2. Mutamento tecnico e sviluppo (1880-1980)

di Renato Giannetti

1. Introduzione

La letteratura sullo sviluppo economico, specialmente nel corso degli anni '80, ha ripreso, in tutte le tradizioni di ricerca, il tema del cambiamento tecnico quale fattore critico della crescita economica: nei modelli neoclassici, in quelli neoschumpeteriani, e nella letteratura più propriamente rivolta alla ricostruzione storica dei processi di convergenza tra i paesi *leader* e quelli ritardatari [1]. L'approccio neoclassico modellizza il mutamento tecnico come uno shock esogeno della produttività che determina fluttuazioni attorno ad un trend di *steady-state*; quello neoschumpeteriano invece rappresenta il mutamento tecnico come un fattore endogeno che opera attraverso due meccanismi: un meccanismo di sostituzione di prodotti o processi – che costituisce la distruzione creativa – e la competizione tra imprese che massimizzano il profitto – che avviene attraverso la spesa in Ricerca & Sviluppo.

La letteratura storica mette altresì in evidenza come il mutamento tecnico non dipenda soltanto dai meccanismi semplici della domanda e dell'offerta, ma dalla interazione tra aspetti economici, tecnologici in senso stretto e istituzionali [2].

[1] Per la nuova considerazione del progresso tecnico nello sviluppo economico nel campo della teoria neoclassica cfr. P. M. Romer, *Increasing Returns and Long Run Growth*, in «Journal of Political Economy», 94 (1986), pp. 1002-1037; P. M. Romer, *Endogenous Technological Change*, in «Journal of Political Economy», 98 (1990), ottobre. Per l'approccio neoschumpeteriano cfr., ad esempio, P. S. Segerstrom, *Innovation, Imitation and Economic Growth*, in «Journal of Political Economy», 99 (1991), agosto, pp. 807-827. Per il *growth accounting* comparato cfr. W. J. Baumol, *Productivity Growth, Convergence and Welfare: what the Long-Run Data Show*, in «American Economic Review», 76 (1986), dicembre, pp. 1072-1085. Per una ricostruzione limitata al secondo dopoguerra di questo approccio cfr. S. Dowricke e D. T. Niguyen, *Oecd Comparative Economic Growth 1950-85: Catch-up and Convergence*, in «American Economic Review», 1989, pp. 1010-1030.

[2] M. Abramovitz, *Thinking about Growth and other Essays on Economic Growth and Welfare*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989. Una versione forte del ruolo

Questo saggio ricostruisce le modalità assunte dal mutamento tecnico quale fattore nel processo di «aggancio» dell'Italia al gruppo dei paesi industrializzati.

Si considerano in primo luogo gli aspetti generali della matrice economica indicando nella scarsità di risorse e nella sovrappopolazione i tratti di lungo periodo dello sviluppo economico italiano. Si osservano inoltre i fattori operanti dal lato della domanda e dell'offerta e il ruolo dei prezzi relativi nella determinazione delle caratteristiche del mutamento tecnico italiano. In linea generale, da quest'analisi emerge quanto hanno notato Nathan Rosenberg e Paul David: che esiste una specificità locale dei sentieri di sviluppo tecnologico che condizionano storicamente il meccanismo economico della crescita, imponendo *patterns* che spesso prescindono da movimenti anche significativi nel rapporto tra i prezzi dei fattori [3]. Ad esempio, non è riconoscibile nel modello italiano di progresso tecnico una decisa tendenza di lungo periodo all'uso intensivo del fattore più abbbondante, il lavoro, mentre è talvolta sottolineata una tendenza aggregata alla elevata intensità del rapporto tra capitale e prodotto [4]. È inoltre visibile in più settori la permanenza di tecnologie ben oltre la soglia di convenienza del prezzo relativo degli *inputs*. È il caso, ad esempio, dell'alluminio e, più di recente, dei prodotti siderurgici ottenuti con il ciclo integrale.

Nella seconda parte, si illustrano le caratteristiche qualitative del mutamento tecnico nelle «onde lunghe» dello sviluppo economico: quella di fine secolo, caratterizzata dalla diffusione delle macchine per produrre macchine e dall'affermazione dei settori *science-based* come quello elettrico e quello chimico; e quella, diffusasi nel secondo dopoguerra, collegata alle tecniche di produzione di massa nel settore dei beni intermedi e dei beni di consumo durevole. Infine si illustrano brevemente i problemi posti dalla crisi del modello

degli aspetti socio-istituzionali nel cambiamento tecnico è, per l'Italia, quella di G. Sapelli, *Technical Change, Microeconomic Evolution and Growth: An Introductory View of Italian Industrial Development*, in *Technology and Enterprise in a Historical Perspective*, a cura di G. Dosi, R. Giannetti e P. A. Toninelli, Oxford, Clarendon Press, 1992, pp. 291-313.

[3] P. David, *Technical Choice, Innovation and Economic Growth*, Cambridge, Cambridge University Press, 1975; N. Rosenberg, *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1976.

[4] A. Del Monte, *Profitti e sviluppo economico negli anni 1881-1961 con particolare riferimento al periodo fascista*, in «Rivista internazionale di scienze sociali», LXXV (1977), pp. 241-266. F. Farina, *Modelli interpretativi e caratteri del capitalismo italiano*, in «Quaderni Storici», 32 (1976), pp. 487-514.

tecnologico della produzione di massa e le modalità di adattamento delle capacità tecnologiche italiane a questa transizione – imposta fondamentalmente dalla diffusione dell'automazione dei processi – in termini di decentramento della grande impresa e di piccola e media impresa innovativa.

2. La matrice economica

2.1. Progresso tecnico, risorse e «path dependency»

Il mutamento tecnico è un processo adattativo di risoluzione di problemi. Esso consiste nella introduzione di tecniche che permettono a un determinato sistema economico di sfruttare le opportunità di cui dispone e di superare i vincoli dell'ambiente in cui opera. In Italia, i fattori strutturali che hanno maggiormente condizionato e orientato lo sviluppo tecnologico sono stati il rapporto sfavorevole tra terra e popolazione e la relativa scarsità di risorse.

Sottolineare l'importanza della specificità delle risorse disponibili è fondamentale per comprendere i problemi, i vincoli e le opportunità di una specifica società nel suo processo di cambiamento e/o di aggancio nel caso dei paesi in fase di sviluppo [5].

La scarsità di terra, ad esempio, spiega, in gran parte, perché il processo di meccanizzazione dell'agricoltura italiana sia stato molto lento [6]. Le scelte di investimento si dirigevano verso l'investimento fondiario piuttosto che verso il miglioramento dei rendimenti della produzione, a causa della costante rivalutazione che il patrimonio fondiario subiva nel tempo. Questa tendenza era altresì rafforzata dall'assoluta prevalenza di meccanismi finanziari a base patrimoniale, come l'ipoteca, nella struttura e nel funzionamento del sistema finanziario italiano [7].

La scarsità della terra spiega anche le specifiche modalità con cui

[5] Per la caratterizzazione dinamica del ruolo delle risorse nel processo di specializzazione internazionale dei diversi paesi cfr. G. Dosi, K. Pavitt e L. Soete, *The Economics of Technical Change and International Trade*, New York, Harvester Wheatsheaf, 1990.

[6] C. Daneo, *Breve storia dell'agricoltura italiana*, Milano, Mondadori, 1980.

[7] Sulle forme del credito fondiario cfr. G. Muzzioli, *Banche e agricoltura. Il credito all'agricoltura italiana dal 1861 al 1940*, Bologna, Il Mulino, 1983. Per un profilo generale del sistema finanziario e creditizio italiano cfr. P. Ciocca e A. M. Biscaini-Cotula, *Le strutture finanziarie italiane: profili quantitativi di lungo periodo (1870-1970)*, in *Interesse e profitto*, a cura di P. Ciocca, Bologna, Il Mulino, 1982, pp. 61-136.

il progresso tecnico si è presentato nell'agricoltura italiana. Vi sono infatti interessanti differenze nel processo di meccanizzazione rispetto ad altre esperienze nazionali continentali. Le due principali macchine introdotte nell'agricoltura, dopo il 1850, furono la mietitrice e la trebbiatrice[8]. Ebbene, nella esperienza italiana, rimase pressoché assente la prima, mentre ebbe una buona diffusione la seconda, che permetteva di accelerare la lavorazione del raccolto e di superare i notevoli rischi connessi alla lunga permanenza del grano sulle aie. Essa inoltre poteva essere utilizzata più volte per ogni stagione, spostandola presso le varie fattorie, e il suo costo poteva così essere più facilmente ammortizzato. Dal punto di vista costruttivo, le macchine utilizzate nell'agricoltura italiana erano piuttosto complicate, come nella maggior parte delle esperienze europee contemporanee, da cui per lo più si importavano direttamente, o che, molto più raramente, si imitavano. Questo era dovuto prevalentemente al fatto che le macchine più semplici, come quelle americane, producevano anche una quantità di scarti di lavorazione e di perdite di prodotto che l'agricoltura europea, e italiana in particolare, non erano in grado di sostenere. Sotto il profilo economico era più efficiente costruire macchine più complicate e precise e ripararle quando si guastavano, perché la disponibilità di lavoro qualificato e il suo costo erano relativamente più favorevoli delle risorse che le macchine più semplici sprecavano.

Queste differenze – maggiore complicazione costruttiva e raffinatezza tecnica – tra macchine agricole di origine inglese, prevalentemente utilizzate in Italia, e quelle di origine americana, emerge anche nelle differenze presenti in un'altra ampia gamma di attività relative al paesaggio agrario quali le costruzioni stradali o le canalizzazioni. Le costruzioni stradali italiane, erano assai curate nei particolari (robustezza del piano stradale, canalizzazione delle piogge, ecc.) ed erano fatte per durare a lungo. Le strade italiane, come quelle di gran parte dei paesi europei, erano infatti costruite con un occhio particolare al loro utilizzo militare ed era quindi particolarmente importante la loro piena efficienza in condizioni d'uso particolarmente gravose come quelle belliche[9]. Anche in questo caso, sembra valere la teoria fattoriale della relativa abbondanza di lavoro e il suo prezzo favorevole

[8] Per un profilo generale del mutamento tecnico nell'agricoltura cfr. F. Dovring, *La trasformazione dell'agricoltura europea*, in *Storia economica di Cambridge*, vol. VI, Torino, 1974, pp. 653-730. Per il caso padano cfr. A. De Bernardi, *Appunti sulle innovazioni delle tecniche agrarie in Val Padana tra Ottocento e Novecento*, in «Padania», II (1988).

[9] P. Steiner, *Strade militari*, in «ABC», XVI (1947), n. 3, pp. 69-72. R. Tremelloni, *Cento anni di strade in Italia*, Roma, Firema, 1963.

per giustificare i tempi assai lunghi richiesti per questo tipo di costruzioni.

2.2. Alcuni fattori di contorno dell'attività innovativa

Se l'attività innovativa è un processo di risoluzione di problemi entro vincoli ambientali specifici è evidente che per comprenderne i tratti è necessario ragionare oltre i termini economici convenzionali e identificare altri aspetti della vita sociale, come le motivazioni dei gruppi sociali, le capacità specifiche degli agenti dell'innovazione (l'originalità e l'abilità nell'applicazione delle conoscenze ai problemi tecnici), e valutare l'efficienza economica e sociale delle istituzioni economiche (la capacità di iniziativa, le motivazioni degli imprenditori, le capacità di organizzare il processo economico).

