### 8. Coordinazione temporale ed efficienza produttiva

di Paolo Piacentini

#### 1. Premessa

L'insoddisfazione verso rappresentazioni del processo produttivo espresse formalmente in termini di funzioni di produzione (o di funzioni di costo a queste associabili), è il punto di partenza dell'approccio analitico delineato in questa sede. A. Leijonhufvud, in un recente contributo, suggerisce di essere brevi su questo punto, in quanto:

the familiar litany of complaints about the neoclassical constant-returns production function hardly bears repeating. The one point that is germane here is that it does not describe production as a process, that is, as an *ordered sequence* of operations. It is more like a recipe for bouillabasse where all the ingredients are dumped in a pot, (K; L), heated up,  $f(\ldots)$ , and the output, X, is ready  $^1$ .

Un compilatore di ricettari avrà probabilmente buon motivo di contestare questa affermazione, in quanto una ricetta specificherà i diversi tempi di cottura, e quindi l'ordine sequenziale di introduzione, nella pentola, degli ingredienti che vanno a comporre una zuppa di pesce. Il principio che l'efficienza del processo (e la qualità del prodotto), dipendano crucialmente dalla coordinazione temporale delle applicazioni di inputs materiali ed umani in cui consiste ogni atto di produzione, costituisce appunto la convinzione di fondo di questa linea d'indagine. Seguendo tuttavia il suggerimento di cui sopra, si cercherà qui di privilegiare un momento propositivo ad un momento critico, pur nella consapevolezza che la riflessione e la rappresentazione formale sono, su questo terreno, ancora in via di affinamento. L'auspicio è che eventuali aree di incertezza possano gradualmente essere ridimensionate nell'ambito di una traiettoria di ricerca che maggiormente avvicini la rappresentazione stilizzata della microeconomia a fenomenologie rilevanti dei sistemi produttivi moderni.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> A. Leijonhufvud [1986, 203].

## 2. Processi produttivi: fasi e tempi di produzione

La rappresentazione del processo produttivo in termini di dispie. gamento nel tempo reale delle immissioni dei contributi produttivi dei «fondi» e dei «flussi» e delle conseguenti realizzazioni del prodotto. originariamente dovuta a N. Georgescu-Roegen, si pone «ab initio» di questa traiettoria analitica. La riflessione successiva, che sembra aver trovato un terreno particolarmente fecondo nel nostro paese? ha soprattutto estratto ed estrapolato, a partire dallo schema analitico di Georgescu-Roegen, elementi utili ai fini di un inquadramento concettuale di tematiche proprie alla reale organizzazione produttiva. quali l'utilizzazione efficiente degli impianti, il decentramento produttivo, la relazione fra scala e forme organizzative dei processi. Ma la «traiettoria» contiene, crediamo, potenzialità di enucleazione di ulteriori corrispondenze fra risultati analitici ed attualità empirica.

Seguendo i consigli di Georgescu-Roegen, si dovrebbe preliminarmente applicare il principio della determinazione dei confini «spaziotemporali», anche all'ampiezza ed alle ambizioni di un singolo testo. Non possiamo evidentemente soffermarci in modo adeguato sulle ispirazioni ed anticipazioni che su questo terreno sono offerte dalla

teoria accumulata, ed in particolare dalla scuola «classica».

Ci limitiamo a riproporre qui due noti passaggi di A. Smith e di K. Marx, che sviluppano già aspetti centrali del «modello» di processo produttivo che si intende delineare qui di seguito.

Nella descrizione della manifattura degli spilli, Smith osserva:

l'importante mestiere di fare uno spillo si divide in circa 18 operazioni distinte, che in alcune fabbriche sono tutte eseguite da operai distinti, benché in altre fabbriche lo stesso uomo ne eseguirà talvolta due o tre 3.

Il processo produttivo, inteso come insieme di atti finalizzati alla realizzazione di beni o servizi aventi valore economico (merci), può essere allora analizzato nella sua scomposizione in fasi o sottoprocessi componenti; le tecnologie, intese nel senso lato di specificazione degli strumenti materiali ed umani impiegati nel processo e delle modalità

<sup>3</sup> A. Smith [1958, 10].

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> È probabile che la consolidata presenza nel nostro paese di orientamenti di analisi economica non disposti ad una accettazione acritica dei paradigmi neoclassici abbia facilitato, più che altrove, una «scoperta» non solo dell'interesse analitico in se. ma anche delle potenzialità di applicazione, dello schema di Georgescu-Roegen. Senza voler proporre una lista esaustiva dei contributi in questa direzione, si ricordino k lucide esposizioni del modello in Ziliotti [1969], Zamagni [1987]; gli sviluppi in termini di analisi di strutture produttive in Tani [1976], Mariti [1980].

del loro uso, possono differire per un maggiore o minore grado di integrazione (o, conversamente, di specializzazione) del loro impiego

fra le fasi stesse.

L'esempio di Smith allude ad una precisa sequenzialità, o relazione di precedenza definita sulle fasi. Tuttavia, il grado di integrazione, come l'ordinamento sequenziale, appartengono, secondo il punto di vista sviluppato qui di seguito, ad un momento successivo di specificazione della tecnologia di processo, mentre la scomponibilità in sottoprocessi e la necessità di un coordinamento fra questi rappresentano connotati universali di ogni attività di produzione.

