

## **LA FLESSIBILITÀ DEI SISTEMI PRODUTTIVI: concettualizzazioni e misurazioni sul campo**

**Alberto De Toni e Stefano Tonchia**  
*DIEGM – Università di Udine*

\*\*\*

### **1 - Introduzione**

Questo lavoro vuole essere un'occasione di riflessione per lo studio della flessibilità dei sistemi produttivi, fornendo schemi concettuali e indicazioni operative per la definizione, classificazione e misurazione di questa prestazione, che ha assunto un ruolo sempre più importante ai fini del conseguimento del vantaggio competitivo fra imprese.

La ricchezza del dibattito sul tema, che riguarda quantomeno un decennio di pubblicazioni accademiche e manageriali, testimonia l'ampiezza dei contenuti e la difficoltà a pervenire ad un quadro unitario ed univoco ("Flexibility has been an elusive quality in manufacturing and operations... The confusion and ambiguity about a concept that often represents a critical competitive capability seriously inhibits its effective management" - Upton, 1994).

In questo lavoro viene innanzitutto proposto uno schema d'indagine sulle definizioni di flessibilità, distinguendo tra l'origine della definizione (aziendale o riguardante altre discipline, come le teorie biologico-evolutive o la teoria dei sistemi) e l'applicazione della stessa.

Successivamente viene presentato uno schema tassonomico della letteratura sulla flessibilità dei sistemi produttivi, che si articola in 6 filoni: 1) la definizione, 2) l'analisi dei fattori che spingono e motivano la richiesta di flessibilità, 3) la classificazione ovvero dimensionalizzazione della prestazione, 4) la misurazione, 5) l'analisi delle leve/determinanti per ottenere flessibilità (distinguibili in leve progettuali-tecnologiche e leve organizzativo-gestionali), 6) le modalità di intendere la flessibilità produttiva (come priorità competitiva, come prestazione-obiettivo, con valenza strategica od operativa, difensiva oppure offensiva, finalizzata al conseguimento di altre prestazioni, ecc.).

In particolare, la flessibilità dei sistemi produttivi viene classificata secondo differenti logiche: 1) orizzontale (o per fasi); 2) verticale (o gerarchica); 3) temporale; 4) per "oggetto" della variazione (il volume, il mix, le caratteristiche del prodotto o del processo produttivo, ecc.); 5) mista (ovvero secondo più variabili).

Per quanto attiene invece alla misurazione, vengono riportati sia indicatori diretti che indiretti (valutazione di prestazioni correlate o di caratteristiche del sistema produttivo) e sottolineate le principali problematiche di misurazione.

Le concettualizzazioni e schematizzazioni proposte vengono poi analizzate alla luce di un caso di successo - Ixtant S.p.A., azienda leader, con oltre 200 miliardi di fatturato, nel settore del CEM (“Contract Electronics Manufacturing”, cioè produzione/assemblaggio di componenti elettronici per conto dei grandi colossi mondiali dell’elettronica, quali IBM, Compaq, HP, NEC, Motorola, Nokia, Siemens, ecc.).

Dopo aver individuato 9 dimensioni di flessibilità, secondo una logica “mista” che considera l’ “oggetto” della variazione e l’orizzonte temporale della variazione stessa - dimensioni riconducibili ad aspetti di flessibilità “statica” (condizioni di stato stazionario) e di flessibilità “dinamica” (transizioni reversibili o irreversibili) - per ciascuna dimensione sono stati approntati e sperimentati degli indicatori di misura e dei metodi di misurazione.

Gli studi condotti, nonché il primo test empirico nell’Azienda sopracitata, dovrebbero da un lato alimentare il dibattito accademico sul tema attraverso un’originale interpretazione dei suoi risvolti, e dall’altro lato già fornire utili indicazioni alle aziende per la misurazione della loro flessibilità produttiva.

## **2 - Schema tassonomico della letteratura sulla flessibilità dei sistemi produttivi**

La letteratura sulla flessibilità produttiva può essere articolata

secondo lo schema di Tab. 1, che prevede sei distinti aspetti (De Toni e Tonchia, 1996).

I singoli lavori trattano solitamente uno o più aspetti, a partire dalla stessa definizione di flessibilità, relativa a contesti di carattere generale, aziendale e/o solo produttivo. Spesso vengono indagate le cause che spingono e motivano la richiesta di flessibilità, la quale a sua volta viene classificata in svariati modi, che gli autori hanno raggruppato secondo differenti logiche: 1) orizzontale o per fasi; 2) verticale o gerarchica; 3) temporale; 4) per oggetto della variazione (il volume, il mix, le caratteristiche del prodotto o del processo produttivo ecc.); 5) mista ovvero secondo più variabili. Non sono invece numerosi i contributi riguardanti il tema specifico della misurazione della flessibilità (quali indicatori utilizzare, come sintetizzare le misure ottenute ecc.). Molto trattati sono infine i temi concernenti le leve o determinanti per ottenere flessibilità (distinguibili in leve progettuali o tecnologiche e leve organizzativo-gestionali) e le modalità di intendere la stessa flessibilità (priorità competitiva o prestazione, prestazione come obiettivo cioè “ex ante” oppure come risultato da misurare cioè “ex post”, prestazione potenziale oppure effettiva, con valenza strategica od operativa, difensiva oppure offensiva, finalizzata al conseguimento di altre prestazioni - Tonchia, 2000).

Tab. 1: Schema proposto di classificazione degli aspetti della flessibilità produttiva trattati in letteratura.

1 - Definizione di flessibilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• di natura generale</li> <li>• con riferimento all'azienda</li> <li>• con riferimento alla produzione</li> </ul>
---------------------------------	--

2 - Fattori che determinano la richiesta di flessibilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• incertezza ambientale (sia interna che esterna)</li> <li>• variabilità dei prodotti e dei processi</li> </ul>
3 – Classificazione della flessibilità (dimensioni)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• orizzontale o per fasi</li> <li>• verticale o gerarchica</li> <li>• temporale</li> <li>• per oggetto della variazione</li> <li>• secondo più variabili (mista)</li> </ul>
4 – Misurazione della flessibilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indicatori diretti</li> <li>• indicatori indiretti</li> <li>• indicatori di sintesi</li> </ul>
5 – Leve per la flessibilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• progettuali o tecnologiche</li> <li>• organizzativo-gestionali</li> </ul>
6 – Modi di intendere la flessibilità	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prestazione esterna versus interna</li> <li>• obiettivo (ex ante) versus risultato (ex post)</li> <li>• potenziale versus effettiva</li> <li>• strategica versus operativa</li> <li>• difensiva versus offensiva</li> </ul>

Di seguito saranno trattate le varie definizioni di flessibilità (par. 3), successivamente le flessibilità verranno classificate per dimensioni (par. 4), infine verrà trattato il problema della misurazione e proposto uno schema di indicatori (par. 5).

