

5. Analisi interindustriale e mutamento tecnico

di Salvatore Baldone

1. Introduzione

Nell'esame del funzionamento e della dinamica delle economie industrializzate, gli economisti hanno da sempre riconosciuto un ruolo di rilievo alla tecnologia e alla sua modificazione nel tempo. Le «questioni» della divisione del lavoro in Adam Smith e delle macchine in David Ricardo costituiscono gli esempi classici di un siffatto interesse, interesse che Karl Marx ha esaltato facendo della tecnologia uno degli elementi centrali di mediazione tra l'uomo e le relazioni con l'ambiente materiale esterno. Egli ne offre un'analisi assai ricca che sottolinea le mutue interrelazioni tra progresso scientifico, progresso tecnico e dinamica della società capitalistica.

Nonostante questa consapevolezza della centralità del suo ruolo, la rappresentazione della tecnologia e dei tratti salienti della sua evoluzione non ha trovato per lungo tempo soluzioni analiticamente soddisfacenti all'interno della modellistica teorica soprattutto per quanto riguarda numerosi aspetti strutturali, non immediatamente riconducibili a dimensioni quantitative. Ciò non significa che l'analisi della struttura tecnologica non si sia sviluppata, ma questo è avvenuto al di fuori dell'economia in senso stretto, per opera degli economisti stessi, Marx ne è un esempio, o all'interno di discipline affini come la storia economica o l'economia aziendale, senza che per lungo tempo si siano però manifestati effetti di ricaduta significativi all'interno dell'economia teorica. Se si esclude infatti il tentativo «austriaco» di dar conto delle dimensioni temporali del processo di produzione supponendo che la produzione stessa proceda con una struttura sequenziale di fasi che va dalla prima immissione di fattori originari all'emergere del bene di consumo in un numero finito di stadi, si deve giungere ai più recenti anni trenta perché, sfruttando una serie di elementi già presenti in embrione nelle analisi degli economisti classici, si assista, con scopi spesso diversi, a tentativi di stilizzazioni significative della struttura tecnologica.

Lo sviluppo dell'analisi delle interdipendenze industriali rappresenta uno degli esempi più significativi di questi tentativi. Muovendo dal *Tableau Économique* di François Quesnay e sviluppando i prototipi forniti dagli schemi di riproduzione marxiani, Wassily Leontief ha

sviluppato sul piano teorico ed empirico una strumentazione analitica particolarmente adatta a cogliere tratti essenziali della struttura tecnologica di un sistema economico. I contributi di von Neumann [1945] prima e di Sraffa [1960] successivamente hanno consentito di risolvere, in maniera coerente con la natura degli schemi di analisi interindustriale, la trattazione del capitale fisso.

Quest'ultimo problema ha trovato soluzione anche all'interno della rappresentazione austriaca ad opera di Hayek [1941] e, in maniera più ampia ed analiticamente dettagliata, nella recente riproposta hicksiana [Hicks 1970, 1973].

Una rappresentazione analitica del processo di produzione, per certi versi alternativa, è infine quella proposta negli anni settanta da Georgescu-Roegen [1970, 1971, 1972]. Il modello tende da un lato ad evidenziare la natura sequenziale del processo di produzione e a sottolineare il diverso ruolo in esso svolto dagli elementi flusso e dagli elementi fondo. Per queste caratteristiche lo schema è stato particolarmente utilizzato per analizzare la relazione tra modalità di attivazione nel tempo dei processi elementari e riduzione nei «tempi d'ozio» degli elementi fondo che intervengono nel processo di produzione¹.

Una adeguata rappresentazione della tecnologia non è, ovviamente, fine a se stessa ma costituisce il prerequisito necessario per lo studio dei suoi mutamenti nel tempo e per l'analisi degli effetti che tali cambiamenti possono produrre sulle grandezze economiche. Già a partire dal suo pionieristico lavoro, *The Structure of American Economy*, Leontief ha infatti proceduto alla costruzione di indicatori che consentissero di cogliere ed analizzare le modificazioni nel tempo della struttura tecnologica di un dato paese. La soluzione proposta [Leontief 1951] consiste nell'analizzare la dinamica di indicatori settoriali e globali delle variazioni dei coefficienti tecnici di produzione nonché della produttività del lavoro. In particolare quest'ultimo tipo di indicatori è stato successivamente sviluppato ed utilizzato da Anne Carter [1970].

Sia l'esame diretto delle modificazioni intervenute nei singoli coefficienti tecnici di produzione che l'analisi delle variazioni nel tempo dei requisiti diretti ed indiretti di lavoro, pur consentendo di cogliere elementi significativi nella valutazione del mutamento tecnico, finiscono con il trascurarne uno fra i più interessanti, vale a dire l'effetto sui prezzi relativi delle merci.

Tale aspetto dell'analisi del mutamento tecnico è rilevante non

¹ Su questi temi, oltre ai lavori di Georgescu-Roegen, si vedano anche Tani [1976] e [1986]. Per alcuni notevoli precedenti storici di questo tipo e per un più generale discorso sulle relazioni tra livelli di attivazione ed efficienza dei fattori produttivi, si veda Scazzieri [1981].

solo in sé, ma soprattutto per le ripercussioni che il mutamento dei prezzi relativi ha all'interno di ciascun settore produttivo e sull'intero sistema economico per le valutazioni degli effetti in termini di variazioni di redditività.

In anni recenti sono apparsi nella letteratura economica² alcuni contributi in cui si è cercato di utilizzare per lo studio del mutamento tecnico l'apparato analitico elaborato da Sraffa nell'ambito dell'analisi delle interdipendenze settoriali. L'utilizzo della relazione funzionale tra le variabili distributive, che può essere ricavata dal sistema dei prezzi per ogni data tecnica produttiva, consente di studiare il mutamento tecnico in termini del cambiamento che interviene sulle possibilità distributive di un dato sistema economico. Questo approccio permette di tener conto, nella valutazione del mutamento tecnico, delle modificazioni che questo apporta ai prezzi relativi nonché di collegare l'aspetto puramente tecnologico del mutamento nella struttura produttiva con le possibili modificazioni che esso può apportare alle potenzialità distributive del reddito nel lungo periodo³.

Scopo del presente lavoro è, da un lato, quello di evidenziare la capacità dello schema delle interdipendenze settoriali di descrivere dettagli anche qualitativi nella strutturazione dei processi produttivi ponendo l'attenzione sulle modificazioni nella durata dei processi produttivi e, allo stesso tempo, di analizzare, attraverso un percorso storico prospettico, gli effetti tendenziali sulla redditività del sistema economico di alcune forme di mutamento della struttura produttiva lungo le linee tracciate da Schefold [1977]⁴.

2. Suddivisione e specializzazione in fasi elementari dei processi di produzione

Parlando della divisione del lavoro come causa dell'aumento di produttività della forza lavoro non si può non rifarsi alle pagine della *Ricchezza delle Nazioni*, dove Adam Smith esamina le circostanze che sono alla base di tale fenomeno: in primo luogo la maggior destrezza che ciascun lavoratore acquisisce specializzandosi in alcune attività produttive soltanto, in secondo luogo il risparmio sul tempo che abi-

² Si vedano, ad esempio, Schefold [1977] e Marzi-Varri [1977].

³ Lo stesso Leontief ha recentemente utilizzato questo strumento in relazione al problema della scelta di nuove tecnologie. Si veda Leontief [1985].

⁴ Non si terrà conto nel presente lavoro di un'altra classe di mutamenti strutturali, quella riguardante le modificazioni nella composizione della domanda finale. Un'analisi dinamica, sia delle modificazioni di tipo tecnologico che di quelle riguardanti la struttura della domanda finale, è fornita, in un contesto interindustriale, da Pasinetti [1981].

tualmente si perde nel passare da un genere di lavoro all'altro ed infine l'invenzione di un gran numero di macchine che facilitano e abbreviano il lavoro e fan sì che una sola persona esegua lo stesso lavoro in precedenza svolto da molte.

Se supponiamo già superati i tempi dell'agricoltore completamente autosufficiente e già emerse le figure specializzate del contadino e dell'artigiano, l'ulteriore manifestarsi delle prime due delle circostanze poste da Smith a base dell'aumento di produttività del lavoro può essere stilizzato, ad esempio, come segue. Si consideri un'economia articolata in n settori produttivi, ciascuno dei quali produce un'unica merce con l'impiego di merci e di lavoro che supporremo omogeneo⁵. Se prevalgono rendimenti costanti di scala, la tecnica di produzione può essere descritta da una matrice $A = [a_{ij}]$, $i, j = 1, 2, \dots, n$, di coefficienti tecnici e da un vettore $a_0 = [a_{0i}]$, $i = 1, 2, \dots, n$, di coefficienti di lavoro. Oltre a quella meramente quantitativa relativa all'impiego dei «fattori», vi è ovviamente una dimensione temporale dei singoli processi produttivi, che è resa uniformando la durata dell'attività di produzione nei singoli settori a quella del processo di durata tecnica più breve (anno) articolandoli in un conveniente numero di fasi produttive parziali⁶ i cui prodotti individuano stati di avanzamento distinti nella produzione delle corrispondenti merci. Un modo per evidenziare e sintetizzare l'informazione economica contenuta nella configurazione tecnica appena descritta è fornita dalla teoria dei prezzi di produzione. Supponendo che il saggio di profitto π sia uniforme e che il salario unitario w , anch'esso uniforme, sia pagato posticipatamente, il sistema dei prezzi può essere espresso come

$$p = (1 + \pi) pA + wa_0$$

dove le componenti del vettore riga $p = [p_i]$, $i = 1, 2, \dots, n$, indicano i prezzi delle diverse merci. Se con le componenti del vettore colonna $c = [c_i]$, $i = 1, 2, \dots, n$, indichiamo un paniere di merci il cui prezzo è assunto come misura dei valori, tra salario reale e saggio di profitto è individuabile una relazione decrescente.

$$[1] \quad w^c = w/pc = 1/\{a_0 [I - (1 + \pi)A]^{-1}c\}$$

⁵ Si tratta di un'ipotesi estremamente restrittiva che non consente di cogliere una delle caratteristiche più interessanti del mutamento tecnico, che è proprio quella di richiedere e di produrre modificazioni nelle qualità, nel ruolo e nell'organizzazione del lavoro. È questo un aspetto particolarmente importante del mutamento tecnico, soprattutto in alcune sue recenti manifestazioni (si veda il parag. 4), che in questo lavoro viene trascurato per limitare opportunamente l'oggetto dell'analisi.

⁶ Si suppone implicitamente che le durate dei diversi processi di produzione siano tutte multipli interi di quella minima.

che descrive lo stato delle possibilità distributive di un'economia «assestata» caratterizzata da una data configurazione tecnica. Mutamenti tecnici produrranno in generale delle modificazioni su A e a_0 e, di conseguenza, sulla relazione descritta dalla [1].