Marx insiste d'altra parte, più di ogni altro, sulla centralità di una definizione temporale dell'efficienza del processo produttivo. L'apo-

dittica affermazione per cui:

Economia di tempo - in questo si risolve infine ogni economia 4,

allude chiaramente alla minimizzazione del tempo di produzione come criterio centrale di valutazione dell'efficacia dell'azione economica. Nello stesso passaggio, Marx sembra riferire questa nozione ad un contesto che oggi si direbbe piuttosto «macroeconomico»:

Economia di tempo e ripartizione pianificata del tempo di lavoro nei diversi rami della produzione, rimane dunque la prima legge economica sulla base della produzione sociale.

Ci sembra tuttavia che il principio della «ripartizione pianificata del tempo» possa riferirsi ad una qualsiasi delimitazione spazio-tem-

porale dell'attività economica.

È necessario a questo punto operare una distinzione ed un collegamento fra la categoria di «tempo di produzione», qui di seguito considerata, e quella di «tempo di lavoro» di uso più corrente nel contesto delle teorie del valore. Il «lavoro contenuto» («l») nel prodotto, cioè la quantità cumulata dei servizi del fondo «lavoro» per esso impiegato, può infatti essere espresso come il prodotto fra intensità di servizio e tempo di impiego del fondo stesso.

Se ora definiamo come tempo di produzione («t»), la durata del processo elementare, cioè il tempo richiesto per l'espletamento degli atti necessari a produrre un'unità di prodotto (comunque specificato), avremo una proporzionalità fra «lavoro contenuto» e «tempo di

produzione», o in simboli:

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> K. Marx, [1968, vol. I, 118].
<sup>5</sup> L'intensità di servizio è definita da Georgescu-Roegen come: service/time. Vedi Georgescu-Roegen [1976, 94]. Quindi tempo d'impiego per intensità di servizio dà, evidentemente, il flusso cumulato di servizi.

e cioè le ore di lavoro «socialmente necessarie» di Marx sono esprimibili come prodotto fra tempo di produzione in senso proprio l'intensità di lavoro («λ»), intuitivamente concepibile come numero

lavoratori cooperanti nel particolare processo 6.

Una relazione simile può porsi, oltre che per il lavoro, per ogni altro «fondo». Inoltre il tempo di produzione può definirsi in relazione al processo complessivo come ai sottoprocessi componenti; se ogni processo complessivo è il risultato di una addizione di fasi, anche il tempo di produzione complessivo sarà l'addizione dei tempi parziali di fase. «Intensità» e tempo di produzione, ove siano noti costi monetari di uso dei fattori fondo, specificano completamente costo di produzione riferito al processo elementare, e quindi il costo unitario del prodotto al netto degli inputs consumati?. È sufficiente infatti, a tale scopo, esprimere il costo dei fattori in termini di costo per unità di tempo (es. salario orario, costo per macchina-ora, rendita oraria, ecc.), in termini della quale si misuri, omogeneamente, anche il tempo di produzione <sup>8</sup>.

Questa visione della formazione del costo, come crucialmente determinata dalla struttura temporale del processo e dalla sua efficienza coordinativa, supera l'ambito angusto di una teoria del valore-lavoro per divenire più congruente ad una fase di sviluppo delle forze pro-

duttive in cui, nella stessa anticipazione di Marx:

<sup>7</sup> Qui, e altrove [Piacentini 1987] ho adottato la semplificazione di escludere materie prime dalle espressioni di costo. Si tratta pertanto, più che di un costo unitario, del costo dei fattori impiegati nella formazione del valore aggiunto nell'ambito del

particolare «confine analitico» del processo studiato.

<sup>8</sup> Riferire le diverse categorie di costo ad un comune denominatore temporale una pratica corrente nell'ambito della contabilità industriale. Dato un particolare tempo di produzione «t», il suo reciproco, 1/t, dà la produzione per unità di tempo («x»). Prendendo come unità di tempo l'ora (e sue frazioni), ed indicando con C ed X rispettivamente il flusso cumulato dei costi e del prodotto in un intervallo di riferimento H ore (ad es. la giornata lavorativa), avremo:

$$c = \frac{C}{X} \frac{C}{1/t \cdot H} = \frac{C}{H} t.$$

Il costo medio può quindi essere rappresentato come costo orario per tempo di produzione.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Altrove [Piacentini 1987] ho definito  $\lambda$  più genericamente come «coefficiente dei carichi di manodopera». Regimi d'orario diverso possono implicare di fatto una diversa ripartizione fra teste (o braccia) di un «fondo» di lavoro. Per la definizione originale di processo elementare, si veda Georgescu Roegen [1976, 41]; il collegamento con le categorie marxiane è già delineato in *ibidem*, (p. 44, fine).

la creazione della ricchezza reale viene a dipendere meno dal tempo di lavoro e dalla quantità di lavoro impiegato, che dalla potenza degli agenti che vengono messi in moto durante il tempo di lavoro [...], che dipende invece dallo stato generale della scienza e del progresso della tecnologia.

Abbiamo voluto anticipare qui il problema della derivazione di funzioni di costo empiricamente misurabili a partire dalla rappresentazione temporale degli impieghi dei fattori fondo nel processo produttivo elementare. Riteniamo che questo passaggio sia decisivo al fine di avvicinare la formulazione analitica del modello «flussi-fondi» a problematiche di valutazione dell'efficacia di gestione delle moderne organizzazioni industriali. Georgescu-Roegen, «himself», si esprimeva in modo scettico sulla possibilità di trovare facili punti di contatto fra analisi economica e pratica tecnica: «It is vain to hope that the production theory may reach the stage when its general analysis will yield practical recipes» 10. Crediamo possibile una parziale confutazione di questo pessimismo, sia pure a costo di semplificazioni del modello. Ma a questo scopo cerchiamo di procedere con ordine, definendo per l'appunto un «campo» particolarmente adatto ad una rappresentazione elementare del processo produttivo, che non risulti tuttavia chiuso rispetto a possibilità di estensioni e generalizzazioni.

