



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI SCIENZE STATISTICHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE STATISTICHE

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN SCIENZE STATISTICHE, ECONOMICHE,
FINANZIARIE E AZIENDALI**

TESI DI LAUREA

**Analisi delle relazioni tra improvement,
innovation e just in time e i loro effetti
sulla performance**

RELATORE: CH.MO PROF. ANDREA FURLAN

LAUREANDA: TANJA SARTORE

Anno Accademico 2009-2010

Le risorse umane sono qualcosa al di sopra di ogni misurazione.
Le capacità di queste risorse possono estendersi illimitatamente quando ogni persona
comincia a pensare

Taiichi Ohno

Analizza i fatti e parla con i dati
Ishikawa Kaoru (guru della qualità)

A mio padre, mia madre,
Andrea e
Filippo.

INDICE

Introduzione	1
CAPITOLO 1	
<i>Lean production: le origini e il pensiero</i>	5
1.1 Produzione artigianale	5
1.2 Produzione di massa	7
1.3 Produzione snella	12
1.4 I principi del pensiero snello: <i>valore</i>	19
1.5 I principi del pensiero snello: <i>flusso di valore</i>	20
1.6 I principi del pensiero snello: <i>flusso</i>	21
1.7 I principi del pensiero snello: <i>pull</i>	23
1.8 I principi del pensiero snello: <i>perfezione</i>	25
1.9 Critiche e limiti della filosofia lean	26
1.10 Il pensiero snello in Italia	27
CAPITOLO 2	
Modello teorico	31
2.1 Improvement	31
2.2 Innovation	35
2.3 Just in Time	38
2.4 Performance	42
2.5 Ipotesi	42
2.6 Un secondo modello	51
2.7 Ambidexterity	52
2.8 Ipotesi nel modello la variabile ambidexterity	53

CAPITOLO 3

Modelli SEM 55

- 3.1 Premessa storica 55**
- 3.2 Aspetti teorici dei modelli SEM 57**
- 3.3 Sottomodello strutturale 61**
- 3.4 Sottomodello di misura e analisi fattoriale 63**
- 3.5 Identificazione in un modello SEM completo 67**
- 3.6 Stima 70**
- 3.7 Adattamento del modello 73**
- 3.8 Effetti diretti ed indiretti 78**

CAPITOLO 4

Analisi dei risultati 81

- 4.1 Campione 81**
- 4.2 Item 86**
- 4.3 Analisi preliminare 89**
- 4.4 Bontà del modello iniziale 91**
- 4.5 Analisi delle relazioni del modello iniziale 94**
- 4.6 Effetti totali e indiretti del modello iniziale 102**
- 4.7 Bontà del secondo modello 104**
- 4.8 Analisi delle relazioni nel secondo modello 106**
- 4.9 Effetti totali ed effetti indiretti nel secondo modello 108**

CAPITOLO 5

Conclusioni 111

Bibliografia 115

Introduzione

Il XX secolo viene ricordato anche come un periodo di grandi rivoluzioni in diversi ambiti: sociale, politico, economico e, non ultimo, industriale, dove vi furono grandi cambiamenti. Uno dei principali fu sicuramente il passaggio dalla produzione artigianale alla produzione di massa, introdotta e sviluppata da H. Ford nella prima metà del secolo; tale cambiamento fu una vera e propria rivoluzione che, sebbene partita dal campo industriale, coinvolse ben presto anche l'ambito sociale, ad esempio permettendo anche ai ceti meno benestanti di comprare beni come l'automobile, e politico, come nel caso dei sindacati, i quali videro aumentare notevolmente il loro peso politico. Il passaggio dalla produzione artigianale a quella di massa avvenne per molti motivi, tra cui la richiesta da parte del mercato, di una maggiore quantità di beni prodotti ad un prezzo minore; fu, quindi, sotto questa spinta che avvenne questo cambiamento, che portò, a sua volta, ad una trasformazione del mercato. Verso la metà del secolo la produzione di massa non era, però, più in grado di soddisfare le esigenze dei clienti, i quali volevano un prodotto che coniugasse buona qualità e basso costo. La piccola industria automobilistica giapponese Toyota con un nuovo metodo di produzione, definito *lean production* da J. P. Womack, D. T. Jones e D. Roos, riuscì a dare una risposta concreta alle esigenze del mercato, mettendo in notevoli difficoltà grossi colossi del settore, come le "Tre Grandi Sorelle" americane (Ford, Chrysler e General Motors). Nonostante ancora oggi si dibatta se la *lean production* (o produzione snella) sia veramente una rivoluzione rispetto al metodo di produzione di massa o se ne sia unicamente una variante, sicuramente essa portò a concepire il prodotto ed il cliente in un modo completamente nuovo, dove il cliente diventa il fulcro di questo nuovo pensiero, per il quale bisogna focalizzarsi sui suoi desideri e, contemporaneamente, il prodotto deve essere realizzato con il minor spreco possibile. Si potrebbe, in effetti, riassumere la filosofia di produzione snella come "produrre ciò che il cliente desidera senza spreco"; tale concetto non esplica, ovviamente, tutti gli aspetti della filosofia *lean*, ma ne riassume il concetto fondamentale: abolire gli sprechi, e di conseguenza

Introduzione

abbattere i costi, a favore di una produzione concentrata sugli effettivi bisogni del cliente. I principi su cui si basa tale filosofia sono generalmente considerati 5:

- Valore;
- Flusso di valore;
- Flusso;
- *Pull*;
- Perfezione.

Applicando tali principi Toyota divenne, verso gli anni '70, una delle principali case automobilistiche; molte imprese cercarono quindi di conoscere ed applicare i principi della *lean production*, sia per cercare di ottimizzare le *performance* e sia per adattarsi ai *competitors*, con più o meno successo. Di conseguenza in letteratura vennero pubblicati una serie di studi sulla produzione snella: *in primis*, per definirla ed, in seguito, per valutare se fosse attuabile in tutti gli ambiti di produzione e se i risultati fossero effettivamente sempre positivi; ancora oggi non si è giunti ad una risposta univoca. Questo lavoro mira, con un'analisi empirica tramite modelli ad equazioni strutturali, a dare una visione più chiara del rapporto tra produzione *lean*, considerando in particolare alcuni dei suoi aspetti principali, ovvero la produzione *just in time*, innovazione (*innovation*) e miglioramento (*improvement*) e i loro effetti sulla *performance* aziendale; in particolare si desidera verificare se nelle imprese, opportunamente contestualizzate nel loro ambiente, il miglioramento sia alla base dell'innovazione, se vi è o meno una relazione diretta tra *just in time* ed *innovation*, se il miglioramento si pone alla base di una produzione *just in time* e, infine, se *just in time*, *innovation* e *improvement* hanno un effetto significativo e positivo sulla *performance*. Sempre nel ambito di questo lavoro verranno approfonditi i rapporti tra *innovation* e *improvement* con gli altri elementi, considerando anche l'aspetto organizzativo dell'impresa, indicato come *ambidexterity*.

Sicuramente questo lavoro non potrà, da solo, rispondere in modo esaustivo a tutti gli aspetti connessi alla produzione *lean*, al miglioramento e all'innovazione o dare una risposta univoca sulla loro efficacia, ma cercherà di fornire una comprensione più

Introduzione

completa delle dinamiche che vi interagiscono e, di conseguenza, aiutare a capire come può, nel mercato odierno in costante cambiamento, un'impresa essere competitiva.

CAPITOLO 1

Lean Production: le origini e il pensiero

Quando nel 1990 J. P. Womack, D. T. Jones e D. Roos diedero alle stampe il libro “*La macchina che ha cambiato il mondo – Passato, presente e futuro dell’automobile secondo gli esperti del MIT*” nessuno, forse nemmeno gli autori stessi, si aspettavano il successo che accolse l’opera. In essa i tre ricercatori del Massachusetts Institute of Technology diedero, per la prima volta, un nome ed una spiegazione al fenomeno che aveva portato l’industria automobilistica giapponese a superare quella americana ed europea: la produzione snella (o *lean production*).

Il processo noto come *lean production* nasce in Giappone, ed in particolare all’interno della fabbrica Toyota, verso gli anni ’50 grazie alle idee innovative di Taiichi Ohno, giovane ingegnere alle dipendenze di Sakichi Toyoda prima e di Kiichiro Toyoda successivamente. La *lean production* (nota anche con il nome di Toyota Production System –TPS-) si propone come una filosofia di gestione aziendale differente e innovativa dalla produzione di massa, che sembrava in quegli anni l’unica possibile; tuttavia, come dicono i tre studiosi americani “nessuna nuova idea nasce già del tutto formata dal nulla” e così è stato anche per la produzione snella, la quale evidenziando i limiti e le mancanze intrinseche nella produzione di massa ha potuto svilupparsi in modo da rispondere più efficacemente al mercato. A sua volta, anche la produzione di massa è nata grazie alle esigenze del mercato, che non potevano più essere soddisfatte dalla produzione artigianale.

1.1 Produzione artigianale

Fino all’inizio del XX secolo la produzione di beni e servizi avveniva attraverso una metodologia artigianale, nonostante fosse passato più di un secolo dall’inizio della rivoluzione industriale. L’episodio riportato da J. P. Womack, D. T. Jones e D. Roos nel loro libro illustra efficacemente le peculiarità di tale metodologia: nel 1894 il parlamentare inglese Ellis decise di acquistare un’automobile presso la Panhard et Levassor a Parigi; all’epoca l’automobile era una

Lean Production: le origini e il pensiero

novità, tanto che Ellis fu il primo inglese a guidare questo mezzo in Inghilterra (dovendo addirittura promulgare delle leggi *ad hoc* per permettere alle macchine di circolare nelle strade inglesi). Egli richiese all'impresa parigina un prodotto estremamente personalizzato: la macchina, infatti, avrebbe dovuto avere una carrozzeria speciale, costruita appositamente da un carrozziere di Parigi e i comandi dovevano essere posti sul lato sinistro dell'auto, anziché, come di consueto, sul lato destro. Tuttavia, le sue pretese non crearono alcuna difficoltà ai costruttori francesi, in quanto ogni automobile era costruita assemblando singole parti realizzate da numerosi laboratori artigianali, per i quali non era un problema apportare alcune modifiche durante la fabbricazione dei singoli pezzi. Una diretta conseguenza della produzione artigianale è che l'azienda parigina, come ogni altra impresa artigiana, non avrebbe potuto realizzare due prodotti completamente identici. Il prezzo della vettura ed il costo del suo mantenimento erano, per il parlamentare Ellis, un fattore secondario.

Questo aneddoto permette di porre in risalto le caratteristiche principali del sistema di produzione artigianale:

- *Forza lavoro*: gli artigiani erano caratterizzati da un elevato spettro di competenze; ad esempio, gli operai adibiti alla creazione delle automobili erano specializzati nella progettazione, lavorazioni meccaniche e montaggio così da poter gestire autonomamente tutto il processo di produzione;
- *Prodotti*: i manufatti non erano standardizzati e potevano essere altamente personalizzabili da parte dei consumatori, come già detto per la Panhard et Levassor sarebbe stato praticamente impossibile produrre due automobili assolutamente identiche, d'altra parte per il cliente era possibile ottenere una vettura su misura (come accadde a Ellis);
- *Basso volume di produzione e alto costo di produzione unitario*: considerate le difficoltà e le tempistiche per produrre artigianalmente un prodotto complesso quale un'auto, ogni anno ne venivano realizzate un numero molto ridotto ad un costo molto elevato (tanto che l'automobile era, all'inizio del '900, un prodotto riservato solamente a personaggi estremamente facoltosi);

Lean Production: le origini e il pensiero

- *Utilizzo di macchine utensili generiche*: per i processi di trapanatura, molatura ed altre operazioni sul metallo e il legno venivano utilizzati macchinari non specifici;
- *Strutture decentrate*: la maggior parte dei pezzi, i quali venivano prodotti da diversi laboratori (a loro volta a produzione artigianale), erano decentrati rispetto all'imprenditore (nell'esempio la Panhard et Levassor).

Tutte queste caratteristiche concorrevano nel far sì che nessuna azienda potesse detenere il monopolio di produzione di un singolo bene.

I limiti che questa tecnica di produzione presenta sono tuttavia notevoli:

- *Elevati costi di produzione (che non diminuivano con l'aumentare della produzione)*: l'impossibilità di sfruttare le economie di scala impediva al prezzo unitario delle auto di diminuire, e questo rappresentava un grande limite per la diffusione del prodotto nelle fasce meno agiate;
- *Unicità del prodotto*: essendo ogni auto diversa dalle altre era difficile muoversi lungo la curva dell'apprendimento, per cui l'affidabilità e la sicurezza di ogni singola vettura non era garantita. Non vi era, dunque, una particolare attenzione per la qualità del prodotto;
- *Difficoltà nello sviluppo di nuove tecnologie*: nelle piccole officine era estremamente oneroso occuparsi anche della ricerca di nuove tecnologie, di conseguenza era estremamente difficile giungere ad innovazioni radicali.

I limiti della produzione artigianale vennero superati da Henry Ford, attraverso la cosiddetta produzione di massa.

1.2 Produzione di massa

Lo scopo di Henry Ford, fondatore della Ford Motor Company, era creare una macchina per tutti alla portata di tutti. Con il modello T, introdotto nel mercato nel 1908, ci riuscì. Il mezzo attraverso il quale raggiunse questo obiettivo fu la produzione di massa identificata, molto spesso, con la catena di montaggio. In realtà

Lean Production: le origini e il pensiero

l'intuizione geniale di Ford, che gli permise di produrre milioni di vetture annue (contro le mille prodotte in un anno dalla Panhard et Levassor) ad un costo ridotto fu la completa intercambiabilità dei pezzi e la semplicità d'incastro. Nella produzione artigianale ogni singolo pezzo prodotto veniva limato e perfezionato fino a quando non era possibile incastrarlo con gli altri pezzi dell'auto, al contrario Ford intuì che se ogni pezzo fosse stato identico agli altri sarebbe stato possibile assemblarlo molto più semplicemente con gli altri, incidendo contemporaneamente sui costi e sulla tempistica di produzione. È significativo notare la diminuzione del "ciclo di lavoro medio" di un montatore Ford con la realizzazione di questa idea: da 514 minuti nel 1908, prima dell'introduzione del modello T, a 2,3 minuti nel 1913, appena prima dell'introduzione della linea di montaggio mobile; inoltre, mentre precedentemente le competenze di ogni operaio coprivano tutto il processo di produzione, con la produzione di massa ogni operaio era addestrato ad occuparsi costantemente di una sola ed unica mansione. L'introduzione della linea di montaggio avvenne solo nel 1913, quando l'imprenditore americano si rese conto che gli spostamenti degli operai da un banco di montaggio all'altro comportavano una perdita di tempo e spesso incidenti tra i lavoratori. Con l'introduzione di quest'ultima innovazione Ford poté muoversi molto velocemente lungo la curva delle economie di scala, producendo alti volumi a bassi costi unitari.

Lean Production: le origini e il pensiero

**Confronto tra produzione artigianale (1913)
e produzione di massa (1914) nel reparto di assemblaggio**

Minuti di lavoro per esemplare di:	Tarda produzione artigianale, autunno 1913	Produzione di massa, primavera 1914	Risparmio di energie (%)
Motore	594	226	62
Magnete	20	5	75
Assale	150	26.5	83
Veicolo completo a partire dai componenti principali	750	93	88

Note: La «Tarda produzione artigianale» conteneva già numerosi elementi della produzione di massa, in particolare una buona intercambiabilità dei pezzi e una minuziosa divisione del lavoro. La grande svolta dal 1913 al 1914 fu la transizione dalla linea di montaggio fissa a quella mobile.

Fonte: Dati ricavati dagli autori in base a quanto riportato da David A. Hounshell, *From the American System to Mass Production, 1800-1932*, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1984, pp. 248, 254, 255 e 256. I dati di Hounshell si fondano sulle osservazioni dei giornalisti Horace Arnold e Fay Faurte riportate nel loro volume *Ford Methods and the Ford Shops*, New York: «Engineering Magazine», 1915.

Figura 1.1: Diminuzione del lavoro (% di energia risparmiata) nel passaggio tra produzione artigianale (1913) e produzione di massa (1914) al reparto assemblaggio della Ford¹

Le caratteristiche principali della produzione di massa, che la differenziano dalla produzione artigianale sono:

- *Forza lavoro:* Ford aveva portato agli estremi l'idea della divisione del lavoro: ogni operaio delle fabbriche di Ford era adibito allo svolgimento di una sola ed unica mansione. J. P. Womack, D. T. Jones e D. Ross nel libro *“La macchina che ha cambiato il mondo”*, descrivono così la trasformazione del lavoro con il passaggio da produzione artigianale a produzione di massa: “Il montatore qualificato dell'impianto Ford a produzione artigianale del 1908 doveva raccogliere tutti i pezzi necessari, reperire gli attrezzi nel reparto utensileria, eventualmente ripararli, eseguire il complesso montaggio dell'intero veicolo, quindi controllare il proprio lavoro prima di mandare l'automobile completa nel reparto spedizioni. In totale contrasto, l'operaio alla linea di montaggio dello stabilimento Ford dopo l'introduzione della produzione di massa aveva un unico compito: infilare due dadi su due bulloni o magari fissare una ruota su ogni vettura. [...] Il fatto che egli non parlasse neppure la stessa lingua dei suoi colleghi o caporeparto era irrilevante per il successo del sistema Ford.”. La divisione del lavoro non si fermò ai reparti di produzione, ma fu applicata anche negli uffici. La

¹ J. P. Womack, D. T. Jones, D. Ross, 1990, “La macchina che ha cambiato il mondo”, pp. 32.

conseguenza immediata di questa gestione del lavoro fu la nascita di nuove figure lavorative come il caporeparto, il tecnico del lavoro (responsabile delle decisioni su come assemblare i pezzi e su cosa ogni montatore doveva fare) ...;

- *Prodotto*: due erano le parole chiave delle auto Ford: semplicità e standardizzazione. Il modello T della Ford era stato pensato, infatti, per essere alla portata di tutti, sia a livello economico che a livello d'uso. Affinché chiunque potesse risolvere autonomamente piccoli problemi, insieme con l'auto veniva fornito un manuale, scritto sotto forma di questionario che spiegava al consumatore standard (che si presupponeva fosse un contadino) come servirsi di semplici utensili per risolvere 140 inconvenienti. Per sfruttare al massimo l'economie di scala generate dall'alto volume di produzione e, di conseguenza, abbattere costantemente i costi il prodotto doveva essere estremamente standardizzato; in tal senso è celebre la frase di Ford "Forniamo la Ford modello T in qualunque colore, purché sia nero". In sintesi attraverso la produzione di massa si potevano ottenere alti volumi di produzione a bassi costi unitari, a scapito però della personalizzazione del prodotto;
- *Integrazione*: affinché i diversi componenti delle vetture potessero incastrarsi tra di loro senza alcuna difficoltà, il costruttore americano valutò più conveniente produrre all'interno della sua fabbrica tutti i pezzi necessari; in tal senso Ford perseguì la totale integrazione verticale della sua azienda; il complesso di Rouge, aperto nel 1931, si fondava proprio su quest'ottica: dalle materie prime (Ford acquistò, ad esempio, un campo di alberi da gomma), alle banche tutto era parte del gruppo Ford;
- *Attrezzatura*: per sfruttare al massimo tutti i vantaggi della catena di montaggio Ford aveva bisogno di macchine estremamente specializzate, adibite ad un'unica mansione, i vantaggi erano attrezzature che producevano ad alti volumi e bassi costi, mentre gli svantaggi erano tempi e costi di *set-up*

Lean Production: le origini e il pensiero

estremamente elevati. Ciò spinse i costruttori ad introdurre nel mercato pochi modelli con scarse possibilità di personalizzazione.