Perché la produttività del lavoro possa migliorare attraverso la specializzazione è dunque necessario che un processo produttivo possa essere ridisegnato come una struttura coordinata di fasi elementari di lavorazione all'interno delle quali lo specifico lavoratore possa esaltare, attraverso la ripetitività, la propria destrezza. Perché questa maggiore efficacia del lavoro nelle singole fasi elementari si traduca in una migliorata efficienza a livello dell'intero processo produttivo è richiesta un'efficace azione di coordinamento nel tempo e nello spazio tra le diverse fasi elementari di lavorazione, che potremmo definire disciplina di fabbrica. Quest'ultima richiede ed impone non solo standardizzazione di tempi e ritmi di lavoro per i diversi lavoratori ma, di per sé, richiede e spinge a realizzare una più precisa ed attenta alimentazione logistica del processo di produzione. Si può dunque pensare che la divisione e specializzazione del lavoro comporti innanzi tutto un incremento nella produttività del lavoro che viene ad evidenziarsi o in un minor requisito del lavoro per unità di prodotto per anno ovvero in una riduzione del tempo di lavorazione a parità di lavoro per unità di prodotto. Il primo caso si verifica, ad esempio, allorché la maggior destrezza si risolve in una riduzione del numero di pezzi difettosi; il secondo invece si configura come una accresciuta rapidità di esecuzione.

Supponiamo dunque che sia la j -esima industria dell'economia ad essere interessata dal fenomeno della divisione del lavoro e che questo si configuri, nella prima delle due situazioni sopra ricordate, nella sostituzione del processo di durata annuale con k attività concatenate di durata, per semplicità supposta uniforme, pari a $1/k$ di anno. Una più accurata organizzazione della produzione consentirà di attribuire parte degli input globali in modo specifico ad almeno una delle singole attività che sono state enucleate. Sul modo di concatenarsi di queste ultime si possono dare due situazioni limite: la prima caratterizzata da una connessione assolutamente sequenziale e la seconda da una attivazione in parallelo delle prime $k-1$ fasi con una fase finale, la k -esima, di assemblaggio. Al fine di conservare l'uniformità nella durata delle fasi elementari dei processi produttivi è necessario procedere ad una parallela articolazione anche degli altri settori dell'economia, tramite l'introduzione di prodotti intermedi fittizi (stadi di avanzamento dei lavori). Tutte le industrie risulteranno pertanto articolate in k attività di durata complessiva pari ad un anno. Indicando rispettivamente con a_{ijt} e a_{0jt} le quantità di merce i e di lavoro impiegate per unità di prodotto nella t -esima attività dell'industria j , le due si-

tazioni sopra ricordate danno luogo, nel caso di un'economia a due industrie di cui la seconda è interessata dall'articolazione in tre fasi produttive, alla rappresentazione riportata nella tab. 5.1.

In entrambi i casi illustrati in tab. 5.1 si ha:

$$a_{i11} = a_{i1} \quad i = 1, 2$$

$$\sum_{i=1}^j a_{i2i} \leq a_{12} \quad i = 1, 2$$

$$\sum_{i=1}^j a_{01i} = a_{01}$$

$$\sum_{i=1}^j a_{02i} < a_{02}$$

TAB. 5.1.

Articolazione in serie

	industria 1			industria 2			
$A =$	0	1	0	0	0	0	stato di avanzam. 1
	0	0	1	0	0	0	stato di avanzam. 2
	a_{111}	0	0	a_{121}	a_{122}	a_{123}	merce 1
	0	0	0	0	1	0	semilavorato 1
	0	0	0	0	0	1	semilavorato 2
	a_{211}	0	0	a_{221}	a_{222}	a_{223}	merce 2

$$a_0 = [a_{011} \ a_{012} \ a_{013} \ a_{021} \ a_{022} \ a_{023}]$$

Articolazione in parallelo

	industria 1			industria 2			
$A =$	0	1	0	0	0	0	stato di avanzam. 1
	0	0	1	0	0	0	stato di avanzam. 2
	a_{111}	0	0	a_{121}	a_{122}	a_{123}	merce 1
	0	0	0	0	0	1	componente 1
	0	0	0	0	0	1	componente 2
	a_{211}	0	0	a_{221}	a_{222}	a_{223}	merce 2

$$a_0 = [a_{011} \ a_{012} \ a_{013} \ a_{021} \ a_{022} \ a_{023}]$$

Integrando temporalmente, mediante l'utilizzo dei prezzi di produzione, le diverse industrie è possibile mettere a confronto la nuova con la vecchia tecnica.

2.1. Articolazione in serie delle fasi elementari

Nel caso di due settori con articolazione in serie e supponendo, anche per il seguito, che il periodo di pagamento dei salari rimanga di un anno⁷ e che l'anticipazione per i consumi intermedi coincida con il momento della loro immissione nel processo produttivo, la tecnica temporalmente integrata diviene

$$A(\pi_k) = \begin{bmatrix} (1 + \pi_k)^2 a_{11} & \sum_{t=1}^k (1 + \pi_k)^{3-t} a_{12t} \\ (1 + \pi_k)^2 a_{21} & \sum_{t=1}^k (1 + \pi_k)^{3-t} a_{22t} \end{bmatrix}$$

$$a_0 = \begin{bmatrix} a_{01} & \sum_{t=1}^k a_{02t} \end{bmatrix}$$

dove π_k indica il saggio di profitto in ragione di $1/k$ di anno corrispondente al saggio annuo π . Sulla base delle ipotesi formulate, il confronto tra la nuova e la vecchia tecnica può, più in generale, porsi nei seguenti termini:

$$[2] \quad \begin{cases} (a) \sum_{t=1}^k (1 + \pi_k)^{k-t} a_{ijt} < (1 + \pi_k)^{k-1} a_{ij} \\ (b) \sum_{t=1}^k a_{ijt} < a_{ij} \\ (c) \sum_{t=1}^k a_{0jt} < a_{0j} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Moltiplicando per $1 + \pi_k$ entrambi i membri della [2a] si ottiene⁸

$$[3] \quad (1 + \pi_k) \sum_{t=1}^k (1 + \pi_k)^{k-t} a_{ijt} < (1 + \pi_k)^k a_{ij} = (1 + \pi) a_{ij}$$

Dalla [3] si deduce che, per quanto riguarda il settore innovato temporalmente integrato, gli elementi della matrice $(1 + \pi_k)A(\pi_k)$ sono minori di quelli della matrice $(1 + \pi)A$ corrispondente alla tecnica non innovata. Ne consegue che il valore del saggio di profitto che fa assorbire ai profitti tutto il sovrappiù del sistema che adotta la tecnica innovata è maggiore di quello della tecnica originaria; per la [2c],

⁷ Per quanto riguarda il sistema dei prezzi ciò comporta che il costo del lavoro sia tutto imputato all'attività conclusiva del processo produttivo, oppure lo sia alla corrispondente attività ma con un costo salariale scontato per tanti periodi quanti sono quelli intercorrenti tra il momento della erogazione del lavoro e la realizzazione del prodotto specifico del settore.

⁸ Come è infatti noto, in regime di capitalizzazione composta l'equivalenza tra il saggio d'interesse su base annua e quello in base $1/k$ di anno è data da $1 + \pi_k = (1 + \pi)^{1/k}$.

tutta la curva salario-profitto relativa alla tecnica innovata viene, pertanto, a spostarsi verso l'esterno.

Va notato che si verterebbe al medesimo risultato qualitativo anche se si supponesse che l'innovazione non comporti alcuna riduzione nei consumi intermedi complessivi per unità di prodotto ma consenta solo di attribuire parte degli input globali in modo specifico ad almeno una delle singole fasi in cui è stato articolato il processo produttivo. Anche in questo caso, infatti, la [3] manterrebbe, per come è stata costruita, il segno di disequaglianza stretta anche se la [2b] valesse con il segno di eguaglianza. L'effetto in termini di miglioramento globale delle possibilità distributive sarebbe dovuto alla riduzione del grado medio di anticipazione del complesso degli input rispetto all'emergere dal processo produttivo del prodotto caratterizzante il processo stesso. Ovviamente, nel caso più generale, a questo effetto positivo sulla «produttività» dei fattori si aggiungerebbe quello della riduzione dei loro impieghi intermedi unitari.

2.2. Articolazione in parallelo delle fasi elementari

Per quanto riguarda il secondo dei due casi presi in considerazione, quello della articolazione in parallelo, l'integrazione temporale delle attività porta alla seguente struttura settoriale dei processi:

$$A(\pi_k) = \begin{bmatrix} (1 + \pi_k)^2 a_{11} & \sum_{i=1}^k (1 + \pi_k) a_{12i} + a_{123} \\ (1 + \pi_k)^2 a_{21} & \sum_{i=1}^k (1 + \pi_k) a_{22i} + a_{223} \end{bmatrix}$$

$$a_0 = \begin{bmatrix} a_{01} & \sum_{i=1}^k a_{02i} / (1 + \pi_k)^{k-2} \end{bmatrix}$$

Il confronto tra la nuova e la vecchia tecnica può pertanto porsi, in generale, nei seguenti termini:

$$[4] \quad \begin{cases} (a) \sum_{i=1}^{k-1} (1 + \pi_k) a_{ijl} + a_{ijk} < (1 + \pi_k)^{k-1} a_{ij} \\ (b) \sum_{i=1}^k a_{ijl} < a_{ij} \\ (c) \sum_{i=1}^k a_{0ji} / (1 + \pi_k)^{k-2} < \sum_{i=1}^k a_{0ji} < a_{0j} \end{cases}$$

Seguendo una procedura analoga a quella impiegata nel caso di articolazione sequenziale, si può facilmente verificare che anche in questo caso la curva delle possibilità distributive relativa alla tecnica innovata si colloca esternamente a quella della tecnica originaria con

aumento, ovviamente, della produttività diretta e totale del lavoro e del saggio massimo di profitto.

Rispetto a quello precedente, il caso in esame presenta alcune difformità. Va infatti notato che nel settore innovato l'articolazione in parallelo di $k-1$ fasi elementari di produzione riduce la durata effettiva del processo di produzione del settore j -esimo a $2/k$ di anno. Ciò è evidenziato nella versione temporalmente integrata della tecnica di produzione dalla diversa omogeneizzazione temporale, rispetto al caso di articolazione in serie, degli input relativi alle diverse fasi temporali nonché dal coefficiente del lavoro che appare scontato per $k-2$ periodi. Quest'ultimo risultato è la conseguenza del fatto che ora il periodo totale di produzione ($2/k$ di anno) non coincide più con il periodo di pagamento dei salari (1 anno). Dal punto di vista della imputazione dei costi il salario unitario deve essere pertanto scontato per $k-2$ periodi elementari il che equivale a supporre che il salario unitario sia pagato per una quantità di lavoro scontata nella medesima maniera.