# 3. Modello di produzione a flusso lineare

Con questo titolo alludiamo al caso più semplice di configurazione del processo, in cui la produzione di un singolo manufatto passa attraverso una serie di fasi di lavorazione, in sequenza successiva; siamo intuitivamente nell'esempio smithiano degli spilli, o in chiave più moderna, di una linea di produzione «rigida» <sup>11</sup>.

Si accettino preliminarmente le seguenti semplificazioni:

a) si suppone che l'immissione del flusso della materia prima (o delle materie) si situi «prima» del «confine analitico» del processo esaminato; ci interessiamo, pertanto, della formazione del valore aggiunto fino al completamento di un bene finale commerciabile <sup>12</sup>;

K. Marx [1968, vol. II, 400].
 Georgescu-Roegen [1976, 51].

Ancora, la definizione di processo di produzione di tipo «straight-line», proposta da Scazzieri [1983] nella sua lucida tassonomia dei processi produttivi, corrisponde in linea di massima con il nostro schema.

Che i prodotti intermedi non siano interessanti in sé, ma solo in quanto tappe verso la formazione di una merce finale, è il punto di vista di Georgescu-Roegen [1976, 64], dove si legge: «Briefly, the economist cannot afford to abandon bis commodity fetishism...».

b) si suppone inoltre che il processo produttivo sia stabilizzato: tutte le fasi sono contemporaneamente attivate ed i processi elementari si susseguono con continuità sulla linea;

c) vi è completa specializzazione, nel senso che non è ammessa la trasferibilità, nel periodo di riferimento, dei fattori-fondo fra le fasi.

Le semplificazioni implicano pertanto che siano state definite pre liminarmente eventuali scelte di sequenza del processo e di allocazione dei fondi. Questa ci sembra la trasposizione adeguata dell'ipotesi del «breve periodo», definibile come rigidità di una specificazione tecnica data, al nostro contesto analitico. Questa semplificazione non impedisce evidentemente che in altri contesti non si possano introdurre elementi di flessibilità o ulteriori parametri di scelta.

Date 1, 2, ..., n fasi, indichiamo con  $t_i^*$  il tempo di produzione in condizioni di utilizzazione ottimale della tecnologia, per la fase  $r^n$ , espresso in ore e frazioni di ora. Il tempo di produzione totale sarà

evidentemente:

$$[1] T^* = \Sigma_i t_i^*$$

Introduciamo ora il parametro della scala di attivazione, espressa da un vettore  $\mu_i$ : questo parametro può essere intuitivamente pensato come il numero (intero) di impianti «elementari» attivati per ogni fase. In altre parole, si tratta di assumere che per ogni fase esista una soglia minima di attivazione e che ogni altro livello di produzione possa essere espresso come suo multiplo intero. L'ipotesi di proporzionalità fra parametro di scala e volume produttivo introduce implicitamente un postulato di rendimenti costanti di scala per numen interi.

È immediata a questo punto la derivazione dei volumi produttivi

potenziali per fase e per unità di tempo (pezzi/ora):

[2] 
$$x_i^* = \frac{\mu_i}{t_i^*}$$
  $(i = 1, 2, ...., n)$ 

Definiamo quindi la condizione di equilibrio di flusso produttivo:

[3] 
$$x_1^* = x_2^* = \dots = x_n^* \equiv x_F^*$$

dove  $x_F^*$  è la quantità di prodotto «finale». La nozione di equilibrio si fonda sul perfetto *bilanciamento* delle capacità produttive fra le fasi. In assenza di questa condizione, la produzione finale sarà vincolata a:

$$(4) x_F^* = \min_i (x_i^*)$$

Nella letteratura tecnica sul problema del cosiddetto «bilanciamento delle linee di produzione», questa situazione è espressa come «bottleneck condition» 13. t\* e x\* indicano valori tecnici massimali; tuttavia, fattori tecnici ed organizzativi legati alle condizioni di uso degli impianti possono far allontanare l'esito del processo effettivo dall'optimum tecnico.

Georgescu-Roegen distingue, a questo proposito, fra utilizzazione della capacità produttiva in «a point of time» e sua utilizzazione «over time» <sup>14</sup>. Distinguiamo qui, analogamente, fra saturazione ed utilizzazione degli impianti, di nuovo prendendo spunto dalla terminologia di uso tecnico.

Ogni maggiorazione del tempo effettivo di produzione rispetto al tempo ottimale indica una mancata saturazione della produttività potenziale della configurazione tecnico-organizzativa. Avremo pertanto:

$$t_i = \delta_i \cdot t_i^* \ge t_i^* \qquad (i = 1, 2, \ldots, n)$$

i tempi effettivi di produzione,  $t_i$ , maggiorano i tempi ottimali di una quota pari al coefficiente di saturazione  $\delta_i \ge 1$ .

Dobbiamo fare ora riferimento ad un arco di tempo complessivo rispetto al quale misurare il grado di utilizzazione «over time» degli impianti. Considerando per semplicità l'anno solare, ed indicando con  $H_{\text{max}}$  il numero totale di ore lavorabili (i.e. 365 × 24), definiamo:

[5] 
$$\tau_i = \frac{H_i}{H_{\text{max}}} \le 1$$
  $(i = 1, 2, ..., n)$ 

come coefficiente di utilizzazione. Le espressioni [2] di produzione oraria, ove moltiplicate per H<sub>i</sub>, daranno ora i volumi producibili in ragione annua.