Come è noto, l'Italia del diciannovesimo secolo era un paese *late comer* e, conformemente alle ipotesi sulle modalità dello sviluppo dei *late comers* – che vengono considerati favoriti nella adozione delle tecniche di frontiera rispetto ai paesi di più antica industrializzazione [10] – mostra nell'insieme una discreta capacità di imitazione e di originale elaborazione di tecnologie esterne. La letteratura fa dipendere in generale questa capacità dalla disponibilità di capitale umano con le caratteristiche adatte. Non è facile tuttavia trovare indicatori adeguati di queste caratteristiche. La scolarizzazione, utilizzata in genere come *proxy* di queste capacità, ha bisogno di molte qualificazioni e si presta anche a giudizi contrastanti. Ad esempio, se si utilizzano i dati aggregati comparati sulla scolarizzazione [11] si trova che l'Italia è in una posizione immediatamente alle spalle dei grandi paesi occidentali, ma con un numero decisamente inferiore di studenti rispetto a questi (tab. 2.1). La difficoltà di ricavare un giudizio d'assieme sul ruolo della scolarizzazione e quindi della formazione del capitale umano emerge dal giudizio contrastante formulato dalla storiografia italiana che, da una parte, ha considerato le caratteristiche della scuola – specialmente quella media e superiore – sfavorevoli per lo sviluppo economico dell'Italia mentre, dall'altra, si è riaffermata, anche per il caso italiano, una generale correlazione positiva tra istruzione e sviluppo

[10] E. Ames e N. Rosenberg, *Changing Technological Leadership and Industrial Growth*, in «Economic Journal», 73 (1963), pp. 13-31.

[11] *Education and Economic Development*, a cura di A. Anderson e M. J. Bowman, Chicago, 1965.

TAB. 2.1. *Stima della percentuale della popolazione totale iscritta nelle scuole, in varie Nazioni (periodo 1830-1928)*

	1830	1850	1887	1928
Stati Uniti d'America	15	18	22	24
Inghilterra e Galles		12	16	16
Scozia	9		16	17
Irlanda		7	14	18
Australia	6		14	16
Germania	17	16	18	17
Svizzera	13		18	
Olanda	12	13	14	19
Danimarca			12	16
Norvegia	14	14	13	17
Svezia		13	15	13
Francia	7	10	15	11
Austria	5	7	13	14
Ungheria			12	16
Italia	3		11	11
Spagna	4		11	11
Portogallo		1	5	6
Grecia		5	6	12
Russia/URSS		2	3	12

Fonte: *Education and Economic Development* a cura di A. Anderson e M. J. Bowman, cit.

economico [12]. Qualche indicazione più precisa viene dalle ricerche sulla istruzione tecnica universitaria nei Politecnici alla fine degli anni '80 del diciannovesimo secolo [13], che mostrano la buona qualità della istruzione e la bontà dei risultati innovativi della ricerca che vi si svolgeva, quasi sempre collegati al carattere generalistico della formazione degli ingegneri italiani, che li metteva in grado di risolvere una grande varietà di problemi. Nel settore elettrotecnico, ad esempio, le riviste internazionali contemporanee segnalavano l'originalità dei contributi di Guglielmo Mengarini alla progettazione del sistema di trasmissione di Roma e di Emanuele Jona, nel campo dell'isolamento dei cavi elettrici ad alta tensione. Questa formazione generalistica disegna anche un tratto relativamente stabile del carattere delle innovazioni tecnologiche di origine italiana: la capacità di adattare e rendere com-

[12] M. Barbagli, *Disoccupazione intellettuale e sistema scolastico in Italia (1859-1973)*, Bologna, Il Mulino, 1974. V. Zamagni, *Istruzione e sviluppo economico in Italia 1861-1913*, in *Alcune tendenze dello sviluppo economico italiano 1861-1940*, a cura di G. Toniolo, Bari, Laterza, 1973, pp. 187-240.

[13] A. Guagnini, *The Formation of the Italian Electrical Engineers: the Teaching Laboratories of the Politecnici of Turin and Milan, 1887-1914*, in *1880-1990. Un siècle d'électricité dans le monde*, a cura di F. Cardot, Paris, PUF, 1987. C. G. Lacaita, *Istruzione e sviluppo industriale in Italia 1859-1914*, Monza, Giunti, 1974.

patibili tecnologie di varia origine attraverso lo sviluppo di opportune *gateways*. Ad esempio, tutte le «tecnologie di sistema» introdotte in Italia a partire dalla fase del suo decollo industriale, testimoniano di questa capacità: nel campo ferroviario, elettrico e telefonico [14].

2.3. La domanda e l'offerta di innovazioni

In prima approssimazione si può cercare una risposta generale alla misurazione delle capacità innovative italiane, considerandole come una risposta alle forze di mercato e alle prospettive di profitto che esse aprono. Da questo punto di vista, l'attività inventiva è influenzata da quelle forze che alterano i flussi di reddito generati dall'uso dell'invenzione (la domanda) e il costo di intraprenderla (l'offerta).

Il ruolo della domanda. Le forze che incidono sulle aspettative di profitto dal lato della domanda comprendono i cambiamenti del reddito *pro capite*, quelli della dimensione delle famiglie e della composizione per età della popolazione, l'urbanizzazione, ecc. [15]. In linea generale, la teoria economica ha osservato che le variazioni della domanda sono il fattore principale di variazione dell'offerta di invenzioni. A livello mondiale, ad esempio, la crescita del reddito *pro capite*, dal 1850 al 1940, mostra una notevole correlazione con le invenzioni nelle tecniche di preparazione dei beni alimentari. O, ancora, la crescita del reddito agricolo dei paesi sviluppati mostra una forte correlazione con la meccanizzazione. La relazione è confermata anche dal caso italiano. Nell'agricoltura italiana nel suo insieme, dove i redditi agricoli restano sempre a livelli estremamente modesti e per di più prodotti in un ambiente istituzionale spesso sfavorevole (frammentazione della proprietà in molte zone della penisola, ordinamenti con-

[14] Per le ferrovie cfr. R. Giannetti, *L'électrification des chemins de fer italiens (1899-1940)*, in «Histoire, économie et societé», XI (1992), n. 1, pp. 131-144; per i «sistemi elettrici» cfr. R. Giannetti, *Electrical Engineers and the Establishing of Standard in Italian Electrical Network 1900-1930*, in *Electricité et électrification dans le monde*, a cura di M. Trede, Paris, PUF, 1992, pp. 129-141; per quelli telefonici cfr. B. Bottiglieri, *SIP, Impresa, tecnologia e stato nelle telecomunicazioni italiane*, Milano, Angeli, 1990.

[15] Per le vicende demografiche cfr. A. Bellettini, *La popolazione italiana dagli inizi dell'era volgare ai nostri giorni*, in «Storia d'Italia», V, I documenti, Torino, 1973. Per lo sviluppo urbano cfr. G. Aliberti, *Sviluppo urbano e industrializzazione nell'Italia liberale: note su un modello di interdipendenza*, in «Storia contemporanea», VI (1975), n. 2, pp. 211-240; 411-468.

trattuali come la mezzadria poco favorevoli alla introduzione di innovazioni), la meccanizzazione è estremamente lenta [16].

La composizione della domanda e la flessibilità delle preferenze dei consumatori quali cause del mutevole rapporto tra reddito e consumo nel corso del tempo sono tra i fattori più sottolineati dalla storiografia. Si ritiene, ad esempio, che la flessibilità dei gusti e l'apertura al nuovo del pubblico americano siano stati un fattore importante nella introduzione e nel successo della produzione di massa di pochi prodotti finali omogenei [17]. In Europa, invece, e anche in Italia, la domanda del pubblico era in genere molto diversificata, e la regola era di modificare il prodotto secondo i gusti del consumatore e non viceversa, comprese le componenti ornamentali, che sono presenti assai spesso anche negli impianti industriali. Nel campo dei consumi privati, questo atteggiamento era certamente favorito da una distribuzione del reddito sperequata; e la struttura sociale italiana, almeno fino al secondo dopoguerra, si presenta proprio con queste caratteristiche [18]. Un ruolo importante giocano altresì le tradizioni culturali che in Europa affondano nella tradizione aristocratica che privilegiano, nel prodotto, la sua esclusività e quindi puntano su aspetti specifici dell'attrezzamento. È esemplare, in questo campo, l'esperienza della industria automobilistica nazionale che introduce solo alla fine degli anni '50 il sistema della catena di montaggio nella produzione di autoveicoli. Ancora negli anni '30, in Italia, i possessori di automobili desideravano avere ciascuno la propria carrozzeria speciale, rispondente non solo a esigenze tecniche specifiche, ma anche a gusti personali circa la natura delle guarniture, il colore, la linea della carrozzeria e gli accessori esterni [19]. Il problema è presente anche nel campo delle costruzioni e dei beni capitali, dove sono quasi sempre le indicazioni del cliente a determinare le caratteristiche del prodotto. Nel campo delle costruzioni industriali, ad esempio, sono spesso presenti elementi ornamentali o ricercatezze stilistiche indicate dal committente. Un esempio curioso, in questo senso, è quello degli impianti elettrici della

[16] *Storia dell'agricoltura italiana in età contemporanea*, a cura di P. Bevilacqua, 3 voll., Venezia, Marsilio, 1989.

[17] N. Rosenberg, *Technology and American Economic Growth*, New York, Harper Torchbooks, 1972.

[18] G. Fuà, *Lo sviluppo economico in Italia. Storia dell'economia italiana negli ultimi cento anni*. Vol. 1. *Lavoro e reddito*, Milano, Angeli, 1981. M. Paci, *La struttura sociale italiana. Costanti storiche e trasformazioni recenti*, Bologna, Il Mulino, 1982.

[19] D. Bigazzi, *Il Portello. Operai, tecnici e imprenditori all'Alfa Romeo 1906-1926*, Milano, Angeli, 1988. G. Volpato, *L'industria automobilistica internazionale*, Padova, Cedam, 1983.

Società elettrica Conti sul fiume Adda, costruiti, nei primi anni '20, in perfetto stile neomedievale. Quest'attitudine contribuisce infine a spiegare anche alcuni primati tecnologici all'interno di settori importanti, come le costruzioni navali, dove l'Italia ha avuto una posizione di *leadership*, fino agli anni '60 del ventesimo secolo, nel campo dell'attrezzamento[20]. La dipendenza della produzione di beni di produzione dalle indicazioni dettagliate dei committenti ha conseguenze più importanti per comprendere la direzione e le caratteristiche del mutamento tecnico. Ad esempio, l'industria della lavorazione dei metalli italiana produceva, nel diciannovesimo secolo, parti e prodotti di una grande varietà. Una statistica del 1892 relativa al comune di Milano riporta che il maggior numero delle officine si occupava indistintamente della costruzione di macchine per le industrie e di prodotti metallici vari. Ma anche i censimenti del 1911, del 1927 e del 1936-1938, riportano la prevalenza di piccole officine polivalenti nell'insieme dell'industria meccanica. Era in genere il cliente a stabilire le caratteristiche del prodotto fino ai più minuti dettagli, cosicché le officine non potevano specializzare i loro processi di produzione[21]. Nelle fonderie, ad esempio, vi era sempre una gran numero di cubilotti anche quando il volume della produzione sembrava giustificare una loro riduzione. Il fatto è che questa produzione era distribuita su un gran numero di pezzi, differenti per diversi clienti, e si preferiva avere un numero di cubilotti molto vicino a quello degli stampi per accelerare il processo[22]. Lo stesso si può osservare più tardi nel campo della produzione di gabbie per generatori e trasformatori elettrici, dove ciascuna impresa produttrice di energia richiedeva alle officine macchine con caratteristiche costruttive estremamente specifiche[23]. Questo impediva che queste officine delimitassero la gamma dei loro prodotti e che potessero sfruttare le economie di scala possibili, innescando il circolo virtuoso tra la specializzazione e la crescita del mercato, come ipotizzato, per esempio, dalle teorie dello sviluppo economico alla Rosenstein Rodan e Hirschman, basate sulla combinazione

[20] *In cantiere, tecnica, arte, lavoro. Ottant'anni di attività dello stabilimento di Monfalcone*, a cura di V. Staccioli, Monfalcone, Edizioni della Laguna, 1988. L. Fea, *Mezzo secolo di ingegneria: ingegneria navale. Architettura e costruzioni navali, costruzioni navalmeccaniche*, in «L'Ingegnere», XXVI (1952), n. 12, pp. 1403-1421.