L'accorciamento del periodo assoluto di produzione nel settore j -esimo ha un duplice ordine di conseguenze sulla redditività dell'economia. In primo luogo, a parità di altre condizioni, vi sarebbe un aumento di redditività anche se il nuovo processo non consentisse alcuna riduzione negli impieghi complessivi di merci per unità di prodotto né alcuna attribuzione di impieghi di merci in forma specifica ad alcuna fase elementare diversa da quelle che operano in parallelo (fasi iniziali). D'altro canto l'effetto sugli impieghi di lavoro ne esalta gli aumenti di produttività legati alla specializzazione. In altri termini, l'aumentata velocità di rotazione del capitale finanziario consente di avere, a parità di profili negli impieghi di consumi intermedi e di lavoro nelle diverse fasi elementari, una più elevata redditività nel caso della articolazione in parallelo rispetto a quella in serie⁹.

Va ancora ricordato che quest'ultima configurazione illustra di fatto i possibili effetti, in termini di aumenti di redditività della produzione, anche della seconda delle due modalità in cui può risolversi, come è stato ricordato, l'accresciuta produttività del lavoro, vale a dire quella di una aumentata rapidità di esecuzione. Quest'ultima si traduce infatti in una riduzione dei tempi di produzione con risultati del tutto analoghi a quelli appena illustrati per il caso di articolazione in parallelo delle fasi elementari di produzione.

⁹ Le argomentazioni del testo danno per scontato che sia possibile risolvere con egual grado di efficienza il problema della saturazione degli elementi fondo della produzione, nel caso specifico i lavoratori presenti ovviamente in numero intero e con orari di lavoro istituzionalmente rigidi. Si sorvola, per quanto detto alla nota 4, sul problema delle diverse qualifiche.

I casi qui illustrati rappresentano ovviamente configurazioni limite delineate a scopo essenzialmente espositivo; situazioni più realistiche si caratterizzeranno per la interconnessione delle due configurazioni con la presenza simultanea di gruppi di fasi elementari in parallelo e in serie. In ogni caso, dall'analisi svolta sembra emergere un carattere di tendenziale non neutralità del mutamento tecnico in esame. L'idea spesso sostenuta che l'aumento di produttività, derivante dalla divisione e specializzazione del lavoro, abbia costituito la forma archetipa del mutamento tecnico neutrale alla Harrod non si mostra del tutto precisa qualora si tenga adeguatamente conto, accanto alla riduzione quantitativa degli impieghi di lavoro a parità di prodotto, degli altri aspetti tecnico-organizzativi del mutamento, indotti da tale modificazione strutturale. L'aumentata efficacia del lavoro può infatti avere connotazioni diverse ed incidere, come si è visto, sull'efficacia nell'impiego di altri fattori con conseguenze più complesse e più intense sulla redditività dei processi produttivi di quelle derivanti da un mero incremento di produttività del lavoro.

3. Meccanizzazione dei processi produttivi e riduzione dei tempi di produzione

La divisione-specializzazione del lavoro costituiscono, da un lato, il prerequisite e sono, dall'altro, conseguenza dell'introduzione delle macchine. Anche se l'artigiano stesso presta una successione di operazioni nel realizzare un particolare prodotto e nella sua bottega, col crescere del numero dei salariati¹⁰, può sperimentare forme più o meno evolute di divisione e specializzazione dei compiti, ciò è esaltato nell'attività di produzione meccanizzata, quale si realizza nel sistema di fabbrica. In esso l'attività di produzione è analizzata nelle sue fasi costituenti ed il problema di come eseguire le singole operazioni e di come assemblarle in un processo organico è risolto con l'aiuto delle macchine, che consentono di superare i limiti posti alla crescita della produttività dalla utilizzazione di processi manuali¹¹.

L'azione delle macchine sulla produttività del lavoro non opera però solo in questo senso; la produzione ritmata dalle macchine costituisce anche uno strumento per aumentare l'intensità del lavoro

¹⁰ Marx descrive questo processo evolutivo come il passaggio dall'artigianato indipendente alla manifattura attraverso il graduale affermarsi di una struttura salariale delle retribuzioni che trasforma l'artigiano indipendente in capitalista [Marx 1968, libro I, cap. 12].

¹¹ Marx [1968, libro I, cap. 13].

attraverso l'acquisizione di informazioni e la conseguente attività di sorveglianza e controllo delle prestazioni della forza lavoro ¹².

Da un punto di vista economico, meccanizzazione significa ricorrere a metodi più indiretti di produzione vale a dire ad un utilizzo più indiretto dei fattori originari (lavoro) della produzione al fine di aumentarne la produttività. La presenza della macchina, ovvero di uno strumento di produzione durevole, consentirà poi di prolungare la fase di realizzazione della particolare merce prodotta per più periodi unitari fino, eventualmente, al limite della durata fisica della macchina stessa. La connessione tra le diverse attività in cui si articola la fase di utilizzo dello strumento durevole è assicurata dal transito della macchina nella sua sequenza temporale di utilizzazione ¹³.

Se supponiamo che l'utilizzazione della macchina riduca l'impiego di lavoro per unità del bene specifico prodotto dal settore in esame senza alterare la durata del processo di produzione che per semplicità supporremo articolato in un'unica fase elementare, allora la struttura intersettoriale di un'economia a due settori di cui il secondo utilizza una macchina con una fase di costruzione di due periodi ed una di utilizzo di tre, si configura ¹⁴ come in tab. 5.2. Al solito a_{ijt} e a_{0jt}

TAB. 5.2.

	sett. 1			sett. 2		
	fase costruz.			fase utilizz.		
$A =$	a_{11}	a_{121}	a_{122}	a_{123}	a_{124}	a_{125}
	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	1	0	0
	a_{21}	a_{221}	a_{222}	a_{223}	a_{224}	a_{225}
	0	0	0	0	1	0
	0	0	0	0	0	1
$a_0 =$	a_{01}	a_{021}	a_{022}	a_{023}	a_{024}	a_{025}
$B =$	1	0	0	0	0	0
	0	1	0	0	0	0
	0	0	1	0	0	0
	0	0	0	b_{223}	b_{224}	b_{225}
	0	0	0	1	0	0
	0	0	0	0	1	0

¹² Su questo aspetto si veda Bowles [1985].

¹³ È questo il metodo di trattazione dei mezzi di produzione durevoli utilizzato da Sraffa [1960] e da Von Neumann [1945]. Per vari aspetti del problema si vedano Baldone [1977], Schefold [1977], Varri [1977] e Salvadori [1986].

¹⁴ Vengono implicitamente formulate tutte le ipotesi necessarie a ricondurre lo schema a quello di produzione singola con capitale fisso.

indicano la quantità di merce i e di lavoro impiegate nella t -esima attività del settore j per realizzare la corrispondente produzione e b_{ijt} indica la quantità di merce i prodotta dalla medesima attività. Ovviamente $b_{ijt}=0$ per $i \neq j$ e per le attività che compongono la fase di costruzione della macchina.

In termini temporalmente integrati la tecnica originaria si riduce alla seguente:

$$A(\pi) = \begin{bmatrix} a_{11} & \sum_{t=1}^S (1+\pi)^{S-t} a_{12t} \\ a_{21} & \sum_{t=1}^S (1+\pi)^{S-t} a_{22t} \end{bmatrix}$$

$$a_0(\pi) = [a_{01} \quad \sum_{t=1}^S (1+\pi)^{S-t} a_{02t}]$$

$$B(\pi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \sum_{t=1}^S (1+\pi)^{S-t} b_{22t} \end{bmatrix}$$

In generale, per un'economia ad n settori, di cui il j -esimo è caratterizzato da un metodo di produzione meccanizzato con una fase di costruzione di C periodi ed una fase di utilizzazione di U periodi, i coefficienti per unità di prodotto della tecnica temporalmente integrata assumono la seguente forma:

$$A^u(\pi) = A(\pi)B^{-1}(\pi) =$$

$$= \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1,j-1} & \frac{\sum_{t=1}^{C+U} (1+\pi)^{C+U-t} a_{1jt}}{\sum_{t=C+1}^{C+U} (1+\pi)^{C+U-t} b_{jtt}} & a_{1,j+1} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{n,j-1} & \frac{\sum_{t=1}^{C+U} (1+\pi)^{C+U-t} a_{njt}}{\sum_{t=C+1}^{C+U} (1+\pi)^{C+U-t} b_{jtt}} & a_{n,j+1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$a_0(\pi)B^{-1}(\pi) =$$

$$= [a_{01} \quad \dots \quad a_{0,j-1} \quad \frac{\sum_{t=1}^{C+U} (1+\pi)^{C+U-t} a_{0jt}}{\sum_{t=C+1}^{C+U} (1+\pi)^{C+U-t} b_{jtt}} \quad a_{0,j+1} \quad \dots \quad a_{0n}]$$

Schefold [1974] ha ampiamente investigato le modificazioni delle possibilità distributive di lungo periodo di un sistema economico per effetto di un processo di meccanizzazione stilizzato nelle forme ora illustrate. Come è noto, l'aumentata produttività del lavoro, a parità di consumi intermedi di beni non durevoli per unità di prodotto nella fase di utilizzazione della macchina rispetto alla tecnica non innovata, dà luogo ad un miglioramento di redditività dell'attività di produzione solo per un certo intervallo di valori delle variabili distributive: se il saggio di profitto (salario reale) dovesse salire (scendere) al di sopra (al di sotto) di un certo valore critico, la tecnica più meccanizzata sarebbe inferiore a quella meno meccanizzata dal punto di vista delle possibilità distributive. L'aumentata «composizione tecnica» del capitale si traduce infatti, mediamente, in un aumento dei consumi intermedi complessivi per unità di prodotto e, conseguentemente, in una caduta del saggio di profitto massimo dell'economia.

Questo grado di ambiguità negli effetti del mutamento tecnico può essere in parte attenuato qualora si tenga conto del fatto che la meccanizzazione esalta il grado di divisione e specializzazione del lavoro nelle diverse direzioni illustrate nel paragrafo precedente. Un più efficace coordinamento ed una alimentazione più sincronizzata delle fasi produttive, una più accentuata standardizzazione e uniformità del prodotto con conseguente riduzione dell'incidenza di pezzi difettosi, sono tutti elementi che tendono a ridurre l'entità dei consumi intermedi per unità di prodotto ed il loro grado di anticipazione nella fase di utilizzazione delle macchine. Questi effetti tendono pertanto a smorzare la contrazione del saggio di profitto massimo.