L'efficienza relativa del processo produttivo, a questo punto, viene a dipendere crucialmente dai fattori introdotti: coordinazione di flusso, saturazione tecnica, utilizzazione degli impianti. Allo scopo di visualizzare l'interazione di questi fattori, è opportuno introdurre esplicitamente una semplice espressione di costo del prodotto.

Riduciamo i «fondi» impiegati a due: «macchina» e «lavoro», op-

<sup>13</sup> La letteratura specializzata di ricerca operativa sul problema dell'«assembly line balancing» è ampia. Ci sembra che l'esposizione in Baybar [1986] sia particolarmente adatta anche ad un lettore non tecnico, almeno per l'esperienza di chi scrive. Si veda, ivi (a p. 150), la seguente definizione: «when the station times are unequal, the slowest station, the bottleneck station, determines the overall effective productioni rate of the line».

14 Georgescu-Roegen [1976, 46].

portunamente specializzati per fase. Non vi è, tuttavia, alcuna diffi

coltà analitica addizionale nel considerarne una pluralità.

Abbiamo precedentemente accennato all'opportunità di esprimere i costi dei fattori in ragione di tempo, al fine di renderli moltiplicabili per il tempo di produzione. Per le macchine, basta definire un opportuno «rental cost» annuo e dividerlo per le ore,  $H_i$ , di loro utilizzazione effettiva; per il lavoro, il costo per unità di tempo è evidente mente il salario orario.

Per una generica fase «i», avremo:

[6] 
$$c_i = (\frac{R_i}{H_i} + \lambda_i w) t_i$$

Nel «rental cost»  $R_i$  possono essere esplicitati diversi componenti del costo di uso del capitale, che per brevità omettiamo <sup>15</sup>;  $\lambda_i$  è l'intensità di lavoro definita precedentemente come numero di lavoratori cooperanti per fase.

Poiché i «tempi di produzione» si riferiscono al processo elemen-

tare, l'espressione:

[7] 
$$C = \Sigma_i c_i + C_f/x_f = \Sigma_i \left(\frac{R_i}{H_i} + \lambda_i w\right) t_i + \frac{C_F}{X_F}$$

può essere coinsiderata come un *costo medio unitario* <sup>16</sup>, dove con *C<sub>f</sub>* abbiamo indicato i costi generali (es. amministrazione) non attribuibili specificamente alle singole fasi.

Possiamo ora introdurre esplicitamente i parametri  $\tau_i$  e  $\delta_i$ :

[7 bis] 
$$C = \Sigma_i \left( \frac{R_i}{\tau_i H_{\text{max}}} + \lambda_i w \right) \delta_i t_i^*$$

Le maggiorazioni di costo rispetto all'efficienza massima ( $H_i = H_{\text{max}}$  e  $\delta_i = 1$ ) dipendono quindi dalla saturazione e dall'utilizzazione. In condizioni di mancata realizzazione dell'equilibrio di flusso, il volume finale del prodotto è determinato dalla «bottleneck condition»:

[4 bis] 
$$X_F = \min_i (X_i)$$

16 O meglio, avendo escluso le materie prime, come valore aggiunto unitario al

costo dei fattori.

<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> In Piacentini [1987], il «rental cost» per ogni fase è ottenuto moltiplicando il valore del capitale investito per una somma di tre coefficienti, rappresentanti una quota annua di ammortamento, il tasso d'interesse e l'incidenza annua dei costi di manutenzione.

dove le lettere maiuscole indicano totali annui ( $X_i = x_i H_i$ ), e la mancanza di asterisco indica valori effettivi piuttosto che ottimali. Gli eccessi di produzione «parziale»:

$$E_j = X_j - \min_i (X_i)$$
  $(j = 1, 2, ..., n)$ 

non possono raggiungere lo stadio del prodotto commerciabile. Se il «bottleneck» è a monte della fase «i», questa dovrà automaticamente riproporzionarsi alla disponibilità data di prodotto parziale; se è a valle, si potranno accumulare scorte non lavorabili di «work in process». In quest'ultimo caso, il mantenimento o l'eventuale smaltimento delle scorte rappresenteranno costi addizionali rispetto all'optimum. Se non si vogliono, d'altra parte, prodotti parziali in eccesso, l'utilizzazione degli impianti in ciascuna fase dovrà essere ridotta e riproporzionata tenendo conto della capacità produttiva della fase di strozzatura. Si dovrà pertanto avere ex-post:

[8] 
$$H'_{j} = \min_{i} (X_{i}) \frac{t_{j}}{\mu_{i}} \leq H_{j}$$
  $(j = 1, 2 ... n)$ 

Indicando con  $H'_j$  /  $H_j = \varphi_j \le 1$  questo ulteriore fattore di «slack», si può ulteriormente modificare l'espressione del costo come:

[7 ter] 
$$C = \Sigma_i \left( \frac{R_i}{\tau_i \varphi_i H_{\text{max}}} \lambda_i w \right) \delta_i t_i^* + \frac{C_F}{X_F}$$

Nei vettori  $\delta$ ,  $\tau$ ,  $\phi$  sono pertanto esplicitate le cause delle maggiorazioni di costo, rispetto all'optimum, sopportate dal processo produttivo in mancanza del raggiungimento di una perfetta saturazione, utilizzazione e coordinazione. Lo schema così delineato può suggerire utili spunti ai fini di una tassonomia più aggiornata di forme di progresso tecnico ed organizzativo che incidono sull'efficienza dal lato dei costi. Rinviamo tuttavia, su questo punto, a quanto sviluppato in altra sede <sup>17</sup>. Qui di seguito, forniamo invece una esplorazione preliminare di possibili ampliamenti dello schema di base, che prendano in considerazione configurazioni più complesse o più ampi campi di scelta nell'ambito dei processi produttivi. Si avverte che si tratta, allo stato attuale, di suggerimenti analitici che devono trovare momenti di formalizzazione più adeguata.