[21] M. Lungonelli, *La Magona d'Italia (1865-1975). Impresa, lavoro e tecnologie in un secolo di siderurgia toscana*, Bologna, Il Mulino, 1991.

[22] M. Olivo, *Le fonderie di ghisa in Italia*, in «Macchine», VI (1951), n. 9, pp. 977-982.

[23] G. Danese, *Sviluppo della siderurgia*, in «L'Ingegnere», XXVII (1953), n. 10, pp. 1139-1162.

della domanda effettiva keynesiana e dell'idea smithiana della dimensione del mercato [24]. Ma, soprattutto, impediva che si creassero quei «legami critici» in grado di accelerare i processi di convergenza tecnologica e di integrazione industriale annotati periodicamente dai critici del processo di crescita italiana. Due esempi servono per sottolineare, ancora una volta, il carattere strutturale di certi tratti del progresso tecnico della industria italiana. Negli anni '20 e '30 gli industriali meccanici lamentavano continuamente la non corrispondenza tra la gamma dei prodotti siderurgici richiesti e quella effettivamente offerta dai grandi impianti [25], così come accadeva, negli stessi anni, nell'industria italiana dell'alluminio. Essa occupava una quota rilevante del mercato mondiale, e tuttavia non riusciva a diversificare la produzione rispetto all'alluminio primario [26]. È possibile ipotizzare, altresì, che questi stessi fattori abbiano favorito lo sviluppo di microcompetenze tecnologiche e di *skills* del lavoro che, in condizioni di maggiore apertura dei mercati internazionali, come è avvenuto nel secondo dopoguerra, sono stati alla base del successo dell'industria italiana nella esportazione di macchine specializzate per produrre macchine.

È probabile che questa caratterizzazione del progresso tecnico dell'industria italiana, contribuisca a spiegare anche la forma assunta dalla dinamica dell'industria durante il ciclo economico. In linea generale, infatti, la produttività, contrariamente a quanto ipotizzato dalla «legge di Verdoorn», cresce più velocemente durante le fasi di recessione che in quelle di espansione. A causa dell'esistenza di discontinuità e asimmetrie tecnologiche, nella fase ascendente del ciclo trovano occupazione imprese progressivamente meno efficienti, mentre, nel corso della recessione, la riduzione della domanda ristabilisce, tramite l'esclusione delle imprese meno efficienti, un aumento della efficienza aggregata [27].

[24] K. M. Murphy, A. Schleifer e R. Visshny, *Industrialisation and the Big Push*, in NBER Working Paper n. 2708.

[25] D. Gaggio, *Prezzi relativi e* path dependence*: la siderurgia elettrica italiana dall'inizio del secolo all'autarchia*, in «Società e Storia», 1992, n. 58, pp. 789-823. Ma ancora negli anni '50 questi problemi caratterizzavano i rapporti tra industria siderurgica e meccanica. Cfr., ad esempio, gli interventi di A. Bartocci apparsi in vari numeri della rivista «Macchine» tra il 1949 ed il 1957 con il titolo di *Dialogo fra un siderurgico e un meccanico*.

[26] *Orientamenti. 1925-1950: dove hanno portato cinque lustri di esperienza sulle leghe leggere da lavorazione plastica*, in «Alluminio», XX (1951); M. Rispoli, *L'industria dell'alluminio*, in «Annuali di Storia dell'Impresa», 3 (1987), pp. 279-322.

[27] P. Ciocca, R. Filosa e G. M. Rey, *Integrazione e sviluppo dell'economia italiana nell'ultimo ventennio: un riesame critico*, in «Contributi alla ricerca economica», 3 (1973), pp. 57-135.

Un ruolo importante nella introduzione di innovazioni tecniche hanno le variazioni di domanda a livello settoriale provocate dall'improvvisa interruzione delle fonti tradizionali di approvvigionamento di materie prime (strozzature). Questa stimola la ricerca di sostituti, come esemplificano, nel caso dell'Italia, le innovazioni che, durante la prima guerra mondiale, vennero introdotte nella fabbricazione di acido nitrico, di idrogeno e di altri prodotti chimici utilizzando processi che utilizzavano la corrente elettrica invece della gasificazione del carbone, la cui offerta era ridotta o a prezzi troppo elevati. Un ruolo ancora maggiore rivestono i collegamenti che esistono tra invenzioni diverse e che spingono l'attività innovativa verso direzioni specifiche. È questo il caso, ad esempio, dei progressi realizzati nella produzione di fertilizzanti azotati grazie alla disponibilità di acciai al cromo-nichel che erano praticamente inattaccabili dall'acido nitrico nel corso del processo di fabbricazione, che permisero di ampliare la scala della produzione dallo stato del prototipo a quello industriale vero e proprio[28]. In realtà, come si vedrà più avanti, quello delle interdipendenze è un tema assai complesso, perché l'esistenza o meno di questi «legami critici» è quello che distingue i paesi che si muovono sulla «soglia dell'innovazione» da quelli che si trovano nella condizione di paesi imitatori.

2.4. Il ruolo dell'offerta

Le forze operanti dal lato della domanda possono spiegare l'allocazione delle risorse inventive ma non sono in grado di spiegare i prezzi dei beni. Per questo si deve fare ricorso alle forze operanti dal lato dell'offerta. In linea teorica, il costo di un'invenzione dipende dalla offerta dei fattori che sono necessari perché si realizzi. Ad esempio, è necessario che vi sia un'adeguata offerta di lavoro con i requisiti adatti, ottenuti attraverso gli opportuni meccanismi (apprendistato, formazione sul posto di lavoro, istruzione formale), e che esista una organizzazione tecnica e una base di conoscenze scientifiche disponibili. L'offerta di questi *inputs* e il loro cambiamento determina, in ciascun momento, la forma della funzione di produzione e i tempi richiesti dal suo cambiamento. Avere le competenze adatte permette infatti di diminuire i costi e aumentare la profittabilità di un'invenzio-

[28] V. Zamagni, P. Saviotti e L. Simonin, *Dall'ammoniaca ai nuovi materiali*, Bologna, Il Mulino, 1991.

ne. Sul piano microeconomico, ad esempio, la costituzione di un impianto per la fabbricazione su larga scala di macchine utensili presso l'Ansaldo, negli anni '20, venne subordinata, da parte dei progettisti, ad un periodo di formazione e di addestramento indicato in due o più generazioni [29].

È molto importante, tuttavia, per determinare la forma concreta dell'attività inventiva di un certo paese, sottolineare che il progresso tecnico effettivo è il risultato soprattutto dell'accumulo di certe competenze specifiche concentrate in settori specifici [30]. È ben noto, ad esempio, il carattere radicalmente diverso delle competenze richieste nei settori della prima rivoluzione industriale: metallurgia, energia a vapore, macchine utensili, rispetto a quelle della seconda, dove invece sono richieste competenze – meno empiriche e più direttamente legate ai progressi nel campo della scienza – concentrate nel settore chimico e in quello elettrico [31]. Ma su questo si tornerà più avanti. Per il momento si valuta invece più tradizionalmente il ruolo ricoperto dal mutamento dei prezzi per determinare la direzione del progresso tecnico.

2.5. Il cambiamento tecnico e il ruolo dei prezzi

Tradizionalmente il ruolo dei prezzi viene considerato il fattore critico nel processo di selezione di una tecnologia. Le differenze nei prezzi relativi dei fattori spiegano – all'interno di un ventaglio di tecnologie dato – la scelta di quella più adatta alla dotazione di ciascun paese. La questione, per l'Italia, non è di facile soluzione per il capitale e il lavoro, per i quali mancano stime attendibili di lungo periodo, che siano in grado di tenere conto del ruolo delle indivisibilità nella scelta di certe tecniche e della notevole segmentazione del mercato del lavoro [32]. Per il lavoro, ad esempio, è possibile indicare alme-

[29] F. Mauro, *Teratismi dell'industria. Anomalie e squilibri*, Milano, Hoepli, 1942.

[30] Sul carattere *country-specific* delle capacità di innovazione tecnologica cfr., ad esempio, G. Dosi, K. Pavitt e L. Soete, *The Economics of Technical Change and International Trade*, cit., in particolare il capitolo 5.

[31] N. Rosenberg, *The Impact of Technological Innovation: a Historical View*, in *The Positive Sum Strategy*, a cura di R. Landau e N. Rosenberg, Washington, National Academy Press, 1986, pp. 17-32.

[32] V. Zamagni, *A Century of Change: Trends in the Composition of the Italian Labour Force 1881-1981*, in «Historical Social Research», 44 (1987), ottobre, pp. 36-97. V. Zamagni, *La dinamica dei salari nel settore industriale*, in *L'economia italiana nel periodo fascista*, a cura di P. Ciocca e G. Toniolo, Bologna, Il Mulino, 1976, pp. 329-378. V. Zamagni, *Sui salari industriali nell'età giolittiana*, in «Rivista di storia economica», n.s., I (1984).

no quattro gruppi con differenti dinamiche salariali e occupazionali. La manodopera qualificata, distinta in due gruppi, i tecnici e gli operai specializzati e gli operai di mestiere. Questi erano abbastanza ben pagati, e quindi costituivano una eccezione rispetto all'abbondanza del fattore lavoro. Il gruppo degli operai di mestiere subisce, nel corso del tempo, un processo di espulsione e sostituzione con manodopera meno qualificata e meno cara. Un processo che, comunque, non può essere considerato in ogni caso conforme alla ipotesi economica del prezzo dei fattori. Nel campo delle costruzioni navali, ad esempio, la sostituzione di manodopera qualificata come i ribattini e i tracciatori, negli anni '20 del ventesimo secolo, venne provocata da innovazioni che erano allo stesso tempo risparmiatrici di lavoro e di capitale, come la saldatura elettrica e il sistema delle triangolazioni per il disegno del taglio delle lamiere [33]. La manodopera femminile ed infantile, tipica del settore tessile. Gli operai maschi senza qualificazione la cui domanda dipendeva dal tasso di crescita dei settori industriali interessati. Inoltre tali segmenti si sono formati a seconda del tempo di sviluppo dei diversi settori dell'industria.

Per quanto riguarda il capitale poi, non è accertata dalla storiografia neppure l'ipotesi di scarsità. I dati macroeconomici, ad esempio, indicano una propensione al risparmio abbastanza elevata e l'impressione di scarsità deriva piuttosto dalla forma di raccolta e di impiego per gli investimenti produttivi [34].

Una conferma relativa sul ruolo dei prezzi nella direzione del cambiamento tecnico in Italia viene invece dal campo delle risorse. In Italia, esiste una forte e generalizzata tendenza al risparmio delle risorse, in particolare di quelle energetiche, in dipendenza del loro prezzo elevato e della loro scarsità nel territorio nazionale, come si è visto all'inizio. Gli *slogans* nazionalisti di fine secolo: la conquista della forza, ad esempio, si fondavano sulla prospettiva di risparmiare il carbone di importazione sostituendolo con l'energia elettrica di origine idraulica, così come il petrolio e il gas padani estratti dall'Eni negli anni '50 sembravano la base di uno sviluppo svincolato dagli alti prezzi del carbone europeo [35].