### **3 - Le definizioni di flessibilità dei sistemi produttivi**

Le definizioni di flessibilità produttiva che si riscontrano in letteratura si riferiscono direttamente al contesto aziendale/produttivo oppure derivano da definizioni generali di flessibilità, applicabili anche ad altri contesti, come quello biologico-evolutivo, antropico, della teoria dei sistemi ecc. (De Toni e Tonchia, 1998). L'origine (in altre discipline o direttamente all'interno del contesto aziendale) e l'applicazione (al contesto aziendale) delle definizioni di flessibilità sono riassunte nella Tab. 2 e di seguito commentate.

Tab. 2: Origine e applicazione delle definizioni di flessibilità.

		APPLICAZIONE DELLA DEFINIZIONE	
		ALTRE DISCIPLINE	CONTESTO AZIENDALE
ORIGINE DELLA DEFINIZIONE	ALTRE DISCIPLINE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• come caratteristica dell'interfaccia tra un sistema ed il suo ambiente</li> <li>• come grado di controllo omeostatico e efficienza dinamica</li> <li>• come capacità di adattam./cambiam.</li> </ul>	<p>ampiezza degli stati raggiungibili e tempo per raggiungerli (a causa della variabilità della domanda e dell'incertezza)</p>
	CONTESTO AZIENDALE	/	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bassi costi del cambiam. (<i>approccio economico</i>)</li> <li>• cambiamento "senza dis-organizzazione" (<i>approccio organizzativo</i>)</li> <li>• cambiamenti di volume, mix, prodotto e processo (<i>approccio operativo</i>)</li> <li>• cambiamenti di priorità competitive e business (<i>approccio strategico</i>)</li> </ul>

Da un punto di vista **generale**, la flessibilità può essere intesa:

- come caratteristica dell'interfaccia fra un sistema e l'ambiente esterno (Correa, 1994). In questo caso la flessibilità assume le funzioni di filtro, cioè di cuscinetto fra le perturbazioni esterne ed il sistema. La flessibilità opera quindi quale ammortizzatore dell'incertezza. Le perturbazioni esterne sono caratterizzate da: i. misura, ii. frequenza, iii. novità, iv. certezza;
- come grado di controllo omeostatico ed efficienza dinamica di un sistema (Mariotti, 1995). Si fa riferimento ad un sistema cibernetico ossia ad un sistema che incorpora meccanismi di misura, controllo e regolazione finalizzati all'omeostasi, cioè alla conservazione dello stato presente a

fronte di cambiamenti esogeni. La flessibilità viene quindi intesa innanzitutto come grado di adattamento cibernetico;

- come capacità di adattamento/cambiamento (Mandelbaum, 1978; Slack, 1983; Upton, 1994).

La flessibilità intesa come capacità di adattamento/cambiamento in generale è stata considerata ed **estesa ai sistemi aziendali** con accezioni abbastanza simili da Mandelbaum (1978) e da Slack (1983 e 1987).

Mandelbaum (1978) distingue tra: a) *flessibilità di stato*; b) *flessibilità di azione*. La prima è la capacità di funzionare nonostante il cambiamento delle condizioni operative (permette al sistema di essere “stabile”). La seconda è la capacità di intraprendere azioni a fronte del cambiamento, in particolare di passare da uno stato d’esercizio ad un altro, con brevi transitori e a bassi costi.

Slack (1983) riassume questo concetto distinguendo tra: a) *flessibilità di “range”*; b) *flessibilità di risposta*. La prima è un aspetto quasi-statico, tipicamente misurata sul lungo periodo ed avente come elemento di frizione sia il tempo che il costo; la seconda è un aspetto dinamico, di cambiamento da uno stato ad un altro, ed è tipicamente misurata su un orizzonte temporale di breve periodo e in assenza di sensibili variazioni di costo.

I due diversi tipi di flessibilità - di “range” e di risposta - possono essere considerati nel contesto aziendale e posti in relazione con i due principali fattori che portano alla richiesta di flessibilità: la varietà (dei

prodotti e dei processi) e l'incertezza della domanda.

Slack (1987) conclude che la prestazione di flessibilità può essere analizzata come "range" di valori ovvero numero di stati raggiungibili:

- in assoluto;
- entro un certo limite di tempo;
- entro un certo limite di costo;
- entro un certo limite di tempo e di costo.

Ne consegue che, pur essendo la dimensione intrinseca della flessibilità quella temporale (capacità di muoversi velocemente da uno stato all'altro, ovvero di "trasformarsi per adattarsi"), essa viene compiutamente descritta da:

- il "range" di stati possibili;
- il tempo necessario per spostarsi da uno stato ad un altro;
- il costo da sostenere per spostarsi appunto di stato.

Tuttavia, poiché sussiste una correlazione fra costi e tempi, tant'è che implicano spesso delle scelte di "trade-off", ci si può ricondurre a due dimensioni: "range" degli stati e tempo di risposta.

Le tesi di Slack (1983 e 1987) vengono riprese da Upton (1994 e 1995), il quale considera la flessibilità composta da più dimensioni ciascuna delle quali si manifesta entro orizzonti temporali diversi e con tre elementi che la caratterizzano:

- il "range",
- la mobilità (in relazione alle "transition penalties for moving within the



range”),

- l’uniformità (delle altre prestazioni oltre il costo - come la qualità - all’interno del “range”).

La flessibilità viene così definita come “the ability to change or react with little penalty in time, effort, cost or performance”.

La nozione di flessibilità come **tipico concetto della teoria dell'impresa (approccio economico)** (Tab. 2) sembra essere stata introdotta da Stigler nel 1939. Egli studiò la flessibilità (ai volumi) in termini delle pendenze delle curve di costo di breve termine, e trovò che la flessibilità è maggiore se sono più piatte le curve dei costi marginali e medi, curve funzione dei volumi produttivi. Ma forse lo studio più rigoroso e analitico sulla flessibilità ai volumi è stato fatto da Mills (1984), il quale assunse la funzione quadratica:  $c(q) = \alpha + \beta q + q^2 / (2\delta)$  con  $\alpha, \beta, \delta > 2$  (dove “c” sono i costi totali e “q” il volume produttivo).