<sup>17</sup> Si veda la parte 3 in Piacentini [1987].

### 4. Integrazione e sequenzialità

La delimitazione di «breve periodo» ha finora costretto l'ordine sequenziale ed il numero delle «fasi» ad una specificazione data. Al. lentando questa ipotesi, sia il numero delle fasi in cui il processo di produzione complessivo viene effettivamente scomposto, sia la loro sequenza di esecuzione, divengono invece parametri di scelta su cui si può operare una valutazione preliminare di efficienza comparata. Ricordiamo che la categoria di «fase», fin qui usata, va distinta a questo punto da quella di «operazione» (o «mansione»). Quest'ultima può essere pensata come la massima scomposizione, tecnicamente e concettualmente concepibile, del processo produttivo 18; la «fase», invece, come concreta articolazione del processo, può coincidere con una singola mansione, come può integrarne, al suo interno, una pluralità 19. L'esempio smithiano di lavoratori più o meno specializzabili per mansione coglie questa distinzione. In un'ottica più moderna, si parla nella letteratura tecnica di macchine semplici o complesse, nel senso che si specializzino in una singola od integrino più funzioni: un cosiddetto «machining centre» esegue contemporaneamente operazioni di lavorazione meccanica (es. fresatura, foratura, filettatura, ecc.) che possono essere altrimenti fatte eseguire separatamente da macchine dedicate. Integrazione, in senso tecnico, si riferisce allora al grado di ricomposizione (o viceversa, di scomposizione/specializzazione) delle particolari mansioni 20. Se i costi relativi alle alternative tecnologiche fossero a priori note all'impresa, nulla vieterebbe di eseguire confronti binari, o multilaterali, fra configurazioni di processo che implichino gradi diversi di integrazione. Dati, in generale, 1, 2,..., k processi possibili per la fabbricazione di un identico prodotto, articolati ciascuno in  $n_1, n_2, \ldots, n_k$  «fasi», si può scegliere la configurazione di costo minimale:

[9] 
$$\min_{j} \left( \sum_{i}^{j} c_{ij} + \frac{C_{Fi}}{X_{Fi}} \right) \qquad (j = 1, 2, ..., k)$$

19 In Baybar [1986], la distinzione fra mansione e fase («Task» e «Station») è così espressa: «Once of the key issue in the design of an assembly system, therefore, is the specification of the tasks to be performed at each individual station».

<sup>20</sup> La problematica del grado di integrazione dei processi produttivi, con riferimento in particolare alla configurazione attuale dei sistemi di automazione industriale, è sviluppata in Ingrao, Piacentini [1985], in particolare la parte 3.

<sup>18</sup> La mansione («Task») ha pertanto la funzione di elemento «atomistico» nell'analisi del processo produttivo. Si veda la definizione di Scazzieri [1983, 599]: «A task is a completed productive operation performed without interruptions on some particular object. It is not further divisible (at least for the purposes of the analysis in hand)».

Il processo innovativo può caratterizzarsi, in luoghi o periodi diversi, dal prevalere di «economie» o «diseconomie» di integrazione (o viceversa di specializzazione); il caso smithiano della divisione del lavoro, e quello marxiano della grande fabbrica dove lo sfruttamento di una comune fonte di forza motrice porta ad una necessaria contiguità fra le operazioni, possono essere visti come esempi caratteristici <sup>21</sup>.

Passando alla sequenzialità, l'ipotesi di un ordinamento unico e rigido fra le fasi è certamente restrittiva. In alcuni casi l'ordine di priorità fra due fasi rappresenterà una evidente necessità di ordine fisico o tecnico (ad esempio, non si può ordire un tessuto senza disporre prima del filato). In altri casi, la sequenza può essere flessibile al variare della configurazione organizzativa del processo. Altri autori hanno già correttamente inquadrato le condizioni di precedenza come ordinamento parziale definito sull'insieme delle mansioni <sup>22</sup>.

A rigore, grado di integrazione e sequenza vanno considerate come scelte, al limite contemporanee, da operare a partire dallo studio delle mansioni elementari. Solo per una maggiore facilità di esposizione, abbiamo scomposto il processo di scelta in due stadi ove nel primo si definisce una ricomposizione ottimale delle mansioni fra le fasi, e nel secondo una sequenza ottimale fra le fasi stesse. Nulla vieta, logicamente, l'inversione di quest'ordine.

Partiamo pertanto da un processo già specificato per numero di fasi «n». Se l'ordinamento del flusso produttivo fra le fasi («routing») fosse completamente flessibile, si avrebbero evidentemente n! sequenze possibili come permutazioni fra le fasi. I vincoli fisico-tecnici che stabiliscono relazioni di precedenza fra le fasi limitano il campo delle permutazioni ammesse. In particolare, se vi sono «r» relazioni binarie di precedenza definite fra coppie di fasi, le permutazioni ammesse scendono a  $n! / 2^{r^{23}}$ . Possiamo ancora, a questo punto, confrontare, per costi noti dei fattori fondo, l'efficienza comparata ricercando per la soluzione di costo minimo:

[10] 
$$\min_{j} \left( \sum_{i=1}^{7} c_{ij} + \frac{c_{Fi}}{x_{Fi}} \right)$$
  $j = 1, 2, ..., n!/2^r$ 

<sup>22</sup> Una esposizione recente e completa è in Benvenuti [1988], parte I.
<sup>23</sup> In Baybar [1986, 153], sono meglio specificate le condizioni di precedenza in termini di permutazioni ammesse fra le fasi, e viene sottolineata la difficoltà computazionale, sul piano concreto, del problema.