Potrebbe in particolare agire in questa direzione la possibile riduzione dei tempi di produzione della merce realizzata con l'utilizzo della macchina. Si supponga, per l'appunto, che la sostituzione della produzione manuale della merce j con produzione meccanizzata consenta di ridurre, oltre all'impiego di lavoro per unità di prodotto, anche il tempo di produzione ad esempio dimezzandolo¹⁵. Se per semplicità espositiva si suppone anche che all'interno di ciascun anno di utilizzo l'efficienza delle macchine sia sostanzialmente costante e che la durata complessiva di impiego della stessa sia sempre di U anni, la tecnica di produzione su base «metà anno» assumerà, in termini temporalmente integrati, la seguente forma:

¹⁵ Si tratta di un'ipotesi semplificatrice che consente di eliminare alcuni problemi di commensurabilità tra le durate dei periodi di produzione delle diverse merci.

$$[5a] \quad A^{*u}(\pi_2) =$$

$$= \begin{bmatrix} \Phi_2 a_{11} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C+U-i)+1} a_{1jt} + \sum_{i=C+1}^{2(C+U)-C} \Phi_2^{2(C+U)-C-i} a_{1jt}}{\sum_{i=C+1}^{2(C+U)-C} \Phi_2^{2(C+U)-C-i} b_{jji}} \dots \Phi_2 a_{1n} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \Phi_2 a_{n1} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C+U-i)+1} a_{njt} + \sum_{i=C+1}^{2(C+U)-C} \Phi_2^{2(C+U)-C-i} a_{njt}}{\sum_{i=C+1}^{2(C+U)-C} \Phi_2^{2(C+U)-C-i} b_{jji}} \dots \Phi_2 a_{nn} \end{bmatrix}$$

$$[5b] \quad a_0^{*u}(\pi_2) =$$

$$= [a_{01} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C+U-i)} a_{0jt} + 2 \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi_2^{2(C+U-i)} a_{0jt}}{\sum_{i=C+1}^{2(C+U)-C} \Phi_2^{2(C+U)-C-i} b_{jji}} \dots a_{0n}]$$

dove $\Phi_k = 1 + \pi_k$. Ricordando che per t dispari appartenente alla fase di utilizzo della macchina si ha $a_{ijt} = a_{ij,t+1}$, $b_{jji} = b_{ji,t+1}$ e che questi coefficienti sono rispettivamente uguali a $a_{ij,(t+1)/2}$ e $b_{ji,(t+1)/2}$ nella tecnica definita su base annua, si ha

$$(1 + \pi_2) A^{*u}(\pi_2) =$$

$$= \begin{bmatrix} \Phi a_{11} \dots \frac{\Phi [\sum_{i=1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{1jt} + 1/\Phi_2 \sum_{i=1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{1jt}]}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{jji} + \Phi_2 \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{jji}} \dots \Phi a_{1n} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \Phi a_{n1} \dots \frac{\Phi [\sum_{i=1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{njt} + 1/\Phi_2 \sum_{i=1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{njt}]}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{jji} + \Phi_2 \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{jji}} \dots \Phi a_{nn} \end{bmatrix} \leq$$

$$\leq (1 + \pi) A^u(\pi)^{16}$$

A parità di saggio di profitto, i coefficienti integrati del processo meccanizzato risultano più piccoli nel caso che alla meccanizzazione

¹⁶ I coefficienti della j -esima colonna della matrice $(1 + \pi_2) A(\pi_2)$ hanno infatti una struttura del tipo $(A + B)/(C + D)$ con $A/C > B/D$. Ne consegue che $(A + B)/(C + D) < A/C$.

si accompagni un accorciamento del periodo unitario di produzione nella fase di utilizzo della macchina. Ne consegue ovviamente, a parità di altre condizioni, una maggiore redditività di quest'ultima configurazione produttiva e, quindi, un più elevato saggio massimo di profitto.

Effetti positivi, sempre in termini di produttività, si hanno anche per quanto riguarda gli impieghi di lavoro. Dalla [5b] risulta infatti

$$a_0^{**}(\pi_2) = [a_{01} \dots \frac{\sum_{i=1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{0ji} + \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{0ji}}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{ji} + \Phi_2 \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{ji}} \dots a_{0n}] \leq a_0^u(\pi)$$

A causa della aumentata produttività fisica totale del lavoro nel settore meccanizzato, si ha quindi uno spostamento verso l'esterno di tutta la curva salario-profitto rispetto a quella corrispondente al caso di meccanizzazione «pura».

Si potrebbe, a prima vista, pensare che tutto ciò sia conseguenza dell'aver supposto che la macchina riesca a produrre un più elevato (doppio) volume di produzione grazie al raddoppio del numero dei periodi unitari di produzione nella sua fase di utilizzo. È però facile appurare che miglioramenti di redditività del tutto simili, sebbene di entità più contenuta, si verificherebbero anche se la produzione realizzabile con l'impiego della macchina rimanesse invariata, vale a dire se la macchina potesse essere utilizzata per un medesimo numero di cicli unitari di produzione. Sempre con riferimento al precedente esempio e supponendo che l'efficienza della macchina sia costante, si avrebbe infatti:

$$(1+\pi_2)A^{**}(\pi_2) = \begin{bmatrix} \Phi_2^2 a_{11} & \dots & \frac{\Phi_2 [\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C-i)+U+1} a_{1ji} + \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi_2^{2C+U-i} a_{1ji, i-C}]}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi_2^{2C+U-i} b_{ji, i-C}} & \dots & \Phi_2 a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \Phi_2^2 a_{n1} & \dots & \frac{\Phi_2 [\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C-i)+U+1} a_{nji} + \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi_2^{2C+U-i} a_{nji, i-C}]}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi_2^{2C+U-i} b_{ji, i-C}} & \dots & \Phi_2 a_{nn} \end{bmatrix} \leq$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\begin{array}{ccc} \Phi_2^2 a_{11} & \dots & \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C+U-i+1)} a_{1ji}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(2C+U-i+1)} b_{ji,t-C}} + \frac{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(2C+U-i+1)} a_{nji}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(C+U-i)} b_{ji,t-C}} \dots \Phi_2^2 a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \Phi_2^2 a_{n1} & \dots & \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C+U-i+1)} a_{nji}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(2C+U-i)} b_{ji,t-C}} + \frac{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(C+U-i+1)} a_{nji,t-C}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(2C+U-i)} b_{ji,t-C}} \dots \Phi_2^2 a_{nn} \end{array} \right] = \\
&= \left[\begin{array}{ccc} \Phi a_{11} & \dots & \frac{\Phi [\sum_{i=1}^C \Phi^{C+U-i} a_{1ji} + \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{1ji}]}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{ji}} \dots \Phi a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ \Phi a_{n1} & \dots & \frac{\Phi [\sum_{i=1}^C \Phi^{C+U-i} a_{nji} + \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{nji}]}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{ji}} \dots \Phi a_{nn} \end{array} \right] = \\
&= (1+\pi)A^u(\pi)^{17}
\end{aligned}$$

e, per quanto riguarda i coefficienti di lavoro, analogamente si ottiene:

$$\begin{aligned}
&a_0^{**u}(\pi_2) = \\
&= [a_{01} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C-i)+U} a_{0ji} + \sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2C+U-i-1-(-1)^{1/2}} a_{0ji,t-C}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2C+U-i} b_{ji,t-C}} \dots a_{0n}] \leq \\
&\leq [a_{01} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi_2^{2(C+U-i)} a_{0ji} + \sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2C+U-i-1-(-1)^{1/2}} a_{0ji,t-C}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi_2^{2(C+U-i)} b_{ji,t-C}} \dots a_{0n}] = \\
&= [a_{01} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi^{C+U-i} a_{0ji} + \sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi^{2C+U-i} \Phi_2^{-1-(-1)^{1/2}} a_{0ji,t-C}}{\sum_{i=2C+1}^{2C+U} \Phi^{2C+U-i} b_{ji,t-C}} \dots a_{0n}] \leq \\
&\leq [a_{01} \dots \frac{\sum_{i=1}^C \Phi^{C+U-i} a_{0ji} + \sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} a_{0ji}}{\sum_{i=C+1}^{C+U} \Phi^{C+U-i} b_{ji}} \dots a_{0n}] = a_0^u(\pi)
\end{aligned}$$

¹⁷ Va infatti osservato che, per effetto dell'operazione di ponderazione, il primo addendo dei coefficienti del settore meccanizzato cresce in quanto gli elementi al numeratore sono moltiplicati per potenze del fattore di profitto superiori a quelle utilizzate nella ponderazione degli elementi a denominatore mentre il secondo addendo rimane invariato a seguito dell'ipotesi di efficienza costante della macchina. Si pervers-

Al processo di meccanizzazione delle attività produttive si è storicamente associato, quantomeno nella prima fase della rivoluzione industriale, un fenomeno di divisione e specializzazione delle industrie. La produzione delle macchine, che era originariamente realizzata all'interno delle stesse industrie utilizzatrici, è andata assumendo una propria autonomia tecnico-organizzativa dando luogo ad un aumento nel numero delle industrie e delle merci dotate di una propria identità economica¹⁸. A favore di un simile mutamento strutturale ha agito in primo luogo l'allargamento del mercato delle macchine. Questo ha consentito di trasformare la produzione di strumenti di produzione durevoli da evento più o meno saltuario legato ai processi di investimento, rinnovo e occasionale sostituzione del parco macchine per la produzione del bene finale, ad attività permanente e continuativa volta a soddisfare la domanda derivante anche da altre imprese. In tal modo la produzione delle macchine in sé riesce a configurarsi come un'attività di produzione specializzata dell'impresa in questione, non solo rendendola autonomamente rilevante, ma consentendo di utilizzare in maniera continuativa e, quindi, più efficace la capacità produttiva durevole comunque predisposta per la loro produzione. Risulta, di conseguenza, migliorata la redditività di tale produzione e, quindi, dell'intero sistema economico.

In un settore come quello delle macchine, dove la produzione è tendenzialmente di piccola scala e spesso legata alle specifiche dell'utilizzatore, le esigenze di normale saturazione della potenzialità produttiva nonché l'abilità e le conoscenze tecniche acquisite nella produzione di un particolare strumento hanno inoltre portato ad allargare la gamma dei prodotti diversificando la produzione e dando così luogo ad unità a produzione multipla¹⁹.

Questi aspetti del mutamento strutturale hanno comportato, pertanto, una deverticalizzazione dei settori produttivi²⁰ con una tendenziale riduzione del numero medio di fasi produttive realizzate da una singola impresa (industria) ed un aumento del numero delle industrie produttrici di merci intermedie. Ne è ovviamente conseguito un notevole incremento nell'interconnessione interna dei singoli sistemi economici e, conseguentemente, nel volume di transazioni interindustriali necessarie per produrre una unità delle singole merci.

L'interesse per questi caratteri del mutamento strutturale non è

rebbe comunque ad una riduzione dei coefficienti anche nel caso di efficienza decrescente della macchina purché questa vari in maniera non troppo accentuata.

¹⁸ Su questi aspetti del processo di industrializzazione si vedano Ames-Rosenberg [1965] e Rosenberg [1963].

¹⁹ Per alcuni aspetti di teoria del valore in un'economia con industrie a produzione multipla si veda l'Appendice.

²⁰ Su questo punto si veda anche Stigler [1951].

soltanto storico. Essi hanno avuto infatti modo di ripresentarsi in forme più o meno diversificate ogni qualvolta l'allargamento del mercato ha interessato attività comuni ad un numero elevato di produttori²¹. Ciò si è verificato in misura più o meno rilevante nell'industria chimica nel secondo dopoguerra, con l'emergere delle imprese di progettazione (e costruzione) di impianti di processo²² e, più recentemente, a livello dell'intero comparto industriale nelle forme del c.d. processo di terziarizzazione dell'industria²³.