Un’altra nozione di flessibilità direttamente originatasi in ambito aziendale riguarda l'*approccio organizzativo*, attraverso la considerazione di modelli organizzativi che permettano di operare e rispondere in tempi rapidi ai cambiamenti ambientali; in quest’ambito sono compresi gli studi sulla flessibilità del lavoro (Atkinson, 1985). Di particolare importanza vi sono a riguardo i contributi di Burns e Stalker (1961), col concetto di strutture “organicistiche” (in contrapposizione a strutture “meccanicistiche”) e Mintzberg (1979), col concetto di “adhocracy”.

La flessibilità diventata uno dei maggiori fattori critici di successo delle imprese, ha anche spinto a considerarla secondo un *approccio strategico*, dando inizio ad un filone di studi che tratta le priorità competitive ed i business come “oggetti” delle variazioni connesse ad una maggiore o minore flessibilità (De Toni, 1996; De Toni e Tonchia, 2000).

Ma, in campo manageriale, molta parte del dibattito è ed è stato a lungo catturato dalla flessibilità manifatturiera o produttiva in generale (*approccio operativo*), pur tuttavia non risolvendo ancora alcuni problemi, specie quelli legati alla misurazione.

Zelenovich (1982) definisce la flessibilità produttiva come la capacità di un sistema produttivo di adattarsi successivamente a cambiamenti nelle condizioni ambientali e nei requisiti di processo. Questa definizione è importante perché per la prima volta vengono considerate sia la natura “esogena” che “endogena” della flessibilità: esogena come conseguenza della domanda di mercato, endogena come sfruttamento delle opportunità offerte dall’innovazione tecnologica.

Classificheremo ora i principali tipi di flessibilità riscontrabili nei sistemi produttivi, considerati in senso ampio, cioè con estensione all’intera “catena del valore”.

#### **4 - Classificazione delle flessibilità dei sistemi produttivi**

I diversi modi di classificare la flessibilità e le conseguenti numerose

dimensioni presentate in letteratura avvalorano la tesi di un concetto ampio e articolato (Sethi e Sethi, 1990). Diventa quindi fondamentale individuare delle variabili di classificazione, ovvero le differenti logiche che sottendono l'interpretazione delle diverse dimensioni della flessibilità.

Sono individuabili quattro diverse logiche classificatorie, anche se spesso le tassonomie presentate sono il frutto di logiche miste (De Toni e Tonchia, 1996):

- 1) orizzontale o per fasi;
- 2) verticale o gerarchica;
- 3) temporale;
- 4) per oggetto della variazione.

Fra le logiche miste, la più diffusa è quella che considera congiuntamente il tempo e l'oggetto della variazione (ad esempio: flessibilità di breve termine legate ai volumi o al mix; flessibilità di medio-lungo termine legate all'innovazione di prodotto e di processo, all'espansione della capacità produttiva ecc.).

La Tab. 3 riassume i contributi significativi, secondo la suddetta classificazione.

La classificazione della flessibilità per “oggetto” della variazioni riguardo alle quali la flessibilità viene considerata, è la classificazione maggiormente adottata in letteratura.

Tab. 3: Schema proposto di sintesi dei contributi inerenti alla classificazione della flessibilità.

Classificazione orizzontale o per fasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• catena del valore (Kim, 1991)</li> <li>• interna/esterna (Lynch e Cross, 1991)</li> <li>• estesa ai fornitori (Kumpe e Bolwijn, 1988)</li> <li>• estesa ai servizi (Silvestro, 1993)</li> </ul>
Classificazione verticale o gerarchica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• per livelli (Buzacott, 1982; Gerwin, 1982; Slack, 1987; Swamidass, 1987; Mair, 1994)</li> </ul>
Classificazione temporale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• di adattamento / di progetto (Zelenovich, 1982)</li> <li>• per orizzonti temporali (Merchant, 1983)</li> </ul>
Classificazione per oggetti (volume, mix ecc.) Delle variazioni, in relazione ad altre variabili	<ul style="list-style-type: none"> <li>• incertezze ambientali (Gerwin, 1982)</li> <li>• perturbazioni del sistema produttivo (Azzone, 1989)</li> <li>• caratteristiche degli FMS (Browne et al., 1984)</li> <li>• caratteristiche tecnologiche e gestionali del sistema produttivo (Brandolese, 1990)</li> <li>• funzioni aziendali interessate (Chen et al., 1992)</li> </ul>
Classificazione con logica mista	<ul style="list-style-type: none"> <li>• temporale / per oggetti (Barad e Sipper, 1988)</li> <li>• verticale / per oggetti (Sciarelli, 1987)</li> </ul>

Gerwin è stato il primo a parlare specificatamente di diverse dimensioni di flessibilità (1982), collegandole successivamente (1987 e 1993) ai diversi tipi di *incertezze ambientali* che le determinano; Gerwin distingue tra flessibilità:

1. *ai materiali*, definita come capacità di fronteggiare variazioni impreviste negli inputs, e misurata attraverso le tolleranze dimensionali e le deviazioni massime ammissibili nelle proprietà chimico-fisiche dei materiali stessi;
2. *al volume*, definita come capacità di fronteggiare variazioni nella domanda aggregata, e misurata dal rapporto fra la variazione media riscontrata del volume produttivo e la capacità produttiva massima;
3. *ai prodotti* (“modification flexibility”), definita come capacità di fronteggiare richieste del mercato in termini di specifiche dei prodotti, misurata dal numero di modifiche di progetto avvenute in un certo periodo di tempo, oppure dal rapporto fra investimenti che si rendono

necessari per modificare la produzione esistente e il livello globale degli investimenti in impianti;

4. *al mix*, definita come capacità di fronteggiare richieste del mercato in termini di diversità dei prodotti offerti in un certo istante, misurata dall'ampiezza di gamma;
5. *di "changeover"*, che tiene conto della capacità di variare nel tempo il mix produttivo, in relazione al ciclo di vita dei singoli prodotti;
6. *al ciclo standard* ("re-routing flexibility"), misurata dal numero di opzioni di "routing" possibili, importante per fronteggiare i guasti alle macchine.