Il passaggio dalla produzione artigianale alla produzione di massa sarebbe stato, tuttavia, incompleto senza l'intervento di Alfred Sloan, direttore della General Motors a partire dal 1919. Innanzitutto, Sloan riorganizzò la GM creando delle divisioni amministrative decentralizzate, gestite da direttori che riferivano alla direzione generale. Sia la General Motors che la Ford si trovavano in una situazione problematica dovuta alla difficoltà di gestire un impero industriale di vastissima portata. Henry Ford, al contrario di Alfred Sloan, continuò a gestire in prima persona tutta l'impresa Ford dal suo ufficio di Detroit incappando però, nelle difficoltà legate alla conduzione di una organizzazione molto ampia; invece, la decentralizzazione degli uffici della GM fu applicata non solo all'azienda madre, ma anche a tutte le consociate dell'azienda ottenendo ottimi risultati. Un'altra delle geniali intuizioni di Sloan fu quella di proporre nel mercato diversi modelli di auto, al contrario della Ford che produceva solo il modello T, in modo da soddisfare diverse fasce di mercato. Il *trade-off* tra standardizzazione e personalizzazione fu risolto dal direttore della GM utilizzando alcuni componenti meccanici standard per tutti i modelli, ma cambiando ogni anno la carrozzeria dell'automobile e introducendo, nel contempo, una serie di accessori supplementari, i quali garantivano un certo grado di personalizzazione della vettura. A ciò si aggiunse inoltre, la creazione di nuove figure professionali come il direttore finanziario e l'esperto di marketing. La figura di Alfred Sloan permise alla produzione di massa di definirsi ed affermarsi, prima negli Stati Uniti ed in seguito in tutto il mondo. Per decenni l'industria automobilistica americana dominò il mercato mondiale nel settore, toccando il suo apice nel 1955 quando le tre grandi americane (Ford, General Motors e Chrysler) rappresentarono il 95% delle vendite. Una volta raggiunto il culmine la produzione di massa iniziò lentamente a declinare causa di fattori come la crisi petrolifera del 1973 e il lavoro alla catena di montaggio, il quale era spesso pesante e logorante per gli operai portando ad un periodo post-bellico carico di tensioni sociali.

Bisogna infine considerare che la distribuzione di massa si era affermata in un periodo in cui nessuno possedeva l'automobile, potendo quindi creare la domanda e di conseguenza sfruttare al massimo la crescita di questo nuovo mercato fino agli

Lean Production: le origini e il pensiero

anni'70. Nel momento in cui il mercato risultò saturo, con un livello di crescita quasi nullo, questo sistema di produzione si rivelò inadatto. Nella tabella 1.1 vengono riassunte le caratteristiche principali che differenziano i due sistemi produttivi visti finora.

PRODUZIONE ARTIGIANALE	PRODUZIONE DI MASSA
<ul style="list-style-type: none">➤ Forza lavoro altamente specializzata;➤ Basso volume di produzione, alto costo unitario;➤ Alto livello di personalizzazione e di varietà del prodotto;➤ Organizzazione decentrata e non integrata	<ul style="list-style-type: none">➤ Forza lavoro non specializzata, forte divisione del lavoro;➤ Alto volume di produzione, basso costo unitario;➤ Prodotto standard e semplice;➤ Organizzazione integrata

Tabella 1.1: Differenze tra produzione artigianale e produzione di massa

1.3 Produzione snella

Quando nel 1973 la crisi petrolifera mise in ginocchio l'economia mondiale ed in particolare il settore automobilistico, la (fino ad allora) piccola fabbrica giapponese Toyota si mise in risalto sulla scena internazionale per le sue ottime *performance*. Nel 1950, a trent'anni dalla sua fondazione ad opera di Kiichiro Toyoda (in giapponese la parola Toyoda significa "fertile risaia" e motivazioni di marketing cambiarono il nome dell'azienda in "Toyota") la Toyota Motor Company aveva prodotto 2685 auto, contro le 7000 che lo stabilimento di Rouge della Ford produceva ogni giorno. Tuttavia, grazie alla filosofia di produzione ideata dall'ingegnere Taiichi Ohno, con l'ausilio del collega Shigeo Shingo, portò ben presto l'azienda giapponese (sotto la direzione di Eiji Toyoda) ad affermarsi nel

Lean Production: le origini e il pensiero

settore della produzione automobilistica. E' importante sottolineare come il Giappone del dopo guerra presentava delle particolari condizioni socio-economiche che favorirono lo sviluppo del *lean thinking*; ad esempio, il governo giapponese aveva deciso di favorire la vendita di prodotti nazionali (in particolare nel settore automobilistico) scoraggiando le importazioni di vetture straniere; inoltre in Giappone i sindacati non hanno avuto lo stesso sviluppo storico avuto in Occidente, le organizzazioni sindacali hanno un peso molto minore nel sistema sociale nipponico.

Così come la produzione di massa di Ford aveva permesso di ottenere, rispetto alla produzione artigianale, notevoli miglioramenti di tempi e costi di produzione, anche la produzione snella della Toyota ebbe effetti notevoli sul processo di produzione, tanto da attirare la curiosità di tre ricercatori: J. P. Womack, D. T. Jones e D. Ross , i quali diedero il via ad un progetto di ricerca internazionale riguardante l'industria automobilistica (International Motor Vehicle Program –IMVP-) della durata di 5 anni. I risultato di questa ricerca furono poi pubblicati nel libro “*La macchina che ha cambiato il mondo*” (1990), e mostrarono al mondo le capacità di quella che gli autori stessi battezzarono “*lean production*”.

Il cuore del pensiero della produzione snella (o *lean production*) può essere sintetizzato nella “lotta agli sprechi” (*muda* in giapponese) dove per spreco viene intesa qualsiasi attività che non crei valore; in questo caso, il valore del prodotto è determinato dal cliente (interno o esterno alla fabbrica), quindi qualsiasi lavoro che non produca valore aggiunto per il consumatore va eliminato. Inoltre il prodotto deve essere realizzato e distribuito quando serve, nella quantità che serve e senza difetti (produzione *just-in time*). Ne consegue che in una fabbrica un pezzo viene prodotto soltanto quando il processo successivo lo richiede. Questa è la “rivoluzione” insita nel pensiero snello, il quale ha poi una serie di conseguenze pratiche e teoriche che verranno sottolineate in seguito; una delle conseguenze più immediate ed evidenti di questa teoria è l'eliminazione dei magazzini di materie prime, di prodotti finiti o di *work-in-progress* (WIP). Taiichi Ohno affermava che la tendenza ad immagazzinare scorte era un retaggio della cultura contadina, nella quale bisognava ammassare i beni prodotti nei periodi di abbondanza, in previsione dei periodi di carestia; tuttavia, asseriva l'ingegnere giapponese, tale visione non poteva essere utilizzata in una

Lean Production: le origini e il pensiero

fabbrica in un periodo in cui la crescita industriale era lenta o addirittura nulla. Nella figura 1.2 si nota la differenza tra l'approccio tradizionale (o di massa) e l'approccio lean nella produzione e nel ruolo dei magazzini.

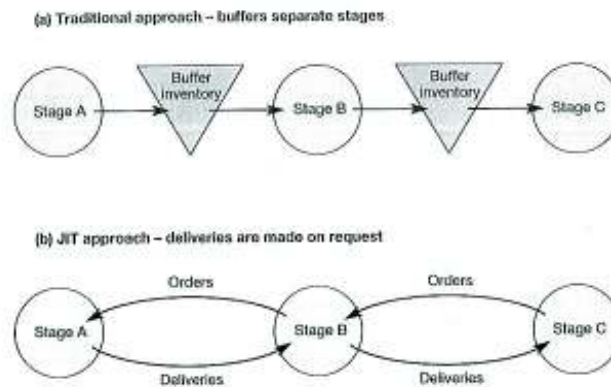


Figura 1.2: Differenze tra approccio tradizionale (a) e approccio JIT (b)²

I magazzini sono una delle tante forme di “sprechi” presenti in una fabbrica. T. Ohno ha identificato sette tipologie di *muda*:

- *Difetti*: difetti nella qualità del prodotto, che portano i clienti a rifiutarlo;
- *Sovraproduzione*: produrre o acquisire un bene prima che esso venga richiesto dal cliente;
- *Trasporto*;
- *Attesa*: tempo in cui il prodotto non subisce alcuna trasformazione, ad esempio il tempo in cui il lavoratore attende che i materiale, necessari al suo lavoro, siano disponibili;
- *Scorte*;
- *Movimento*: il tempo in cui i lavoratori o i macchinari perdono tempo (che potrebbe essere impiegato per aggiungere valore al prodotto) in spostamenti;

² Slack N., Chambers S., Johnston R., 2004, Operations Management, pp. 467.

Lean Production: le origini e il pensiero

- *Processi*: processi produttivi che non vengono utilizzati per produrre esattamente ciò che il cliente desidera (ad esempio perché utilizzano materie prime troppo costose, o perché aggiungono funzioni che il consumatore non considera necessarie).

Focalizzandosi sull'eliminazione dei *muda* e cercando di ottimizzare le attività che creano valore per il cliente, la Toyota si trovò ad abbattere i costi aumentando notevolmente la qualità dei prodotti e contemporaneamente aumentando anche la produttività. Naturalmente il processo di trasformazione dell'azienda giapponese dal sistema di produzione di massa al sistema di produzione snello fu lungo e ricco di ostacoli, ma i risultati furono davvero notevoli, tanto che quando i ricercatori del MIT sottoposero alla Toyota la traduzione del questionario di ricerca (sottoposto anche ad aziende americane come Ford e General Motors), alla domanda su quanti giorni di scorta prevedesse l'azienda, la dirigenza Toyota domandò se vi fosse un errore di traduzione, in quanto per l'azienda giapponese i tempi di scorta si quantificavano in minuti.

Nella figura 1.3 vengono riassunte le caratteristiche degli stabilimenti di assemblaggio suddivisi tra aziende giapponesi in Giappone, aziende giapponesi in USA, aziende americane in Usa e aziende europee. Emerge chiaramente la superiorità dei giapponesi in tutti gli ambiti considerati.

Sintesi delle caratteristiche degli stabilimenti di assemblaggio di produttori di grandi serie, 1989 (medie per stabilimenti suddivisi per area geografica)

	Aziende giapponesi in Giappone	Aziende giapponesi nell'America del nord	Aziende americane nell'America del nord	Aziende europee
<i>Prestazioni:</i>				
Produttività (ore/veicolo)	16,8	21,2	25,1	36,2
Qualità (difetti di assemblaggio/100 veicoli)	60,0	65,0	82,3	97,0
<i>Assetto:</i>				
Spazio (metri quadrati/veicoli/anno)	0,53	0,85	0,73	0,73
Area di ritocco (% dell'area di assemblaggio)	4,1	4,9	12,9	14,4
Scorte (numero giorni per 8 pezzi campione)	0,2	1,6	2,9	2,0
<i>Forza lavoro:</i>				
% della forza lavoro in squadre	69,3	71,3	17,3	0,6
Rotazione della manodopera (0=nessuna, 4=frequente)	3,0	2,7	0,9	1,9
Suggerimenti/dipendente	61,6	1,4	0,4	0,4
Numero di categorie d'impiego	11,9	8,7	37,1	14,8
Addestramento nuovi operai (ore)	380,3	370,0	46,4	173,3
Assenteismo	5,0	4,8	11,7	12,1
<i>Automazione:</i>				
Saldatura (% delle operazioni)	86,2	85,0	76,2	76,6
Verniciatura (% delle operazioni)	54,6	40,7	33,6	38,2
Assemblaggio (% delle operazioni)	1,7	1,1	1,2	3,1

Fonte: IMVP World Assembly Plant Survey, 1989, e J.D. Power Initial Quality Survey, 1989

Figura 1.3: Sintesi delle caratteristiche nei diversi stabilimenti, 1989³

Due sono gli elementi che colpiscono maggiormente leggendo questi dati: innanzitutto emerge come la produzione snella non sia una prerogativa della Toyota in Giappone, ma una filosofia di produzione che può essere applicata anche al di fuori; lavori successivi dimostreranno che è possibile adottare la produzione snella anche in altri settori e, oltre che nella produzione di beni, anche nei servizi (J. P. Womack, D. T. Jones nei loro libri “*Lean Thinking*” (1996) “*Lean Solutions*” (20069); Piercy et all (2008)). Spicca, inoltre, come le fabbriche giapponesi siano riuscite a superare il *trade-off* tra produttività e qualità; si è sempre pensato, infatti che un alto livello di produttività (e di conseguenza costi bassi) escludesse un alto

³ “La macchina che ha cambiato il mondo“, J. P. Womack, D. T. Jones, D. Ross, 1990, pp. 104

Lean Production: le origini e il pensiero

livello qualità e viceversa. Se con l'eliminazione degli sprechi e tutti le metodiche ad essa collegate (*JIT*, miglioramento continui...) i costi di produzione possono essere abbassati notevolmente, la qualità totale (zero difetti) viene perseguita attraverso la filosofia del miglioramento continuo (in giapponese *kaizen*), secondo il quale la perfezione deve essere una meta verso la quale tendere costantemente; essa non è un obiettivo stabile, ma si muove al fine di garantire prestazioni sempre superiori. Il *kaizen* non è l'unico strumento per ottenere prodotti privi di difetti, anche se è sicuramente uno dei più importanti.

Grazie all'applicazione del pensiero snello la Toyota è riuscita a diventare uno delle maggiori case automobilistiche del mondo. Quanto scritto finora illustra molto brevemente la lean production, mentre di seguito verranno illustrati in maniera più completa i principi sui quali tale filosofia si fonda, ovvero:⁴

1. Il valore;
2. Il flusso di valore;
3. Il flusso;
4. Pull;
5. La perfezione

La figura 1.4 riassume schematicamente la storia della *lean production* e della sua diffusione.

⁴ Nella letteratura scientifica sono comparse, soprattutto negli ultimi anni, diverse interpretazioni della filosofia lean e dei suoi principi fondamentali. In questo lavoro si è fatto riferimento, per una comprensione globale del pensiero snello, al libro "Lean Thinking - Come creare valore e bandire gli sprechi-" di J. P. Womack, D. T. Jones (1996), considerato uno dei più significativo in materia.

Lean Production: le origini e il pensiero

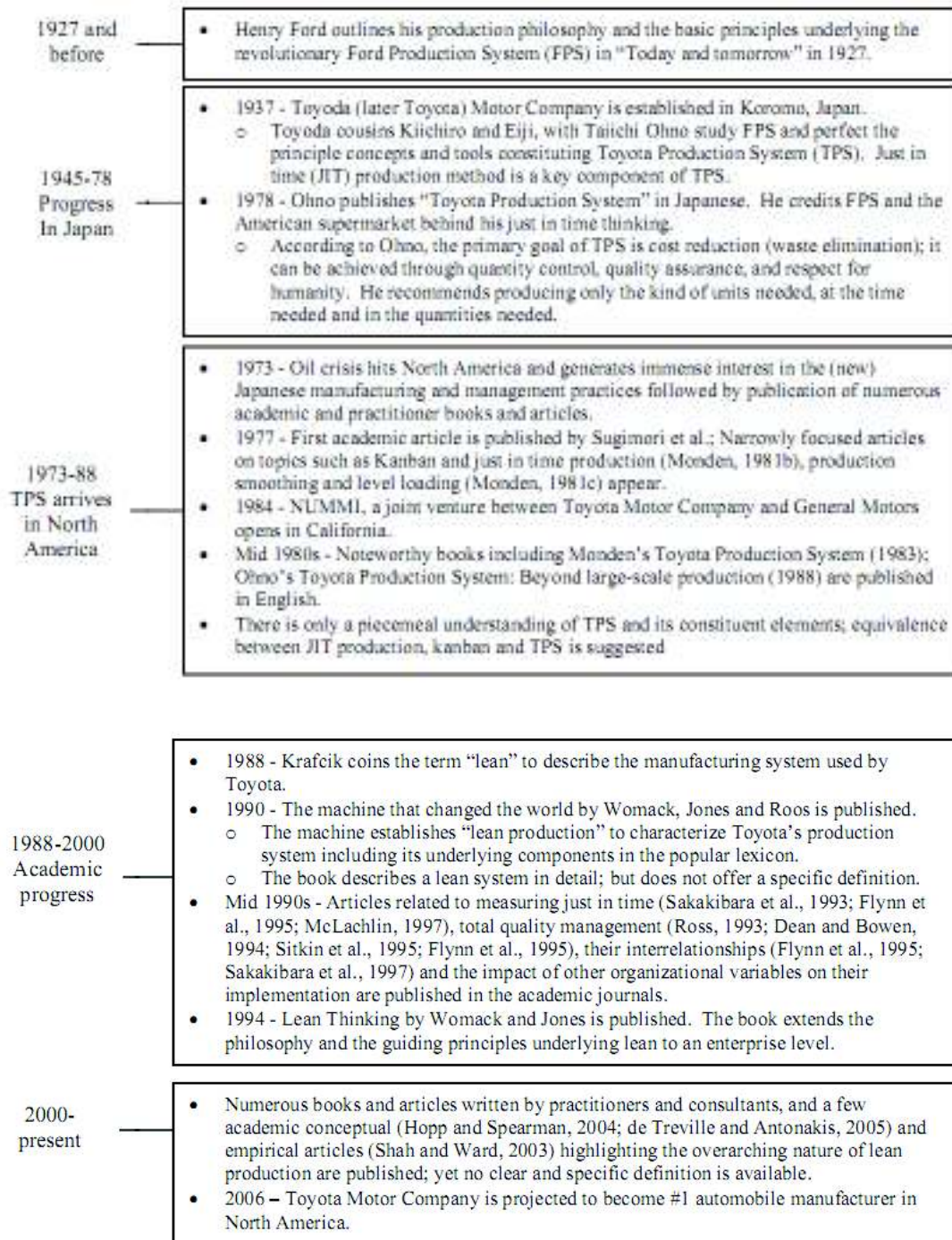


Figura 1.4: Momenti cruciali nello sviluppo del pensiero *lean*⁵

⁵ R. Shah, P. T. Ward, 2007, "Defining and developing measures of lean production" pp. 787.