<sup>&</sup>lt;sup>21</sup> Il decentramento produttivo e la problematica della localizzazione di parti di un processo complessivo, di cui non ci occupiamo direttamente, possono essere tuttavia inclusi concettualmente nella categoria «integrazione». Un processo territorialmente più disperso richiede infatti maggior numero di operazioni di «trasporto» dei prodotti intermedi, che possono essere visti come particolari «fasi», richiedenti fattori-fondo specializzati. Un processo più decentrato sarà pertanto, nel nostro schema, equiparabile ad un processo meno «integrato».

dove ciascuna specificazione dell'indice j individua una sequenza am messa fra le fasi, nel senso che le necessarie relazioni di precedenza

vengono rispettate.

La scelta fra alternative tecniche si pone, concettualmente, come «prius» rispetto al problema di gestione efficiente di una tecnica da ta, delineata nel paragrafo precedente. Nondimeno, il processo «li neare» introdotto viene a questo punto a configurarsi come la risultante di questa scelta, e l'esplorazione delle condizioni di efficienza nel breve periodo conserva il suo interesse analitico autonomo.

Nei casi concreti, la scelta di «ordinamento» o di integrazione si porrà fra un numero limitato di opzioni ammesse dalla pratica ingegneristica corrente. È stato d'altra parte sottolineato che la soluzione formale di ottimizzazione simultanea dell'allocazione delle mansioni fra fasi (o «stazioni» come vengono spesso denominate nella letteratura specializzata) e della loro sequenza rappresenta un problema «computationally hard» nonostante la potenza degli strumenti odierni di calcolo. La pratica gestionale ricercherà pertanto regole operative o procedure di tipo «euristico» <sup>24</sup>.

### 5. Assemblaggio

I prodotti finali aventi valore di mercato sono, di norma, prodotti complessi che richiedono l'assemblaggio di componenti diversi. Lo schema di lavorazioni successive su un singolo «bene in processo», precedentemente delineato, può riferirsi a ciascuna componente parziale. Rimane tuttavia aperta l'esigenza di allargare la rappresentazione analitica fino ad includere questo momento di combinazione di

ordine superiore.

Il modo più semplice per trattare la problematica dell'assemblaggio nel nostro modello consiste nel considerare questo come una singola «fase» che segue, nella sequenza del processo, la disponibilità delle diverse componenti. In questo caso, la definizione di un vettore di fabbisogni unitari di componenti:  $(a_1, a_2, \ldots, a_s)$  identifica univocamente il prodotto complesso <sup>25</sup>. Date le quantità disponibili  $(X_1, X_2, \ldots, X_s)$  delle componenti stesse, che possiamo immaginare come il risultato della gestione dei processi ad essi relativi, possiamo immediatamente inferire la quantità ottenibile di prodotto finale come:

$$Y = \min_{i} \left( \frac{X_i}{a_i} \right) \qquad i = 1, 2, ..., s.$$

Si veda Benvenuti [1988, 272 ss.], per un'esposizione in parte analoga.

<sup>&</sup>lt;sup>24</sup> In *ibidem*, il paragrafo finale consiste precisamente nella presentazione di un modello «euristico».

Anche in questo caso vale, evidentemente, una «bottleneck condition»: il volume di prodotto finale è determinato dal «lato più corto» nella disponibilità di componenti. Ogni eccesso parziale di componente:

$$E_j = X_j - a_j \min_i \left( \frac{X_i}{a_i} \right)$$

darà ancora luogo a scorte non lavorabili, con addizioni di costo.

Se la fase di assemblaggio richiede macchinari e lavoro specifici, ed è caratterizzata da un suo particolare «tempo di produzione»,  $t_a$ , che si riferisce alla formazione di una unità del prodotto complesso finale, la «bottleneck condition» vincola l'effettiva utilizzazione nel tempo degli impianti specifici. Si ha infatti:

$$H_a = \min_i \left(\frac{X_i}{a_i}\right) \frac{t_a}{\mu_a}$$

Strozzature nei rifornimenti a «monte» determineranno un più basso valore di  $H_a$ , cioè di ore utilmente lavorabili nell'assemblaggio finale, determinando aggravi nei costi unitari degli impieghi dei fondi.

Rimane il fatto che questa rappresentazione dell'assemblaggio risulta insoddisfacente rispetto alla realtà dei processi produttivi, dove le fasi di lavorazione parziale sui pezzi e di assemblaggio parziale fra i pezzi si sovrappongono, in sequenze più o meno complesse, fino alla realizzazione del prodotto finale. Una rappresentazione più realistica dovrebbe descrivere tali sequenze e definirne gli esiti in termini di equilibri di flusso e/o di condizioni limitazionali del processo complessivo. La complessità di una tale rappresentazione sfugge, almeno in questo momento per chi scrive, ad un trattamento che sia nello stesso tempo sufficientemente rigoroso e parsimonioso. Si osservi che le componenti, a loro volta, sono il risultato di lavorazioni ed assemblaggi su subcomponenti, e così via.