Azzone (1994) introduce il concetto di *flessibilità elementari*, in quanto misurate da indicatori indipendenti fra di loro; possono essere considerate flessibilità "elementari" le flessibilità:

- *di produzione* (insieme dei prodotti realizzabili con le risorse esistenti ovvero ampiezza di gamma);
- *di prodotto* (capacità di modificare le risorse dell'impresa per introdurre un nuovo prodotto);
- *di tecnologia* ovvero *di operazione* (capacità di introdurre nuove operazioni a costi contenuti);
- *di mix* (capacità di variare, in termini quantitativi, il mix di prodotti attualmente in produzione senza costi addizionali);
- *di volume* (capacità di variare il volume produttivo senza rilevanti conseguenze sui costi di produzione);

- *di espansione* (può essere considerata in relazione al costo sopportato per un'espansione dell'impianto, successivamente alla fase d'avvio dell'impianto stesso).

Le suddette flessibilità elementari sono classificate in relazione alle *perturbazioni* che portano a richiedere tali flessibilità, distinguendo le perturbazioni *per tipo* (quantitative oppure qualitative) e *per entità* (di "range", piccole o grandi).

Una classificazione molto citata in letteratura è quella di Browne et al. (1984), che, con particolare riferimento ai *sistemi flessibili di produzione* (FMS -Flexible Manufacturing Systems), individua otto diversi tipi o dimensioni di flessibilità:

1. *machine flexibility*: è la facilità con cui la macchina effettua le modifiche necessarie per produrre un dato "set" di particolari ("ease of change to process a given set of part types"); misure di tale flessibilità sono ad esempio i tempi di set-up richiesti dalla macchina utensile per passare da una lavorazione di un particolare ad un altro
2. *process flexibility*: è la capacità di produrre un certo "set" di particolari ("ability to produce a given set of part types"). Una misura di questa flessibilità è data dal numero di particolari che possono essere prodotti;
3. *product flexibility*: è la capacità di produrre un certo "set" di particolari velocemente ed economicamente ("ability to change to process new part types"). Può essere misurata dal tempo necessario per passare da un mix

di particolari ad un altro non necessariamente dello stesso tipo. La “product flexibility” è la flessibilità più importante dal punto di vista del marketing: il rapido inserimento di nuovi prodotti a costi competitivi consente una risposta efficace ai mutamenti di mercato;

4. *routing flexibility*: è la capacità di far fronte a guasti delle apparecchiature continuando a produrre il medesimo “set” di particolari (“ability to process a given set of parts on alternative machines”). In altri termini, è la capacità del sistema flessibile di funzionare in modo degradato. Una misura di questa flessibilità è data dal numero dei particolari che possono continuare ad essere prodotti e dal decremento del tasso di produttività;
5. *volume flexibility*: è la capacità del sistema flessibile di operare a volumi produttivi più bassi senza eccessivo aumento dei costi unitari di produzione (“ability to operate profitably at varying overall levels”). Può essere misurata dalla diminuzione di volume che fa lievitare i costi unitari al massimo valore accettabile;
6. *expansion flexibility*: è la possibilità di espandere la capacità produttiva del sistema in maniera modulare quando necessario (“ability to easily add capability and capacity”). Questa flessibilità può essere determinata dalle dimensioni in termini di capacità che il sistema può raggiungere;
7. *operation flexibility*: è la possibilità di invertire l’ordine con cui sono eseguite le operazioni del ciclo di ciascun particolare (“ability to interchange ordering of operations on a part”). Nella maggior parte dei

casi la sequenzialità è rigida, ma per alcune operazioni è arbitraria. Non predeterminare nel ciclo quale deve essere l'operazione successiva o la macchina successiva, incrementa notevolmente la flessibilità. Le decisioni vengono prese in real-time dal sistema di controllo in funzione dello stato dell'impianto;

8. *production flexibility*: è l'universo dei particolari che un impianto può produrre ("the universe of part types that can be processed"). Potremo definire tale flessibilità come il mix potenziale dei particolari producibili.

Brandolese (1990) considera distintamente la *flessibilità* (come caratteristica "software" o gestionale del sistema produttivo nel suo complesso) e la *versatilità* (come caratteristica "hardware" o intrinseca al sistema produttivo, caratteristica che si riferisce esclusivamente a macchinari ed impianti e che è condizione necessaria ma non sufficiente per ottenere flessibilità).

La *versatilità*, invece, ha due dimensioni principali, che possono essere indipendenti (per esempio, un impianto può essere più riconfigurabile e al tempo stesso meno convertibile di un altro):

- la *riconfigurabilità* (tiene conto dell'ampiezza del "set" di operazioni eseguibili e dell'efficienza con cui è possibile eseguirle, nonché della compatibilità fra le varie operazioni del "set" in termini di costi e tempi di attrezzaggio);
- la *convertibilità* (tiene conto delle difficoltà di messa a punto di un



impianto nella fase di industrializzazione di nuovi prodotti, comprese le necessarie modifiche impiantistiche, di “layout” e ai sistemi ausiliari).

## **5 - Proposta di uno schema per la misurazione della flessibilità dei sistemi produttivi**

A fronte dell'importanza e dell'interesse costante che la flessibilità suscita in ambito accademico e manageriale, la misurazione della flessibilità rappresenta ancora un tema tutt'altro che sviluppato, sia per la multi-dimensionalità che caratterizza la flessibilità sia per la carenza di indicatori che la possano misurare direttamente: “in spite of the need, no well-accepted operationalizations exist” (Gerwin, 1993).

L'esistenza di diverse dimensioni della flessibilità fa sì che vengano effettuate misure parziali della flessibilità di un sistema produttivo; ciò richiede in seconda istanza delle procedure di sintesi per arrivare ad un unico indicatore aggregato che tenga conto delle singole e diverse flessibilità ovvero ad una somma di punteggi di varie flessibilità.

Si possono considerare due attributi discriminanti della flessibilità: 1) l' “*oggetto*” della variazione e 2) le “*caratteristiche*” della variazione; queste ultime si concretizzano definendo:

- le “*condizioni di stato*” (o di partenza);
- il “*tipo della transizione*” (nel breve termine, generalmente reversibile);

nel lungo termine, di solito irreversibile).