4. Le nuove tecnologie informatizzate

Lo sviluppo dell'*information technology* e delle sue applicazioni industriali, in particolare la vasta gamma di soluzioni tecniche generalmente identificate con *l'automazione integrata e flessibile*, rappresenta la componente di maggior rilievo nell'attuale trend del mutamento tecnologico. Le potenzialità offerte dalle nuove soluzioni tecniche e le complesse problematiche organizzativo-gestionali connesse alla loro adozione hanno indubbiamente contribuito a ridestare l'interesse degli studiosi sulla funzione produzione quale elemento rilevante della strategia d'impresa.

Nonostante la varietà, la complessità e la peculiarità degli effetti che l'adozione delle tecnologie informatizzate produce sugli aspetti tecnici ed organizzativi dei processi di produzione, è possibile enucleare alcuni caratteri di fondo che connotano in maniera saliente le modificazioni strutturali indotte dalla loro diffusione²⁴.

Un primo effetto che può ricollegarsi all'adozione delle nuove tecnologie consiste nella accresciuta capacità di variare le caratteristiche del prodotto e del mix di produzione all'interno di una ragionevole gamma di alternative. Questa maggiore flessibilità relativamente alle caratteristiche della produzione può consentire una più rapida capacità di adeguamento alle modificazioni nella domanda di mercato per quanto riguarda il livello, la composizione e la tipizzazione dei pro-

²¹ Ciò che Rosenberg definisce «technological convergence». Si veda Rosenberg [1963, 423 ss.].

²² Si veda Freeman [1968].

²³ In numerosi lavori si è cercato di evidenziare e misurare il fenomeno della espansione del terziario e della crescita delle interconnessioni tra questo e il comparto industriale. Si veda per tutti Momigliano-Siniscalco [1986].

²⁴ È ormai impossibile, data la sua smisurata crescita, un sintetico rinvio alla letteratura sull'argomento. Sul ruolo che l'informazione, la sua elaborazione e diffusione hanno nella tecnologia e nell'organizzazione dell'impresa e dell'industria si veda, comunque, l'introduzione di C. Antonelli [Antonelli 1988] mentre per l'analisi dell'impatto dell'automazione in uno specifico contesto aziendale, si può vedere l'interessante lavoro di G. C. Cainarca [1988].

dotti. Il maggiore e più rapido flusso informativo, reso possibile dall'utilizzo di reti di calcolatori, consente un maggior controllo dei processi di produzione, aumentando l'accuratezza ed il grado di affidabilità nella ripetizione degli stessi con conseguente riduzione dei pezzi difettosi e, quindi, degli sprechi. Il maggior controllo dei processi può inoltre ridurre i costi di manutenzione e di riparazione grazie alla diagnosi precoce di guasti e di malfunzionamenti degli apparati. Il maggior grado di automazione dei processi produttivi riduce inoltre fortemente il numero degli addetti e, quindi, i costi del lavoro diretto nonché i costi di addestramento. I nuovi automatismi ed il nuovo *software* per il CAM consentono di ridurre in misura sensibile i tempi e i costi di riattrezzaggio e di migliorare l'utilizzo delle macchine nonché l'alimentazione delle stesse, riducendo le fermate per mancanza di materiali. L'utilizzo del CAD in fase di progettazione dei prodotti consente, attraverso la simulazione e la formulazione dei modelli matematici, di abbreviare i tempi di realizzazione dei prodotti finiti attraverso la riduzione o l'eliminazione delle fasi di produzione di prototipi, la riduzione di tempi di produzione dei nastri per le macchine utensili a controllo numerico e la riduzione dei tempi di «aggiustaggio» nelle fasi di assemblaggio delle componenti dei diversi prodotti grazie alla maggior precisione derivante dalla modellizzazione matematica. La riduzione dei tempi di realizzazione del prodotto produce ovviamente aumenti di redditività attraverso la riduzione del volume di materiali in processo ed, eventualmente, delle scorte di prodotto. Il maggior volume del flusso di informazioni, assieme al più elevato dettaglio e alla loro accresciuta regolarità nonché la maggior prevedibilità delle fasi di produzione consentono, inoltre, una più pronta, intensa ed efficace azione di direzione e di controllo del sistema produttivo al suo interno e nelle sue connessioni con l'ambiente esterno.

Come è facile comprendere, si tratta di modificazioni strutturali complesse ed articolate che si prestano con difficoltà ad una trattazione esauriente all'interno di modelli che conservino un sufficiente grado di semplicità. Un'analisi adeguata, soprattutto di alcuni caratteri di tale mutamento, richiederebbe inoltre che la trattazione venisse svolta nell'ambito di schemi dinamici e non in un contesto sostanzialmente statico come quello adottato nelle sezioni precedenti. Pur con questi limiti è possibile descrivere e dar conto degli effetti tendenziali di alcuni tratti salienti del mutamento tecnico derivante dall'adozione delle nuove tecnologie informatizzate nel modo seguente.

Si consideri, al solito, il settore *j*-esimo dell'economia verticalmente integrato nelle fasi di predisposizione della capacità produttiva e di utilizzazione della stessa. Si supponga che nel settore siano prodotte due merci, il bene *A* e il bene *B*, mediante utilizzo alternativo della

capacità produttiva, previa riconfigurazione della stessa e riattrezzaggio delle macchine. L'attività di predisposizione si articola a sua volta in una fase di costruzione della macchina (macchine) ed in una fase di vera e propria predisposizione della unità produttiva. All'interno di quest'ultima fase può essere eventualmente evidenziata un'attività di progettazione delle caratteristiche dei prodotti e dell'organizzazione tecnico logistica dei processi produttivi.

Si può ragionevolmente pensare che, in presenza di un elevato grado di meccanizzazione con scarsa automazione, le macchine siano particolarmente dedicate e che quindi costi e tempi di attrezzaggio e riconfigurazione della linea produttiva siano particolarmente elevati tanto da richiedere che la produzione di ciascun bene sia realizzata in lotti di volume adeguato al riassorbimento di tali costi. Questo aspetto di rigidità della produzione può essere reso supponendo che, una volta configurata, la linea produttiva debba essere utilizzata nella specifica produzione per un elevato numero di periodi unitari.

Se supponiamo, per semplicità, che la domanda si manifesti in modo uniforme nel tempo a partire dal periodo in cui lo specifico prodotto si rende per la prima volta disponibile e che venga sempre soddisfatta, dovranno allora essere predisposte scorte adeguate di prodotto per soddisfare la domanda quando lo specifico bene non è in produzione.

Indicando con il vettore a_i^j e lo scalare a_{0ji} l'impiego di merci non durevoli nella t -esima attività del settore j verticalmente integrato, con p_m il prezzo della macchina nuova, con p_{mrs} ($r=A, B$) il prezzo della stessa nella configurazione r quando ha s anni di età, con b_{rjt} ($r=A, B$) la produzione di merce r nella t -esima attività dell'industria j , con p il vettore dei prezzi dei beni non durevoli, con p_r ($r=A, B$) i prezzi dei beni finiti prodotti dalla industria j , con i vettori S_{st} e S_{pt} le scorte di input e di prodotti nell'attività t , l'industria in questione, avendo integrato temporalmente le attività all'interno di ciascuna delle fasi produttive sopra individuate, può essere descritta come segue:

$$\Phi p \sum_{i=1}^C \Phi^{C-t} a_i^j + w \sum_{i=1}^C \Phi^{C-t} a_{0ji} = p_m$$

fase di costruzione della macchina

$$\Phi [p \sum_{i=C+1}^{C+P} \Phi^{C+P-t} a_i^j + \Phi^{P-1} p_m] + w \sum_{i=C+1}^{C+P} \Phi^{C+P-t} a_{0ji} = p_{mA}$$

predisposizione della capacità produttiva nella configurazione A

$$\Phi [p \sum_{i=C+P+1}^{C+P+U_A} \Phi^{C+P+U_A-t} a_i^j + \Phi^{U_A-1} p_{mA}] + \pi p \sum_{i=C+P+1}^{C+P+U_A} \Phi^{C+P+U_A-t} (S_{st} + S_{pt}) + w \sum_{i=C+P+1}^{C+P+U_A} \Phi^{C+P+U_A-t} a_{0ji} = p_A$$

utilizzo della capacità produttiva nella configurazione A

$$\begin{aligned} & \Phi \left[p \sum_{i=C+P+U_A+1}^{C+P+U_A+P_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B-i} a_i^j + \Phi^{P_B-1} p_{mAU} \right] + \\ & + \pi p \sum_{i=C+P+U_A+1}^{C+P+U_A+P_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B-i} (S_{Si} + S_{Pi}) + \\ & + w \sum_{i=C+P+U_A+1}^{C+P+U_A+P_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B-i} a_{0ji} = p_{mB} \end{aligned}$$

predisposizione della capacità produttiva nella configurazione B

$$\begin{aligned} & \Phi \left[p \sum_{i=C+P+U_A+P_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B-i} a_i^j + \Phi^{U_B-1} p_{mB} \right] + \\ & + \pi p \sum_{i=C+P+U_A+P_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B-i} (S_{Si} + S_{Pi}) + \\ & + w \sum_{i=C+P+U_A+P_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B-i} a_{0ji} = \\ & = p_B \sum_{i=C+P+U_A+P_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B-i} b_{Bji} + p_{mBU} \end{aligned}$$

utilizzazione della capacità produttiva nella configurazione B

$$\begin{aligned} & \Phi \left[p \sum_{i=C+P+U_A+P_B+U_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B+P_A} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B+P_A-i} a_i^j + \Phi^{P_A-1} p_{mBU} \right] + \\ & + \pi p \sum_{i=C+P+U_A+P_B+U_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B+P_A} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B+P_A-i} (S_{Si} + S_{Pi}) + \\ & + w \sum_{i=C+P+U_A+P_B+U_B+1}^{C+P+U_A+P_B+U_B+P_A} \Phi^{C+P+U_A+P_B+U_B+P_A-i} a_{0ji} = p_{mA2U} \end{aligned}$$

predisposizione della capacità produttiva nella configurazione B

e così via, alternando i diversi periodi produttivi fino al limite economicamente conveniente di impiego della struttura produttiva.

L'introduzione delle nuove tecnologie informatizzate può configurarsi come la produzione di una nuova macchina che, grazie al maggior grado di automazione, consente innanzi tutto di ridurre l'impiego di lavoro per unità di prodotto nella fase di utilizzazione nonché i tempi di attrezzaggio e configurazione (P , P_A , P_B) della struttura produttiva. Riduzioni di P si potrebbero avere anche a seguito del contenimento dei tempi di progettazione. L'eliminazione di alcune attività di quest'ultima fase di predisposizione della capacità produttiva (ad esempio l'eliminazione, come già ricordato, della costruzione di prototipi) potrebbe inoltre ridurre i consumi intermedi e l'impiego di lavoro in tale fase.