1.4 I principi del pensiero snello: *valore*

Il punto di partenza del pensiero snello è l'identificazione del valore. Come detto precedentemente, per valore del prodotto si intendono gli attributi (tangibili e non tangibili) che il cliente ritiene diano valore al prodotto; spesso l'identificazione del valore è differente per il produttore e il consumatore; ad esempio se consideriamo una macchinetta per il caffè, il produttore potrebbe voler offrire un prodotto dalle prestazioni tecniche molto elevate, mentre per il consumatore questo non aggiunge valore alla macchinetta rispetto a quella degli altri concorrenti, l'acquirente potrebbe, infatti, attribuire un'importanza maggiore a caratteristiche quali il design, il prezzo, la facilità d'utilizzo, l'assistenza.... La filosofia *lean* ritiene di importanza cruciale capire cosa vuole il cliente (inteso sia come esterno o interno), diventa quindi necessario instaurare un dialogo con il cliente. In tal modo egli entra a far parte attivamente della filiera produttiva.

Una volta definito il valore del prodotto le imprese snelle, differentemente da quelle tradizionali, cercano di risparmiare sul costo (eliminando gli sprechi) al fine di avere il maggior profitto possibile. Mentre un'azienda tradizionale definisce $\text{prezzo} = \text{utile desiderato} + \text{costo}$, il pensiero snello definisce $\text{utile desiderato} = \text{prezzo} - \text{costi}$. In questo caso il prezzo del prodotto viene scelto sulla base del valore che il cliente gli attribuisce. Diventa quindi importante il concetto di *target cost*, ovvero il costo di sviluppo e produzione per un prodotto, che non si può superare se si vuole che il prodotto soddisfi il cliente e nel contempo dia, al produttore, un ritorno accettabile.

La definizione del valore del prodotto risulta tanto più difficoltosa quanto più il prodotto è complesso e frutto del lavoro di imprese differenti, infatti ognuna di esse tenderà a definire il valore del bene in modo differente. Nel loro libro "*Lean Thinking*" Womack e Jones portano l'esempio del prodotto viaggio, il quale coinvolge diverse imprese (l'agenzia di viaggio, il personale di terra degli aeroporti, l'agenzia di taxi...) ognuna delle quali offre un prodotto singolo (la prenotazione dei biglietti e della residenza, il check-in e l'imbarco, il trasporto in taxi...), che contribuisce a creare un prodotto molto più complesso (il viaggio). In questo caso, sebbene il cliente potrebbe trovare che il singolo servizio soddisfi adeguatamente i suoi bisogni, egli potrebbe essere scontento del prodotto generale. Un'impresa snella

deve quindi definire il valore del prodotto lungo tutta la filiera produttiva. Per questo un altro elemento cruciale del pensiero *lean* è il flusso di valore.

1.5 I principi del pensiero snello: *flusso di valore*

Una volta individuato il valore del prodotto aggiunto dalla propria impresa, è essenziale individuare il valore creato da tutte le imprese collegate nella produzione del bene (o del servizio). Per fare questo è necessario coinvolgere tutte le imprese della filiera produttiva e riconsiderare la natura stessa dei rapporti con loro; ad esempio, nel loro libro “*La macchina che ha cambiato il mondo*” (1990) Womack, Jones e Ross descrivono come la Toyota abbia eliminato molti dei fornitori non necessari, instaurando, con quelli ritenuti fondamentali per lo sviluppo dell’azienda, un rapporto basato sulla consapevolezza che i successi del prodotto sarebbero stati successi comuni, come i problemi del prodotto sarebbero stati problemi comuni. A loro volta i fornitori di Toyota (definiti fornitori di primo livello) hanno cercato di instaurare gli stessi rapporti con i loro fornitori (definiti fornitori di secondo livello) e così via fino alla fornitura delle materie prime; ovviamente questo pensiero è stato applicato anche a valle, coprendo così tutta la filiera produttiva della Toyota.

In tal modo risulta possibile creare il valore complessivo del prodotto eliminando gli sprechi (ovvero quelle attività che singolarmente o in combinazione tra loro non creano o non ottimizzano valore per il cliente), in quanto è possibile cogliere una visione d’insieme; infatti, come già accennato, le attività che per la singola azienda aumentano l’efficienza potrebbero, nel processo globale, risultare inefficienti.

Taiichi Ohno suddivise le attività connesse alla produzione di un bene o servizio in tre tipologie:

- Attività di tipo 1: azioni che aggiungono direttamente valore al prodotto (ad esempio la trasformazione delle materie prime);
- Attività di tipo 2: azioni che non aggiungono direttamente valore al prodotto, ma che sono necessarie per implementare le attività di tipo 1 (ad esempio i tempi di *set-up*);

- Attività di tipo 3: azioni inutili, in quanto non aggiungono direttamente valore al prodotto, ne sono di supporto alle attività di tipo 1.

Le aziende devono quindi identificare il flusso di valore al fine di eliminare innanzitutto le attività di tipo 3, e successivamente sviluppare nuove tecniche al fine di eliminare (o ridurre al minimo) le attività di tipo 2 (ad esempio riducendo al minimo i tempi di *set-up*) ottimizzando quindi le attività di tipo 1. A tal scopo Womack e Jones consigliano di preparare una vera e propria “mappa del flusso”, ovvero una mappa del processo di produzione dove vengono individuati e segnate tutte le attività, distinguendole in attività di tipo 1, 2 e 3. Eliminando le attività inutili e mantenendo solo quelle che aggiungono valore al prodotto, è necessario far fluire il valore del prodotto senza ostacoli nel processo produttivo.

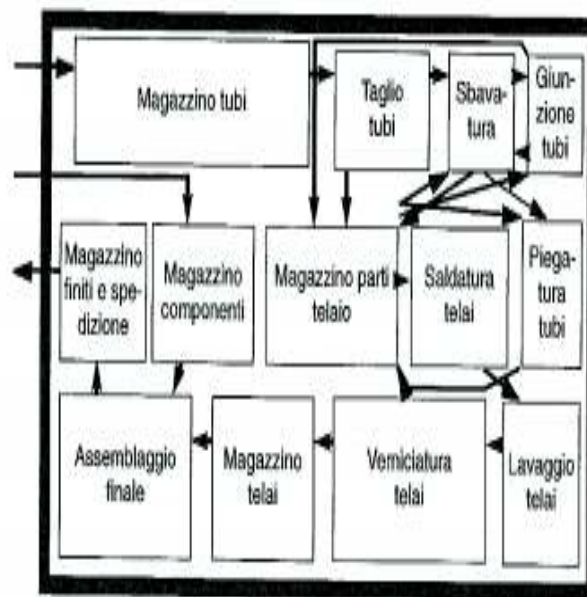
1.6 I principi del pensiero snello: *flusso*

Una delle differenze principali tra la produzione di massa e la produzione snella è la contrapposizione tra l'utilizzo del sistema “*Batch and Queue*” (letteralmente “lotti e code”) e l'adozione del flusso del prodotto. Nel primo il prodotto, dopo essere stato processato, viene generalmente ammassato in lotti in attesa di essere portato alla fase di trasformazione successiva; questo porta ovviamente alla generazione di una enorme quantità di sprechi (scorte, difetti, attesa...) che è quindi necessario, secondo il pensiero snello, eliminare facendo fluire il prodotto lungo il processo di produzione. Dopo aver individuato il flusso del valore bisogna disporre le diverse fasi produttive, al fine di eliminare ostacoli e ritardi. Alcuni dei più importanti strumenti individuati da Taiichi Ohno per ottenere tale scopo sono: riduzione dei tempi di *set-up* (Shigeo Shingo elaborò a tal fine l'idea dello SMED⁶), Total Productive Maintenance (TPM), ovvero una serie di metodologie concepite per assicurare che le macchine si fermino il meno possibile, utilizzo di apparecchiature più piccole e maneggevoli, e la riprogettazione del *layout*

⁶ SMED (*Single Minute Exchange of Dies*) sono una serie di tecniche ideate allo scopo di riappareggiare una macchina produttiva in un tempo inferiore ai dieci minuti. Se si vuole arrivare ad un tempo di riappareggio inferiore al minuto si parla di *One-touch-set-up*. L'obiettivo del TPS è ovviamente arrivare ad un tempo di cambio *set-up* nullo, così che il flusso produttivo sia totale.

Lean Production: le origini e il pensiero

delle celle produttive. Il TSP suggerisce di suddividere le apparecchiature per famiglie di prodotti, distribuendole in sequenza, cosicché il prodotto possa scorrere lungo il processo senza essere interrotto; ad esempio, nella produzione di biciclette, invece di avere grandi macchine che per essere efficienti hanno bisogno di lavorare sullo stesso prodotto per un lungo periodo, così da dover accumulare i prodotti uguali in lotti prima di passare al prodotto successivo, si può pensare di porre una serie di apparecchiature più piccole (in modo da sfruttare le economie di scala con un numero minore di pezzi uguali) in sequenza, suddividendole per famiglie di prodotto (ad esempio biciclette da corsa, da città...). In figura 1.5 si mostra come in un'azienda di produzione bici è stato ripensato il *layout* in un'ottica *lean*. Anche se il prodotto scorre agevolmente nel sistema di produzione, si corre il rischio, secondo la filosofia *lean*, di creare muda semplicemente producendo prodotti che non sono richiesti. E' per questo che il prodotto deve essere "tirato". Di conseguenza in un'azienda snella si deve lavorare unicamente in un'ottica *pull*.



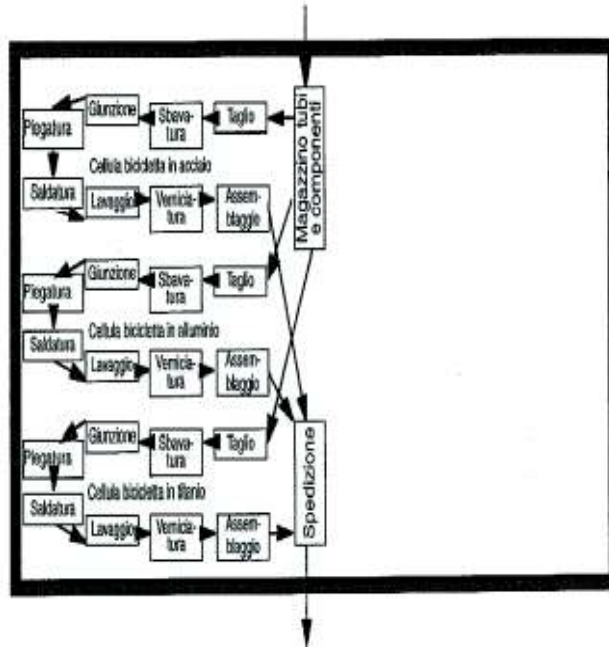


Figura 1.5: Ripensamento del layout in un'azienda di biciclette (sistema tradizionale a sopra, sistema snella sotto)⁷

1.7 I principi del pensiero snello: *pull*

Una delle maggiori differenze tra il sistema di produzione snella e il sistema di produzione di massa è il rapporto con il mercato. Se nello scenario tradizionale l'azienda "spinge" (*push*) i bene (o servizi) che sono stati prodotti sul mercato (attraverso pubblicità, sconti, saldi...), nello scenario *lean* è il mercato che "tira" (*pull*) la produzione di beni (o servizi). La produzione viene attivata solamente alla richiesta del cliente (interno o esterno all'azienda). Uno degli attrezzi più importanti per realizzare una produzione *pull* è il *kamban*, lo strumento individuato da Taiichi Ohno, che indica, nella catena dei processi produttivi, al livello precedente di partire con la fabbricazione di un determinato prodotto; in particolare, ne esistono tre tipologie: di movimento, di produzione e di vendita. Il *kamban* di movimento serve ad indicare quale pezzo deve essere spostato, in quale quantità e dove deve essere portato, il *kamban* di produzione serve ad indicare quanti pezzi devono essere

⁷ J. P. Womack, D. T. Jones, D. Ross, 1996, "Lean Thinking", pp. 100-107.

Lean Production: le origini e il pensiero

prodotti, in quale quantità e come si producono, il *kamban* di vendita è analogo a quello di movimento, ma viene generalmente utilizzato per clienti esterni all'azienda. Naturalmente anche in un'azienda snella viene fatta una previsione della domanda, la quale è costantemente aggiornata sulla base degli ordini effettivi e pertanto deve essere estremamente flessibile e reattiva alle variazioni del mercato; per questo la produzione viene "livellata" nel tempo (*heijunka*). Ad esempio, se fosse prevista una richieste mensile di 4500 pezzi del prodotto A, 1500 del B e 1500 del C, con la produzione di massa si inizierebbe il giorno 1 del mese, continuando a produrre e ad accumulare A in lotti fino a quando i 4500 pezzi non fossero finiti, a questo punto (dopo aver fermato i macchinari per il tempo necessario al *set-up*) si passerebbe al produzione dei 1500 pezzi di B nel medesimo modo e così anche per C. Invece, con il sistema di produzione snello si suddividerebbero i pezzi totali ($4500+1500+1500=7500$) per i giorni effettivi di produzione (30), ogni giorno verrebbe quindi prodotto una piccola quantità di A (150 pezzi), una piccola quantità di B (50 pezzi) e una piccola quantità di C (50 pezzi). In tal modo, se vi fosse un improvviso calo della domanda di A ed una crescita di B sarebbe possibile reagire immediatamente, modificando opportunamente la quantità giornaliera di produzione di A e di B.

E' necessario, per raggiungere una produzione *pull*, ripensare la produzione in modo differente da quello tradizionale, con strumenti già visti come l'abolizione del sistema "*Batch and Queue*", attraverso il cambiamento del *layout*, la riduzione dei tempi di *set-up*....

Per il pensiero snello, però, non è importante che venga prodotto solo ciò che vuole il cliente, come lo vuole e quando lo vuole, è essenziale che ciò che viene prodotto sia senza difetti: perfetto.

1.8 I principi del pensiero snello: *perfezione*

Uno dei termini che maggiormente viene associato alla filosofia *lean* è *kaizen*⁸, termine giapponese che può essere tradotto come “miglioramento costante continuo”; nell’ottica giapponese infatti, l’obiettivo finale è produrre un prodotto perfetto sotto ogni punto di vista; ovviamente questa è una meta utopistica, tuttavia essa deve essere il riferimento di ogni azione. Il miglioramento continuo, il miglioramento radicale, i 5 perché, e i *poka-yoke* sono i principali strumenti individuati dalla Toyota Production System per ottenere tale obiettivo. Innanzitutto, per eliminare i *muda* si devono implementare attività di miglioramento radicale (in giapponese *kaikaku* o *kaizen di rottura*), ad esempio ripensando totalmente il *layout* della produzione, chiaramente non è possibile applicare costantemente il *kaikaku* e, per questo motivo, esso deve essere abbinato ad un’attività di *kaizen* (o *kaizen puntuale* o *kaizen di processo*); cioè il miglioramento continuo e costante di un’attività al fine di creare più valore ed eliminare i *muda*; è importante che venga applicato non solo alle attività, ma anche ai singoli soggetti attraverso corsi di perfezionamento, apprendimento di sempre maggiori competenze...; per questo, ad esempio, nelle imprese snelle ogni lavoratore si pone periodicamente degli obiettivi di miglioramento, verificandone alla scadenza il raggiungimento. *Poka-yoke*⁹, strumento ideato da Shigeo Shingo, è un termine utilizzato per indicare gli apparecchi e le procedure impostate in modo tale da impedire un errato utilizzo dell’apparecchio stesso e, di conseguenza, la creazione dei difetti; un esempio di *poka-yoke* è l’installazione di un sistema di fotocellule situate lungo la linea di montaggio per evitare che qualche componente passi alla fase di lavorazione successiva mancante di qualche componente. Anche Taiichi Ohno, nel suo libro “*Lo spirito Toyota*”, evidenzia l’importanza di utilizzare macchinari che siano in grado di fermarsi in caso di produzione difettosa (autoattivazione, come la definisce

⁸ Kaizen (改善), termine giapponese traducibile come miglioramento continuo; è composto dai termini KAI (cambiamento) e ZEN (meglio). E’ uno degli strumenti principali della filosofia lean utilizzato per raggiungere l’obiettivo della perfezione.

⁹ Poka-Yoke (ポカヨケ) termine giapponese che significa “evitare gli errori di distrazione”. E’ uno degli strumenti principali della filosofia lean utilizzato per raggiungere l’obiettivo della perfezione.

l'ingegnere giapponese). Nonostante sia fondamentale la prevenzione è inevitabile che alcuni prodotti siano difettati o che vi siano dei problemi di processo; a questo punto la filosofia *lean* suggerisce di interrogarsi sull'origine dell'errore, al fine di evitare che si ripeta. Taiichi Ohno ha quindi formulato l'idea dei 5 perché, cioè chiedersi 5 volte quale sia la causa del problema per essere sicuri di giungerne all'origine. In tal senso è lampante la differenza del sistema di produzione snello dal sistema di produzione di massa; in quest'ultimo, infatti, gli addetti alla catena di montaggio non potevano assolutamente fermare il processo, indipendentemente dai problemi o dai difetti riscontrati e prima di essere distribuito il prodotto sarebbe stato corretto manualmente da un gruppo di operai specializzati. In un impianto di produzione snella come la Toyota, invece, vicino ad ogni operaio viene posto un bottone che ferma la catena di montaggio, da utilizzare qualora venga rilevato qualsiasi errore; dopo aver fermato il processo si può quindi utilizzare il sistema dei 5 perché per identificare le cause prime del problema ed evitare che si ripresenti.