La tendenza al risparmio del fattore più caro non va altresì letta come un adattamento razionale permanente alla dotazione delle risor-

[33] V. Staccioli, *Cantiere: strutture, tecnologia e metodologie operative*, in *In cantiere, tecnica, arte, lavoro*, a cura di V. Staccioli, cit., pp. 74-116.

[34] G. Federico, *La storiografia sull'Italia contemporanea*, in *Atti del Convegno in onore di Giorgio Candeloro*, a cura di C. Cassina, Pisa, 1992.

[35] M. Colitti e L. Bruni, *La politica petrolifera italiana*, Milano, Giuffrè, 1967.

se. Questo emerge chiaramente se si considera che l'introduzione di un'innovazione imprime una direzione al progresso tecnico di un paese che può risultare nel tempo incompatibile con una spiegazione del mutamento in termini di dotazione e prezzo dei fattori. Due casi storici di permanenza in una traiettoria di risparmio delle risorse nella economia italiana, a dispetto delle variazioni dei prezzi relativi confermano questo fenomeno. Il primo, e il più noto, riguarda la permanenza della caratterizzazione tutta idraulica del sistema elettrico italiano. Negli anni '30 e negli anni '50 del Novecento, si presentarono condizioni di offerta di prezzo del carbone e del petrolio tali da suggerire aspettative profittevoli anche nella direzione della generazione termica, che non vennero colte dagli imprenditori italiani del settore[36]. Il secondo esempio riguarda la permanenza in traiettorie tecnologiche caratterizzate dal risparmio di risorse minerarie di importazione, attraverso l'utilizzo di risorse sostitutive nazionali. È il caso della estesa adozione, nella chimica italiana, di processi inefficienti sotto il profilo tecnico, come la produzione di ghisa da ceneri di pirite, di alluminio dalla leucite, e dell'acido solforico dalle piriti, ben oltre i limiti temporali indicati dalla evoluzione dei prezzi relativi[37].

3. Tecnologia e dimensione delle imprese

La struttura della industria italiana ha un *pattern* di lungo periodo della struttura dimensionale verso la prevalenza della media impresa. La grande impresa, che pure esiste, ha una quota relativamente stabile del totale e non ha in generale legami funzionali con le imprese di dimensioni inferiori[38]. La struttura è sostanzialmente dualistica. Una parte della spiegazione di questo assetto deriva dalle caratteristiche del progresso tecnico nella industria italiana, che non ha carattere sistematico. Non vi è cioè un sistema delle interdipendenze e comple-

[36] R. Giannetti, *La conquista della forza. Risorse, tecnologia ed economia nell'industria elettrica italiana (1883-1940)*, Milano, Angeli, 1985.

[37] V. Zamagni, *L'industria chimica in Italia dalle origini ad oggi*, in *Montecatini 1888-1966*, a cura di F. Amatori e B. Bezza, Bologna, Il Mulino, 1990, pp. 69-148.

[38] R. Giannetti, G. Federico, P. A. Toninelli e B. Bezza, *Size and Strategy of Italian Industrial Enterprises: Empirical Evidence and some Conjectures (1907-1940)*, lavoro presentato alla Quarta settimana internazionale di Storia d'impresa, Milano, ottobre 1991. L. Esposito e P. Persico, *I mutamenti strutturali e dimensionali dell'industria manifatturiera italiana, 1961-71*, in *Crisi e ristrutturazione nell'economia italiana*, a cura di A. Graziani, Torino, Einaudi, 1978.

mentarità settoriali su scala nazionale nel quale le imprese grandi e le più piccole si integrano. Ad esempio, i produttori di macchine utensili non richiedono il tipo di prodotti intermedi siderurgici e metallurgici prodotti dalla industria siderurgica nazionale i cui livelli di specializzazione – tipo di prodotti – sono definiti da economie di scala e di gamma interni al settore o che hanno, come risultato, prezzi di mercato non competitivi. L'industria meccanica italiana, fino alla seconda guerra mondiale, lamentò sempre la difficoltà di acquisire sul mercato interno i prodotti metallurgici e siderurgici intermedi con le caratteristiche richieste. Nel campo dei coloranti è esemplare il caso dei tentativi di integrazione messi in atto negli anni '30, in cui i fabbricanti di prodotti farmaceutici non acquistavano gli intermedi prodotti dalla industria chimica nazionale per il loro costo eccessivo, mentre i produttori di questi prodotti intermedi erano costretti a praticare questi costi per coprire i costi di impianto necessari per raggiungere la soglia efficiente della produzione. Le stesse grandi imprese italiane, peraltro, si sono spesso dimensionate sulla base di interdipendenze non nazionali, come nel caso della vicenda dell'impianto siderurgico di Cornigliano negli anni '30. Questo fu il primo impianto italiano a ciclo integrale e, come tale, è stato considerato dalla storiografia il segno di una volontà di integrazione verticale tra siderurgia e meccanica all'interno della industria italiana. In realtà le caratteristiche tecniche ed economiche sembrano dettate più dall'integrazione con l'impresa tedesca Gutehoffnunshutte di Paul Reusch che non dalla volontà di creare una base siderurgica competitiva per l'industria nazionale [39].

La difficoltà di stabilire interdipendenze e complementarità all'interno del sistema industriale italiano emerge con forza ancora maggiore dalla osservazione della esistenza di più *standards* tecnologici, di unità di misura, di dimensioni, ecc. Ad esempio, il sistema telefonico italiano si costruisce, negli anni '20, attorno a tutti e tre gli *standards* esistenti in quegli anni, così come il sistema elettrico opera per lungo tempo secondo diversi sistemi di norme, svizzere o tedesche. I comitati di unificazione dimensionale meccanici, poi, iniziano a funzionare in Italia solo negli anni dell'autarchia. Più recente e significativo è il caso delle tecnologie per la produzione di energia attraverso l'atomo che vede l'Italia adottare tutte e tre le filiere tecnologiche presenti,

[39] U. Wengenroth, *Il mito del ciclo integrale: considerazioni sullo sviluppo della siderurgia in Italia*, in «Società e storia», VIII (1985), n. 30, pp. 907-927.

quella inglese, le due americane di General Electric e Westinghouse, e, in un secondo tempo, anche quella canadese [40].

4. La funzione ricerca e sviluppo nello sviluppo tecnologico italiano

Se il ruolo propulsore della ricerca nel cambiamento tecnologico è un elemento acquisito, ben più difficile è il modo di misurarlo e di misurarne gli effetti sullo sviluppo industriale. L'ingegneria chimica, ad esempio, non è un semplice processo di ingrandimento di qualcosa che si è realizzato in un laboratorio, ma richiede molte fasi che mostrano spesso problemi tecnologici assai difficili, come si argomenta più sotto in relazione ai problemi posti dalla progettazione degli impianti per estrapolazione nella seconda metà degli anni '60. Per questo l'uso di *proxies* come i brevetti o il volume degli investimenti nella ricerca e sviluppo è un argomento assai grezzo che deve essere preso con molta cautela. Tuttavia, i brevetti sono l'unica fonte che permette un lavoro di lungo periodo e, proprio nel lungo periodo, permette alcune osservazioni [41]. Il lavoro di Cantwell utilizza il numero dei brevetti depositati negli USA da non residenti suddivisi per paese e calcola, su questa base, il vantaggio comparato di ciascun paese, misurato come la quota di brevetti di un paese in un certo settore, diviso per il totale dei brevetti depositati negli USA da non residenti. Come si può osservare nella tabella 2.2, il vantaggio competitivo dell'Italia è buono nei due periodi di espansione 1890-1912 e 1963-1983. Anzi per il periodo 1890-1912 è talmente buono da apparire sospetto. L'indice dà infatti valori elevati nei settori tecnologicamente avanzati come i metalli ferrosi, i fertilizzanti, la radiofonia e le tecnologie elettriche [42]. Un'osservazione più disaggregata di quest'ultimo settore sul totale dei brevetti richiesti in Italia [43], permette, ad esempio, di avere un quadro più realistico. La maggior parte dei bre-

[40] L. Locatelli, *Problemi dell'unificazione. Lezioni*, Roma, Edizioni della Federazione Nazionale Fascista Dirigenti Aziende Industriali, 1935. W. Walker e M. Lonroth, *Nuclear Power Struggles*, London-Boston, Allen & Unwin, 1983.

[41] J. Cantwell, *Technological Innovation and Multinational Corporations*, Oxford, Basil Blackwell, 1989.

[42] I risultati, soprattutto per il primo periodo, risentono fortemente dell'esiguità del numero dei brevetti italiani negli USA.

[43] M. Vasta, *Innovazioni e sviluppo economico: l'uso dei brevetti nell'analisi del settore elettrotecnico italiano nel periodo 1895-1914*, in «Rivista di storia economica», VII (1990), pp. 47-74.

vetti sono infatti dovuti a privati piuttosto che a imprese e riguarda prodotti non tecnologicamente avanzati, come le parti metalliche piuttosto che elettrotecniche dei generatori e dei trasformatori [44]. Sono altresì completamente assenti i laboratori d'impresa che rappresentano, in questa fase, la chiave per comprendere le caratteristiche della ricerca tecnologica del periodo e identificare le imprese e i paesi *leaders*, come la General Electric e la Dupont negli USA e la Siemens in Germania [45]. In Italia i primi laboratori annessi alle imprese vennero costituiti soltanto negli anni '30, nel quadro del tentativo autarchico [46]. Anche i rapporti tra centri di ricerca tradizionali come le università e organismi più vicini alle esigenze della ricerca applicata alla produzione industriale sono in genere confusi. Esemplare, in questo senso, è la sovrapposizione di iniziative e il groviglio di competenze che caratterizza il periodo della I guerra mondiale con risultati, nel complesso, assai poveri [47].

Anche il periodo seguito alla seconda guerra mondiale riproduce, in linea generale, le caratteristiche sopra descritte. A livello aggregato l'attività di ricerca e sviluppo dell'economia italiana è cresciuta in modo significativo [48]. Durante gli anni '50 e '60 queste spese hanno avuto un aumento rilevante, ridottosi negli anni '70 e ripreso a tassi superiori ai paesi più importanti dell'area OCSE negli anni '80. La cospicua letteratura che si è occupata del dettaglio di questa spesa ha tuttavia rilevato in generale come questa non abbia saputo tradursi in un miglioramento della *performance* innovativa e competitiva dell'industria italiana a livello internazionale, pur essendosi registrato un trasferimento dai settori a elevata intensità di scala a quelli basati sulla scienza, largamente sostenuto anche dall'intervento pubblico [49]. Tra le cause di questo relativo fallimento, nei diversi settori osservati, viene indicata la poca integrazione, a livello

[44] R. Giannetti, *Cambiamenti non adattativi dell'organizzazione industriale: l'industria elettromeccanica italiana (1883-1940)*, in «Annali di Storia dell'Impresa», 7 (1991), pp. 131-205.

[45] N. Rosenberg e L. E. Birdzell, *How the West Grew Rich: the Economic Transformation of the Industrial World*, New York, Basic Books, 1986, specialmente il capitolo 8.

[46] M. Doria, *Ansaldo. L'impresa e lo Stato*, Milano, Angeli, 1989.

[47] R. Maiocchi, *Il ruolo della scienza nello sviluppo industriale italiano*, in Storia d'Italia, Annali, III; *Scienza e tecnica nella cultura e nella società dal Rinascimento ad oggi*, a cura di G. Micheli, Torino, Einaudi, 1980, pp. 885-912.