Uno degli effetti dell'introduzione delle nuove tecnologie informatizzate è anche quello di aumentare, attraverso la riduzione dei tempi di attrezzaggio ed un migliore controllo e coordinamento delle fasi produttive e della movimentazione dei pezzi, il grado di utilizzo del tempo macchina, il che comporta, a parità di numero di macchine, quantomeno per le componenti di tipo tradizionale, un maggior volu-

me (b_{ji}) di produzione²⁵. La minor incidenza di pezzi difettosi, dovuta alla uniformità della produzione automatizzata, consente inoltre di ridurre i consumi intermedi e di lavoro per unità di prodotto.

Tutti questi elementi contribuiscono, come si è visto nelle sezioni precedenti, ad aumentare la redditività del sistema economico. In questo senso agisce anche un altro elemento connesso al fatto che la riduzione dei tempi e dei costi di riconfigurazione dell'apparato produttivo rende convenienti produzioni in lotti di minore dimensione nel senso che l'alternanza nella specializzazione produttiva può avvenire più frequentemente. L'accorciamento dei periodi minimi economicamente convenienti di specializzazione produttiva consente, ovviamente, di ridurre le scorte di prodotto mediamente detenute e, quindi, il costo associato²⁶.

La drastica riduzione dei tempi e dei costi di riconfigurazione dell'apparato produttivo sembra pertanto poter spostare la ricerca di maggior efficienza dalle economie di scala, legate ai grossi volumi di produzione realizzati con apparati altamente specializzati, alle economie di scopo, legate non al volume ma alla varietà della produzione.

Questi aumenti di produttività e di redditività sono però ottenuti grazie all'utilizzo di sistemi di «macchine» più complessi e più costosi. Ciò significa una produzione delle macchine ed una predisposizione iniziale dell'apparato produttivo con un maggiore assorbimento di componenti complesse ossia il ricorso a metodi di produzione più costosi in termini reali. Sulla curva salario-profitto vi è quindi un effetto simile a quello della meccanizzazione qualora la riduzione degli assorbimenti e dei tempi di produzione nella fase di utilizzo non riescano a controbilanciare completamente il maggior «costo» delle attrezzature. La eventuale caduta del saggio massimo di profitto dovrebbe comunque risultare, grazie alla presenza di maggiori forze antagoniste, più contenuta di quella che si verificherebbe in un processo di pura meccanizzazione²⁷.

²⁵ Ciò è reso possibile anche dal fatto che le macchine, una volta alimentate, possono completare la produzione anche al di là dei limiti dell'orario normale di attività per la forza lavoro.

²⁶ Questo tipo di maggior flessibilità diviene particolarmente importante in un contesto ambientale caratterizzato da particolare turbolenza dei mercati. Come si è visto, esso può però avere ripercussioni positive anche nel caso di perfetta previsione della domanda.

²⁷ Non è ovviamente da escludersi che tutta la curva salario-profitto possa spostarsi verso l'esterno come alcuni casi sembrerebbero lasciar supporre. È ormai da manuale l'esempio della Messerschmitt-Bolkow-Blohm dove l'introduzione dei calcolatori nella linea di produzione del caccia Tornado ha consentito di aumentare l'utilizzo del tempo macchina del 75% e di ridurre il lead-time di tale prodotto da 30 a 18 mesi. Il sistema informatizzato ha permesso di ridurre del 44% il numero delle mac-

5. Brevi considerazioni finali

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di illustrare le modificazioni attraverso le quali gli schemi interindustriali possono essere utilizzati per rappresentare forme di mutamento tecnico che comportano cambiamenti nella struttura e nella durata dei processi produttivi e per valutarne gli effetti sulla redditività del sistema economico. Il più elevato grado di informazione contenuto negli schemi qui utilizzati rispetto alla originaria formulazione leonteviana consente, ovviamente, di superarne alcuni limiti, primo fra tutti la difficoltà di cogliere eventuali modificazioni nei tempi di produzione e, quindi, nel periodo di rotazione del capitale.

L'evidenziazione, accanto al flusso di merci e lavoro, della struttura delle fasi elementari di produzione consente di sottolineare la natura di processo che si sviluppa nel tempo dell'attività di produzione senza incorrere, nella sua rappresentazione, nei limiti e nelle difficoltà logiche incontrati dalla teoria austriaca²⁸.

Velocizzazione e sincronizzazione dei sistemi produttivi, attraverso la riduzione dei *lead-time* delle diverse attività ed il migliore coordinamento di queste al proprio interno e con il mercato tramite la riduzione dei lotti e dei tempi di riassorbimento, costituiscono d'altro canto gli obiettivi di quella serie di interventi innovativi che vengono fatti rientrare nella moderna filosofia della c.d. produzione *just in time*.

Quantunque la riduzione negli impieghi di lavoro per unità di prodotto costituisca ancora uno degli obiettivi e degli effetti più evidenti del mutamento tecnologico perseguito attraverso la realizzazione di rilevanti investimenti in automazione, è molto probabile che la classe, appena ricordata, di innovazioni organizzative e gestionali non produca variazioni di rilievo nell'impiego di singoli fattori. Essa, infatti, privilegia il miglioramento continuo del processo produttivo, mediante l'adozione di modifiche a basso costo e graduali che non comportano necessariamente grossi investimenti in capitale fisso e che finiscono per incidere non solo sull'entità dei materiali in processo ma anche sulla durata dei processi produttivi.

Queste considerazioni sembrano sottolineare, pertanto, l'esigenza di disporre, nell'analisi del mutamento tecnico, di una rappresenta-

chine a controllo numerico, del 44% il personale, del 30% gli spazi occupati, del 25% il tempo di flusso delle parti e del 9% i costi d'investimento.

²⁸ La dimensione temporale della rappresentazione austriaca dei processi produttivi aveva, ovviamente, motivazioni e scopi diversi da quelli qui evidenziati. Sulle difficoltà di rappresentare il processo produttivo come immissione cadenzata nel tempo dei fattori originari della produzione si veda Baldone [1984].

zione della tecnologia che, come quella adottata in questo lavoro, sia sufficientemente dettagliata da poter incorporare alcuni degli elementi più significativi di forme recenti di innovazione tecnologica e, allo stesso tempo, di avvalersi di una misura del mutamento tecnico che, come è consentito dall'utilizzo delle curve salario-profitto, ne evidenzii l'effetto in termini di variazioni globali nel grado di redditività del sistema economico piuttosto che in termini di modificazioni nell'impiego di singoli elementi produttivi.

Appendice. Elementi per un'analisi dei prezzi e della distribuzione del reddito in un modello a produzione multipla ²⁹

Si consideri un sistema economico articolato in quattro settori. Il primo produce, con l'impiego di solo capitale circolante e lavoro, un generico mezzo di produzione durevole (merce 1) che è utilizzato dal quarto settore dell'economia. Quest'ultimo può produrre due tipi di macchine, rispettivamente la merce 4 e la merce 5. La macchina del primo tipo è utilizzata nel settore 2 per produrre uno specifico prodotto (merce 2), mentre nel rimanente settore la merce 3 è prodotta con l'impiego della macchina del secondo tipo (merce 5).

Possiamo supporre, per semplicità espositiva, che i periodi unitari di produzione delle diverse merci siano uguali e che la struttura della domanda, per quanto riguarda il settore a produzione multipla, possa essere soddisfatta da una articolazione della produzione a periodi alternati iniziando con la produzione della macchina del primo tipo (merce 4) ³⁰.

Se si guarda alle industrie temporalmente integrate, si constata immediatamente che l'informazione tecnologica testé delineata, non è sufficiente a rendere determinato il sistema dei prezzi in quanto le quattro industrie producono cinque merci finite. Nello spirito della teoria dei prezzi di produzione, un modo ragionevole per superare l'indeterminatezza appena individuata e risolvere implicitamente il problema della ripartizione dei costi comuni nel settore a produzione multipla è il seguente. Si supponga, ad esempio, che la macchina del

²⁹ Con la dizione «produzione multipla» si intende qui indicare la situazione in cui i singoli settori dell'economia possono produrre più merci in maniera temporalmente non congiunta.

³⁰ Va osservato che, essendo le due produzioni indipendenti, è possibile modificare la composizione della produzione specializzandola nella realizzazione dell'una o dell'altra macchina per periodi di durata opportuna. Se si suppone che la produzione di ogni singola attività sia dimensionalmente piccola rispetto alla produzione complessiva di ciascun prodotto, è possibile adeguare, con buon grado di approssimazione, la struttura dell'offerta a quella della domanda.

primo tipo (merce 4) costituisca, per ragioni storiche o per volume di produzione, il prodotto principale della quarta industria. Poiché le merci sono producibili separatamente, è possibile definire una equazione di prezzo per la macchina del primo tipo nell'ipotesi che l'industria sia specializzata nella produzione di questa sola merce. L'introduzione di questa ulteriore equazione di prezzo accanto a quelle effettive rende determinato il sistema e porta ad una determinazione del prezzo della macchina del secondo tipo in termini differenziali scaricando su quest'ultimo non solo gli elementi di costo diretto (consumi intermedi, utilizzo degli strumenti durevoli e costo del lavoro) ma anche tutti gli eventuali oneri di periodica riconfigurazione della linea produttiva (costi di riattrezzaggio)³¹.

Indicando al solito con a_{ijt} , b_{ijt} la quantità di merce i rispettivamente impiegata e prodotta nella t -esima attività dell'industria j e con a_{0jt} il corrispondente impiego di lavoro e contrassegnando con un asterisco i coefficienti relativi alla industria 2 virtualmente specializzata nella produzione della sola merce 4, il sistema dei prezzi, con riferimento alle industrie temporalmente integrate, può essere scritto come segue:

$$\begin{aligned}
 & (1+\pi)(a_{21}p_2 + a_{31}p_3) + wa_{01} = p_1 \\
 & (1+\pi) \left[(1+\pi)^{U_2-1} p_4 + \sum_{i=1}^{U_2} (1+\pi)^{U_2-i} a_{22i} p_2 + \sum_{i=1}^{U_2} (1+\pi)^{U_2-i} a_{32i} p_3 \right] + \\
 & + w \sum_{i=1}^{U_2} (1+\pi)^{U_2-i} a_{02i} = \sum_{i=1}^{U_2} (1+\pi)^{U_2-i} b_{22i} p_2 \\
 & (1+\pi) \left[(1+\pi)^{U_3-1} p_5 + \sum_{i=1}^{U_3} (1+\pi)^{U_3-i} a_{23i} p_2 + \sum_{i=1}^{U_3} (1+\pi)^{U_3-i} a_{33i} p_3 \right] + \\
 & + w \sum_{i=1}^{U_3} (1+\pi)^{U_3-i} a_{03i} = \sum_{i=1}^{U_3} (1+\pi)^{U_3-i} b_{33i} p_3 \\
 & (1+\pi) \left[(1+\pi)^{U_4-1} p_1 + \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{24i}^* p_2 + \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{34i}^* p_3 \right] + \\
 & + w \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{04i}^* = \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} b_{44i}^* p_4 \\
 & (1+\pi) \left[(1+\pi)^{U_4-1} p_1 + \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{24i} p_2 + \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{34i} p_3 \right] + \\
 & + w \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{04i} = \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-(2i-1)} b_{44,2i-1} p_4 + \\
 & + \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-2i} b_{54,2i} p_5
 \end{aligned}$$