1.9 Critiche e limiti della filosofia lean

Come la produzione artigianale e la produzione di massa nemmeno la produzione snella è perfetta. In letteratura si riscontrano diverse critiche fatte a questa nuova filosofia di produzione; innanzitutto alcuni autori obiettano che essa sia realmente un pensiero innovativo, vedendo nel sistema Toyota un adeguamento al modello fordista-taylorista. Critici radicali come Dohse, Jürgens e Malsch descrivono il sistema Toyota semplicemente come “la pratica dei principi organizzativi del fordismo in una condizione di prerogative manageriali illimitate”¹⁰, nonostante U. Jürgens paragonerà, in un altro saggio (“Struttura e precondizioni sociali del toyotismo nelle fabbriche giapponesi”), l'importanza di Taiichi Ohno nel campo dell'organizzazione industriale a quella di Taylor e Ford. L'inglese S.Wood¹¹ suggerisce come la maggior trasparenza dell'impresa altro non sia che l'exasperazione del progetto taylorista di realizzare una completa “visibilità” del

¹⁰ Taiichi Ohno, 1978, “Lo Spirito Toyota”, pp. 10 introduzione.

¹¹ Ibidem.

Lean Production: le origini e il pensiero

processo di produzione; in effetti, vi sono nel pensiero *lean*, alcuni elementi di continuità con il pensiero precedente, come l'idea di una fabbrica sincronica di Ford, secondo il quale il processo doveva scorrere senza intoppi, o come la forza di lavoro a produttività totale idealizzata da Taylor, dove ogni lavoratore doveva essere impiegato in maniera ottimale (“*one best way*”) senza spreco di tempo o di competenze. Vi sono, tuttavia, nel pensiero *lean*, diversi elementi di discontinuità come il rapporto con il mercato (*push* nel sistema di massa e *pull* nel sistema *lean*) o il rapporto con la forza lavoro, che per la filosofia *lean*, deve sentirsi parte di un tutto e lavorare quindi per il bene dell'azienda, al contrario della filosofia di massa.

Altre critiche al sistema *lean* vengono sulla sua effettiva implementabilità: dubbi sono stati espressi innanzitutto sull'esportabilità di tale sistema, perché l'ambiente socio-economico che ha permesso alle fabbriche giapponesi, ed in particolare alla Toyota, di applicare il sistema snello è ben diverso dall'ambiente americano o europeo, vi sono poi delle perplessità sull'adozione di questo sistema in settori differenti da quello automobilistico o nel mondo dei servizi. Infine sono stati messi in evidenza aspetti che potevano ostacolare una corretta adozione della produzione *lean*, come l'età della fabbrica, il suo livello di sindacalizzazione, la sua dimensione (Shaha e Ward, 2003) o la complessità del settore (Browning e Heath, 2009). Vi sono, tutto'oggi ancora molti studi che cercano di dare una risposta, in una direzione o nell'altra.

E', comunque, doveroso aggiungere che un'applicazione acritica e non ragionata del TSP, come d'altronde di qualsiasi filosofia gestionale, da parte delle aziende può portare a conseguenze negative piuttosto che ad un miglioramento delle *performance*.

1.10 Il pensiero snello in Italia

In Italia il dibattito sul sistema produttivo Toyota e sulla sua possibile applicazione nel nostro Paese è arrivato verso l'inizio degli anni '90, portato

Lean Production: le origini e il pensiero

principalmente dall'intervento di Cesare Romiti¹² alla Convention di Marentino dell'ottobre 1989 e dal libro di Womack, Jones e Ross “*La macchina che ha cambiato il mondo*” (1991).

La discussione si è accesa piuttosto tardi, se si pensa che il libro di Taiichi Ohno “Lo spirito Toyota” era stato pubblicato in Giappone più di una decina di anni prima (1978), e che in Inghilterra e Francia da tempo circolava la versione tradotta.

Durante il suo discorso Romiti, riconoscendo la superiorità dell'azienda Toyota, evidenziò il rischio concreto per la FIAT di uscire dal mercato, se non avesse saputo adeguarsi ai nuovi standard di qualità ed efficienza portati dall'azienda nipponica. La domanda che tutti si posero (e che ancora oggi molti si pongono) fu: è possibile implementare una gestione snella nella aziende italiane? O le differenze socio-culturali tra il Paese d'origine del sistema snello e il nostro sono troppo accentuate? Nonostante le differenze molte imprese sono riuscite ad adottare questo metodo ottenendo ottimi risultati. Oltre alle differenze storiche e sociale che influenzano notevolmente l'adozione della mentalità *lean* in un'azienda italiana, è necessario fare i conti anche con la diversa mentalità interna all'impresa italiana: innanzitutto non vi è la stessa visione dell'impresa nella quale si lavora: per i Giapponesi l'azienda ricopre una posizione centrale nelle relazioni sociali e vi è per essa un grande rispetto, mentre in Italia l'impresa privata stenta ad essere accettata come “interlocutore sociale”; inoltre, per il lavoratore nipponico vi è una forte identificazione con la situazione della sua azienda ed egli porta nel lavoro una prevalenze di valori etico-sentimentali (in accordo con le principali religioni presenti in Giappone: buddismo e shintoismo) in contrapposizione con i valori etico-mercantili presenti nell'ambito lavorativo italiano. Un'altra differenza che incide notevolmente in ambito aziendale è il rapporto con l'autorità: infatti, in Italia, diversamente dal Giappone, è più sviluppata una cultura delle relazioni piuttosto che una cultura del ruolo. Nonostante questo diversi aziende italiane sono riuscite ad implementare con successo la filosofia snelle nelle loro aziende. Romano Bonfiglioli nel suo libro “*Pensare snello – Lean Thinking alla maniera italiana*” porta ad

¹² Cesare Romiti (1923, Roma) è stato direttore generale del gruppo automobilistico FIAT dal 1976, successivamente ricoprì le cariche di amministratore delegato e presidente. Lasciò il gruppo torinese nel 1998.

Lean Production: le origini e il pensiero

esempio cinque aziende che sono riuscite, attraverso un'adozione critica del sistema *lean*, a migliorare notevolmente le loro *performance*; una di queste è l'azienda Ducati Motor Holding (noto marchio italiano produttore di moto), che attraverso una serie di attività volte alla riduzione del WIP (e di conseguenza del *lead-time*), alla riorganizzazione del processo in un'ottica di flusso e dell'estensione dei principi *lean* a tutta la catena del valore è riuscita a diminuire il WIP sulle linee di montaggio e il tempo di attraversamento del flusso del 50%, risultati analoghi si sono ottenuti con i fornitori. Altri esempi di aziende italiane note su tutto il territorio, che sono riuscite, con successo, ad applicare il pensiero snello sono Effer (azienda emiliana produttrice di sollevamento carichi e/o persone), Arcotronics (azienda di Sasso Marconi leader mondiale nella produzione di condensatori in film plastico)... Interessanti sono anche i casi in cui il pensiero snello è stato applicato con successo in servizi pubblici come Acque Vicentine (utilities interamente a capitale pubblico) o il Reparto di Diagnostica Strumentale all'interno di un'importante Azienda Sanitaria a livello nazionale. Sembra quindi che il sistema *lean* non solo possa essere applicato al di fuori del Giappone, ma che permetta effettivamente di raggiungere ottimi risultati in termini di *performance*.

CAPITOLO 2

Modello teorico

Nell'ambito di questo lavoro si intende verificare, attraverso l'implementazione di un modello idoneo, le relazioni tra *improvement*, *innovation*, *just in time* e *performance*.

I componenti considerati, in una prima analisi, sono: *innovation*, *improvement*, *just in time* e *performance*. Di seguito verranno approfondite le caratteristiche di ognuna degli elementi costituenti il modello.

2.1 Improvement

In una visione *routine-based-view* l'*improvement* viene classificato come una *capabilities*.

Tale approccio¹³ considera l'impresa composta principalmente da risorse, competenze e capacità ed è il modo in cui vengono utilizzati tali strumenti a formare la sua strategia e la sua *performance*. Le *resources* sono le risorse (tangibili, non tangibili e umane) delle quali dispone l'azienda e l'esempio più semplice è rappresentato dai macchinari di produzione, ma anche i dipendenti e la reputazione sono risorse molto importanti per l'impresa; le *resources* vengono poi impiegate per sviluppare le *routines*, ovvero il "modello" secondo cui un'azienda utilizza abitualmente le sue risorse e un esempio ne è il processo attraverso cui un'azienda trasforma le materie prime (risorse) nel prodotto finito. Queste, quando possono essere raccolte sotto un unico costrutto logico, vengono definite come *bundles*; in particolare quando ci si riferisce alle *lean bundles* si intende, appunto, l'insieme di tutte quelle *routines* riferite alla filosofia *lean*, una delle principali *lean bundles*, utilizzata anche in questo modello, è il *just in time*, il quale è uno dei concetti fondamentali della filosofia snella e raggruppa al suo interno una serie di strumenti

¹³ La "resourced based view" viene descritto da J.B. Barney nell'articolo del 1991 "Firm, Eesources and Sustained Competitive Advantage" in "Journal of Management", Vol. 17, pp. 99-120 e in seguito ripreso da altri studiosi come Mahoney, e J.R. Padian, M. A. Peterlaf, D. Collins e C.Montgomery.

Modello teorico

(le *routines*). Le *routines* possono essere aggregate ad un livello più alto in *capabilities*, ovvero le competenze di un'azienda; le stesse possono essere suddivise in *static capabilities (competence)* o *dynamic capabilities*, le prime possono essere considerate come le competenze statiche che un'azienda possiede, mentre le seconde possono essere considerate come le capacità che un'azienda utilizza al fine di sviluppare nuove risorse, *routines*, e quindi nuove *capabilities*. Secondo la *resourced based view* è l'insieme di tutti questi elementi che, se ottimizzati nell'ambiente ove si trovano, permettono ad un'azienda d'ottenere e mantenere un vantaggio competitivo rispetto ai suoi concorrenti. Nella figura 2.1 viene riportato lo schema proposto da Peng, Schroeder e Shah al fine di illustrare, in modo più completo, la visione *resourced based view*.

Come già detto l'*improvement* (miglioramento), che nella filosofia snella è rappresentato dallo strumento del *kaizen*, viene classificato come una *capabilities*. Il miglioramento è la capacità dell'azienda di sviluppare innovazioni incrementali nei prodotti, nel processo, ma anche nella gestione delle risorse, nell'organizzazione e in tutti gli aspetti di un'impresa.

Modello teorico

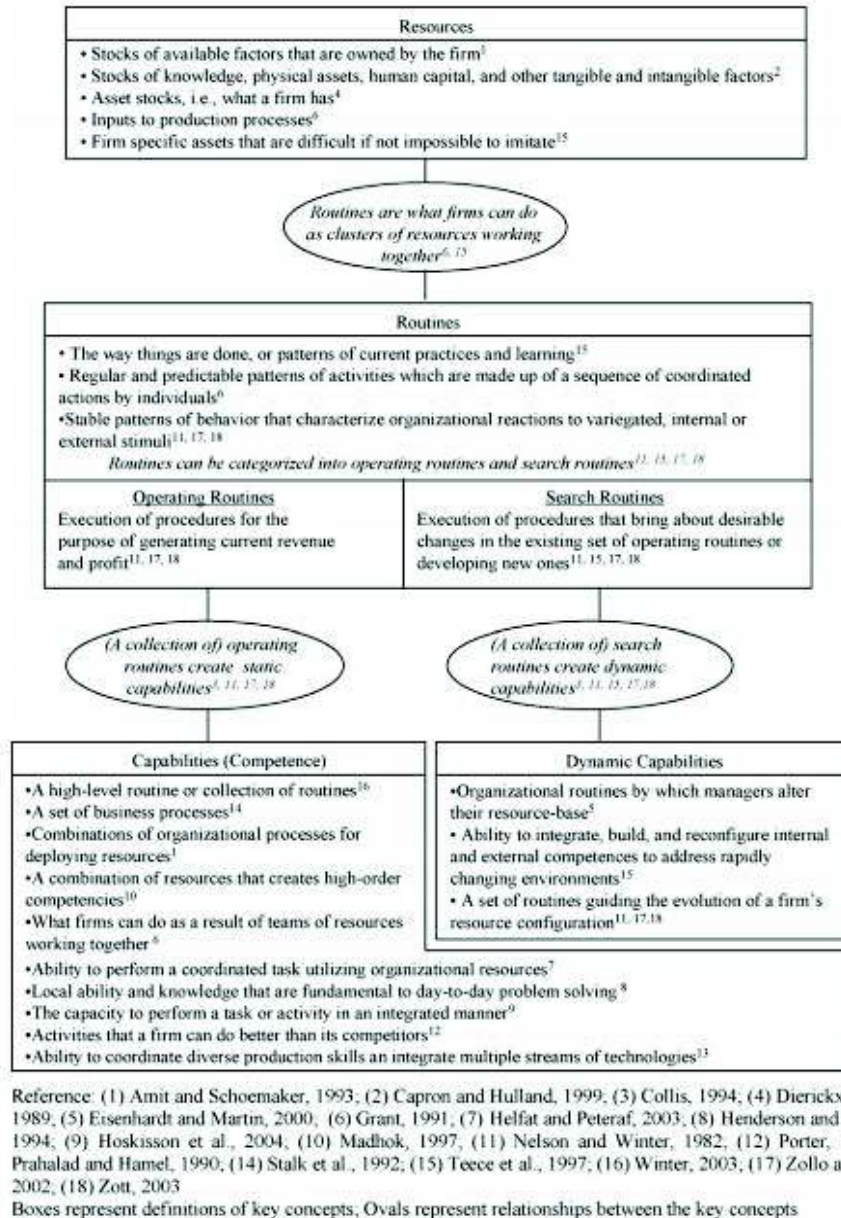


Figura 2.1 Relazioni tra *resources*, *routines* e *capabilities*¹⁴

La peculiarità principale dell'*improvement* è proprio il suo essere interna all'impresa: solo dopo aver compreso appieno la realtà aziendale è possibile sviluppare miglioramenti e, chiaramente, ogni realtà aziendale deve cercare di perfezionarsi in relazione all'ambiente nel quale si trova.

¹⁴ D. X. Peng, R. G. Schroeder, R. Shah, 2007, "Linking routines to operations capabilities: A new perspective", pp.731

Modello teorico

Peng, Schroeder e Shah (2003) individuano tre importanti *boundles routines* alla base dell'*improvement*:

- *Continuos improvement (miglioramento continuo)*, la ricerca costante di miglioramenti incrementali da applicare a prodotti e/o processi già esistenti con attività come la modifica e la ridefinizione del *layout* di processo, dei prodotti, degli strumenti, ma anche dei processi tecnologici. Autori come Cole (2001), Bressant e Francis (1999) affermano che ottenere piccole “vittorie” nell’ottimizzazione di prodotti e processi può riflettersi in performance sempre migliori. Ovviamente non vi è termine al miglioramento continuo, che rappresenta quindi un obiettivo in movimento costante;
- *Process management (gestione dei processi)*, la gestione dei processi focalizzata su una riduzione della variabilità e un aumento dell’efficienza degli stessi, eliminando quelle attività che ostacolano l’ottimizzazione degli stessi; questa *boundles routines* si basa sulla visione globale dell’organizzazione considerata come un insieme di processi interdipendenti tra di loro; in questo ambito sono state sviluppate diverse tecniche statistiche, che rappresentano strumenti molto importanti per la programmazione e il controllo dei processi;
- *Leadership involvement (coinvolgimento della dirigenza)*, l’importanza della leadership nelle attività di miglioramento è un argomento largamente discusso nella letteratura scientifica; per promuovere una *visione di quality involvement* il *top management* deve riuscire a comunicare ai lavoratori l’importanza del miglioramento della qualità creando, nel contempo, delle infrastrutture che motivino la manodopera a partecipare al miglioramento continuo; essendo il miglioramento della qualità un’attività che percorre trasversalmente tutti gli ambiti dell’azienda, i manager di tutti i settori devono essere coinvolti attivamente nel progetto globale di miglioramento della qualità.

Swink e Hegarty (1998) definiscono altre *routines* alla base dell'*improvement*: *learning*, la capacità di migliorare e accrescere le conoscenze legate ai processi,

Modello teorico

waste reduction, ovvero la capacità di eliminare le attività che non aggiungono valore al prodotto e, infine, *motivation*, cioè l'abilità di motivare i lavoratori a dare il massimo nei propri compiti. Queste *routines* possono essere facilmente ricondotte alle tre individuate da Peng, Schroeder e Shah: infatti, la definizione di *learning* data dagli autori può essere ricondotta a quella di *continuous improvement*, così come il concetto di *waste reduction* richiama quello di *process management* e quello di *motivation* ricorda la *leadership involvement*; ciò dimostra come, nonostante le diverse interpretazioni date dagli autori al concetto di miglioramento, il pensiero sottostante sia comune a tutti.

2.2 Innovation

Spesso contrapposto all'*improvement* è il concetto di *innovation* (nella filosofia *lean* è assimilabile al concetto di *kakikau* o *kaizen* di rottura), classificato anch'esso come *capabilities* rappresenta la capacità di implementare cambiamenti radicali sul prodotto e/o sul processo. Diversamente dalla precedente è, quindi, un fattore che può essere estrinseco all'azienda: spesso, infatti, deriva da innovazioni tecnologiche sviluppate all'esterno dell'azienda (ad esempio in studi di ricerca, università...) e la capacità di innovazione dell'impresa consiste, in questo caso, nel riuscire ad individuare le potenzialità della nuova tecnologia, implementarle e farle proprie prima e meglio dei suoi *competitors*; chiaramente l'innovazione può anche essere frutto di ricerche interne all'impresa. Appare evidente come l'*innovation* richieda l'uso di specifiche *routines*, differenti da quelle richieste per l'*improvement*. In particolare Peng, Schroeder e Shah (2008) identificano tre *routines*, alla base del concetto di *innovation*:

- *Process and equipment development (sviluppo di processi e attrezzature)*, la ricerca di nuove tecnologie all'interno dell'azienda, è un fattore critico molto importante, poiché, nascendo dalla realtà stessa dell'azienda è facilmente modellabile e personalizzabile sulle esigenze della stessa; ricerche empiriche (Schroeder e altri, 2002) hanno dimostrato che lo sviluppo di processi e attrezzature nato dall'apprendimento (interno o esterno) di nuove tecnologie si tramuta in un effettivo miglioramento della performance;

Modello teorico

- *Search for new technologies (ricerca di nuove tecnologie)*, cioè tutte le attività che l'azienda predispone al fine di individuare, conoscere e influenzare le nuove tecnologie disponibili; le aziende che possiedono questa *capabilities* molto spesso allocano un gran numero di risorse non solo nella ricerca di tecnologie già esistenti, ma anche nel individuare le potenziali nuove scoperte, acquisire le nuove tecnologie (se ritengono che abbiano delle potenzialità) ed integrare scoperte interne ed esterne all'azienda;
- *Cross-functional product development (sviluppo di prodotti interfunzionale)*, consiste nel coinvolgere differenti aree aziendali (*marketing*, produzione, progettazione, *customer service*...) nello sviluppo di nuovi prodotti e/o processi, in quanto spesso queste attività richiedono la sovrapposizione dei momenti di progettazione e produzione. Queste attività, generalmente, riducono il tempo di sviluppo di nuovi prodotti, portano "la voce" del cliente nella progettazione del prodotto e riducono significativamente i problemi di lavorazione del prodotto progettato. Quest'ultima *routines* viene spesso utilizzata anche nel miglioramento di prodotti (o processi) già esistenti, tuttavia, le sue potenzialità vengono sfruttate maggiormente nel caso dello sviluppo di nuovi prodotti (o processi) in quanto richiedono un cambiamento radicale e una maggiore interazione tra le diverse aree aziendali, proprio per l'intensità del cambiamento.