[48] F. Malerba, *R & D Growth in Italian Industry in an International Perspective*, in *Technology and Enterprise in a Historical Perspective*, a cura di G. Dosi, R. Giannetti e P. A. Toninelli, cit., pp. 314-350.

[49] F. Onida, *Innovazione, competitività e vincolo energetico*, Bologna, Il Mulino, 1985.

TAB. 2.2. *Indici di progresso tecnologico per le Nazioni più industrializzate nei periodi (I) 1890-1912 e (II) 1963-1983*

	UK		Germania		Canada		Francia		Austria		Australia		Svizzera	
	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)
Prodotti alimentari	0,63	0,96	1,26	0,61	0,34	1,39	1,34	0,75	1,37	0,74	0,85	1,8	1,9	1,36
Prodotti chimici	0,7	0,9	1,68	1,18	0,27	0,62	1,22	0,99	0,83	0,5	0,43	0,56	1,01	1,85
Resine sintetiche	1,03	0,73	0,47	1,29	1,68	0,32	0,57	0,77	0	0,48	0	0,55	7,87	0,78
Prodotti chimici per l'agricoltura	1,21	1,11	0,28	1,06	1,47	0,49	0,5	1,18	1,17	0,62	0	0,98	0	2,05
Detergenti	1,47	1,54	0,78	1,02	0,99	0,3	0,19	1,22	1,32	0,4	0,69	0,64	1,29	1,31
Vernici	0,17	0,93	2,82	1,24	0,16	0,64	0,28	0,65	0,09	0,92	0	0,99	1,78	0,93
Farmaceutici	0,72	1,02	1,41	0,88	0,63	0,57	0,91	1,2	1,55	0,7	0,9	0,6	1,41	1,55
Metalli ferrosi	1,11	0,81	0,9	0,82	1,03	1,01	0,78	0,93	1,14	2,58	1,99	1,54	0,59	0,61
Metalli non ferrosi	1,05	1,01	1,03	0,7	0,87	1,5	1,23	0,93	0,76	2	0,4	1,52	0,74	0,73
Lavorazione dei metalli	0,87	1,1	1,01	0,93	1,45	1,53	0,78	1,1	0,97	1,26	1,12	1,66	0,58	0,85
Costruzioni meccaniche	1,04	0,98	0,89	1,12	0,91	0,96	1,05	0,93	1,09	1,25	0,98	0,99	1,12	1,01
Macchine agricole	0,43	0,95	0,52	0,86	2,35	2,19	0,34	1,01	0,81	1,2	3,14	3,62	1,18	1,37
Materiali per costruzioni	0,9	1,15	0,89	0,97	1,18	1,7	0,2	1,06	1,64	2,41	1,47	1,51	0,34	0,85
Motori industriali	1,76	1,27	0,46	1,06	0,53	0,7	0,99	1	0,67	0,76	0,82	0,93	0,99	0,59
Apparecchiature elettriche	1,25	1,04	0,7	0,86	0,95	0,74	1,29	1,11	1,49	0,63	0,64	0,53	0,97	0,68
Apparecchiature di trasmissione	1,02	1,1	0,97	0,9	0,69	1,18	1,29	1,17	0	0,47	1,28	0,51	1,6	0,91
Illuminazione e cavi	0,9	1,17	1,38	0,94	0,4	1,78	1,4	1,13	1,81	0,35	0,53	0,97	0,5	0,64
Apparecchi radio e televisivi	1,21	0,8	1,72	0,62	0,26	0,6	0	0,63	0	0,71	0	0,28	0	0,34
Veicoli a motori	1,09	1,02	0,7	1,2	1,56	1,04	1,35	1,15	0,56	0,8	1,15	0,93	0,89	0,65
Costruzioni navali	1,53	1,3	0,74	0,64	0,72	2,19	0,99	1,29	0	0,12	1,11	1,9	0	0,47
Apparecchiature di trasporto	1,05	1,44	0,62	1,07	1,53	1	1,16	1,35	1,12	0,93	1,24	0,8	0,21	0,76
Tessili e abbigliamento	1,34	1,17	0,85	1,18	0,9	0,48	0,94	0,89	0,86	0,44	1,83	0,8	1,26	1,64
Gomma	1,75	1,03	0,62	1,06	0,6	0,93	1,21	0,94	0,44	0,92	1,19	0,97	0,32	0,64
Prodotti di minerali non metallici	0,97	1,27	0,99	0,85	1,19	0,84	0,71	1,11	1,89	1,15	1,1	1,13	0,83	0,52
Carbone e petrolio	1,47	1,48	1,15	0,66	0,17	2,77	0,89	1,32	0,39	0,58	0	0,75	0	0,25
Strumenti professionali	0,96	0,84	0,96	0,94	1,02	0,71	0,94	0,84	0,97	0,87	1,14	1,09	2,43	0,94
Altre manifatture	0,98	0,87	0,9	0,8	1,68	2,26	0,82	0,96	0,82	1,91	0,98	1,74	0,7	0,84

	Svezia		Italia		Belgio	Lussem-burgo	Usa	Giappone	Olanda	Danimarca	Spagna	Irlanda
	(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(II)
Prodotti alimentari	0,92	0,96	0,44	0,71	1,8	0,87	1,08	1,06	2,32	2,86	1,72	3,53
Prodotti chimici	1,06	0,31	0,95	1,29	1,57	1,11	0,91	0,87	1,01	0,68	0,75	0
Resine sintetiche	2,02	0,08	0	1,98	0	1,72	0,92	1,29	1,1	0,07	0,12	1,71
Prodotti chimici per l'agricoltura	0	0,5	7,64	1,21	0	1,11	0,84	0,75	0,76	1,1	1,52	0,9
Detergenti	2,65	0,76	1,43	0,72	1,45	2,5	1,01	0,79	1,38	0,58	0,3	0,66
Vernici	0,14	0,3	0	0,94	0,92	1,02	1,01	1,28	0,91	0,31	0,32	1,43
Farmaceutici	0,58	0,62	0,63	1,5	0	1,24	0,79	1,02	0,69	1,39	1,37	0
Metalli ferrosi	0,71	1,61	1,31	0,75	0,89	2,16	0,83	1,13	0,57	0,24	1,2	0
Metalli non ferrosi	1,02	1,09	1,92	0,62	0,28	1,51	0,88	1,18	0,49	0,32	0,55	0
Lavorazione dei metalli	1,21	1,67	0,52	0,85	1,12	0,84	1,1	0,74	0,94	1,36	1,37	1,23
Costruzioni meccaniche	1,19	1,29	1,15	1,2	0,87	0,92	0,96	0,81	0,83	1,17	1,29	1,19
Macchine agricole	3,48	1,52	1,31	0,73	0,33	1,49	1,1	0,35	1,79	0,31	1,01	3,62
Materiali per costruzioni	1,41	1,74	1,53	1,06	0,78	0,72	0,04	0,46	1,22	1,21	0,87	1,7
Motori industriali	2,26	1,13	1,22	0,6	0,99	0,18	0,87	1,14	0,46	1,07	1,06	0,84
Apparecchiature elettriche	1,05	0,84	1,44	0,76	1,36	0,56	1,01	1,31	1,76	0,81	0,51	0,69
Apparecchiature di trasmissione	1,23	1,22	3,56	0,94	0,9	0,78	1,03	1,05	1,18	0,92	0,64	0,63
Illuminazione e cavi	0,02	1,03	1,84	1,29	0,37	0,83	1,09	0,72	0,95	0,68	1,75	1,45
Apparecchi radio e televisivi	0	0,32	3,39	0,64	0	0,58	0,92	2,18	2,23	0,72	0,36	0
Veicoli a motori	0,26	0,99	1,4	0,8	1,43	0,42	0,94	1,06	0,31	0,35	1,02	1,41
Costruzioni navali	0,54	1,82	3,48	0,77	0,59	0,21	1,03	0,66	1,66	0,86	2,6	0,88
Apparecchiature di trasporto	0,84	1,25	1,97	0,87	0,77	0,59	0,98	0,78	0,22	0,21	1,32	0,69
Tessili e abbigliamento	0,1	0,4	0,45	0,95	0,34	1,07	0,92	0,99	0,64	0,91	0,85	0
Gomma	0,33	0,71	0	1,17	1,08	1,27	1,01	1,15	0,92	0,96	0,67	1,34
Prodotti di minerali non metallici	0,57	1,14	0,46	0,74	2,02	1,99	1	1,03	1,02	1,64	0,84	1,24
Carbone e petrolio	0	0,38	1,13	0,63	4,6	1,05	1,26	0,65	2,72	0,55	0,28	0
Strumenti professionali	1,39	0,82	0,75	0,62	0,26	1,53	0,99	1,41	0,73	1,08	0,55	0,91
Altre manifatture	0,62	1,54	0,38	1,1	0,62	0,84	1,13	0,81	0,63	0,53	2,41	2,29

Fonte: J. Cantwell, *Technological innovation and Multinational Corporations*, cit., p. 27.

d'impresa e di settore, tra la ricerca propriamente intesa e lo sviluppo, il *design* industriale, l'ingegnerizzazione, il *marketing* e la distribuzione commerciale su larga scala[50].

5. Le tecnologie e il «decollo economico» italiano

5.1. Le macchine per produrre macchine

Nel corso del diciannovesimo secolo divenne sempre più importante nel settore manifatturiero la capacità di fornire macchine che furono responsabili dello sviluppo della produttività in tutti i settori. Ovunque lo sviluppo economico fu accompagnato dall'aumento del peso del settore delle macchine. Non si hanno dati per il periodo preunitario, ma anche in Italia, tra il 1881 e il 1901, si ebbe una crescita dello stock di capitale nel settore delle macchine e mezzi di trasporto che passò dal 17 per cento al 24 per cento del capitale totale, anche se, come si vedrà, il modello italiano non seguì pienamente la strada delle «convergenze tecnologiche» indicate da Nathan Rosenberg[51] come l'origine dello straordinario sviluppo del settore delle macchine per produrre macchine. Come è noto, secondo questa tesi, l'industria delle macchine utensili viene generata storicamente dai bisogni di macchinario che emergono in un'ampia gamma d'industrie. Nelle fasi iniziali, gli impianti per la produzione di macchinario apparvero come semplici appendici di fabbriche specializzate in un dato prodotto finale. Le prime officine erano collegate a imprese tessili. I successi ottenuti in questo comparto fecero sì che queste officine non solo cominciassero a vendere macchine tessili ad altre imprese, ma anche a produrre tutta una serie di macchine utensili per piallare, alesare, ecc. che si diffusero in altri settori. Da uno di questi, quello per la costruzione di armi portatili, si sviluppò la costruzione di macchine utensili ad alta velocità, più leggere e specializzate: torni a *revolver*, rettificatrici di precisione, ecc. Infine, furono i fabbricanti di mac-

[50] G. Dosi e L. Moggi, *La capacità innovativa italiana: alcuni confronti internazionali, intersettoriali e interregionali*, in Cer-Irs, *Vincolo estero, struttura industriale e credito all'esportazione*, Bologna, Il Mulino, 1986.

[51] N. Rosenberg, *Technological Change in the Machine Tool Industry, (1840-1910)*, in «Journal of Economic History», XXIII (1963), n. 4, ora in N. Rosenberg, *Perspectives on Technology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1976, pp. 9-31.

chine da cucire, prima e di biciclette e motociclette, poi a sviluppare la domanda di macchine utensili.