Questa distinzione tra “condizioni di stato” e “transizioni” è da collocare nell’ambito di specifici approcci di studio alla flessibilità produttiva basati sulle reti di Petri. Tali reti sono strutture grafiche aventi degli “stati” (“condizioni”) e delle “transizioni” (“eventi”); ogni transizione (ad esempio l’inizio lavorazione) ha degli stati di input (macchina disponibile, lavoro in attesa) e degli stati di output (macchina operante): in questo schema la flessibilità è funzione dei tempi di raggiungimento degli stati (Barad e Sipper, 1988).

L’utilizzo delle variabili “condizioni di stato” e “tipo di transizioni” (reversibili e irreversibili) ci consente di pervenire alla classificazione unitaria delle flessibilità dei sistemi produttivi di Tab. 4, se consideriamo tre tipi di “oggetti” che variano: 1) i volumi; 2) i prodotti; 3) i processi. Ne conseguono 9 classi di flessibilità, all’interno delle quali si collocano le principali definizioni riscontrate in letteratura.

Tab. 4: Classificazione unitaria delle flessibilità dei sistemi produttivi.

	Oggetto della variazione Orizzonte temporale	VOLUME	PRODOTTO	PROCESSO
FLEX STATICA	Oggi (condizioni di stato)	Capacità produttiva	Ampiezza e profondità di gamma	Ampiezza delle fasi del processo produttivo
FLEX DINAMICA	Breve termine (transizioni reversibili)	Flessibilità ai volumi	Flessibilità al mix	Flessibilità ai cicli produttivi
	Lungo termine (transizioni irreversibili)	Flessibilità all'espansione	Flessibilità ai prodotti	Flessibilità alla tecnologia

La flessibilità è in generale una *capacità variazionale*, una forma di elasticità al cambiamento nel tempo di un “oggetto” (volume produttivo, tipologia di prodotto, tipologia di processo).

Spesso la flessibilità è stata considerata solo in un’ottica di prestazione temporale; a rigori la flessibilità va intesa come capacità di variare qualcosa non solo velocemente, ma anche con bassi costi e senza peggioramenti nella qualità; in termini analitico-differenziali, si potrebbe scrivere:

$$\frac{\dot{Z}^3 O}{\dot{Z} T \dot{Z} C \dot{Z} C}$$

A volte, se in prima approssimazione sia le variazioni dei costi che della qualità risultano essere sensibilmente inferiori alle possibili variazioni dei tempi in gioco (o quantomeno così si vorrebbe), la flessibilità viene

accostata ad una *prestazione di tempo*: viene cioè considerata la sola variazione  $\dot{Z}T$  del denominatore.

Quindi, se si assume che la flessibilità sia una “capacità di variazione nel tempo di un certo oggetto”, allora è possibile affermare che *non* è formalmente appropriato attribuire significato di flessibilità alle tre “flessibilità di stato” di Tab. 4, cioè al livello di *capacità produttiva*, all'*ampiezza e profondità di gamma*, all'*ampiezza delle fasi del processo produttivo*.

Per quanto attiene alla caratteristica “tipo della transizione” (reversibile o irreversibile), essa ci consente di differenziare la *flessibilità ai volumi* (in genere valutata sul breve periodo per variazioni fluttuanti e reversibili della domanda e quindi della quantità di produzione), dalla *flessibilità di espansione* (valutata sul lungo periodo per variazioni irreversibili delle quantità da produrre). In modo del tutto analogo, la *flessibilità al mix* va considerata sul breve periodo in relazione a fluttuazioni reversibili della composizione dell'output, mentre la *flessibilità ai prodotti* viene valutata per variazioni di composizione dell'output sul lungo periodo. Similmente, la *flessibilità ai cicli produttivi* manifesta connotati di reversibilità, mentre la *flessibilità alla tecnologia* introduce cambiamenti di natura irreversibile.

I diversi orizzonti temporali che caratterizzano in genere le variazioni

reversibili e quelle irreversibili spiegano anche perché spesso la flessibilità ai volumi e al mix (reversibili) siano valutate soprattutto in relazione ai *costi* (l'intervallo temporale della variazione è breve rispetto ai tempi in gioco, e la variazione avviene nell'intorno delle "condizioni di stato" di capacità, mix e fasi del processo date). Viceversa, le transizioni irreversibili, siccome avvengono in intervalli significativamente lunghi (si pensi all'inserimento di un nuovo prodotto che può richiedere anche uno più anni), si valutano sia in termini di *costo* che di *tempo*.

## **6 - Applicazione dello schema proposto per la misurazione della flessibilità dei sistemi produttivi: il caso Ixtant S.p.A.**

Ixtant S.p.A. è leader italiano e tra i primi in Europa dei "Contract Electronic Manufacturers" (CEM). Col termine di "Contract Electronic Manufacturing" si fa tradizionalmente riferimento all'attività di assemblaggio di componenti elettronici su schede a circuito stampato, mediante contratti d'appalto, per conto degli "Original Equipment Manufacturers" (OEM). Questi ultimi sono i produttori originali dell'apparecchio elettronico e ne detengono il marchio commerciale; sono, in genere, i colossi del mondo dell'elettronica (IBM, Compaq, HP, NEC, Siemens, Motorola, Apple, Nokia, Philips, ecc.), che, con il passare del tempo hanno intrapreso un processo di esternalizzazione ("outsourcing") delle attività produttive, che ha appunto portato alla nascita e al continuo

sviluppo dei CEM. Tale processo di esternalizzazione è stato consentito soprattutto grazie alla tecnologia di assemblaggio dell'ultima generazione, nota come SMT ("Surface-Mount-Technology"), diffusasi sul finire degli anni '80.

Attualmente i CEM sono in grado di fornire anche una notevole gamma di servizi di supporto alla tradizionale attività manifatturiera che essi svolgono; possiedono infatti elevate competenze di progettazione e collaudo degli apparati e nella gestione logistica dei materiali e dei prodotti assemblati.

Ixtant S.p.A. nasce nel 1997, capitalizzando esperienze e risorse di Telital S.p.A.. L'azienda gestisce stabilimenti produttivi e coordina terzisti, al fine di sviluppare, produrre e commercializzare apparecchiature elettroniche, affiancandovi anche servizi di pre- e post- manufacturing. La struttura organizzativa di Ixtant è il risultato di una serie di fusioni ed acquisizioni e del riordino dell'originaria rete produttiva di Telital S.p.A.. Attualmente Ixtant si avvale di 11 stabilimenti produttivi (di cui 8 in Italia) per un totale di 55 linee SMT, e di un totale di 2300 dipendenti.