Come per l'*improvement*, anche in questo caso vi sono diverse interpretazioni delle *routines* alla base dell'*innovation*, le quali, tuttavia, possono essere ricondotte a quelle individuate da Peng e altri; ad esempio, Levithal and March (1993), Mc Grath (2001) affermano come l'essenza dell'innovazione sia la ricerca di nuove conoscenze per scoprire nuove tecnologie. Hayes and Wheelwright (1984), Schroeder e altri (2002) individuano una delle *routines* fondamentali nello sviluppo di processi ed equipaggiamenti interni all'azienda (la quale può essere ricondotta alla *routines process and equipment development* individuata da Peng, Shroeder e Shah), mentre Rosenkopf and Nerkar (2001), Sidhu e altri (2004) pongono la loro attenzione sulla ricerca esterna di nuove tecniche (la *search for new technologies* definita precedentemente).

Modello teorico

E' evidente come, a seconda delle *routines* che ogni autore desidera sottolineare, *improvement* e *innovation* vengono definite con altri nomi: ad esempio Benner e Tushman (2009) definiscono il miglioramento come “*exploitation*” (in italiano sfruttamento), caratterizzata dalla produzione, la selezione, lo sfruttamento e l'efficienza di risorse già esistenti, mentre Isobe e altri (2005) definiscono l'innovazione come “*exploration*” (esplorazione), caratterizzata da un comportamento, da parte dell'azienda, di ricerca, scoperta, sperimentazione e di innovazione di nuove risorse; in particolare Im e Rai (2008) affermano “*exploitation refers to the use and refinements of existing knowledge, and exploration refers to the pursuit of new knowledge and opportunities*”.

Nella figura 2.2 vengono confrontate le *routines* individuate da Peng e altri alla base dell'*improvement* e dell'*innovation*, confrontandole con quelle individuate da altri autori; risulta evidente come i concetti fondamentali sottostanti le due *capabilities* siano comuni a molti autori.

Improvement capability	Improvement capability (Swink and Hegarty, 1998)	Exploitation (Benner and Tushman, 2003)	Total quality control (Sitkin and Sutcliffe, 1994)	Exploitation activities (Isobe et al., 2005)
1. Continuous improvement	Learning: the ability to continuously increase and apply process knowledge	Continuous improvement	Capability enhancement	Improving production process and quality; enhance existing products and technologies
2. Process management	Waste reduction: the ability to remove non-value added activities	Process management		
3. Leadership involvement in quality	Motivation: the ability to impel employees to high levels of efforts and effectiveness		Incentive for implementation	
Other dimensions			Information collection, analysis/dissemination	Exploiting customer base in existing markets

Modello teorico

Innovation capability	Innovation capability (Sivink and Hegarty, 1998)	Innovation strategy (Cassiman and Veugelers, 2002; Pisann, 1990)	Process capability in product development (Kusunoki et al., 1998)	Exploration activities (Isobe et al., 2005)	Product development capability (Eisenhardt and Martin, 2000)
1. Search for new technologies	Scanning: the ability to identify useful technologies inside and outside manufacturing organizations	External technology acquisition Internal technology development		Search for new and promising technologies Integrating internal and external technologies	
2. Processes and equipment development					
3. Cross-functional product development			Communication and coordination across different functional groups	Taking risk to develop new products and technologies	Use of cross-functional teams for new product development; Joint problem solving
Other dimensions	Creativity; Ingenuity		Leadership involvement, shared experience		Extensive external communication

Figura 2.2 Confronto tra autori sulle *routines* sottostanti *improvement* e *innovation*¹⁵

In un mercato come quello odierno, dove vi è una competitività tra aziende sempre maggiore e, contemporaneamente, il ciclo di vita dei prodotti si accorcia, le *capabilities* dell'*improvement* e dell'*innovation* risultano dei fattori cruciali non solo per ottenere un decisivo vantaggio competitivo rispetto ai *competitors*, ma talvolta anche per la sopravvivenza stessa dell'impresa.

2.3 Just in Time

Riconosciuto come uno dei pilastri della filosofia *lean* il *just in time* può essere definito come “[...] *a comprehensive approach to continuous manufacturing improvement based on the notion of eliminating all waste in the manufacturing process*” (Davy e altri, 1992) e questo avviene poiché esso è un “[...] *production system as only the necessary products, at the necessary time, in the necessary quantity*” (Sugimori e altri, 1977).

Riassumendo il *just in time* ha come obiettivo il soddisfacimento istantaneo della domanda senza sprechi (ovvero la minor quantità di mezzi, materiale e risorse umane) e con una qualità ottimale, cercando di ridurre la variabilità nella domanda e bilanciando la flessibilità dei fornitori e dei consumatori; esso si realizza attraverso

¹⁵ D. X. Peng, R. G. Schroeder, R. Shah, 2007, “Linking routines to operations capabilities: a new perspective”, pp.735

Modello teorico

l'applicazione di tecniche che richiedono il coinvolgimento dei lavoratori e un notevole *team work*.

Per comprendere meglio l'approccio *just in time* può essere utile sottolinearne le differenze rispetto al metodo di produzione precedente: in una produzione *batch and queu* ogni fase del processo dispone gli articoli prodotti in un magazzino, il quale assume una funzione di "tampone" tra gli stadi di produzione. In questo modo gli *stage* sono tra loro relativamente indipendenti, in quanto se nella fase A emerge un problema, per il quale viene interrotta la produzione (ad esempio per la rottura di un macchinario), la fase B può continuare nella produzione (a ritmo ridotto) di prodotti grazie alla presenza del magazzino e la fase C può addirittura non avere nessuna ripercussione del problema, grazie alla presenza di due magazzini (tra A e B e tra B e C). Comprensibilmente la presenza di magazzini comporta costi (ad esempio di gestione), rischi di obsolescenza del prodotto, ma anche di danneggiamento dello stesso...in altri termini: il magazzino comporta sprechi; inoltre, il problema che emerge in uno stadio rimane isolato in quello stadio e la soluzione è affidata ai lavoratori presenti in quella fase, questo comporta che le conoscenze acquisite risolvendo i problemi non vengono diffuse per tutto il processo produttivo, ma rimangono chiuse nello *stage*.

Al contrario l'approccio *just in time* richiede che tra le diverse fasi di produzioni non siano presenti magazzini e la produzione avvenga unicamente su richiesta dello stadio successivo; per cui un problema che emerge nella fase A implica che i processi B e C siano costretti a fermarsi, di conseguenza, vi è un coinvolgimento dei lavoratori di tutti gli *stage* e la conoscenza acquisita nella risoluzione del problema alla fase A è condivisa da tutto il processo; infine, particolare non secondario, vengono eliminati tutti i costi di magazzino. La filosofia *just in time* definisce i magazzini "*blanket of obscurity*" in quanto non lasciano emergere i problemi che, ne consegue, non possono essere risolti. Una metafora utilizzata spesso per descrivere questo pensiero è quella di rappresentare i problemi nelle operazioni come sassi in un fiume, mentre il fiume stesso rappresenta i magazzini, anche se le rocce non possono essere viste queste rallentano e ostruiscono lo scorrere del processo (rappresentata dalla nave) nel fiume; riducendo gradualmente la profondità dell'acqua i massi (e quindi i problemi) emergono e possono essere risolti permettendo alla nave di

Modello teorico

scorrere più fluentemente. Quindi un alto livello di scorte (e la conseguente scarsa rotazione del magazzino) nasconde, proprio come l'acqua alta, i problemi, i quali possono essere risolti solo abbassando le stesse (e aumentando la rotazione del magazzino) La figura 2.3 rappresenta la metafora appena descritta.

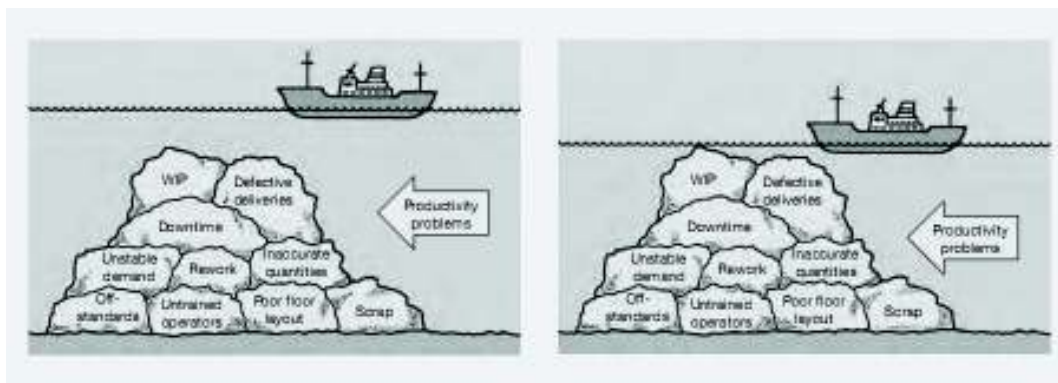


Figura 2.3 Rappresentazione della visione *just in time* dei magazzini, secondo la quale riducendo le scorte (acqua) emergono i problemi (rocce) che possono essere risolti permettendo al processo (nave) di navigare più agevolmente¹⁶

Nel 2001 Cua, McKone e Schroeder hanno pubblicato un articolo nel quale venivano raccolti i diversi strumenti alla base del *just in time* maggiormente citati, confrontando gli studi di diversi ricercatori (Davy e altri., 1992; Mehra and Inman, 1992; Sakakibara e altri., 1993; McLachlin, 1997; Sakakibara e altri., 1997; Ahmad, 1998).

E' emerso che le pratiche *lean* maggiormente associate al *just in time* sono:

- *Riduzione dei tempi di set-up*: diminuzione dei tempi di riassettaggio dei macchinari; si noti che uno dei mezzi più utilizzati per implementare questa pratica *lean* (e quindi attuare il *just in time*) è la tecnica SMED citata precedentemente;
- *Pull system production*¹⁷: attuare una produzione *pull* ("tirare"), contrapposta ad una produzione *push* ("spingere"), nella prima la produzione avviene solo

¹⁶ Slack N., Chambers S., Johnston R., 2004, Operations Management, pp. 468

¹⁷ La pratica "Pull system production" non viene considerata da Mehra e Inman.

Modello teorico

quando richiesta dal cliente, mentre nel secondo caso si produce e poi si cerca di vendere i beni stoccati al cliente;

- *Consegne just in time da parte dei fornitori*¹⁸: attuazione del sistema *just in time* (beni, o servizi, prodotti quando richiesti, nella quantità richiesta e di ottima qualità) lungo tutta la filiera produttiva;
- *Functional equipment layout*¹⁹: progettare e disporre l'attrezzatura e i macchinari in modo funzionale alla produzione JIT; una delle soluzioni più considerate in tal senso è il *layout* a celle;
- *Aderenza al programma giornaliero*²⁰: attenersi il più possibile alla produzione giornaliera prevista;
- *Committed leadership*²¹: coinvolgimento e impegno della dirigenza in tutto il sistema aziendale;
- *Pianificazione strategica*²²: ottimizzazione e pianificazione della produzione;
- *Formazione del personale cross-funzionale*²³: permettere al personale di acquisire conoscenze su tutto il processo, indipendente dalle conoscenze specifiche richieste dalla loro mansione, così da renderli capaci di intervenire il più autonomamente possibile lungo tutto il processo di produzione;

¹⁸ La pratica "Consegne just in time da parte dei fornitori" non viene considerata da Mehra e Inman.

¹⁹ La pratica "Functional equipment layout" non viene considerata da Mehra e Inman.

²⁰ La pratica "Aderenza al programma giornaliero" non viene considerata da Davy e altri e nemmeno da Mehra e Inman.

²¹ La pratica "Committed leadership" non viene considerata da Sakakibara e altri (in entrambi i lavori) e nemmeno da Ahmad.

²² La pratica "Pianificazione strategica" non viene considerata da Sakakibara e altri (nel suo studio del 1993) e nemmeno da McLachlin.

²³ La pratica "Formazione cross-funzionale del personale" non viene considerata da Mehra e Inman, Sakakibara e altri (nel suo studio del 1997) e nemmeno da Ahmad.

Modello teorico

- *Coinvolgimento dei dipendenti*: cercare di far sentire il personale parte di un sistema.

Come si può vedere molte di queste pratiche erano state individuate anche da J. P. Womack e D. T. Jones nella loro opera “*Lean Thinking*” (1997).

2.4 Performance

Performance, letteralmente “rendimento”, è un termine usato per indicare i risultati dell’operato di un’impresa. Non è ancora stato definito, da parte degli studiosi, quali sono i fattori, o le pratiche, che la determinano univocamente, tuttavia, generalmente vengono considerati i seguenti aspetti (Peng, Schroeder e Shah, 2007):

- *Qualità*;
- *Affidabilità*;
- *Velocità*;
- *Flessibilità*;
- *Costo*

2.5 Ipotesi

Nel primo modello considerato sono state ipotizzate una serie di relazioni, le quali coinvolgono gli elementi appena esaminati. Nello specifico, sono stati considerati i legami tra *innovation* e *improvement*, *improvement* e *just in time*, *just in time* e *innovation*, *improvement* e *performance*, *innovation* e *performance* e *just in time* e *performance*.

Le relazioni ipotizzate tra gli elementi del modello sono le seguenti:

- Relazione tra *just in time* e *performance*

Modello teorico

La letteratura scientifica ha dimostrato più volte l'ipotesi che il *just in time* abbia un effetto positivo sulla *performance*.

Il miglioramento nel rendimento portato dall'applicazione del *just in time* nasce, convengono la maggior parte degli studiosi, principalmente dalla riduzione delle scorte e dall'aumento della rotazione nel magazzino (Crawford e Cox, 1990; Gilbert, 1990; Billesbach, 1991; Ockree, 1993; Billesbach e Hayen, 1994; Norris e altri, 1994; Huson e Nanda, 1995; Balakrishnan e altri, 1996; Droge e Germain, 1998); in tal senso la metafora dell'acqua alta (le scorte) che nasconde i massi (i problemi) illustrata nel paragrafo 2.3 mostra efficacemente la validità del sistema *just in time* nel ridurre le scorte, inoltre, il *just in time* mira a pianificare l'attività aziendale in modo da incontrare istantaneamente la domanda, senza sprechi o difetti di prodotto. Risulta quindi chiara la relazione positiva tra *just in time* e rendimento aziendale; tale ipotesi è stata poi dimostrata empiricamente da diversi studi come quello di Sakakibara e Flynn che, nel 1993, hanno identificato la relazione positiva tra il miglioramento del *lead time*, *cycle time*, *inventory turns* e, in misura minore, riduzione dei tempi di *set up* e aderenza alla schedulazione implementando attività *just in time* quali *layout dei macchinari*, *pull system*, livello qualitativo dei fornitori e *kanban*. Anche Nakamura, Sakakibara e Schroeder, nel 1998, hanno dimostrato come la riduzione dei tempi di *set up*, flessibilità alla schedulazione, *layout* dei macchinari, *kanban*, *pull system* e relazioni di tipo JIT con i fornitori hanno un impatto positivo sui tempi di inattività, la percentuale dei prodotti finiti che passano l'ispezione finale senza necessità di rilavorazioni, percentuale di prodotti evasi, *cycle time*, *lead time* e rapporto tra magazzino totale e vendite totali; naturalmente non vi è un effetto uniforme delle pratiche *just in time* su tutte le misure di rendimento: ad esempio, vi è un effetto marginale nel miglioramento della percentuale di ordini evasi in tempo, ed in tale senso si sono dimostrate più efficaci altre pratiche *lean* (come il *Totaly Quality Management* –TQM-). Ovviamente vi sono anche studi che non hanno rilevato alcuna relazione tra adozione del *just in time* e miglioramento della *performance*, come nello studio di Sakakibara, Flynn, Schroeder e Morris nel

Modello teorico

1997, i quali hanno voluto valutare l'impatto delle pratiche JIT e delle pratiche infrastrutturali sulle *performance* in un campione di aziende statunitensi e giapponesi nel settore automobilistico. Sakakibara e altri non sono riusciti a dimostrare un effetto positivo diretto nell'adozione delle pratiche *just in time*, mentre è risultato un effetto diretto dalle pratiche infrastrutturali e un decisivo miglioramento, nella *performance*, in seguito all'implementazione congiunta delle pratiche *just in time* e pratiche infrastrutturali; è facile ipotizzare come l'effetto delle pratiche *just in time* sia quindi indiretto, agendo in prima battuta su un miglioramento delle pratiche infrastrutturali, il quale, di conseguenza si riflette su un miglioramento del rendimento aziendale.