³¹ Indicazioni in tal senso per la determinazione del prezzo di offerta nelle industrie a prodotto multiplo non sono in effetti nuove nella letteratura economica. Si veda, ad esempio, Marshall [1920, 323].

dove U_i ($i = 1, 2, 3, 4$) sta ad indicare la durata d'impiego dei mezzi di produzione durevoli nei diversi settori che li utilizzano³². Indicando con Φ il fattore di profitto e ponendo

$$A(\pi) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \Phi^{U_4-1} & \vdots & \Phi^{U_4-1} \\ 0 & \sum_{i=1}^{U_2} \Phi^{U_2-i} a_{22i} & \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_3-i} a_{23i} & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{24i}^* & \vdots & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{24i} \\ a_{31} & \sum_{i=1}^{U_2} \Phi^{U_2-i} a_{32i} & \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_3-i} a_{33i} & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{34i}^* & \vdots & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{34i} \\ 0 & \Phi^{U_2-1} & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \Phi^{U_3-1} & 0 & \vdots & 0 \\ a_{01} & \sum_{i=1}^{U_2} \Phi^{U_2-i} a_{02i} & \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_3-i} a_{03i} & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{04i}^* & \vdots & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{04i} \end{bmatrix}$$

$$C(\pi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & \sum_{i=1}^{U_2} \Phi^{U_2-i} b_{22i} & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_3-i} b_{33i} & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} b_{44i}^* & \vdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \vdots & 0 & 0 & \sum_{i=1}^{U_4/2} \Phi^{U_4-i} b_{54,2i} & \vdots \end{bmatrix}$$

$$D(\pi) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & \sum_{i=1}^{U_4/2} \Phi^{U_4-2i} b_{54,2i-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \vdots & 0 \end{bmatrix}$$

³² Si è, per comodità, supposto che il numero di periodi unitari di utilizzo della macchina 1 nel settore 4 (U_4) sia pari. Tale periodo di utilizzo potrebbe essere diverso a seconda che si consideri l'industria 4 specializzata nella produzione di una sola macchina (U^*) o di entrambi i tipi di beni durevoli (U_4).

la [A1] può essere riscritta in forma compatta come segue:

$$[A2] \quad (1+\pi)pA(\pi) + \omega a_0(\pi) = pC(\pi) + pD(\pi)$$

dove $p=[p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5]$ è il vettore dei prezzi dei prodotti finiti. Dalla [A2] si ricava

$$[A3] \quad p = \omega a_0 C(\pi)^{-1} [I - (1+\pi)A(\pi)C(\pi)^{-1}]^{-1} + \\ - pD(\pi)C^{-1}(\pi) [I - (1+\pi)A(\pi)C^{-1}(\pi)]^{-1}$$

I prezzi risultano pertanto dalla somma di due addendi. Il primo misura i prezzi che si determinerebbero nel sistema economico se nel quarto settore, a fronte delle immissioni effettive, si desse luogo alla sola produzione della merce 5. Per un dato salario nominale e per un valore di π economicamente ammissibile³³ tale addendo è positivo. In effetti nel quarto settore si dà luogo ad una produzione e ad un ricavo aggiuntivi dovuti alla realizzazione della merce 4. Ne consegue che in tale settore il costo di produzione complessivo per unità di merce 5 non è completamente assorbito dal prezzo di quest'ultima merce ma, nella misura

$$p_4 \sum_{i=1}^{U_4/2} \Phi^{U_4-(2i-1)} b_{44,2i-1} / \sum_{i=1}^{U_4/2} \Phi^{U_4-2i} b_{54,2i}$$

è coperto dal valore della merce 4. Ne consegue che i prezzi della fittizia economia a produzione singola devono essere ridotti di tale entità per «unità» direttamente ed indirettamente impiegata di merce 5 per pervenire ai prezzi effettivi. I prezzi saranno positivi se tali riduzioni sono inferiori ai prezzi fittizi. È anche evidente che p_4 non può essere negativo. Se infatti, lo fosse, tutti i prezzi, per la [A3], risulterebbero positivi contraddicendo l'ipotesi che il prezzo della merce 4 sia negativo.

In effetti i prezzi di tutte le merci finite sono positivi se lo è quello della merce 5. Ponendo

$$B=C+D$$

$$p^0 = [p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4]$$

$$a_0^0 = [a_{01} \sum_{i=1}^{U_1} \Phi^{U_1-i} a_{02i} \sum_{i=1}^{U_1} \Phi^{U_1-i} a_{03i} \sum_{i=1}^{U_1} \Phi^{U_1-i} a_{04i}^*]$$

³³ Il fattore di profitto sarà sicuramente ammissibile se verrà scelto in modo da risultare inferiore al reciproco dell'autovalore di modulo massimo della matrice $A(\pi)C(\pi)^{-1}$.

e suddividendo a blocchi il sistema dei prezzi in modo da isolare il settore a produzione multipla, la [A2] può essere riscritta come segue:

$$\begin{bmatrix} (1+\pi)[p^0 A_{11} + p_5 A_{21}] + w a_{21}^0 = p^0 B_{11} \\ (1+\pi)[p^0 A_{12} + p_5 A_{22}] + w \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-i} a_{04i} = p^0 B_{12} + p_5 B_{22} \end{bmatrix}$$

Dalla prima delle due equazioni si ricava:

$$[A4] \quad p^0 = [(1+\pi)p_5 A_{21} + w a_{21}^0] [B_{11} + (1+\pi)A_{11}]^{-1}$$

Poiché B_{11} è un blocco diagonale ne consegue che, se p_5 fosse positivo, i prezzi delle altre merci finite sarebbero anch'essi positivi per valori ammissibili del saggio di profitto e per un dato salario monetario.

Si tratta di vedere, ovviamente, se vi sono delle condizioni economiche plausibili per escludere che il prezzo dell'ulteriore merce prodotta nel settore a produzione multipla sia non negativo. Dall'ultima delle equazioni di prezzo del sistema [A1], quella relativa per l'ap-punto al settore a produzione multipla, si ricava

$$p_5 \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-2i} b_{34,2i} = \Phi[p_1 \Phi^{U_4-1} + p_2 \sum_{i=1}^{U_1} \Phi^{U_4-i} a_{24i} + p_3 \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_4-i} a_{34i}] + w \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{04i} - p_4 \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-(2i-1)} b_{44,2i-1}$$

Risulterà ovviamente $p_5 \geq 0$ se e solo se

$$[A5] \quad \frac{\Phi[p_1 \Phi^{U_4-1} + p_2 \sum_{i=1}^{U_1} \Phi^{U_4-i} a_{24i} + p_3 \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_4-i} a_{34i}] + w \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{04i}}{\sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-(2i-1)} b_{44,2i-1}} \geq p_4 =$$

$$= \frac{\Phi[p_1 \Phi^{U_4-1} + p_2 \sum_{i=1}^{U_1} \Phi^{U_4-i} a_{24i}^* + p_3 \sum_{i=1}^{U_3} \Phi^{U_4-i} a_{34i}^*] + w \sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} a_{04i}^*}{\sum_{i=1}^{U_4} \Phi^{U_4-i} b_{44i}^*}$$

vale a dire se il costo globale di produzione per unità di merce 4 nel settore a produzione multipla è non inferiore a quello che si realizzerebbe se la produzione fosse specializzata nella sola produzione di tale merce. È questa una condizione del tutto ragionevole con prezzi p^0 positivi in quanto, a fronte di un utilizzo della macchina di U_4 periodi, solo metà di questi sono specializzati nella produzione della merce 4: né è da pensare che l'utilizzare le attrezzature per produrre

anche la merce 5 possa produrre una così drastica riduzione di consumi intermedi e di lavoro nelle attività che producono la merce 4 da più che compensare i costi corrispondenti sostenuti per la produzione della merce 5. È, al contrario, ragionevole ritenere che l'esclusivo utilizzo delle attrezzature per la produzione della merce 4 consenta di produrla nella maniera più efficiente e che la convenienza a produrre anche la merce 5 derivi da eventuali economie di scopo tali da compensare, nella realizzazione di quest'ultimo prodotto, anche le probabili diseconomie derivanti, a loro volta, dalla non specializzazione di tale produzione. La condizione [A5] non è però così ovvia se qualcuno dei prezzi fosse negativo. Il suo soddisfacimento consente di escludere quei casi, per certi versi aberranti, in cui la negatività di uno o di alcuni prezzi fa sì che siano meno costosi quei processi che impiegano un volume maggiore di merci nella produzione. Se vale la [A5], p_5 sarà non negativo e, quindi, tutti gli altri prezzi risulteranno positivi.

Si può anzi facilmente constatare che una configurazione tendenziale di equilibrio con $p_5=0$ è, molto probabilmente, irrealizzabile in una economia a decisioni decentrate. Si supponga infatti che p_5 sia nullo e che i prezzi delle altre merci siano, di conseguenza, positivi come si deduce dalla [A4]. Con una configurazione produttiva come quella precedentemente delineata, l'unica produzione del quarto settore economicamente rilevante — nel senso di assicurare un ricavo positivo — è quella della merce 4 mentre le attività che producono la merce 5, pur essendo in funzione, non danno alcun ricavo in termini di merce finita. Stando così le cose, non è per nulla conveniente produrre la merce 5. Essendo infatti le merci prodotte nel quarto settore producibili separatamente, il produttore potrebbe migliorare la propria redditività al limite disattivando la produzione della merce 5 e mantenendo inattivi i mezzi di produzione durevoli per i corrispondenti periodi. Nel caso di produzione multipla l'equazione di prezzo in termini temporalmente integrati per il settore 4 è data da

$$(1+\pi)[(1+\pi)^{U_4-1} p_1 + \sum_{i=1}^{U_1} (1+\pi)^{U_4-i} a_{24i} p_2 + \sum_{i=1}^{U_3} (1+\pi)^{U_4-i} a_{34i} p_3] + \\ + w \sum_{i=1}^{U_2} (1+\pi)^{U_4-i} a_{04i} = \sum_{i=1}^{U_4} (1+\pi)^{U_4-(2i-1)} b_{44,2i-1}$$

Non producendo la merce 5 scompaiono dal lato dei costi tutti i consumi intermedi e gli impieghi di lavoro relativi alle attività di ordine pari mentre la produzione rimane inalterata. Ai dati prezzi vi sarebbe, di conseguenza, un aumento dei margini di profitto.

Evidentemente non basta che il prezzo della merce 5 sia positivo perché la produzione multipla possa affermarsi. È infatti necessario che esso sia anche non superiore a quello che si potrebbe realizzare

utilizzando altri metodi produttivi, siano essi impiegati in una industria autonoma o in «economia» all'interno del settore utilizzatore di tale merce. Dalla [A4] si deduce inoltre che, dato il salario monetario ed il saggio di profitto, ogni modificazione tecnologica che comporti una riduzione del prezzo della merce 5 fa ridurre il prezzo di tutte le altre merci e, conseguentemente, fa aumentare, a parità di saggio di profitto, il salario reale espresso in un qualsiasi numerario.