L'industria delle macchine utensili fu dunque generata dai bisogni di macchinario posti da una successione di industrie particolari. A partire dalle esigenze di un settore specifico, inizialmente quello tessile, questi stabilimenti iniziarono a produrre macchine per una varietà di altre industrie grazie al fatto che le capacità tecniche acquisite nell'industria di partenza trovavano diretta applicazione in altri comparti. Ma il fatto più rilevante di questo processo di diffusione è che questo settore fu caratterizzato dalla introduzione di un numero relativamente piccolo di processi produttivi simili, caratterizzati dalla lavorazione di precisione dei metalli e dall'uso di forza motrice decentrata. Infatti l'impiego di macchine per la lavorazione dei metalli richiede un numero di operazioni relativamente ridotto, alle quali è dedicata ciascuna macchina: tornitura, alesatura, trapanatura, fresatura, piallatura, rettifica, lucidatura. Inoltre tutte le macchine hanno di fronte gli stessi problemi legati alla trasmissione della forza motrice, i dispositivi di comando, i meccanismi di alimentazione, la riduzione dell'attrito e tutta la gamma dei problemi connessi alle proprietà dei metalli che vengono lavorati. Fu proprio a causa del fatto che questi problemi divennero comuni alla produzione di un'ampia gamma di prodotti che industrie merceologicamente assai diverse divennero «tecnologicamente convergenti». Il livello di specializzazione generato dalla sequenza non sarebbe stato possibile se vi fosse stata soltanto disintegrazione verticale – ossia la tendenza delle singole fasi costituenti il processo produttivo di un prodotto ad autonomizzarsi – senza convergenze. Ad esempio, imprese che avessero prodotto soltanto fresatrici non sarebbero emerse se solo il settore della costruzione di armi ne fosse stato il cliente e l'intero fronte dell'innovazione nel settore non sarebbe avanzato se non vi fosse stato un complesso processo di *feedbacks* tra soluzioni adottate in un settore e loro utilizzazione in settori attigui. Il celebre tornio a *revolver*, che permette di disporre su un tamburo girevole gli utensili destinati a intervenire successivamente nella tornitura, ricevette tutta una serie di miglioramenti e ne indusse in settori completamente diversi come le macchine da cucire, gli orologi, le macchine da scrivere, le biciclette, e perfino dal settore della lavorazione dei metalli che contribuì a accrescerne la velocità di lavorazione dei pezzi.

Come si è già ricordato, in Italia non vi è traccia di questo processo di «convergenze tecnologiche», localizzato, negli Stati Uniti, nel periodo 1830-1850. Soltanto verso la fine del secolo iniziò la produzione di alcuni tipi di operatrici elementari come torni paralleli, fresa-

trici e limatrici, da parte di imprese presenti soprattutto in Piemonte e Lombardia, come Zust a Intra, Pensotti a Busto Arsizio, Franchi a Brescia, Conti a Varese, Ceruti a Milano, Buzzi e Restellini ancora a Intra.

In linea generale, si può osservare che, in Italia, la diffusione di un processo di convergenze tecnologiche fu ostacolato dalla forte dipendenza dei produttori dalla domanda che esprimeva l'esigenza di pezzi specifici per costruzioni che, come si è già notato, erano in genere molto più complicate di quelle americane dove il sistema ebbe la maggiore diffusione. L'industria del motociclo, esemplifica bene la differenza tra gli «stili tecnologici» della meccanica di qua e di là dell'Atlantico. Le motociclette americane erano relativamente semplici dal punto di vista costruttivo, sia meccanico che motoristico, di grandi dimensioni e di consumi elevatissimi. Quelle italiane, come quelle inglesi, erano invece più piccole, assai complesse sotto il profilo costruttivo e, soprattutto, più efficienti [32].

Tuttavia sembra che anche in Italia si siano verificate forme di convergenza tra costruttori di macchine tessili e settori collegati: biciclette, macchine da cucire. La presenza nelle stesse aree (ad esempio nelle valli del bresciano) di industrie che operavano in tutti e tre i settori costituisce un argomento debole. Infatti quasi tutti i lavori che descrivono in prospettiva storica i caratteri qualitativi del settore delle macchine utensili italiano fino alla seconda guerra mondiale annotano, su scala nazionale, la mancanza di specializzazione e, soprattutto, la limitata applicazione dei concetti di normalizzazione e di unificazione industriale che rendono relativamente possibile la specializzazione del prodotto senza concentrazione industriale [33].

Sono questi due concetti invece che spiegano, il successo della industria tedesca delle macchine utensili. Come è noto, in Europa non si realizzò, fino al secondo dopoguerra, un mercato di massa del tipo di quello cresciuto in America nel periodo tra le due guerre. In nessun paese europeo, pertanto, esistevano le condizioni di domanda per assicurare alla industria delle macchine utensili lo sviluppo delle macchine speciali, dedicate cioè a una sola fase lavorativa.

I costruttori europei più avveduti, in Germania essenzialmente,

[32] A. G. Luraschi, *Storia della motocicletta*, 2 voll., Milano, Edisport, 1969.

[33] F. Magri, *L'industria delle macchine utensili in Italia*, in «L'Ingegnere», XXIII (1949), n. 4, pp. 365-376. S. Leporatti, *L'industria italiana delle macchine utensili* in «Produttività», IV (1953), n. 10, pp. 899-908; n. 11, pp. 1011-1042; F. Puzzo, *I problemi dell'industria italiana delle macchine utensili*, in «L'Ingegnere», XXVIII (1954), n. 9, pp. 1033-1037.

riuscirono tuttavia a costruire macchine tecnologicamente moderne che a una notevole capacità produttiva accoppiavano la flessibilità e la versatilità propria delle macchine universali. La via fondamentale per questa soluzione fu, come si è detto, la normalizzazione e la standardizzazione dei prodotti, mediante norme dettate da organismi tecnici speciali che, soprattutto in Germania, operarono in tutti i settori a partire dalla fine del secolo e che furono alle origini del successo non solo nel settore delle macchine utensili, ma anche delle macchine per produrre macchine in generale[34]. In Italia, tali organismi non riuscirono a costituirsi che dopo il 1935, quando si costituì sia l'UNI, il Comitato per la unificazione che comprendeva una specifica sezione per le macchine utensili, e anche quando lo fecero precocemente, come nel caso del Comitato Elettrotecnico Italiano (1898), non riuscirono a incidere concretamente sul processo di normalizzazione delle apparecchiature, oscillando tra diversi sistemi[35].

5.2. La seconda onda dell'industrializzazione

Se la prima onda di industrializzazione è caratterizzata dalla diffusione di una «tecnologia meccanica», la seconda onda di industrializzazione non presenta alcuna caratterizzazione esclusiva. Sono infatti diverse le fonti del cambiamento tecnico che emergono a partire dal 1860 circa. Se si vuole trovare, anche in questa fase, un tratto caratterizzante lo si può identificare nel fatto che una quota crescente dei cambiamenti tecnici registrati dipende da precedenti avanzamenti nel campo della scienza, intesa come conoscenza sistematica delle forze della natura e dell'universo fisico.

Come è noto, la tecnologia meccanica che caratterizza la prima onda di industrializzazione deve relativamente poco alla conoscenza scientifica e ha i suoi fondamenti soprattutto nel lavoro empirico. Le nuove fonti del cambiamento tecnico emerse nell'ultimo quarto del diciannovesimo secolo hanno invece il loro fondamento in due settori nuovi, il chimico e l'elettrico, che dipendono in maniera sostanziale

[34] B. Dornseifer, *Competitive Strategies, Corporate Structures and the Evolution of Innovation Capabilities. German Firms in Comparative Perspective*, lavoro presentato al Workshop su *Sources and Diffusion of Innovation*, Berlino, 12-13 luglio 1991.

[35] R. Giannetti, *Electrical Engineers and the Establishing of Standard in Italian Electrical Network 1900-1930*, in *Electricité et électrification dans le monde*, a cura di M. Trede, cit.

dall'esistenza di un *corpus* di conoscenze scientifiche in nessun modo realizzabili attraverso l'esperienza empirica [56].

In realtà, questa dipendenza dell'innovazione dalla crescente applicazione di conoscenze scientifiche è evidente anche in settori più tradizionali come la metallurgia. Quest'ultima, nel corso della prima onda della industrializzazione, si era basata fondamentalmente su un processo empirico di avanzamento tecnologico. Il cambiamento di questo modo di procedere appare per la prima volta con l'introduzione del processo Bessemer di produzione dell'acciaio. Come è noto, la diffusione di questo processo in Inghilterra fu ostacolata dalla diversa qualità della ghisa utilizzata in Inghilterra rispetto a quella svedese utilizzata da Bessemer. Fu il lungo processo per accertare la causa di questo mancato funzionamento a introdurre nella produzione di acciaio lo studio sistematico delle caratteristiche fisico-chimiche dei materiali e delle trasformazioni da essi subite nel corso del processo di fabbricazione, e a scoprire che il processo Bessemer funzionava correttamente soltanto quando venivano impiegate ghise a basso contenuto di fosforo. Nella stessa direzione si mosse la ricerca che condusse alla introduzione del processo Thomas. Quest'ultimo cercò infatti di superare il vincolo di utilizzazione del minerale di ferro ricco di fosforo, indagando la struttura dei metalli. A questo processo di crescita contribuì in modo determinante la ricerca condotta in altri campi come la cristallografia prima e, poi, la microcristallografia, che chiarirono molti annosi problemi della lavorazione e, soprattutto, della resistenza e della durata del ferro e dell'acciaio. In termini generali, fu la conoscenza dei comportamenti degli atomi e delle molecole che rese possibile una più accurata lavorazione dei metalli, fino a crearne di interamente nuovi combinando le proprietà richieste. Si introdussero così gli acciai rapidi che permettevano una più veloce lavorazione e gli acciai speciali, dotati di particolari qualità: resistenza alla pressione o a particolari agenti chimici, che contribuirono grandemente alla utilizzazione di nuovi processi in altri campi. Il processo Fauser per la produzione dell'ammoniaca, ad esempio, fu possibile solo quando si resero disponibili acciai resistenti alle alte pressioni che esso richiedeva.

In linea generale, le invenzioni permesse dalla seconda onda di industrializzazione permisero l'allentamento di un secolare vincolo allo

[56] N. Rosenberg, *Science and Technology in the Twentieth Century*, in *Technology and Enterprise in a Historical Perspective*, a cura di G. Dosi, R. Giannetti e P. A. Toninelli, cit., pp. 63-96. J. Mokyr, *The Lever of the Riches: Technological Creativity and Economic Progress*, Oxford, Oxford University Press, 1990, specialmente il capitolo 6.

sviluppo, la scarsità di materie prime. La possibilità di introdurre succedanei sintetici in molti campi: la gomma, il rame, il carbone, per ottenere prodotti fondamentali sollevò grandi speranze nei paesi giunti in ritardo allo sviluppo economico.

In Italia, questo aspetto è particolarmente evidente nel campo della chimica e della elettricità.

5.2.1. *L'elettricità*

La mancanza di un'adeguata offerta di fonti di energia era stata sempre considerata in Italia un vincolo insuperabile a uno sviluppo moderno e aveva anche costituito la base del ricorrente dibattito tra liberisti e protezionisti, con i primi a difendere i vantaggi comparati nei settori a basso contenuto di energia, e i secondi a invocare protezioni per importare le materie prime assenti e innescare così il circolo virtuoso della industrializzazione. Le innovazioni messe a disposizione dalla seconda «rivoluzione industriale» fecero pensare alla possibilità di una «terza via» che, attraverso la sostituzione delle materie prime mancanti con materiali di sintesi realizzati con materie prime nazionali, permettesse di procedere a una industrializzazione senza i troppi sacrifici dal lato dei consumi richiesti dal modello protezionista tradizionale, più o meno corrispondente al modello di sviluppo italiano effettivo secondo Bonelli [57]. In questo senso «la conquista della forza» rappresentò il progetto trainante di questo tentativo, che durò, con molte ambiguità, fino agli anni '20 del ventesimo secolo, ma che contribuì a disegnare i tratti della struttura industriale italiana ben dentro gli anni '50 [58].