Con questo modello si vuole, in definitiva, verificare l'ipotesi che:

Hp: Il just in time ha un impatto positive sulla performance

■ Relazione tra *improvement* e *just in time*

L'*improvement* è stato definito come un miglioramento continuo dell'impresa, volto alla ricerca della perfezione. Nella filosofia *lean* la perfezione è rappresentata dall'assenza di sprechi e il *just in time* è proprio un approccio teso alla produzione di beni solo quando richiesto dal mercato, nella misura in cui costui la richiede e senza difetti; in una parola una produzione senza sprechi. Il punto d'incontro tra i due elementi è quindi la continuità: una produzione totalmente senza sprechi è una meta costantemente in movimento, e la peculiarità principale dell'*improvement* è proprio il suo essere un miglioramento continuo, adatto per una meta in movimento. Appare quindi evidente come l'*improvement* sia di notevole importanza per sostenere, all'interno di un'azienda, l'implementazione di una produzione *just in time*. Nel definire il rapporto tra *improvement* e *innovation* l'ipotesi da verificare sarà, dunque:

Hp: L'improvement supporta il just in time

- Relazione tra *improvement* e *performance*

Dopo avere analizzato la letteratura relativa all'argomento si è deciso di ipotizzare che l'*improvement* abbia un effetto positivo sulla *performance*; infatti Swink, Narasimahn e Wang (2007) affermano che per ottenere effetti positivi sulla *performance* bisogna conoscere a fondo i prodotti, i mezzi e le potenzialità di questi posseduti dall'impresa.

Masaaki Imai, fondatore nel 1986 dell'Istituto Kaizen, afferma che il nocciolo del *kaizen*, ovvero la pratica del miglioramento continuo suggerita dalla filosofia *lean*, è un'è una ricerca costante del modo migliore di lavorare per produrre prodotti sempre migliori, senza mai fermarsi o adagiarsi sui risultati ottenuti, e un atteggiamento di questo tipo non può che portare a risultati sempre migliori anche nella *performance*.

In conclusione l'ipotesi che si vuole testare è :

Hp: L'improvement ha un effetto positivo sulla performance.

- Relazione tra *innovation* e *performance*

Analizzando la relazione tra *innovation* e *performance* si è ipotizzato che l'*innovation* abbia un impatto positivo sulla *performance*. La tesi che l'innovazione abbia un impatto positivo sul rendimento aziendale è stato dimostrato in diversi studi empirici: Deshpande e altri (1993) su aziende giapponesi, Baldwin e Johnson e altri (1996) su aziende canadesi e Yamin e altri (1997) su aziende australiane hanno dimostrato come la *capabilities* dell'*innovation* ha un effetto significativo e di segno positivo sulla *performance* aziendale; questo assumendo che l'introduzione di un'innovazione nell'impresa non richieda troppo stress per l'azienda stessa e/o che l'innovazione funzioni: Clayton M. Christensen (2003) definisce il tal senso il concetto di "*disruptive technologies e disruptive innovation*" (tecnologie ribelli e innovazioni ribelli), ovvero la possibilità che introdurre

Modello teorico

innovazioni porti, in un'azienda, più svantaggi che vantaggi (ad esempio per i motivi citati precedentemente).

Di conseguenza, attraverso il modello empirico, si andrà a verificare l'ipotesi:

Hp: L'innovation ha un impatto positivo sulla performance

■ Relazione tra *just in time* e *innovation*

Nel loro primo libro J. P. Womack, D. T. Jones e D. Ross “*La macchina che ha cambiato il mondo*” (1991), ed in seguito i primi due nella loro opera successiva “*Lean Thinking*” (1997), sottolineano l'importanza che il *just in time* riveste nell'attuazione, all'interno di un'impresa, dell'*innovation*: liberando risorse attraverso l'implementazione di una produzione *just in time* l'azienda può destinare tali risorse alla ricerca di innovazioni (di prodotto e/o di processo) radicali. Le risorse liberate sono principalmente di due tipologie: economiche e umane. Le prime sono rappresentate dai costi che l'impresa riesce a risparmiare, rispetto ai suoi concorrenti, producendo con una visione *just in time* (quindi eliminando il più possibile qualsiasi forma di spreco) e che possono essere destinate, ad esempio, ad un'attività di ricerca e sviluppo; invece, per i lavoratori che, una volta adottato un sistema di produzione *just in time*, si trovano in sovrannumero la filosofia snella suggerisce di escludere gli elementi che non producono valore aggiunto, rimanendo con un *team* valido e flessibile ²⁴ che è possibile destinare a diverse attività, tra le quali quelle necessarie per la ricerca e l'attuazione delle innovazioni.

Per questi motivi si è scelto di verificare l'ipotesi:

Hp: Il just in time supporta l'innovation

²⁴ L'attuazione di questa manovra all'interno di un'impresa rappresenta sempre un momento particolarmente critico per l'attuazione della filosofia snella: J. P. Womack e D. T. Jones sottolineano, nella loro opera “*Lean Thinking*” come sia importante cercare, innanzitutto, la collaborazione dei sindacati e cercare di far comprendere il significato dell'operazione: eliminare gli sprechi (intesi, in questo caso, come lavoratori che non producono valore aggiunto), infine è rilevante, da parte dell'azienda, portare garanzie lavorative per i lavoratori che non vengono licenziati.

- Relazione tra *innovation* e *improvement*

L'analisi della letteratura presente sull'argomento ha portato ad ipotizzare una relazione di causalità tra *improvement* e *innovation*, in particolare si è ipotizzato che la prima si ponga alla base della seconda. Per molti anni gli studiosi hanno visto la co-applicazione dell'*improvement* e dell'*innovation* all'interno della stessa impresa impossibile o destinata a fallire; i ricercatori affermavano che l'applicazione di una delle due *capabilities* avrebbe sottratto risorse necessarie all'applicazione dell'altra. Negli ultimi anni, al contrario, si è sviluppato un filone di studio che afferma come non solo le due *capabilities* possano coesistere, ma permettano anche di sviluppare un forte vantaggio competitivo. E' molto importante, tuttavia, che l'impresa riesca a bilanciare correttamente miglioramento e innovazione: Levinthal e March (1993) affermano che un sovrautilizzo dell'*exploitation* (che rappresenta gli aspetti principali dell'*improvement*) non permette di cogliere le nuove opportunità e porta a cristallizzarsi su competenze obsolete, mentre uno sfruttamento eccessivo dell'*exploration* (che rappresenta gli aspetti principali dell'*innovation*) porta ad avere uno scarso ritorno dalle nuove idee.

Alcuni studiosi hanno deciso di approfondire le caratteristiche di questo rapporto, arrivando a dimostrare che più di una relazione positiva tra miglioramento e innovazione è possibile parlare di una relazione di causalità, dove l'*improvement* determina l'*innovation*. I ricercatori Isobe T., Makino S. e Montgomery D. B (2005) affermano che queste due *capabilities* hanno differenti implicazioni per la configurazione delle risorse all'interno dell'impresa: mentre l'*exploration* può limitare la disponibilità di risorse per l'*exploitation*, quest'ultima può rafforzare le risorse necessarie per l'*exploration*. Un altro studioso, Robert Cole (2001) afferma che il *continuous improvement* permette di ottenere "small wins", le quali portano ad una serie di benefici, spesso basilari per lo sviluppo di innovazioni; dall'analisi della letteratura emerge che:

Modello teorico

- “ *small wins make large-scale change possible*”; il *continuous improvement* fornisce, innanzitutto, l’impulso all’apprendimento e al miglioramento delle conoscenze di base, ed in secondo luogo, permette di eliminare gli ostacoli che impediscono l’ottimizzazione dei processi ponendosi alla base della realizzazione di cambiamenti radicali (Lynn, 1982);
- Analizzando alcune innovazioni rivoluzionarie si vede come queste siano basate su una serie di “*small wins*” (Robinson, 1991);
- Il *continuous improvement* incoraggia un apprendimento basato sulle “*daily work routines*”, che deve essere mantenuto e istituzionalizzato. Tale processo è il mezzo con cui, secondo Brown e Duguid (1991), le pratiche comuni portano all’innovazione.

Infine, anche molti ricercatori e manager di R&D credono che la ricerca continua di piccoli miglioramenti porti a notevoli cambiamenti tecnologici, di design, di processo....

Queste sono le motivazioni alla base della scelta di verificare l’ipotesi:

Hp: L’improvement supporta l’innovation

Par garantire la solidità delle stime nel modello verranno inserite anche alcune variabili di controllo, quali:

- Numero di addetti dell’impresa;
- Età dell’impresa;

La scelta di introdurre nel modello delle variabili di controllo nasce dall’ipotesi che queste possano influenzare le relazioni del modello e, di conseguenza, se omesse possono alterare i risultati ottenuti. Formalmente, se si considerano le relazioni all’interno del modello esprimibili attraverso un modello lineare del tipo $\underline{y}_i = \beta \underline{x}_i + \underline{\varepsilon}_i$ (dove \underline{y}_i rappresenta il vettore delle variabili risposta, β la matrice dei coefficienti, \underline{x}_i la matrice delle variabili esplicative e $\underline{\varepsilon}_i$ il vettore degli errori) si vuole verificare

Modello teorico

l'assunzione $E(\underline{x}_i | \underline{\varepsilon}_i) = 0$, cioè l'incorrelazione tra variabili esplicative ed errore; in questo caso se non inserite, le variabili di controllo (età e addetti) vengono inglobate nell'errore. Se risulta quindi una correlazione tra variabili esplicative (nel caso specifico *innovation, improvement, just in time e performance* e successivamente *ambidexterity*) e variabili di controllo vi può essere un'alterazione delle stime²⁵.

In conclusione l'inserimento di alcune variabili di controllo nel modello permette non solo di contestualizzare le relazioni considerate, ma anche di garantirne la solidità.

La scelta di quali variabili di controllo introdurre è nata dopo un'analisi della letteratura scientifica, che ha permesso di individuare i fattori che, con maggiori probabilità, hanno un'influenza sulle variabili esplicative considerate e sulle loro relazioni.

■ **Numero di addetti**

E' facile ipotizzare come la dimensione dell'azienda sia un fattore che possa influenzare le variabili esplicative considerate e solitamente il numero dei lavoratori dell'impresa viene considerato un'unità di misura della grandezza della stessa.

Nel loro articolo "*Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance*" (2002) R. Shah e P. T. Ward considerano l'influenza di alcuni fattori contestuali, tra i quali la dimensione dell'impresa (sempre misurata attraverso il numero di addetti), sulla *performance*; i risultati del loro studio mostrano che l'effetto della dimensione sulla *performance* risulta negativo: una grande dimensione non necessariamente si traduce, per un'impresa, in un vantaggio competitivo; anche se viene considerato l'effetto congiunto della grandezza dell'azienda e l'implementazione di tecniche *lean* sulla *performance*, il risultato rimane negativo. L'introduzione della dimensione dell'impresa come variabile di controllo nel modello sembra quindi particolarmente significativa.

²⁵ Nello studio di questo modello non è stato utilizzato il modello di regressione lineare classico bensì i modelli SEM (Structural Equation Model), i quali verranno approfonditi successivamente, tuttavia tale assunzione rimane valida.

■ **Età dell'impresa**

Si può supporre che anche l'età dell'impresa influenzi le variabili esplicative considerate: intuitivamente si potrebbe pensare che un'impresa anziana abbia già percorso la curva dell'apprendimento, appropriandosi così delle conoscenze sul prodotto, sul settore, sui clienti... necessarie per ottenere un buon vantaggio competitivo rispetto alle imprese più giovani; al contempo un'azienda più vecchia potrebbe aver sviluppato una "resistenza al cambiamento" (Stinchcombe, 1965), che la potrebbe portare a non implementare nuove attività e trasformazioni. Un altro dei fattori contestuali studiati nell'articolo di R. Shah e P. T. Ward "*Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance*" (2002) è proprio l'età, studiandone gli effetti sulla *performance* con e senza l'implementazione di tecniche *lean*. Gli autori mostrano come l'età abbia un effetto negativo sulla *performance* dell'azienda stessa: dai risultati un'impresa vecchia sembra avere *performance* peggiori rispetto ai concorrenti più giovani; il segno di questa relazione non cambia se viene considerato congiuntamente l'effetto delle pratiche *lean* e dell'età sulla *performance*. Esso appare comunque una variabile da considerare.

In definitiva, il modello che si vuole verificare di prima battuta è rappresentato nell'immagine 2.4:

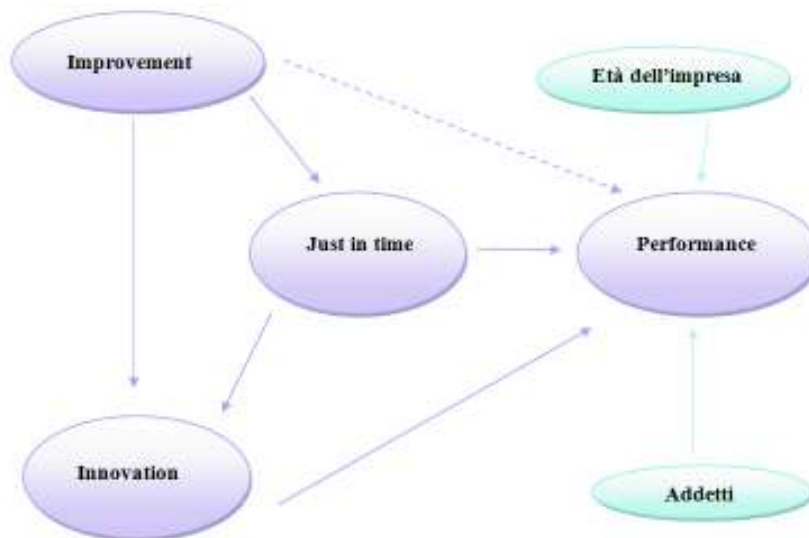


Figura 2.4 Rappresentazione del modello iniziale e delle relazioni ipotizzate

Dopo aver elaborato questo primo modello si è voluto approfondire la parte collegata all'*improvement* e all'*innovation*; lo studio della letteratura presente sull'argomento ha permesso di elaborare un modello successivo, dove viene introdotto un nuovo elemento.

2.6 Un secondo modello

Un'analisi dell'argomento ha portato ad ipotizzare che, in un'azienda, la capacità di attuare *innovation* e *improvement* contemporaneamente, e il conseguente supporto della prima da parte della seconda (se verranno verificate le ipotesi presentate precedentemente) sia legata ad una scelta "strategico-organizzativa" dell'impresa. Si è deciso di rappresentare questo nuovo fattore nel modello attraverso il fattore *ambidexterity*

2.7 **Ambidexterity**

Come già detto, se fino a qualche anno fa la presenza all'interno di una stessa impresa di *innovation* e *improvement* era visto come un *trade-off*, negli ultimi anni a questa visione se ne è aggiunta un'altra che afferma che non solo è possibile la coesistenza di entrambe le *capabilities*, ma che, se questa viene attuata, si ottengono delle *performance* superiori. Si definisce una strategia che cerca di implementare contemporaneamente miglioramento e innovazione come *ambidexterity strategy* (He e Wong, 2004; Im e Rai, 2008); Duncan (1976) afferma che *exploitation* ed *exploration* da sole sono inadeguate per supportare una produzione adeguata ad un ambiente altamente competitivo e dinamico come quello odierno ed è, per questo, necessario attivarle entrambe. Nel loro paper, "Solving innovation paradox with lower-level ambidextrous capabilities" (2009), Jang e Wang definiscono la *ambidextrous capability*, cioè la capacità di un'impresa di essere "ambidestra"; secondo i due autori, tale capacità può essere ottenuta e ottimizzata coinvolgendo i lavoratori a tutti i livelli dell'impresa. Gibson e Birkinshaw (2004) classificano i fattori contestuali di un'impresa in "*performance management context*", i quali rappresentano la parte di disciplina e rigida impostazione data dall'alto del *management* e in "*social context*," la quale rappresenta l'aspetto di fiducia e supporto che deve coinvolgere tutti i livelli dell'impresa ; partendo da questa suddivisione Jiang e Wang affermano che, per ottimizzare l'implementazione di *exploitation* e *exploration*, un'azienda deve riuscire a bilanciare sia il *performance management context* che il *social context*, esattamente come bisogna bilanciare, secondo la tradizione orientale, lo Yin con lo Yang. I due autori affermano anche che un'impresa può ottimizzare l'*ambidexterity strategy* solo se riesce a formare dei lavoratori *ambidexterity*, i quali devono essere totalmente responsabili sia del miglioramento che dell'innovazione e devono essere coinvolti *in toto*; in tal senso viene riportato il caso della NUMMI, una *joint venture* californiana tra Toyota e General Motors, dove sono stati creati dei team *cross-functional* per la progettazione di nuove macchine o camion, il team è composto da lavoratori provenienti da tutti i settori dell'impresa che si occupano unicamente della elaborazione dei nuovi progetti, e una volta che l'auto (o il camion) viene portato ad una produzione su larga

Modello teorico

scala il *team* si scioglie lasciando che tutti i componenti ritornino alle loro mansioni originali.

Queste motivazioni hanno portato alla decisione di inserire, in un nuovo modello, l'elemento *ambidexterity*, rappresentante la capacità dell'impresa di attuare questo fattore.

2.8 Ipotesi nel modello la variabile *ambidexterity*

Le relazioni ipotizzate nel modello precedente rimangono quasi tutte inalterate, l'unica ad esserne modificata è la relazione tra miglioramento e innovazione.

- Relazione tra *improvement* e *innovation*

In questo nuovo modello la relazione tra *improvement* e *innovation* viene ad essere trasformata, in quanto non è più possibile ipotizzare che il rapporto tra le due sia unilaterale, nel nuovo modello il legame tra le due *capabilities* è rappresentato proprio dall'*ambidexterity*. Il rapporto tra quest'ultima e l'*improvement* è facilmente ipotizzabile essere positivo, così come il rapporto con l'*innovation*; è il significato stesso dell'*ambidexterity* che suggerisce la positività dei due rapporti: un'impresa *ambidexterity* è un'azienda che, per definizione, cerca di attuare contemporaneamente miglioramento e innovazione per ottenere *performance* superiori, l'*ambidexterity* porta, quindi, ad un ambiente nel quale si cerca di attuare le due *capabilities* contemporaneamente. In conclusione si può ipotizzare che:

Hp: L'*ambidexterity* supporta positivamente l'*improvement* e l'*innovation*.

Di seguito (figura 2.5) viene rappresentato il modello contenente la variabile *ambidexterity*.