Il fatturato 1999 è stato superiore ai 200 miliardi (di cui il 58% nel settore telecomunicazioni ed il 32% in quello "consumer"/"office"). Le previsioni per il futuro sono molto buone, in quanto il mercato dei CEM è stimato ad una percentuale di saturazione solo del 20% circa, ed il tasso di crescita media annuale (20%) è ben superiore a quello generale del mercato dell'elettronica (6%).

In questo contesto fortemente dinamico, l'azienda ha sentito pressantemente il bisogno di misurare e tenere sotto controllo la flessibilità dei suoi stabilimenti produttivi.

A tale fine, è stato adottato un metodo di misurazione aggregato della flessibilità produttiva, quale quello presentato nel paragrafo precedente (Tab. 4). Sono state quindi studiate otto delle nove dimensioni di flessibilità, al fine di individuare i più opportuni indicatori di prestazione. Non è stata studiata una dimensione - *la flessibilità ai cicli produttivi* - in quanto la tecnologia SMT ha dei cicli di produzione fissati. Gli indicatori individuati sono stati i seguenti (Tab. 5):

1. per la *capacità produttiva* (ovvero per la “condizione di stato” con oggetto i volumi), il numero di componenti/ora montabili dalle linee SMT presenti;
2. per l'*ampiezza e profondità di gamma* (ovvero per la “condizione di stato” con oggetto i prodotti), rispettivamente il numero di famiglie di prodotti realizzate ed il numero medio di codici assemblati nell'ambito di una famiglia. I prodotti Ixtant sono stati suddivisi in 6 famiglie: 1. schede per applicazioni domestiche; 2. schede “consumer”; 3. schede per applicazioni “office”; 4. schede per telecomunicazioni; 5. schede per telefonia mobile; 6. schede veicolari. Ad esempio, lo stabilimento di Avezzano assembla apparati per la telefonia mobile (1 codice), schede per applicazioni domestiche (4 codici), schede per telecomunicazioni (35 codici) e schede

- veicolari (38 codici); da ciò ne consegue una ampiezza di gamma pari a 4 e una profondità pari a 78;
3. per l'*ampiezza delle fasi del processo* (ovvero per la “condizione di stato” con oggetto i processi), il numero di processi produttivi realizzabili dai singoli impianti, a fronte delle attrezzature in loro possesso. Le tecnologie di produzione oggi utilizzate da un CEM sono tre: 1. il montaggio SMT “reflow”; 2. il montaggio SMT “colla”; il montaggio PTH (“Pin-Through-Hole”). Dalla combinazione di questi derivano i cicli produttivi; in particolare quelli realizzati da Ixtant sono: 1. SMT “reflow”; 2. SMT “reflow” + SMT “colla”; 3. SMT “reflow” + SMT “colla” + PTH; 4. PTH. I vari stabilimenti realizzano uno o più di questi quattro cicli: Avezzano, tre; Aversa e Marcianise, due; ecc.;
  4. per la *flessibilità ai volumi* (ovvero per la “transizione reversibile” di breve termine riguardo ai volumi produttivi), la derivata della curva del costo medio unitario. Infatti, si può considerare, in relazione ai volumi produttivi, la curva del costo medio unitario, quest’ultimo definito come rapporto tra costo totale (somma dei costi fissi e variabili) e volume produttivo: tanto più questa curva è “piatta”, tanto maggiore risulta la flessibilità, ovvero è modesta la variazione dei costi a fronte delle variazioni di volume;
  5. per la *flessibilità al mix* (ovvero per la “transizione reversibile” di breve termine riguardante il mix produttivo), il tempo di attrezzaggio (“set-up”) delle linee SMT, ovvero in quanto tempo si è in grado di modificare



- la tipologia dei prodotti assemblati;
6. per la *flessibilità all'espansione* (ovvero per la “transizione irreversibile” di lungo termine riguardante il volume produttivo), i costi da sostenere per l'aumento del numero dei turni e/o dei giorni lavorativi settimanali (rapportato all'aumento percentuale della capacità produttiva). La possibilità di attivare nuove linee SMT è invece vincolata dalla disponibilità di spazio negli stabilimenti esistenti e perciò non viene considerata come una prestazione;
  7. per la *flessibilità ai prodotti* (ovvero per la “transizione irreversibile” di lungo termine riguardante i prodotti), il numero ed il tipo di schede introdotte nell'ultimo anno, ed i costi e tempi di queste introduzioni. Ad esempio, lo stabilimento di Avezzano è stato il più flessibile, con l'introduzione di 63 nuove schede (processo “SMT reflow”) su 100 prodotte;
  8. per la *flessibilità alla tecnologia* (ovvero per la “transizione irreversibile” di lungo termine riguardante i processi produttivi), gli investimenti in attrezzature sostenuti per un'impianto al fine di introdurre nuove fasi di processo.

Tab. 5: Tipi e indicatori di flessibilità in Ixtant S.p.A.

	<b>Tipi di flessibilità</b>	<b>Indicatori di flessibilità</b>
Flessi-	Capacità produttiva	n° di componenti/ora montabili dalle linee SMT
Bilità	Amp. e profondità di gamma	n° di famiglie di prodotti realizzate e n° medio di codici assemblati per famiglia
Statica	Amp. delle fasi del processo	n° di processi produttivi realizzabili dai singoli impianti
Flessib.	Flessibilità ai volumi	derivata della curva del costo medio

Dinamica di breve t.		unitario rispetto al volume produttivo
	Flessibilità al mix	tempo di attrezzaggio medio delle linee SMT
	Flessib. ai cicli produttivi	non pertinente
Flessib.	Flessibilità all'espansione	costi per l'aumento del n° dei turni e/o dei giorni lavorativi settimanali
Dinamica di lungo t.	Flessibilità ai prodotti	n° di schede introdotte nell'ultimo anno, e costi e tempi d'introduzione
	Flessibilità alla tecnologia	investimenti in attrezzature al fine di introdurre nuove fasi di processo

I suddetti indicatori di flessibilità sono stati applicati ai cinque principali stabilimenti Ixtant di Aversa (CE), Avezzano (AQ), Marcianise (CE), Ronchi dei Legionari (GO) e Berlino Est (D), arrivando alle valutazioni di Fig. 1, che sintetizzano i valori numerici riscontrati, distinguendo - in questa prima fase di applicazione del metodo - semplicemente tra una flessibilità alta ("A") e bassa ("B"). Va sottolineato che tali giudizi non sono assoluti, bensì espressi in termini relativi, da un confronto cioè fra gli stabilimenti Ixtant.