La possibilità di produrre energia elettrica sfruttando le cadute dei fiumi alpini, fece pensare alla definitiva liberazione dal vincolo della importazione di carbone e a tutto quello che significava per lo sviluppo di una industria nazionale moderna. Tutti i settori che la componevano apparvero infatti suscettibili di sostanziali miglioramenti attraverso l'utilizzazione della energia elettrica. Nel campo della siderurgia, ad esempio, divenne possibile la produzione di ferro e acciaio di elevata purezza attraverso il trattamento dei rottami, mentre nella

[57] F. Bonelli, *Il capitalismo italiano. Linee generali di interpretazione*, in «Annali della Storia d'Italia», Torino, Einaudi, 1978, vol. I, pp. 1126-1255.

[58] F. S. Nitti, *La conquista della forza. L'elettricità a buon mercato. La nazionalizzazione delle forze idrauliche*, in F. S. Nitti, *Scritti di economia e finanza*, vol. III, parte II, a cura di D. Demarco, Bari, Laterza, 1966.

chimica divenne possibile la produzione di fertilizzanti attraverso la sintesi dell'acetilene. Il carburo di calcio, combinato con l'azoto atmosferico attraverso un procedimento che utilizzava l'arco elettrico, dava la calciociannamide, un importante fertilizzante. L'energia elettrica permise altresì di ottenere l'alluminio dalla bauxite. L'alluminio, oltre ad avere delle applicazioni legate alle sue caratteristiche di leggerezza e bassa densità, come l'utensileria, era un eccellente sostituto del rame in moltissime utilizzazioni [59]. Anche nel settore delle fibre artificiali l'utilizzazione della energia elettrica permise lo sviluppo eccezionale della produzione del rayon, del quale l'Italia divenne rapidamente il secondo produttore mondiale dopo gli Stati Uniti [60].

5.2.2. *La siderurgia elettrica*

È per i motivi visti sopra che l'Italia divenne rapidamente uno dei principali produttori mondiali di acciaio elettrico [61]. Strutturalmente la siderurgia al forno elettrico presentava infatti alcune caratteristiche che la rendevano più adatta alle condizioni del tessuto produttivo italiano. La prima era la flessibilità del processo di produzione di fronte a una domanda, strutturalmente variabile e estremamente varia quanto a tipologia dei prodotti, quale era quella proveniente dalla industria meccanica italiana. La seconda era l'assenza di significative economie di scala, tipiche della produzione di ghisa e acciaio all'altoforno. Questa traiettoria, affermatasi nel corso della prima guerra mondiale, si sviluppò particolarmente nei primi anni '30 quando la destinazione siderurgica dell'energia elettrica si rivelò in grado di soddisfare contemporaneamente le esigenze di flessibilità e di immobilizzazioni modeste dei siderurgici e la vendita di energia per gli elettrici, la cui domanda tradizionale era diminuita per la crisi. E si consolidò ancora nella seconda parte degli anni '30 quando, in clima autarchico, i forni elettrici si rivelarono in grado di alimentare alcune interdipendenze settoriali strategiche. Ad esempio, i forni Tysland-Hoile potevano produrre ghisa partendo dalle ceneri di pirite, prodotto di scarto della lavorazione della pirite per ottenere acido solforico. Questa strategia di fondo fu solo parzialmente ostacolata, nel corso della seconda metà degli anni '30, dai fautori della siderurgia a ciclo integrale che

[59] R. Carmina, *L'alluminio*, in «L'Industria mineraria», V (1954), n. 2, pp. 61-90.
[60] L. Fouquet, *Histoire de la rayonne et des textiles synthétiques*, Paris, 1960.
[61] R. Giannetti, *Elettricità ed industrializzazione dall'età del decollo alla Seconda guerra mondiale*, in «Società e storia», 33 (1986), pp. 596-618.

puntava tutte le sue *chances* sulle economie di scala, statiche e dinamiche[62]. In realtà, come in quasi tutti i settori, il declino della siderurgia al forno elettrico, peraltro brillantemente superato a partire dagli anni '70, fu dovuto alle difficoltà incontrate nello stabilire, a livello nazionale, quei «legami critici» con la ricerca scientifica e di laboratorio che permettevano, nello stesso periodo, ad altre siderurgie elettriche, come quella svedese, di dedicarsi alla produzione di acciai speciali. Se si escludono alcune esperienze come quella della Afl Falck, in generale, in Italia, la produzione di ghisa e acciaio al forno elettrico continuò a svolgersi in impianti di piccole dimensioni e dispersi che funzionavano a ciclo interrotto e che avevano rendimenti assai modesti poiché non erano in grado di recuperare il gas e il calore sviluppati.

5.2.3. *La chimica*

Anche la chimica italiana puntò assai fortemente sull'utilizzazione dei processi elettrici alternativi a quelli da carbone per la produzione di numerosi prodotti, specialmente nel ciclo dell'ammoniaca, ma anche per la produzione di idrogeno, per la preparazione della soda e dell'acido solforico[63].

In Italia, il principale prodotto chimico, fino al 1910, fu il carburo di calcio la cui produzione venne iniziata dalla Terni nel 1898. Il carburo di calcio era inizialmente utilizzato per la fabbricazione di acetilene da illuminazione ma, a partire dal 1905, fu destinato prevalentemente alla fabbricazione della calciociannamide da cui si ricavava l'ammoniaca, base per i fertilizzanti. Dal 1902 fu iniziata la fabbricazione della soda caustica elettrolitica a Bussi. Nel 1904 fu altresì costituita la Società italiana per la fabbricazione dei prodotti azotati attraverso l'elettrolisi che rappresenta il primo tentativo industriale nel mondo. In realtà si dovette attendere il processo Fauser per avere, nel 1920, un impianto sperimentale in grado di produrre regolarmente un centinaio di kg di ammoniaca al giorno. Questi processi dipendevano sostanzialmente dalla disponibilità e dal prezzo dell'energia elettrica e quando questi cambiarono la chimica italiana non fu in grado di procedere oltre nella traiettoria elettrica. Lo sviluppo dei rami dei diversi prodotti di base richiedeva capacità e conoscenze nel

[62] *Acciaio per l'industrializzazione: contributo allo studio del problema siderurgico italiano*, a cura di F. Bonelli, Torino, Einaudi, 1982.

[63] V. Zamagni, *L'industria chimica in Italia dalle origini ad oggi*, in *Montecatini 1888-1966*, a cura di F. Amatori e B. Bezza, cit.

campo della ricerca di base [64] e, soprattutto, nella sperimentazione impiantistica che erano assai difficili da trovare nella chimica italiana.

Interessante appare, in questo senso, il caso dei coloranti. Essi rappresentavano, fin dalle origini del settore, il ramo principale dei prodotti chimici. Il problema centrale della industria dei coloranti risiedeva nella fabbricazione di prodotti intermedi, che si ricavavano, prevalentemente, da idrocarburi aromatici ricavati dal catrame di carbone fossile e che erano alla base di tutti i coloranti, sia allo zolfo che di quelli azoici. Come si vede, la base dei prodotti intermedi era il carbone, materia prima assente in Italia. Nel primo dopoguerra, l'entusiasmo per i processi elettrolitici, si estese alla fabbricazione dei coloranti. Si tentò di ottenere questi intermedi utilizzando i processi elettrolitici. In particolare si cercò di utilizzare il clorobenzolo ottenuto per elettrolisi della soda caustica. I risultati furono molto modesti, soprattutto in termini di costo, per le enormi difficoltà e le complicazioni che emersero al semplice passaggio su una scala di produzione di diverso ordine [65].

6. Sviluppo economico e produzione di massa

Il tratto fondamentale del mutamento tecnico nel secondo dopoguerra è rappresentato dalla diffusione in molti settori (in particolare quello siderurgico, delle costruzioni navali, della chimica, delle costruzioni di mezzi di trasporto, della produzione di energia) degli impianti di grandi dimensioni in grado di sfruttare le economie di scala, cioè produrre a costi minori attraverso impianti di dimensione unitaria più elevata. Come è noto dalla storiografia questo passaggio è collegato alla diffusione anche in Europa delle tecniche e della organizzazione aziendale proprie della produzione di massa che era stata sviluppata negli Stati Uniti nel periodo tra le due guerre mondiali [66]. La comunità degli ingegneri e il *management* sono considerati i protagonisti di questo processo in cui la supremazia tecnologica e il successo com-

[64] Sulla ricerca chimica cfr., ad esempio, P. P. Saviotti, *Il ruolo della ricerca e della tecnologia nello sviluppo della Montecatini*, in *Montecatini 1888-1966*, a cura di F. Amatori e B. Bezza, cit., pp. 357-412.

[65] C. Bianchi, *L'evoluzione delle vernici in Italia*, in «Pitture e Vernici», IV (1948), n. 4, pp. 183-185.

[66] V. Zamagni, *The Italian Economic Miracle Revisited: New Markets and American Technology*, in *Power in Europe?: Great Britain, France, Germany and Italy and the Origins of the Eec, 1952-1957*, a cura di E. Di Nolfo, Berlin-New York, W. De Gruyter, 1992, pp. 197-226.

merciale andavano insieme. Questo modello tecnico-organizzativo del capitalismo industriale si affermò con qualche difficoltà nel corso degli anni '50 in tutti i paesi europei[67]. In Italia esso investì prima il settore siderurgico e quello petrolchimico e fu adottato per lo più dalle imprese pubbliche (Finsider, Eni). L'impresa privata, ad eccezione del settore della costruzione dei mezzi di trasporto (Fiat), fu molto più cauta nell'adozione di queste tecnologie come dimostra il caso della chimica (Montecatini) e della produzione di energia elettrica. Queste imprese adottavano in genere una forma organizzativa e tecnologie più flessibili per fare fronte a una domanda globalmente più ristretta, che favoriva la ricerca di economie di ampiezza più che quelle di scala. L'efficienza del processo di produzione veniva conseguita piuttosto attraverso il coordinamento degli impianti e la standardizzazione delle componenti dei prodotti attraverso norme unificate, piuttosto che attraverso la crescita della dimensione unitaria[68]. Anche nell'industria meccanica il passaggio fu molto controverso, stretto tra le polemiche sulla natura artigianale della produzione meccanica italiana e la rivendicazione dei vantaggi della meccanica non di massa[69]. Tuttavia verso la fine degli anni '50 anche l'Italia era avviata globalmente sulla strada dei grandi impianti, che si diffusero su larga scala nel corso degli anni '60 con le correlate trasformazioni organizzative proprie della grande impresa manageriale[70].

Tuttavia, proprio nello stesso periodo in cui le grandi dimensioni degli impianti conoscevano il punto di maggiore successo e si diffondevano anche in Europa e in Italia, le basi tecnologiche di questo successo cominciavano a ridursi. Il funzionamento dei grandi impianti cominciò a presentare sempre più spesso soglie critiche inattese dai progettisti. Negli impianti siderurgici, in quelli chimici e in quelli per la produzione di energia elettrica cominciarono a manifestarsi guasti

[67] A. Chandler, P. L. Payne, J. Kocka e K. Yamamura, *Evoluzione della grande impresa e management: Stati Uniti, Gran Bretagna, Germania, Giappone*, Torino, Einaudi, 1979.