Modello teorico

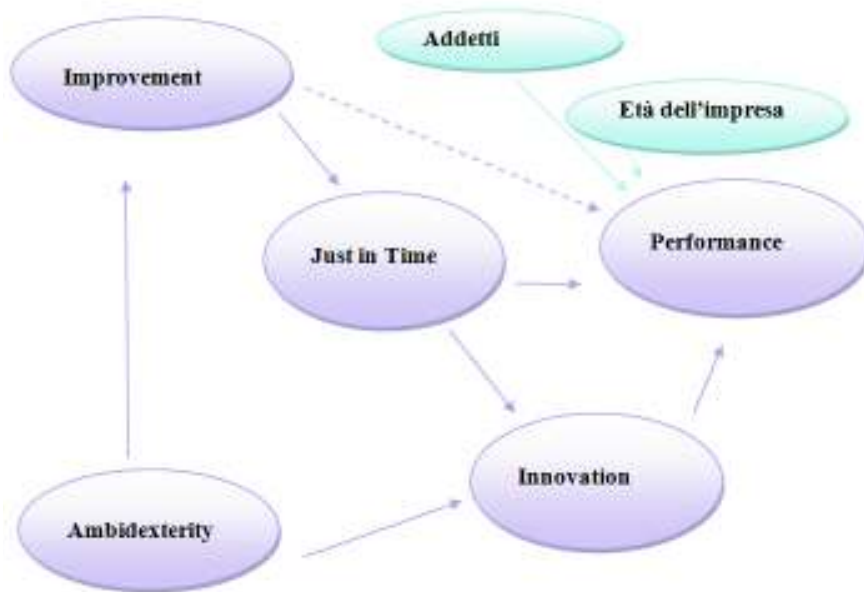


Figura 2.5 Rappresentazione del modello con *ambidexterity*

CAPITOLO 3

Modelli SEM

Per stimare i modelli presentati nel capitolo precedente, completo delle variabili di controllo (età dell'impresa, numero di addetti), si sono utilizzati i modelli SEM. Questi permettono di misurare costrutti non direttamente osservabili, come l'*improvement*, l'*innovation*, il *just in time*, l'*ambidexterity* e la *performance* nel modello, e di determinare le relazioni tra di essi.

3.1 Premessa storica

I modelli SEM (*Structural Equation Models*), conosciuti anche con il nome di ACOVS (Analysis of COVariance Structures) o Lisrel (LInear Structural RELationship)²⁶, sono stati studiati dallo statistico-psicometrico svedese Karl Jöreskog e dai suoi collaboratori nei primi anni settanta. Lo studioso svedese, al di là di questi studi, elaborò il *software* Lisrel™ pensato, inizialmente, per stimare con il metodo della massima verosimiglianza i coefficienti strutturali dell'analisi fattoriale; tuttavia, l'applicazione dei modelli SEM è ben presto andata oltre l'analisi fattoriale arrivando a rappresentare una procedura generale per i modelli basati su equazioni strutturali, mantenendo una distinzione tra variabili latenti ed osservate. Jöreskog cercò di elaborare un modello che affrontasse simultaneamente uno dei problemi tipici della psicometria, cioè la misurazione delle variabili non direttamente osservabili, e il problema della causalità tra le variabili nel campo dell'econometria. Il primo è un problema molto importante nell'ambito delle scienze sociali ed è relativo alla questione della misurazione: infatti, molto spesso, non è possibile misurare direttamente le variabili d'interesse sia perché rappresentano concetti teorici non direttamente osservabili (come soddisfazione, razzismo, aspirazioni...), sia perché non sono presenti adeguati strumenti di misura; già all'inizio del Novecento il psicometrista Karl Spearman tentò, attraverso un primo esempio di analisi fattoriale,

²⁶ Lisrel™ è anche il nome del software ideato da Jöreskog per l'analisi dei modelli ad equazioni strutturali con variabili latenti.

Modelli SEM

di definire un metodo adatto alla misurazione delle variabili latenti come l'intelligenza umana. Il secondo problema concerne la questione della causalità e nasce dal desiderio degli studiosi di poter verificare empiricamente le ipotesi teorizzate attraverso adeguati e validi strumenti come, ad esempio, i modelli ad equazioni simultanee. Oltre alla psicometria e all'econometria anche altre discipline hanno contribuito allo sviluppo finale dei modelli SEM: nell'ambito della biometria, con gli studi del genetista Sewall Wright, si giunse alla definizione della *path analysis*, un metodo che permette non solo di definire le relazioni tra un set di variabili, ma anche di quantificare l'impatto di una variabile su quelle da questa casualmente influenzate attraverso i *patch coefficients*; il lavoro di Wright è stato utilizzato nell'ambito delle scienze sociali dal sociologo Duncan nel 1966 portandolo così ad avere una notevole popolarità tra i sociologi. In definitiva è grazie al lavoro congiunto degli studiosi di diversi ambiti, (in particolare di Goldberger nel campo econometrico, Duncan in quello sociologico e Jöreskog in quello psicometrico), che si giunse alla formulazione generale dei modelli ad equazioni strutturali, presentati da Jöreskog in un seminario organizzato da Goldberger presso l'università di Madison negli Stati Uniti nel novembre del 1970. Negli ultimi anni i modelli ad equazioni strutturali hanno avuto un notevole sviluppo come dimostrato dalla nascita nel 1994 della rivista scientifica "*Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*" (dedicata unicamente a questo metodo d'analisi) e la fondazione nel 1993 di una rete e di un bollettino elettronico finalizzato allo scambio di idee e opinioni in merito ai modelli SEM tra gli studiosi; congiuntamente allo sviluppo della metodologia si è osservato un notevole incremento dei *software* dedicati all'aspetto computazionale dei modelli: negli anni ottanta venne sviluppato il programma EQS a cui seguirono AMOS (associato a SPSS), CALIS (associato a SAS) e altri.

Oggi i modelli SEM vengono utilizzati nella ricerca scientifica di diversi ambiti (sociologia, psicologia, biologia...) e grazie all'ampiezza dei sottomodelli che è possibile ricavare (*path analysis*, analisi fattoriale, modelli ad equazioni simultanee, modelli di regressione...) essi rappresentano un valido strumento di lavoro per gli studiosi di qualsiasi ambito.

3.2 Aspetti teorici dei modelli SEM

I modelli SEM descrivono un'ampia classe di modelli che permettono di studiare le relazioni causali e di interdipendenza tra variabili, in particolare da quelle caratterizzate da errori di misura, se valgono le seguenti ipotesi:

- Continuità e normalità (quantomeno approssimativa) delle variabili coinvolte;
- Linearità del sistema di equazioni utilizzato per definire le relazioni tra variabili;
- Casualità del campione utilizzato per le variabili osservate

Una volta verificate tali ipotesi si possono stimare correttamente le variabili latenti e le loro relazioni. I modelli SEM sono composti da due sottomodelli: di misura e strutturale; il primo permette di misurare variabili non direttamente osservabili (definite variabili latenti o fattori) attraverso variabili osservate e di determinare la validità e l'attendibilità di tale misurazione, mentre il secondo permette di determinare le relazioni causali tra le variabili latenti.

Una formulazione generale dei modelli SEM (in forma matriciale) è la seguente:

$$\begin{array}{l} \boldsymbol{\eta} = \mathbf{B} \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\Gamma} \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\zeta} \\ \boldsymbol{y} = \boldsymbol{\Lambda}_y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon} \\ \boldsymbol{x} = \boldsymbol{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta} \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Sottomodello strutturale} \\ \text{Sottomodello di misura} \end{array}$$

Le variabili sono indicate dalle lettere y , x , η e ξ ; in particolare:

\boldsymbol{y} rappresenta le variabili osservate endogene²⁷;

\boldsymbol{x} rappresenta le variabili osservate esogene²⁸;

27 Con il termine endogena (o dipendente) ci si riferisce ad una (o più) variabili che possono influenzare le altre variabili del modello ma che, a loro volta, possono essere influenzate da altre variabili esogene o endogene, è quindi una variabile "interna" al modello."

28 Con il termine esogena (o indipendente) ci si riferisce ad una variabile che influenza le altre variabili del modello ma non ne viene influenzata; è quindi una variabile "esterna" al modello".

Modelli SEM

$\underline{\eta}$ (eta) rappresenta le variabili latenti endogene;

$\underline{\xi}$ (ksi) rappresenta le variabili latenti esogene.

Gli errori stocastici sono indicati dalle lettere ζ (errori nelle equazioni), ε e δ (errori di misura); in particolare:

$\underline{\zeta}$ (zeta) rappresenta l'errore stocastico delle variabili $\underline{\eta}$;

$\underline{\varepsilon}$ (epsilon) rappresenta l'errore stocastico delle variabili \underline{y} ;

$\underline{\delta}$ (delta) rappresenta l'errore stocastico delle variabili \underline{x} .

I coefficienti strutturali, indicati dalle lettere Λ_y , Λ_x , B e Γ , sono così definiti:

$\underline{\Lambda}_y$ (lambda-y) rappresenta i coefficienti fra le variabili $\underline{\eta}$ e \underline{y} ;

$\underline{\Lambda}_x$ (lambda-x) rappresenta i coefficienti fra le variabili $\underline{\xi}$ e \underline{x} ;

\underline{B} (beta) rappresenta i coefficienti fra le variabili $\underline{\eta}$ e $\underline{\eta}$;

$\underline{\Gamma}$ (gamma) rappresenta i coefficienti fra le variabili $\underline{\eta}$ e $\underline{\xi}$.

Nei modelli SEM hanno molta importanza le matrici di varianza-covarianza tra le variabili esogene ξ (tra loro) e tra gli errori (errori dello stesso tipo), le quali vengono indicate dalle lettere Φ , Ψ , Θ_ε e Θ_δ . In particolare:

$\underline{\Phi}$ (phi) rappresenta la matrice di varianza-covarianza tra le variabili ξ , cioè $E(\xi \xi')$;

$\underline{\Psi}$ (psi) rappresenta la matrice di varianza-covarianza tra gli errori ζ , cioè $E(\zeta \zeta')$;

$\underline{\Theta}_\varepsilon$ (theta-epsilon) rappresenta la matrice di varianza-covarianza tra gli errori ε , cioè $E(\varepsilon \varepsilon')$;

$\underline{\Theta}_\delta$ (theta-delta) rappresenta la matrice di varianza-covarianza tra le gli errori δ , cioè $E(\delta \delta')$.

La funzione della matrice $\underline{\Phi}$ consiste nel considerare anche le relazioni esistenti nel modello tra le variabili esogene in modo esplicito. Diversamente da $\underline{\Phi}$, la matrice $\underline{\Psi}$ permette di considerare l'effetto di variabili escluse nel modello, ma che si realizza nella realtà; se consideriamo, infatti, un modello "perfettamente specificato", la componente dell'errore stocastico sarà, per ogni equazione, piccola e trascurabile, tuttavia nella realtà un modello, solitamente, non comprende tutte le variabili e tutte le relazioni che influenzano il fenomeno e quindi queste vengono incluse nell'errore $\underline{\Psi}$; se, ad esempio, vi fosse una variabile non nota che agisse contemporaneamente su due variabili endogene, si rischierebbe di ottenere una correlazione che in realtà non esiste (correlazione spuria).

Modelli SEM

Per le variabili appena descritte si considera che:

- le variabili osservate x ed y sono misurate in termini di scarti dalle rispettive medie, quindi $E(\underline{y}) = E(\underline{x}) = \underline{0}$;
- I vettori degli errori abbiano media nulla, quindi $E(\underline{\zeta}) = E(\underline{\varepsilon}) = E(\underline{\delta}) = \underline{0}$;
- Gli errori dell'equazione ($\underline{\zeta}$) siano incorrelati con ξ , gli errori di misura siano incorrelati con le corrispondenti variabili latenti e , infine, che gli errori nell'equazione di misura siano mutuamente incorrelati, ovvero $E(\underline{\zeta}\underline{\xi}') = E(\underline{\varepsilon}\underline{\eta}') = E(\underline{\delta}\underline{\zeta}') = E(\underline{\varepsilon}\underline{\zeta}') = E(\underline{\varepsilon}\underline{\delta}') = \underline{0}$;
- la matrice $(I - B)$ sia non singolare, ovvero deve esistere $(I - B)^{-1}$.

Nella tabella 3.1 sono stati riassunti gli elementi principali presenti nei modelli SEM.

\underline{Y} (ipsilon)	variabili endogene osservate
η (eta)	variabili endogene latenti
\underline{X} (ics)	variabili esogene osservate
ξ (ksi)	variabili esogene latenti
$\underline{\zeta}$ (zeta)	termine d'errore del modello causale
$\underline{\varepsilon}$ (epsilon)	termine d'errore del modello di misura delle variabili endogene
$\underline{\delta}$ (delta)	termine d'errore del modello di misura delle variabili esogene
Λ_Y (lambda ipsilon)	matrice dei pesi fattoriali per il modello di misura delle variabili endogene
Λ_X (lambda ics)	matrice dei pesi fattoriali per il modello di misura delle variabili esogene
B (beta)	matrice dei coefficienti che legano variabili latenti endogene
Γ (gamma)	matrice dei coefficienti che legano variabili latenti endogene ed esogene
Φ (phi)	matrice di varianze e covarianze delle variabili latenti esogene
Ψ (psi)	matrice di varianze e covarianze degli errori nelle equazioni strutturali
Θ_ε (theta epsilon)	matrice di varianze e covarianze degli errori nel modello di misura per variabili endogene
Θ_δ (theta delta)	matrice di varianze e covarianze degli errori nel modello di misura per variabili esogene

Tabella 3.1 Schema degli elementi presenti nei modelli SEM²⁹

²⁹ Zandarin G., 2009, "Improvement, Innovation e Just in Time: un'analisi empirica tramite modelli a equazioni strutturali" pp. 58.

Modelli SEM

Uno degli aspetti più importanti nell'analisi dei modelli SEM è che l'analisi statistica è orientata a modellare la struttura delle varianze e covarianze; infatti l'equazione fondamentale per l'analisi della struttura di covarianza è:

$$\underline{\Sigma} = \underline{\Sigma}(\theta)$$

dove Σ è la matrice di varianza e covarianza delle variabili osservate nella popolazione e $\Sigma(\theta)$ è la matrice di varianza e covarianza scritta in funzione di parametri del modello contenuti nel vettore θ .

L'uguaglianza dell'equazione esiste se il modello è correttamente specificato e se i parametri sono noti; solitamente, però, i parametri sono in parte ignoti e non si è a conoscenza di $\underline{\Sigma}$, ma si possiede solamente \underline{S} , cioè la matrice di varianza-covarianza campionaria delle variabili osservate. Questo porta ai problemi di identificazione e di stima. Il primo è una delle questioni più importanti nell'analisi di modello SEM, e si riferisce alla possibilità di individuare univocamente i parametri incogniti di θ a partire dagli elementi distinti di Σ (o S) attraverso l'equazione $\Sigma = \Sigma(\theta)$. Nel risolvere tale equazione tre sono le possibili situazioni nelle quali è possibile ritrovarsi: non identificazione, esatta identificazione e sovra-identificazione. Il problema della stima nasce, invece, dalla difficoltà di individuare una funzione di stima che minimizzi adeguatamente la distanza tra S e $\Sigma(\theta)$. Entrambi i problemi verranno approfonditi successivamente.

E' possibile rappresentare i modelli SEM con tre differenti metodi:

- *Sistema di equazioni*: vengono esplicitate tutte le equazioni che compongono il modello di struttura e di misura;
- *Path Diagram* (Diagramma Causale): rappresentazione grafica delle variabili (latenti ed osservate) e delle relazioni che compongono il modello. In particolare le variabili osservate vengono poste all'interno di un rettangolo (\square), le rispettive variabili latenti all'interno di un ovale, (\circ) mentre gli errori non sono inseriti all'interno di nessuna figura; le relazioni sono invece rappresentate per mezzo di frecce, unidirezionali (\longrightarrow) se rappresentano l'influenza causale diretta da una variabile all'altra, mentre se sono bidirezionali (\longleftrightarrow) rappresentano una covarianza fra due variabili. I

Modelli SEM

coefficienti associati alle frecce hanno due deponenti: il primo si riferisce alla variabile verso cui punta la freccia e il secondo si riferisce alla variabile dalla quale muove la freccia. Tutte le influenze di una variabile sull'altra devono essere incluse nel *path diagram*, quindi la mancanza di frecce implica che non c'è nessun legame tra le due variabili.

- *Struttura di covarianza implicata*: il modello può essere rappresentato direttamente attraverso l'equazione $\underline{\Sigma} = \underline{\Sigma}(\theta)$; questo metodo è il più complesso e, di conseguenza, il meno utilizzato.

A partire dal modello generale è poi possibile giungere a modelli particolari come il modello a equazioni simultanee, il modello ricorsivo (*path analysis*), il modello di analisi fattoriale (esplorativa o confermativa) e anche al modello di regressione lineare univariato e multivariato. Consideriamo ora i due sottomodelli che compongono il modello SEM completo, ovvero il sottomodello strutturale e il sottomodello di misura.

3.3 Sottomodello strutturale

Il sottomodello strutturale si occupa delle relazioni causali tra variabili latenti e quindi rappresenta la parte "causale" del modello, contrapposta a quella "di misura". La notazione compatta, in forma matriciale, di questo sottomodello è:

$$\underline{\eta} = \underline{B} \underline{\eta} + \underline{\Gamma} \underline{\xi} + \underline{\zeta}$$

come si può notare, questa è anche la prima equazione che si trova nei modello SEM completi ed è composta dalle variabili:

$\underline{\eta}$ (eta) \rightarrow vettore ($m^{30} \times 1$) di variabili latenti endogene;

$\underline{\xi}$ (ksi) \rightarrow vettore ($n^{31} \times 1$) di variabili osservate esogene;

dall'errore:

³⁰ m indica il numero di variabili endogene η

³¹ n indica il numero di variabili esogene ξ

Modelli SEM

ζ (zeta) \rightarrow vettore ($m \times 1$) dell'errore stocastico delle variabili η ;

dai coefficienti strutturali:

\mathbf{B} (beta) \rightarrow matrice ($m \times m$) di coefficienti fra le variabili η e η ; come si può notare è una matrice quadrata e la sua diagonale è costituita da 0, ovvero i coefficienti delle regressioni di ogni variabile con se stessa sono nulli;

$\mathbf{\Gamma}$ (gamma) \rightarrow matrice ($m \times n$) di coefficienti fra le variabili η e ξ .

Inoltre, anche se non esplicitamente rappresentate, in questo modello sono comprese altre due matrici, cioè le matrici di varianza-covarianza:

$\mathbf{\Phi}$ (phi) \rightarrow matrice ($n \times n$) di varianza-covarianza tra le variabili ξ , cioè $E(\xi\xi')$;

$\mathbf{\Psi}$ (psi) \rightarrow matrice ($m \times m$) di varianza-covarianza tra le gli errori ζ , cioè $E(\zeta\zeta')$.