Quel che segue rappresenta il suggerimento di una traiettoria analitica che andrà ulteriormente precisata. Si deve procedere, evidentemente, per configurazioni delimitate, stabilendo ogni volta un opportuno «confine analitico» del problema. Del resto, questa è la prassi corrente nella gestione concreta della produzione; e crediamo che la letteratura possa fornire anche su questo terreno spunti ad una sintesi analitica. Fra le aree specifiche della gestione industriale, la pianificazione dei fabbisogni in materiali e componenti va acquistando un'im-

portanza crescente <sup>26</sup>. Tale pianificazione, talvolta definita come «logistica» nell'ambito di una ripartizione funzionale dell'impresa, identifica preliminarmente, a partire dal prodotto finale, le parti/componenti negli stadi produttivi a monte. Una rappresentazione a «nomenclatura arborescente» può intuitivamente cogliere la struttura della formazione del prodotto (vedi fig. 8.1).

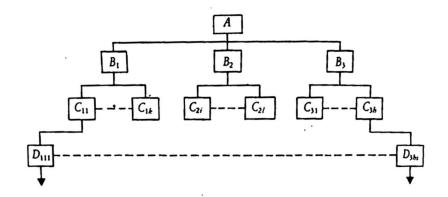


Fig. 8.1.

Il prodotto A richiede l'assemblaggio di tre componenti  $B_{ij}$  che a loro volta richiedono subcomponenti  $C_{ii}$ , e così via. La decisione preliminare, nell'ambito di una împresa (o di unità produttiva) è quella di delimitare il proprio campo operativo: per ogni casella successiva dell'«albero», si deve scegliere se fabbricare in sede o acquistare («make» or «buy») quella particolare componente. La pianificazione dei fabbisogni dà origine, a questo punto, a programmi specifici di fabbricazione o di approvvigionamento esterno a seconda della scelta. Il confine operativo dell'impresa od impianto si chiude quando per ogni ramificazione dell'albero si arriva ad un nodo terminale «buy», mentre per ogni casella per cui vale la decisione «make» si ripresenterà il problema di una gestione efficiente del processo di linea. Ma sia per le componenti prodotte, che per quelle acquistate dall'esterno, si renderà necessario un momento di coordinazione strategica di ordine superiore. Dati gli obiettivi quantitativi definiti per il prodotto finale, una logistica efficiente deve infatti specificare quantità e tempo di disponibilità dei prodotti intermedi. Dove tale pianifica-

<sup>26</sup> Il manuale francese di Mestoudjian e De Crescenzo [1986] è un utile strumento di comprensione delle metodiche di gestione della produzione anche per un non specialista. Tutta la seconda parte del volume è dedicata alla «Fonction Ordonnancement».

zione sarà stata carente, si verificheranno necessariamente eccessi o rotture di scorte. I primi implicano un danno emergente come costo addizionale incorporato in un fondo inattivo, mentre le seconde implicano un lucro cessante in termini di perdita di prodotto vendibile (e quindi costi crescenti per unità di prodotto dati i costi fissi connessi alla disponibilità dei «fondi»). La recente attenzione per le tecniche specificamente mirate alla gestione degli approvvigionamenti ed alla riduzione delle scorte di processo, quali sono state sviluppate in modo particolare nell'esperienza manifatturiera giapponese, testimonia la crescente consapevolezza degli operatori circa l'importanza della coordinazione temporale dei processi parziali come fattore di efficacia dal lato dei costi.

Riportiamo a questo punto una sintetica definizione del cosiddetto sistema di produzione «Just in time»: «Produce the necessary units in necessary quantities at the necessary time» <sup>27</sup>. Una caratteristica di questi sistemi, tra le altre, è il fatto che la loro concezione è precedente alla disponibilità dei sistemi computerizzati di programmazione («Computer Aided Production Planning») e si compendiava, almeno inizialmente, in specifiche di comportamento decentrate e gestite a livello di reparto. I nați «Kanban» della Toyota non sono (o non erano) altro che piccole lavagne con la specificazione degli obiettivi di produzione e di fabbisogni di approvvigionamento giornalieri di ogni reparto, coordinati per fasi da «valle a monte» («pull» system).

Vi è certamente un problema di apprezzamento pratico e di inquadramento analitico di queste metodiche anche da parte dell'economista. Benché la formalizzazione dettagliata di particolari problemi di ottimizzazione sia ormai prevalente terreno per specialisti di ricerca operativa 28, riteniamo che la teoria della produzione, nel senso di area di riflessione propria degli economisti, debba aggiornarsi su questo terreno, a costo, altrimenti, di perdere ulteriormente il collegamento con i fatti rilevanti dell'organizzazione produttiva moderna. Soprattutto, a livello di inquadramento dei fattori che determinano l'efficienza differenziale dei processi, vi è un bisogno urgente di aggiornamento dello strumento analitico. L'esempio della «engineering production function» come momento di ispirazione della riflessione economica da parte della pratica ingegneristica appare ormai particolarmente datato.

La rivista «International Journal of Production Research» si specializza intera-

mente su questo terreno.

<sup>&</sup>lt;sup>27</sup> La citazione da Monden [1981] è riportata in Ebrahimpour e Shonberger [1984, 422]. Si vedano anche le definizioni e le fonti riportate in Zamagni [1987, 372]. Il testo di Schonberger [1982] è un riferimento centrale per la conoscenza dei metodi di gestione industriale in Giappone. È disponibile, in dattiloscritto, una breve esposizione su questa ed altre «filosofie produttive» giapponesi [Piacentini 1988b].