Classi di flex			Aversa			Avezzano		
Cap. prod.	Gamma	Amp. fasi	B	B	B	A	A	A
Vol.	Mix	Cidi	B	A	/	A	A	/
Esp.	Pro-dotti	Te-cnol.	B	B	A	A	A	A
Berlino			B	B	B	A	B	B
			A	B	/	A	B	/
			B	A	B	A	A	B
Marcianise			A	A	A	A	A	A
			B	A	/	A	A	/
			A	A	A	A	A	B
Ronchi			A	B	B	A	B	B
			A	B	/	A	A	/
			A	A	B	A	A	B

Fig. 1: Flessibilità di stabilimenti Ixtant (A= Alta, B= Bassa).

E' inoltre interessante confrontare la valutazione ottenuta con la "performance" di efficienza degli stessi impianti, definita come rapporto tra schede prodotte e ore-uomo consumate. Si può evincere - con la sola eccezione di Berlino Est, dotata di impianti piuttosto obsoleti e con una minore produttività del lavoro - come la flessibilità risulti ancora in "trade-off" (compromesso) con l'efficienza (Fig. 2): in particolare, gli stabilimenti di Avezzano e Marcianese, caratterizzati da una maggiore complessità produttiva, hanno dovuto dotarsi di strutture flessibili per governarla, ma questo ha portato ad una perdita in termini di efficienza.

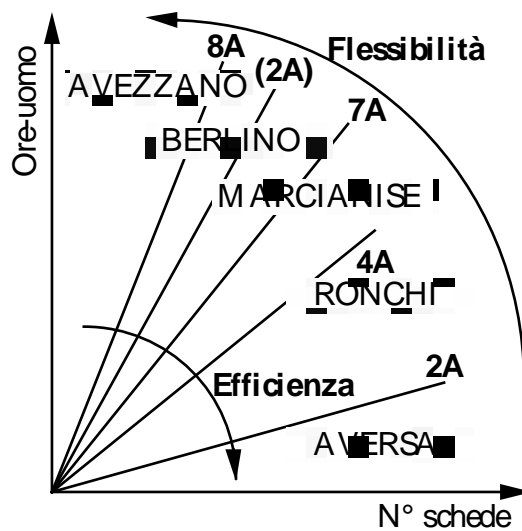


Fig. 2: Flessibilità ed efficienza di stabilimenti Ixtant (XA= n° di tipi di flessibilità valutate come "Alte").

## 7 - Conclusioni

Il complesso e articolato concetto di flessibilità dei sistemi produttivi può essere analizzato e la relativa prestazione valutata solo scomponendo la flessibilità stessa in dimensioni.

Innanzitutto vi è da distinguere tra dimensioni ascrivibili ad una flessibilità di stato (o di “range”) e dimensioni ascrivibili ad una flessibilità dinamica (o di risposta).

Successivamente, considerando gli oggetti della “variazione” connessi con la flessibilità produttiva (cioè i volumi, i prodotti e i processi), e distinguendo la suddetta flessibilità dinamica in “di breve termine” (reversibile) e “di lungo termine” (irreversibile), si perviene ad una classificazione della flessibilità in 9 classi (Tab. 4).

Lo schema proposto ha consentito di valutare la flessibilità di impianti produttivi diversi (Fig. 1), pervenendo ad giudizio di sintesi, somma dei valori di flessibilità ottenuti nelle varie dimensioni, poi confrontato con l’efficienza produttiva (Fig. 2). Quest’ultima prestazione rimane ancora, in molti casi, in “trade-off” con la flessibilità.

La metodologia presentata per la classificazione e misurazione della flessibilità può essere sicuramente migliorata, ad esempio prevedendo più indicatori di misura per ogni dimensione di flessibilità, e pervenendo ad una valutazione sintetica della flessibilità come somma eventualmente pesata dei punteggi ottenuti nelle singole dimensioni di flessibilità. Tuttavia la metodologia consente una prima oggettivazione della *performance*, troppo spesso lasciata a giudizi soggettivi e percettivi.

Inoltre, la distinzione tra flessibilità statica e dinamica, di breve e di lungo termine, consente di discernere anche tra le leve per ottenere la flessibilità stessa. Le leve per acquisire flessibilità statica sono riconducibili

sostanzialmente a quelle tecnologico-impiantistiche (come ad esempio i sistemi automatici per la produzione flessibile), mentre le leve per conseguire flessibilità dinamica sono riconducibili a quelle note come organizzativo-gestionali (sovracapacità, sovrascorte, tecniche Just-in-Time, Concurrent Engineering, ecc.). E dalle leve, quindi, poter desumere quali sono le capacità/competenze richieste per poterle “azionare” (De Toni e Tonchia, 1999).

L'importanza di una produzione “dinamica” (e cioè di una flessibilità “dinamica”), ottenuta grazie a processi di apprendimento (o di “meta-apprendimento” - come li chiama Rullani, 2000), quali sono soprattutto quelli che scaturiscono dalle leve organizzativo-gestionali, è oggi molto sentita e reale, ed è sottolineata in modo brillante nel titolo di un famoso libro: “Dynamic Manufacturing - Creating the Learning Organization” (Hayes et al., 1988).

In conclusione, una volta affinati i metodi di misurazione della flessibilità (“gli effetti ovvero le manifestazioni”), l'attenzione della ricerca deve spostarsi sulle “cause ovvero le capacità”, e quindi sul rapporto tra flessibilità e competenze aziendali (Camuffo, 2000).

In fondo, se il “leit motiv” del management è la ricerca dei nessi causali tra leve e *performance*, ben si comprende come mai oggi vi sia tanto interesse per la flessibilità (una o - forse - *la* priorità competitiva) e, constatato che la tecnologia sempre più si acquista, per le competenze aziendali, i veri *drivers* differenziali all'origine della flessibilità.

