza di un deciso processo di sostituzione delle importazioni nel periodo che precede la rilevazione. In linea di massima, si tendeva ad importare le caldaie dalla fabbricazione più complessa, cioè da un lato le locomobili e dall'altro le caldaie fisse di maggiori dimensioni e soprattutto dalle più alte pressioni di funzionamento. Le caldaie fisse e locomobili avevano anche un mercato abbastanza differenziato, e dunque la dipendenza dall'estero per le caldaie locomobili influenzava maggiormente gli usi agricoli, in particolare la trebbiatura, mentre il fabbisogno dell'industria era in gran parte coperto dalla produzione italiana. Le caldaie prodotte dall'industria nazionale utilizzavano una tecnologia che senz'altro non può ancora considerarsi obsoleta agli inizi degli anni '90, ma che è abbastanza diversa da quella delle caldaie tubolari che già dominavano tra le locomobili e che sarebbero presto divenute l'indispensabile complemento della turbina a vapore. In questo senso, gli effetti del comportamento del settore della produzione di caldaie sulla formazione delle competenze necessarie per la gestione delle tecnologie che impiegavano il vapore appaiono abbastanza positivi per quanto riguarda le tecniche consolidate. Nei confronti delle tecniche più nuove, però, la situazione pare ben diversa e, in prospettiva, poco tranquillizzante. In un numero de "L'industria" del 1892, ad esempio, la fonderia Oretea presentava la sua nuova caldaia ad alta pressione (più di 10 atm), che era ancora una caldaia a bollitori. Le difficoltà di raggiungere queste pressioni con i vecchi sistemi avrebbero forse dovuto indurre a tentare la strada della caldaia multitubolare, ma i tecnici della fonderia rispondono a questa obiezione con le seguenti, eloquenti parole, che illustrano come fosse radicata la fedeltà ai vecchi tipi di caldaia dovuta all'aver ormai raggiunto il padroneggiamento della loro tecnica costruttiva: "nel nostro stabilimento, ove si sono costruite sino da 20 anni fa caldaie [a bollitori] di grande mole per pressioni superanti le 8 atmosfere, le eventuali difficoltà nella lavorazione non potevano punto preoccuparci, né aver influenza sulla scelta del sistema"<sup>31</sup>.

Certo non mancano esempi di imprese italiane impegnate nella produzione di caldaie più complesse: ad esempio, si sa che già nel 1889 le caldaie delle officine della miniera di Monteponi, in Sardegna, erano caldaie multitubolari costruite dalla Franco Tosi<sup>32</sup>. Stando ai dati della statistica, però, questi esempi risultano ancora isolati, e almeno relativamente a queste tecnologie più recenti non sembra che esistesse una produzione nazionale in grado di esercitare quella funzione di "fertilizzante" che secondo Rosenberg è così importante per la diffusione delle competenze tecniche.

<sup>31</sup> *Impianto di caldaie e motrice della fonderia Oretea alla esposizione nazionale di Palermo*, in "L'industria", 6 (1892), pp. 610-611.

<sup>32</sup> *Delle caldaie a fasci di tubi*, in "L'industria", 7 (1893), p. 99.