[68] Cfr., ad esempio, per la meccanica, I. M. Secchi, *Le unificazioni per la meccanica realizzate nel dopoguerra*, in «Produttività», VIII (1957), n. 4, pp. 325-332. Per la siderurgia cfr. A. Coquet, *L'unificazione come strumento di produttività presso una grande industria siderurgica*, in «Fonderia», suppl. «Macchine», I (1952), n. 6, pp. 263-267.

[69] Per la prima posizione si può vedere, ad esempio, S. Manghi, *Industria meccanica o artigianato?*, in «l'Ingegnere», XXIII (1949), n. 12, pp. 1313-1316; per la seconda, E. Vandone, *Ordinamento e rendimento della industria meccanica non di massa*, in «L'Ingegnere», XXVI (1952), n. 3, pp. 279-285.

[70] R. Pavan, *Strutture e strategie delle imprese italiane*, Bologna, Il Mulino, 1976. Per una caratterizzazione più critica, cfr. G. Martinoli, *Trasformazioni dell'organizzazione aziendale in funzione del progresso tecnologico (1945-1960)*, Bologna, Il Mulino, 1961.

inattesi, dovuti al cedimento di parti metalliche in condizioni critiche di temperatura e pressione, dovuti a cause che si rivelarono di assai difficile soluzione [71]. Il controllo della chimica dell'acqua, ad esempio, divenne sempre più difficile. In generale, le reazioni chimiche avvengono a una velocità doppia quando la temperatura aumenta di 10 gradi Celsius. Così un aumento di 100 F faceva crescere la corrosione di ben 50 volte. L'uso di metalli speciali non si rivelò in grado di risolvere il problema. Anch'essi mostrarono ben presto problemi di comportamento anomali, oltre ad avere costi assai elevati che abbassavano parecchio la convenienza della grande scala. I due punti critici fondamentali furono però altri. Con il crescere della scala diminuiva più che proporzionalmente l'affidabilità degli impianti. Frequenti interruzioni dovute a guasti inattesi provocarono così aumenti di costi assai pesanti per settori nei quali continuità e regolarità del servizio sono essenziali per il conseguimento delle economie di scala. I grandi impianti sono in genere più complessi e, anche in questo caso, si osservò che la possibilità di guasti aumentava più che proporzionalmente con il crescere della complessità. Nel campo delle unità di produzione elettrica, ad esempio, la maggiore efficienza termica degli impianti di grande scala era più che controbilanciata dalle difficoltà nei sistemi di valvole per la regolazione e da più lunghi tempi di manutenzione. C'erano infatti più tempi morti a causa del tempo necessario per il raffreddamento delle parti da sottoporre a interventi.

Infine, divennero sempre più rilevanti le diseconomie esterne dovute alle perdite e agli scarichi dei grandissimi impianti, i cui costi non erano più sostenibili per le comunità vicine a questi impianti.

Anche nel campo della produzione delle tecnologie lo «stile» di progettazione legato alla grande scala divenne meno efficiente. Nel campo della progettazione, ad esempio, gli anni '60 videro la diffusione della progettazione per estrapolazione. Il passaggio alla produzione industriale di prodotti di scala più grande avveniva semplicemente estrapolando a questa nuova scala le caratteristiche del prodotto più piccolo, come avvenne in Italia, ad esempio, nella progettazione degli impianti termici da 320 MW unitari e delle linee di trasmissione a 380 kV [72]. Il passaggio alla produzione industriale di parti di impianti

[71] D. Sahal, *Patterns of Technological Innovation*, London, Addison Wesley, 1981. R. F. Hirsh, *Technology and Transformation in the American Electric Utility Industry*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.

[72] R. Giannetti, *Le relazioni industriali all'Enel (1963-1986): strategia e struttura*, in *Le relazioni industriali all'Enel*, a cura di A. Accornero e T. Treu, Milano, Angeli, 1989, p. 40.

senza un'adeguata sperimentazione di prototipi si rivelò esiziale per il loro funzionamento. Nel campo degli impianti elettrici, ad esempio, enormi problemi emersero nel funzionamento delle pale delle turbine a bassa pressione. Le lame dovevano resistere al vapore che le attraversava sia a velocità subsonica che supersonica, creando giganteschi problemi ai progettisti.

La fiducia che aveva accompagnato la diffusione delle tecnologie legate alla grande scala e alla produzione di massa venne scossa anche dalle crescenti difficoltà a coordinare le previsioni sulla domanda con le condizioni oligopolistiche dei mercati e le grandi spese necessarie per farvi fronte. Cedimenti della domanda potevano diventare esiziali per imprese e settori interi, come avvenne, in Italia, per le costruzioni navali, la chimica e la siderurgia negli anni '70, dove il restringimento della domanda fu accompagnato da problemi finanziari e organizzativi. Ancora, l'uscita anche di un solo concorrente in mercati così concentrati poteva spingere le imprese rimanenti a coprirne le quote con politiche di crescita molto aggressive che potevano avere effetti devastanti sulla capacità utilizzata, nel medio periodo [73].

7. L'automazione

Con gli anni '80, sono cominciate a emergere alcune condizioni tecnologiche nuove, capaci di ovviare ad alcune delle difficoltà sopra ricordate. Il passaggio fondamentale è rappresentato dalla diffusione dell'automazione dei processi di produzione. L'automazione (elettronica) si distingue da quella elettromeccanica per la programmabilità dei compiti delle singole macchine o di interi sistemi. Programmabilità resa possibile dalla disponibilità di microprocessori e altri apparati elettronici. Queste forme di automazione hanno permesso di aumentare la flessibilità della produzione su larga scala (è noto come su linee di produzione elettroniche si possano mutare con relativa facilità le caratteristiche dei prodotti a seconda delle variazioni della domanda). Inoltre l'automazione ha permesso la riduzione della soglia dimensionale economicamente efficiente. In Italia questo processo ha assunto proporzioni piuttosto ampie, riflesse nella riduzione della dimensione media degli impianti industriali registrate nei censimenti del

[73] Per la siderurgia cfr., ad esempio, M. Balconi, *La siderurgia italiana 1945-1990. Tra controllo pubblico e incentivi di mercato*, Bologna, Il Mulino, 1992. Per la chimica è esemplare la vicenda della Montedison; cfr. A. Marchi e R. Marchionatti, *Montedison (1966-1989)*, Milano, Etas, 1993.

1981 e 1991 e nella diffusione degli automi che vede l'Italia al secondo posto nel mondo per numero di automi presenti negli impianti di produzione[74]. L'industria e la tecnologia italiana hanno dunque mostrato ottime capacità nello sviluppo delle interfacce tra elettronica e meccanica per una vasta gamma di apparati industriali elettronici e macchine industriali. Meno favorevoli sembrano essere tuttavia altre due condizioni necessarie per la diffusione delle nuove opportunità tecnologiche all'interno di un sistema industriale. La prima è rappresentata dalla relativa debolezza della ricerca scientifica che sostiene questo processo. Come è noto, le opportunità tecnologiche dell'automazione dipendono dalla esplorazione scientifica delle proprietà dei semiconduttori e dagli sviluppi delle discipline logico-informatiche. Questa avviene in Università e laboratori di ricerca il cui contributo è, quanto meno, difficile da valutare. Assai debole è invece la terza condizione da cui dipende la diffusione sistemica dell'innovazione. Essa dipende dalla importanza delle asimmetrie tecnologiche tra agenti economici che possono impedire la diffusione dei processi automatici. Ad esempio, l'adozione può essere ritardata per la diversa scala di produzione di coloro che intendono adottare l'innovazione, sono diverse le capacità tecnologiche e le aspettative sulla evoluzione delle tecnologie in questione, cosicché vi sono asimmetrie nell'uso efficiente delle nuove tecnologie.

Si tratta di aspetti assai importanti che investono anche il giudizio storico di lungo periodo sulle caratteristiche delle capacità tecnologiche italiane nel lungo periodo, di cui si tenta una breve sintesi nelle conclusioni.

8. Conclusioni

Il progresso tecnico nella esperienza italiana degli ultimi cento anni si è evoluto secondo un modo che potremmo definire come «lasciarsi trascinare dall'ambiente». L'Italia ha cioè partecipato alle discontinuità tecnologiche che si sono succedute nel corso del secolo considerato: la meccanizzazione, la crescita del peso della scienza nell'orientamento del mutamento tecnico, le tecnologie della produzione di massa e l'automazione; tuttavia la selezione delle tecnologie è avvenuta in modo da permettere il loro adattamento ai cambiamenti ambientali, ma non di migliorare l'ambiente stesso. Non si è verificato,

[74] *Strategie di riaggiustamento industriale*, a cura di M. Regini e C. Sabel, Bologna, Il Mulino, 1989. R. Camagni, *Il robot italiano*, Milano, Edizioni Il Sole-24 Ore, 1984.

cioè, un miglioramento delle caratteristiche genetiche e quindi non è migliorata la probabilità di successo. La tecnologia italiana si è evoluta in un modo che le ha permesso semplicemente di «lasciarsi rimorchiare», ovvero di stare al passo con l'ambiente in continuo cambiamento. Questo modo di procedere non esclude la crisi anche rapida di tecnologie, come nel caso della chimica inorganica negli anni '60, ma, in generale, un cambiamento troppo rapido dell'ambiente potrebbe avere effetti assai gravi a livello di sistema, esercitandosi su una quantità e qualità di risorse «genetiche» che in quanto tali delimitano il campo degli adattamenti possibili al cambiamento dell'ambiente [75].

Le capacità tecnologiche italiane, proprie per quella caratteristica generale sopra descritta, mostrano anche una notevole stabilità. Esse evolvono, nel lungo periodo, per piccoli cambiamenti, e i tipi di tecnologie che si sono evolute sono state rigorosamente limitate a quelle che avevano una forte somiglianza con i loro immediati antenati. Questo, a sua volta, ha fatto sì che anche i cambiamenti indotti nell'ambiente siano stati piccoli e continui nello spazio, e rivolti verso nuove nicchie molto vicine alle vecchie. È impressionante, ad esempio, nel lungo periodo, la stabilità dei casi di successo nelle tecnologie classificate come avanzate: nelle macchine di precisione, nella farmaceutica e nei prodotti chimici fini; quasi sempre correlate, inoltre, a dimensioni medie delle imprese.

L'immagine del cambiamento che ne risulta è quella di uno spostamento lentissimo della nicchia nello spazio che la delimita, spostamento associato con un lento cambiamento della tecnologia che si trova sempre leggermente all'indietro, sempre un poco disadattata.

L'ultima caratteristica è l'assenza di integrazione e complementarità tra le tecnologie sviluppate nell'industria italiana. Il processo di produzione dei prodotti mostra sempre un qualche «vuoto» nel flusso della produzione. La letteratura di politica industriale presenta in proposito una vasta gamma di casi assai simili per tutto il periodo. Nel 1918, ad esempio, si lamentava, da parte della industria elettromeccanica nazionale, un'offerta inadeguata di lamierino magnetico, necessario per la costruzione dei generatori e si richiedevano sussidi pubblici, sotto forme di acquisti preferenziali, per colmare questo *gap* tecnologico. Nel 1958, invece, i produttori di banda stagnata e laminati sottili lamentavano la insufficienza della produzione di *coils* con le caratteristiche adatte per queste lavorazioni da parte dell'industria nazionale, la Cornegliano.

[75] D. S. Wilson, *Species of Thought: a Comment on Evolutionary Epistemology*, in «Biology and Philosophy», 1990, n. 1, pp. 37-62.