## **Riferimenti bibliografici**

- Atkinson J., Flexibility: Planning for an Uncertain Future, Manpower Policy and Practice, vol.1, summer 1985.
- Azzone G., Innovare il sistema di controllo di gestione, ETAS libri, Milano, 1994.
- Barad M., Sipper D., Flexibility in Manufacturing Systems: Definitions and Petri Net Modelling, International Journal of Production Research, vol.26, n°2, pg.237-248, 1988.
- Bartezzaghi E., Il sistema produttivo: introduzione, Enciclopedia dell'azienda, Pirola, Milano, 1991.
- Brandolese A., Flessibilità e versatilità nei sistemi produttivi, Economia & Management, vol.16, 1990.
- Browne J., Dubois D., Rathmill K., Sethi S.P., Stecke K.E., Classification of Flexible Manufacturing Systems, The FMS Magazine, vol.2, n°2, pg. 114-117, 1984.
- Burns T., Stalker G.H., The Management of Innovation, Tavistock Publications, London, 1961.
- Buzacott J.A., The Fundamental Principles of Flexibility in Manufacturing Systems, Proceedings of the 1th International Congress on Flexible Manufacturing Systems, pg.13-22, Brighton, England, 1982.
- Camuffo A., Le competenze per la flessibilità, Cuoarivista, pg.24-25, settembre 2000.
- Chen I.J., Calantone R.J., Chung C.H., The Marketing-Manufacturing Interface and Manufacturing Flexibility, Omega, vol.20, n°4, pg.431-443, 1992.
- Correa H.L., Managing Unplanned Change, Avebury London, 1994.
- De Toni A., Tonchia S., Flessibilità: approcci e dimensioni, Sviluppo & Organizzazione, n°155, pg.81-105, maggio/giugno 1996.
- De Toni A., Competere attraverso la flessibilità, 7° Convegno Nazionale AiIG - Associazione

Italiana di Ingegneria Gestionale, Udine, 29 Novembre 1996.

- De Toni A., Tonchia S., Manufacturing Flexibility: A Literature Review, *International Journal of Production Research*, vol.36, n°6, pg.1587-1617, 1998.
- De Toni A., Tonchia S., Pianificazione strategica e competenze aziendali: approcci tradizionali e nuove prospettive, *Economia & Management*, n°3, pg.43-59, maggio 1999.
- De Toni A., Tonchia S., Links between Operational and Strategic Flexibilities, in Machuca J.A.D. and Mandakovic T. (ed.), *POM - Facing the New Millennium*, DEFDO, Sevilla, Spain, 2000.
- Gerwin D., Do's and Don'ts of Computerised Manufacture, *Harvard Business Review*, vol.60, n°2, pg.107-116, march/april 1982.
- Gerwin D., An Agenda for Research on the Flexibility of Manufacturing Processes, *International Journal of Operations & Production Management*, vol.7, n°1, pg.38-49, 1987.
- Gerwin D., Manufacturing Flexibility: A Strategic Perspective, *Management Science*, vol.39, n°4, pg.395-410, 1993.
- Hayes R.H., Wheelwright S.C., Clark K.B., *Dynamic Manufacturing (Creating the Learning Organization)*, The Free Press, New York, 1988.
- Kim C., Issues on Manufacturing Flexibility, *Integrated Manufacturing Systems*, vol.2, n°2, pg.4-13, 1991.
- Kumpe T., Bolwijn P.T., Manufacturing: The New Case for Vertical Integration, *Harvard Business Review*, march/april 1988.
- Lynch R.L., Cross K.F., *Measure Up! (Yardsticks for Continuous Improvement)*, Blackwell, Cambridge, MA, 1991.
- Mair A., Honda's Global Flexifactory Network, *International Journal of Operations & Production Management*, vol.14, n°3, pg.6-23, 1994.
- Mandelbaum M., *Flexibility in Decision Making: An Exploration and Unification*, Doctoral Dissertation, Dept. of Industrial Engineering, University of Toronto, Canada, 1978.

- Mandelbaum M., Buzacott J.A., Flexibility and Its use: A Formal Decision Process and Manufacturing View, Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Special International Conference on Flexible Manufacturing Systems, pg.119-130, Ann Arbor, MI, 1986.
- Mariotti S., Flessibilità: lezioni e limiti della “lean production”, *Economia & Management*, n°2, pg.30-43, 1995.
- Merchant M.E., Current Status of and Potential for Automation in the Metal Working Manufacturing Industry, *Annals of CIRP*, vol.32, n°2, 1983.
- Mills D.E., Demand Fluctuations and Endogeneous Firm Flexibility, *Journal of Industrial Economics*, n°33, 1984.
- Mintzberg H., *The Structure of Organizations*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979.
- Newman W.R., Hanna M., Maffei M.J., Dealing with the Uncertainties of Manufacturing: Flexibility, Buffers and Integration, *International Journal of Operations & Production Management*, vol.13, n°1, pg.19-34, 1993.
- Rullani A., Quale flessibilità per la new economy?, *Cuoarivista*, pg.9-11, settembre 2000.
- Sciarelli S., *L'impresa flessibile*, CEDAM, Padova, 1987.
- Sethi A.K., Sethi S.P., Flexibility in Manufacturing: A Survey, *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, vol.2, n°4, pg.289-328, 1990.
- Silvestro R., The Measurement of Service Flexibility, 8th OMA Conference, Warwick, 1993.
- Slack N., Flexibility as a Manufacturing Objective, *International Journal of Operations & Production Management*, vol.3, n°3, pg.4-13, 1983.
- Slack N., The Flexibility of Manufacturing Systems, *International Journal of Operations & Production Management*, vol.7, n°4, pg.35-45, 1987.
- Stigler G.J., Production and Distribution in the Short Run, *Journal of Political Economy*, vol.47, n°3, pg.305-327, 1939.
- Swamidass P.M., *Manufacturing Flexibility*, Operations Management Association, Monograph n°2, Waco, TX, January 1988.
- Tonchia S., Linking Performance Measurement System to Strategic and Organisational Choices, *International Journal of Business Performance Management*, vol.2, n°1,



pg.15-29, 2000.

Upton D.M., The Management of Manufacturing Flexibility, California Management Review, pg.72-89, winter 1994.

Upton D.M., Flexibility as Process Mobility: The Management of Plant Capabilities for Quick Response Manufacturing, Journal of Operations Management, vol.12, n°3-4, pg.205-224, 1995.

Zelenovich D.M., Flexibility: A Condition for Effective Production Systems, International Journal of Production Research, vol.20, n°3, pg.319, 1982.