Si supponga che nella configurazione produttiva in precedenza definita, compreso il quarto settore specializzato nella produzione della sola merce 4, la durata di impiego delle macchine sia quella economicamente più conveniente per un dato valore del saggio di profitto e che non muti al suo variare come potrebbe accadere nel caso di efficienza costante delle macchine. Si supponga, inoltre, che valga la [A5]. In queste condizioni il costo unitario di produzione per unità di merce 4, qualora imputassimo tutto il costo dei mezzi di produzione durevoli unicamente alla sua produzione, risulterebbe più elevato di quello che si realizzerebbe nella medesima industria se questa fosse specializzata nella produzione di questa merce. Di conseguenza il prezzo p_4 non coprirebbe tutti i costi di produzione e, per pareggiarli, vi dovrebbe essere un ricavo aggiuntivo assicurato da un prezzo p_5 positivo che vada a coprire tale scarto nonché i costi aggiuntivi relativi alla produzione di quest'ultima merce.

Supponiamo ora che, dato il salario nominale, il saggio di profitto aumenti a parità di prezzo degli input. I costi di produzione aumentano in tutti i settori ed i prezzi dei prodotti vengono corrispondentemente modificati. Per le considerazioni svolte in precedenza, l'aumento di prezzo della merce 4 che si verifica nell'industria specializzata non è sufficiente a coprire gli aumenti di costo nel settore a produzione multipla di modo che il pareggio tra ricavi e costi dovrà essere assicurato da un aumento anche del prezzo della merce 5, tendenza questa rafforzata, ovviamente, dall'aumento dei costi correnti anche di quest'ultima merce. Al nuovo saggio di profitto l'aumento dei prezzi sarà trasferito sui costi e, quindi, nuovamente sui prezzi con i medesimi risultati qualitativi, vale a dire con un nuovo aumento di tutti i prezzi. I nuovi prezzi di equilibrio, che tendenzialmente andranno a determinarsi nel sistema economico, saranno quindi tutti più elevati di quelli iniziali. Anche i prezzi in termini del salario cresceranno quindi col crescere del saggio di profitto, di modo che la relazione tra le variabili distributive, salario reale e saggio di profitto, avrà l'abituale andamento decrescente.

Per quanto riguarda la determinazione della durata di impiego più conveniente delle macchine, questa è in parte determinata, come nel caso di produzione singola con capitale fisso, dal segno del prezzo della macchina usata per i diversi valori del saggio di profitto. Si

consideri, ad esempio, il settore a produzione multipla e si consideri data la durata di utilizzo delle macchine negli altri settori meccanizzati. Indicando con l'apice U le grandezze relative ad una durata di impiego di U periodi ($U \leq U_4$) dello strumento durevole nel settore a produzione multipla³⁴ e con $p_{1,U}^U$ il prezzo della macchina 1 alla fine dell' i -esimo periodo di utilizzo nella configurazione che impiega la macchina fino all' U -esimo periodo possiamo scrivere

$$[A6] \quad \begin{cases} (1+\pi)p^{U-1}A^{U-1}+wa_0^{U-1} = p^{U-1}C^{U-1}+p^{U-1}D^{U-1} \\ (1+\pi)^U A^{U-1}+wa_0^{U-1} = p^U C^{U-1}+p^U D^{U-1}+p_{1,U-1}^U e^5 \end{cases}$$

dove $1 < U \leq U_4$ e $e^5 = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1]$. Esprimendo tutte le grandezze in termini del salario, la [A6] può risciversi come segue:

$$\begin{cases} 1/w p^{U-1} = a_0^{U-1} [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} - 1/w p^{U-1} D^{U-1} \\ [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} \\ 1/w p^U = a_0^{U-1} [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} - 1/w p^U D^{U-1} \\ [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} - 1/w p_{1,U-1}^U e^5 [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} \end{cases}$$

Sottraendo membro a membro si ottiene:

$$[A7] \quad \begin{aligned} 1/w p^{U-1} - 1/w p^U &= (1/w p^{U-1} - 1/w p^{U-1}) D^{U-1} \\ [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} &+ 1/w p_{1,U-1}^U e^5 [C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} \end{aligned}$$

Poiché

$$[C^{U-1} - (1+\pi)A^{U-1}]^{-1} > 0$$

e

$$\begin{aligned} (1/w p^U - 1/w p^{U-1}) D^{U-1} &= \\ &= [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ (1/w p_4^U - 1/w p_4^{U-1}) \sum_{i=1}^{U-1} (1+\pi)^{U-1-(2i-1)} b_{44,2i-1}] \end{aligned}$$

si verifica immediatamente, esaminando la quarta equazione del sistema [A7], che il segno di $1/w p_4^{U-1} - 1/w p_4^U$ coincide con quello di $1/w p_{1,U-1}^U$, che i prezzi delle merci finite in termini del salario coin-

³⁴ Perché tutte le macchine siano presenti nel sistema è necessario supporre che sia per lo meno conveniente espandere l'impiego della macchina almeno fino alla seconda attività, la prima che produce la merce 5. Questo è del tutto probabile se è conveniente spingere l'impiego della macchina nell'attività 4 fittizia oltre la prima attività.

cidono nelle due configurazioni messe a confronto se e solo se $p_{1,U-1}^U = 0$ e che in tale circostanza coincide anche il salario reale in termini di uno qualsiasi dei prezzi.

Qualora si adottasse il prezzo della merce 4 come numerario si avrebbe anche che il segno di $w/p_4^U - w/p_4^{U-1}$ coinciderebbe con quello di $p_{1,U-1}^U$ evidenziando la convenienza (non convenienza) ad utilizzare la macchina per un altro anno se quest'ultimo prezzo risultasse positivo (negativo).

Questa proprietà non è però necessariamente verificata per tutti i numerari. Nella [A7], infatti, gli elementi del primo addendo a secondo membro hanno segno opposto a quello di $p_{1,U-1}^U$. Ne consegue che uno o alcuni dei prezzi (ma non tutti) possono essere uguali anche se il prezzo della macchina usata è diverso da zero (positivo). Usando tali prezzi come numerario emergerebbero altri punti di scambio nelle curve salario-profitto in corrispondenza ai quali non si avrebbe uguaglianza nel sistema dei prezzi in termini del salario. Modificazioni nella durata di impiego della macchina potrebbero far aumentare il potere di acquisto del salario espresso in termini di detto numerario anche se il prezzo della macchina usata non avesse il segno opportuno individuato in precedenza.

Riferimenti bibliografici

- Ames, E., Rosenberg, N. (1965), *The Progressive Division and Specialization of Industries*, in «Journal of Development Studies», luglio.
- Antonelli, C. (a cura di) (1988), *New Information Technology and Industrial Change: The Italian Case*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Baldone, S. (1977), *Il capitale fisso nello schema teorico di Piero Sraffa*, in Pasinetti [1977].
- (1984), *Integrazione verticale, struttura temporale dei processi produttivi e transizione tra le tecniche*, in «Economia Politica», vol. 1, n. 1.
- Bowles, S. (1985), *The Production Process in a Competitive Economy: Walrasian, Neo-Hobbesian, and Marxian Models*, in «American Economic Review», vol. 75, n. 1.
- Cainarca, G. C. (1987), *Il difficile percorso dell'automazione delle attività produttive. Il caso di un'impresa della cantieristica meccanica*, in «Studi Organizzativi», n. 1.
- Freeman, C. (1968), *Chemical Process Plant: Innovation and the World Market*, in «National Institute Economic Review», agosto.
- Georgescu-Roegen, N. (1970), *The Economics of Production*, in «American Economic Review», vol. 60, n. 2.
- (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Harvard University Press.

- (1972), *Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production*, in «American Journal of Agricultural Economics», vol. 54, n. 2.
- Hayek, F. A. von (1941), *The Pure Theory of Capital*, London, Routledge.
- Hicks, J. R. (1970), *A Neo-Austrian Growth Theory*, in «Economic Journal», vol. LXXX, n. 318.
- (1973), *Capital and Time. A Neo-Austrian Theory*, Oxford, Clarendon Press.
- Leontief, W. (1951), *The Structure of American Economy, 1919-1939*, New York, Oxford University Press, (seconda ed. ampliata di *The Structure of American Economy, 1919-1929*, 1941).
- (1985), *The Choice of Technology*, in «Scientific American», giugno.
- Marshall, A. (1952), *Principles of Economics*, London, Macmillan (ristampa della ottava ed. del 1920).
- Marzi, G., Varri, P. (1977), *Variazioni di produttività nell'economia italiana: 1959-1967*, Bologna, Il Mulino.
- Marx, K. (1968), *Il Capitale. Critica dell'Economia Politica*, 3 vol., Roma, Editori Riuniti, ed. orig., *Das Kapital. Kritik der politischen Oekonomie*, 3 voll., 1867-1894.
- Momigliano, F., Siniscalco, D. (1986), *Mutamento nella struttura del sistema produttivo e integrazione tra industria e terziario*, in Pasinetti [1986].
- Neumann, J. von (1945), *A model of General Economic Equilibrium*, in «Review of Economic Studies», vol. XIII (I), n. 33 (art. orig. *Über ein ökonomisches Gleichungssystem und eine Verallgemeinerung des Brouwereschen Fixpunktsatzes*, in «Ergebnisse eines mathematischen Kolloquiums», n. 8, 1937).
- Pasinetti, L. (a cura di) (1977), *Contributi alla teoria della produzione congiunta*, Bologna, Il Mulino.
- (1981), *Structural Change and Economic Growth: A Theoretical Essay on the Dynamics of the Wealth of Nations*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (a cura di) (1986), *Mutamenti strutturali del sistema produttivo. Integrazione tra industria e settore terziario*, Bologna, Il Mulino.
- Rosenberg, N. (1963), *Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910*, in «Journal of Economic History», vol. XXIII, n. 4.
- Salvadori, N. (1986), *Il capitale fisso come «specie» del «genere» produzione congiunta*, in «Economia Politica», vol. III, n. 1.
- Scazzieri, R. (1981), *Efficienza produttiva e livelli di attività*, Bologna, Il Mulino.
- Schefold, B. (1977), *Capitale fisso, accumulazione e progresso tecnico*, in Pasinetti [1977].
- Sraffa, P. (1960), *Produzione di merci a mezzo di merci*, Torino, Einaudi.
- Stiegler, G. (1951), *The Division of Labor is Limited by the Extent of the Market*, in «Journal of Political Economy», vol. LIX, giugno.
- Tani, P. (1976), *La rappresentazione analitica del processo di produzione: alcune premesse teoriche al problema del decentramento*, in «Note Economiche».
- (1986), *Analisi microeconomica della produzione*, Roma, La Nuova Italia Scientifica.
- Varri, P. (1977), *Prezzi, saggio del profitto e durata del capitale fisso nello schema teorico di Piero Sraffa*, in Pasinetti [1977].