L'esigenza di non sovrapporre «confini analitici» diversi in uno spazio ristretto non consente, in questa sede, di affrontare altre tema tiche di indubbia attualità nella rappresentazione dei processi produttivi. In particolare, questo testo non prende in considerazione una situazione in cui, come output del processo, vi sia una pluralità prodotti, dati normalmente come specificazioni diverse nell'ambito una qualche «famiglia» con caratteristiche comuni. Eppure, la parte più rilevante dell'attività manifatturiera avviene oggi secondo queste modalità. Importanti aspetti della configurazione produttiva, quale quello oggi molto dibattuto della flessibilità, non possono essere trattati adeguatamente se non in un contesto multiprodotto <sup>29</sup>.

In conclusione, non sembrano mancare, crediamo, ulteriori spunt che dovrebbero stimolare la ricerca lungo questa traiettoria «analitico-descrittiva» d'indagine dei processi produttivi <sup>30</sup>. Rimane ancora da precisare, probabilmente, l'opportuno livello di «astrazione» che differenzi la riflessione economica dalla pura descrizione tecnica o che distingua un livello di sintesi adeguato ad una teoria economica della produzione dalle formulazioni, spesso tecnicamente raffinate ma contestualmente delimitate, della ricerca operativa.

### Riferimenti bibliografici

Baybars, I. (1986), An efficient heuristic method for the simple assembly line balancing problem, in «International Journal of Production Research», n. 1.

Benvenuti, G. (1988), Tecnologia, mansioni, reticoli: un contributo alla teoria

dei processi produttivi, in «L'industria», IX, aprile-giugno.

Ebrahimpour, M., Schonberger, R. J. (1984), The Japanese Just-in time/total quality control production system: potential for developing countries, in «International Journal of Production Research», n. 3.

Georgescu-Roegen, N. (1970), The Economics of Production, in «American Economic Review», vol. LX; ristampato in Georgescu-Roegen [1976].

- (1972), Process analysis and the Neoclassical Theory of Production, in

<sup>30</sup> Per una definizione dei principi di un approccio «analitico descrittivo» alla teoria della produzione, come metodologia alternativa agli schemi dominanti in termini

di «optimization approach», si veda Landesmann [1986, 281-282].

<sup>&</sup>lt;sup>29</sup> L'analisi di forme di organizzazione produttive diverse dalla «linea» (ad es. l'organizzazione del tipo «job shop» invece che «straight line» nella terminologia di Scazzieri [1983]), non può essere correttamente affrontata che in un contesto di analisi del trade-off fra «flessibilità» e «produttività» in un ambiente multiprodotto. Per una concettualizzazione, sia pure in un contesto analitico molto delimitato, del tema, si veda Piacentini [1988a].

«American Journal of Agricultural Economics», ristampato in Georgescu-Roegen [1976].

- (1976), Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic

Essays, New York and Oxford, Pergamon Press.

Ingrao, B., Piacentini, P. (1985), Automazione flessibile e robotica: prospettive

di ricerca sui processi di diffusione, in «Economia e Lavoro», n. 3.

Landesmann, M. A. (1986), Conceptions of Technology and the Production Process, in Baranzini, M., Scazzieri, R. (a cura di), Foundations of Economics: Structure of Inquiry and Economic Theory, Oxford, Blackwell, pp. 281-310.

Leijonhfvud, A. (1986), Capitalism and the Factory System, in Langlois, R. N. (a cura di), Economics as a Process: Essays in the New Institutional Eco-

nomics, Cambridge, Cambridge University Press, pp. 203-223.

Mariti, P. (1980), Sui rapporti fra imprese in una economia industriale moderna. Milano, F. Angeli.

Marx, K. (1968), Lineamenti fondamentali della critica dell'economia politica,

2 voll., Firenze, La Nuova Italia, (ed. orig. 1953).

Mestoudjian, J., De Crescenzo, J. (1986) La gestion de production assistée par ordinnateur, vol. I, Paris, Edition de l'Usine nouvelle.

Philipoom, R. R., Rees, L. P., Taylor, B. W., Huang, P. Y. (1987), An investigation of the factors influencing the number of Kanbans required in the implementation of the JIT technique with Kanbans, in «International Journal of Production Research», n. 1.

Piacentini, P. (1987), Costi ed efficienza in un modello di produzione a flusso

lineare, in «Economia politica» n. 3.

 (1988a), Turbolenza di mercato ed efficienza d'impresa: una estensione della categoria di flessibilità nel senso di Stigler, in «Ricerche economiche», n. 1.

— (1988b), Note sullo stato e le prospettive di sviluppo dell'automazione flessibile nell'industria manifatturiera giapponese, Roma, Dipartimento di

Scienze economiche, dattiloscritto.

Scazzieri, R. (1983), The Production Process: General Characteristics and taxonomy, in «Rivista Internazionale di Scienze economiche e commerciali», anno XXX, luglio.

Schonberger, R. J. (1982), Japanese Manufacturing Techniques: Nine Hidden

Lessons in Simplicity, New York, The Free Press.

Smith, A. (1958), Ricerche sopra la natura e le cause della Ricchezza delle Nazioni, Torino, Utet, (ed. orig. 1776).

Tani, P. (1976), La rappresentazione analitica del processo di produzione, in

«Note economiche», n. 4-5.

— (1986), Analisi microeconomica della produzione, Roma, La Nuova Italia scientifica.

Winter, S. G. (1982), An Essay on the Theory of Production, in Economics and the World around it, a cura di H. Hymans, Ann Arbor, University of Michigan Press, Ann Arbor.

Zamagni, S. (1987), Economia Politica. Teoria dei prezzi, dei mercati e della distribuzione, Roma, La Nuova Italia Scientifica, seconda edizione.

Ziliotti, M. (1979), Produzione e tempo: il modello flussi-fondi di Georgescu-Roegen, in «Ricerche economiche». n. 3-4.