Essendo due matrici di varianza-covarianza sono matrici quadrate e simmetriche.

A partire da questo sottomodulo del modello SEM generale è possibile ottenere un'ampia varietà di modelli. In particolare se consideriamo $\eta \equiv y$ e $\xi \equiv x$, cioè non si considerano η e ξ come variabili latenti, ma come variabili osservate (SEM con variabili osservate senza errori di misura) si ottengono particolari classi di modelli a seconda della configurazione della matrice B e di Ψ .

In particolare :

- Se B è una matrice nulla e Ψ "unconstrained" (non vincolato) si ha un modello di regressione lineare multivariato, che nel caso di $p^{32} = 1$ diventa un modello di regressione lineare multipla;
- Se B è triangolare inferiore e Ψ diagonale si ha un modello ricorsivo, chiamato anche "path analysis"; in un modello di questo tipo sono presenti m variabili endogene per le quali si ipotizza che esista un ordinamento casuale tra le variabili per cui y_1 influenza y_2 (ma non ne viene influenzata), y_1 e y_2 influenzano y_3 (ma non ne vengono influenzate), y_1, y_2, y_3 influenzano y_4 (ma non ne vengono influenzate)...;

³² p indica il numero di variabili endogene y

Modelli SEM

- Se B non è triangolare inferiore e/o Ψ non diagonale si ha un modello ad equazioni simultanee.

Sia il modello di regressione lineare multivariato (e di conseguenza il modello di regressione lineare multiplo) che il modello ricorsivo sono esattamente identificati, ovvero a partire dall'equazione $\underline{\Sigma} = \underline{\Sigma}(\underline{\theta})$ è possibile identificare tutti gli elementi del vettore $\underline{\theta}$. Nel caso del modello ad equazioni simultanee l'identificazione non è scontata, anzi, generalmente il modello di partenza non è mai identificato, per cui devono essere imposte delle limitazioni: restrizioni di esclusione, restrizioni di uguaglianza, vincoli lineari e/o non lineari. Nella tabella 3.2 vengono riproposte le regole d'identificazione per equazioni strutturali con variabili osservate.

REGOLA DI IDENTIFICAZIONE	VALUTAZIONI	CONDIZIONI IMPOSTE	CONDIZIONE NECESSARIA	CONDIZIONE SUFFICIENTE
Regola t	Modello	$t \leq 1/2 (p + q) (p + q + 1)$	SI'	NO
Regola della nullità di B	Modello	$B = 0$	NO	SI'
Regola Ricorsiva	Modello	B triangolare inferiore Ψ diagonale	NO	SI'
Condizione di ordine	Equazione	restrizioni $\geq p - 1$ Ψ libera	SI'	NO
Condizione di rango	Equazione	rango $(C) = p - 1$ ²⁸ Ψ libera	SI'	SI'

Tabella 3.2 Regole d'identificazione per un modello ad equazioni strutturali con variabili osservate senza errore

3.4 Sottomodello di misura e analisi fattoriale

Il sottomodello di misura permette di analizzare le relazioni tra le variabili latenti e le rispettive variabili osservate, occupandosi quindi della parte di “misura”

Modelli SEM

del modello. Se la relazioni tra variabili osservate e latenti è riferito alle variabili endogene, l'equazione che in forma matriciale rappresenta questo modello è:

$$\mathbf{y} = \mathbf{\Lambda}_y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

ovvero la seconda equazione del modello SEM generale.

Quest'equazione è composta dalle variabili:

\mathbf{y} → vettore ($p \times 1$) delle variabili osservate endogene;

$\boldsymbol{\eta}$ (eta) → vettore ($m \times 1$) delle variabili latenti endogene;

dall'errore:

$\boldsymbol{\varepsilon}$ (epsilon) → vettore ($p \times 1$) dell'errore stocastico delle variabili \mathbf{y} ;

dai coefficienti strutturali:

$\mathbf{\Lambda}_y$ (lambda-y) → matrice ($p \times m$) di coefficienti fra le variabili η e y .

Inoltre è compresa la matrice di varianza-covarianza:

$\boldsymbol{\Theta}_\varepsilon$ (theta-epsilon) → matrice ($p \times p$) di varianza-covarianza tra gli errori ε , cioè $E(\boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{\varepsilon}')$,

Se, invece, consideriamo il modello di misura riferito alle variabili esogene l'equazione che in forma matriciale rappresenta tale modello è:

$$\mathbf{x} = \mathbf{\Lambda}_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta}$$

ovvero la terza e ultima equazione del modello SEM completo.

E' composto dalle variabili:

\mathbf{x} → vettore ($q^{33} \times 1$) di variabili osservate esogene;

$\boldsymbol{\xi}$ (ksi) → vettore ($n \times 1$) di variabili osservate esogene.

dall'errore:

$\boldsymbol{\delta}$ (delta) → vettore ($q \times 1$) l'errore stocastico delle variabili \mathbf{x}

dai coefficienti strutturali:

³³ q indica il numero di variabili esogene osservate x

Modelli SEM

$\underline{\Lambda}_x$ (lambda-x) \rightarrow matrice ($q \times n$) di coefficienti fra le variabili ξ e x .

Inoltre è compresa la matrice di varianza-covarianza:

Θ_δ (theta-delta) \rightarrow matrice ($q \times q$) di varianza-covarianza tra gli errori δ , cioè $E(\underline{\delta} \underline{\delta}')$.

Sia che si consideri il modello di misura per variabili esogene o che si consideri quello per variabili endogene, tale modello viene solitamente utilizzato per l'analisi fattoriale sia esplorativa che confermativa. L'analisi fattoriale serve per individuare un numero, relativamente piccolo, di costrutti fattoriali (o latenti) che possono servire per sostituire adeguatamente un numero più ampio di indicatori (variabili osservate). Come anticipato, l'analisi fattoriale può essere esplorativa o confermativa: la differenza sostanziale riguarda la conoscenza o meno, da parte del ricercatore, delle informazioni a priori circa le variabili osservate e le relative variabili latenti coinvolte; nel caso di un'analisi fattoriale esplorativa lo studioso non conosce nulla circa il fenomeno che desidera studiare, e per questo, non pone alcun vincolo nelle relazioni tra variabili osservate e variabili latenti, al fine di far emergere le relazioni significative. Nel caso di un'analisi fattoriale confermativa, al contrario, lo studioso possiede già delle informazioni circa il fenomeno ed è quindi in grado di porre dei vincoli (ad esempio di nullità o uguaglianza) nelle variabili osservate e/o latenti, in questo caso l'analisi gli serve proprio per verificare le informazioni che possiede. Nel caso di utilizzo di variabili latenti, non essendo per loro natura osservabili, è importante definire un'origine e un'unità di misura;. In quanto all'origine, poiché nei modelli SEM non vengono imposte alcune restrizioni sulle medie delle variabili considerate, e poiché le variabili osservate vengono considerate come scarti dalla media si assume che anche le variabili latenti abbiano media nulla. L'unità di misura dei fattori, invece, può essere definita con modalità differenti: le due maggiormente utilizzate consistono nel fissare pari ad uno la varianza delle variabili latenti o nel porre la varianza delle variabili latenti uguale a quella delle variabili osservate; si può fissare la varianza delle variabili latenti pari ad uno solo per le variabili ξ , in quanto la matrice di varianza-covarianza delle variabili latenti endogene non è compresa nel modello, mentre per fissare la varianza delle variabili latenti esogene η si può uguagliare al vettore unitario la diagonale della matrice di varianza-covarianza del termine d'errore dell'equazioni Ψ . Se invece si vuole porre la varianza delle variabili

Modelli SEM

latenti uguale a quella delle variabili osservate bisogna assegnare il valore uno al parametro λ che lega la variabile osservata prescelta e la latente.

Anche nei modelli di analisi fattoriale l'identificazione è un aspetto importante da non sottovalutare: come detto precedentemente, verificare l'identificabilità di un modello significa assicurarsi che tutti i parametri possano essere univocamente determinati a partire dai dati. Nel caso di un'analisi fattoriale esplorativa affinché il modello sia univocamente identificato è necessario imporre k^2 restrizioni indipendenti, dove k è il numero di fattori misurati. $\frac{1}{2} k (k + 1)$ restrizioni vengono soddisfatte imponendo $\Phi = I$, mentre le rimanenti restrizioni vengono soddisfatte elaborando il modello con $\frac{1}{2} k (k - 1)$ elementi nulli nella matrice Δ (solitamente in righe e colonne diverse). Una volta poste tali restrizioni la condizione d'identificazione (necessaria e sufficiente) diventa $\frac{1}{2} [(p - k)^2 - (p + k)] \geq 0$, dove k è il numero di fattori misurati e p è il numero di variabili osservate. In un modello di analisi fattoriale confermativa, invece, vi sono altre tecniche per stabilire se un modello è identificato o meno; una condizione necessaria ma non sufficiente è che $t \leq \frac{1}{2} p (p + 1)$ dove t è il numero di parametri liberi in Φ ; questa condizione, chiamata "*t-Rules*", afferma semplicemente che il numero di parametri da stimare deve essere minore delle equazioni del modello ed è valida anche per i modelli SEM in generale. Una condizione sufficiente, ma non necessaria per identificare il modello si ha quando è verificato quanto detto dalla *regola dei tre indicatori*; secondo la quale un modello è identificato se vengono rispettate contemporaneamente le seguenti condizioni: numero di fattori maggiore o uguale a 1, per ogni fattore esistono 3 o più indicatori, in ogni riga di Δ vi è almeno un elemento non nullo e Θ è diagonale.

Nel caso di modelli con un numero di fattori strettamente maggiore di uno si può far riferimento ad una regola, simile alla *regola dei tre indicatori*, che richiede due indicatori e che ogni riga di Φ presenti almeno un elemento al di fuori della diagonale non nullo. Anche per la *regola dei due indicatori*, la sua verifica è una condizione sufficiente ma non necessaria. Queste appena esposte sono alcune regole che non coprono tutte le possibili definizioni di un modello di analisi (esplorativo o confermativo); in casi in cui non vengono rispettate le condizioni poste dalle regole fin qui esaminate vi sono delle procedure empiriche che permettono di stabilire se un

Modelli SEM

modello è identificato o meno. Nella tabella 3.3 vengono riassunte le regole fin qui viste.

REGOLA DI IDENTIFICAZIONE	CONDIZIONI IMPOSTE	CONDIZIONE NECESSARIA	CONDIZIONE SUFFICIENTE
Regola t	$t \leq \frac{1}{2} p (p+1)$	SI'	NO
Regola 3 indicatori	$k \geq 1$ 3 o più indicatori per fattore un elemento non zero per ogni riga di Λ_x Θ_δ diagonale	NO	SI'
Regola 2 indicatori			
Regola A	$k \geq 1$ $\phi_{ij} \neq 0$ per ogni i e j 2 o più indicatori per fattore un elemento non zero per ogni riga di Λ_x Θ_δ diagonale	NO	SI'
Regola B	come sopra, salvo $\phi_{ij} \neq 0$ per almeno una coppia di i e j , con $i \neq j$	NO	SI'

Tabella 3.3 Regole d'identificazione per un modello di analisi fattoriale confermativa

3.5 Identificazione in un modello SEM completo

Se consideriamo ora il modello SEM completo

$$\boldsymbol{\eta} = \mathbf{B} \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\Gamma} \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\zeta}$$

$$\mathbf{y} = \boldsymbol{\Delta}_y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{x} = \boldsymbol{\Delta}_x \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta}$$

il problema dell'identificazione è più complesso, rispetto al caso in cui si considerano i due sottomodelli distintamente. Sostanzialmente il problema

Modelli SEM

dell'identificazione consiste nel determinare se i parametri del modello sono (univocamente) determinati; nell'identificazione del modello si possono presentare tre possibilità distinte:

- Uno o più parametri risulta avere più soluzioni, diverse tra di loro e questo impedisce ai parametri di essere univocamente identificati; si parla in tal caso di *sovra-identificazione del modello*. Se si presenta questa condizione è possibile arrivare ad una soluzione imponendo dei vincoli che portino ad una sola soluzione per ogni parametro;
- Ogni parametro è esattamente identificato; in tal caso si parla di *esatta identificazione del modello*;
- Uno o più parametri non hanno soluzione, ovvero non possono essere identificati; in questo caso non è possibile arrivare ad una soluzione (a meno che non vengano ridotti il numero di parametri da stimare) e si parla di *modello non identificato*.

La soluzione più immediata per verificare se il modello è identificabile o meno è quella di risolvere il sistema di equazioni $\underline{\Sigma} = \underline{\Sigma}(\theta)$, anche se tale metodo risulta essere macchinoso e complesso.

Per evitare la risoluzione del sistema si può ricorrere a regole e condizioni operative (necessarie e/o sufficienti) che permettano di valutare l'identificabilità del modello. Una delle condizioni basilari consiste nel verificare che il modello abbia più equazioni che parametri, cioè $n^\circ \text{ equazioni} \geq n^\circ \text{ parametri}$; in questo caso, poiché il numero delle equazioni risulta essere pari a quello delle covarianze, ed essendo le covarianze $\frac{1}{2}(p+q)(p+q-1)$, si ha che:

$$n^\circ \text{ equazioni} = \frac{1}{2}(p+q)(p+q-1)$$

$$n^\circ \text{ parametri} = t.$$

Riassumendo una condizione necessaria, ma non sufficiente per determinare se il modello è identificato, è la verifica della *t-Rule*:

$$t \leq \frac{1}{2}(p+q)(p+q-1)$$

Si ricorda che

Modelli SEM

p = numero di variabili endogene y ;

q = numero di variabili esogene osservate x .

Un'altra possibilità è quella di analizzare lo stato d'identificazione in due passi, ovvero verificare l'identificazione del sottomodulo di misura (considerandolo, ad esempio, come un modello di analisi fattoriale confermativa) e successivamente verificare l'identificazione del sottomodulo strutturale (considerandolo un modello SEM con variabili osservate senza errore di misura). Se l'identificazione è verificata in entrambi i modelli, allora il modello è globalmente identificato, mentre se uno dei due sottomodelli non è identificato non significa che il modello non sia globalmente identificato; l'analisi dello stato d'identificazione in due passi è quindi una condizione necessaria, ma non sufficiente. I *software* dispongono, inoltre, di uno strumento per l'identificazione del modello basato su un approccio per prova ed errore (Rothenberg, 1971) relativo alla condizione d'identificabilità locale; sapendo che un vettore $\underline{\theta}$ di parametri è localmente identificato attorno a $\underline{\theta}_0$ se e solo se la matrice d'informazione $\underline{I} = - E [\delta^2 \log L / \delta \underline{\theta}_0 \delta \underline{\theta}_0']$ è non singolare; il *software*, quindi, avvia una procedura iterativa di stima, in cui calcola la matrice d'informazione stimata e viene controllato che sia non singolare. Nella tabella 3.4 sono riassunte le regole principali per l'identificabilità di un modello SEM generale.

REGOLA DI IDENTIFICAZIONE	CONDIZIONE IMPOSTE	CONDIZIONE NECESSARIA	CONDIZIONE SUFFICIENTE
Regola t	$t \leq \frac{1}{2} (p + q)(p + q - 1)$	SI	NO
Regola dei due passi	1. Riformulare il modello originale come modello di misura, eliminando \underline{B} , $\underline{\Gamma}$ e $\underline{\Psi}$. Verificare l'identificabilità del modello di misura. 2. Verificare l'identificabilità del modello strutturale, considerando le variabili latenti come variabili osservate senza errore di misura.	NO	SI

	Forma del modello:		
Regola MIMIC	$\boldsymbol{\eta}_1 = \boldsymbol{\Gamma} \mathbf{x} + \boldsymbol{\zeta}_1$ $p \geq 2$ $\mathbf{y} = \boldsymbol{\Lambda}_y \boldsymbol{\eta}_1 + \boldsymbol{\varepsilon}$ $q \geq 1$ $\mathbf{x} = \boldsymbol{\xi}$ η_1 scalare	NO	SI

Tabella 3.4 Regole di identificazione per un modello SEM generale

Concludendo, il problema dell'identificabilità è, oggi, risolto quasi sempre attraverso l'uso di calcolatori; è tuttavia importante che il ricercatore non solo sia a conoscenza del problema dell'identificabilità nei modelli SEM, ma che ne abbia consapevolezza sin dall'impostazione del modello; ad esempio impostare modelli con un gran numero di coefficienti, con *feedback* o *loops* (percorsi circolari con effetto causale che ritorna sulla variabile di partenza) fra le variabili può facilmente portare a modelli non identificati. Per questo un buon approccio è partire da modelli molto semplici, da complicare man mano che si verifica l'identificabilità e la bontà del modello stesso.

3.6 Stima

Una volta impostato il modello, assicurandosene l'identificabilità, si pone il problema della stima dei parametri ignoti. Come accennato precedentemente, l'idea generale per risolvere questo problema è quella di confrontare le matrici dei parametri del modello teorico e i dati osservati, cercando di minimizzare il più possibile la distanza tra questi elementi. Poiché è possibile definire la matrice di varianza-covarianza del modello teorico ($\boldsymbol{\Sigma}(\boldsymbol{\theta})$) in funzione delle 8 matrici di parametri che definiscono il modello (\boldsymbol{B} , $\boldsymbol{\Gamma}$, $\boldsymbol{\Lambda}_y$, $\boldsymbol{\Lambda}_x$ di coefficienti e $\boldsymbol{\Phi}$, $\boldsymbol{\Psi}$, $\boldsymbol{\Theta}_{\varepsilon}$, $\boldsymbol{\Theta}_{\delta}$ di varianza-covarianza), a livello pratico si possono confrontare le matrici di varianza-covarianza implicata dal modello, funzione del vettore $\boldsymbol{\theta}$ di parametri incogniti, con la matrice dei dati osservati \boldsymbol{S}^{34} (in quanto $\boldsymbol{\Sigma}$ non è nota).

³⁴ $\boldsymbol{S} = [1/(N-1)] \sum[(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})(\mathbf{x} - \bar{\mathbf{x}})']$, con $\boldsymbol{S} \sim \text{Wishart}$.

Modelli SEM

Il legame tra le matrici di parametri e la matrice di varianza-covarianza teorica è di tipo algebrico; infatti la matrice di varianza-covarianza implicata dal modello SEM è data dalla matrice di covarianza di X e Y (figura 3.1):

$$\underline{\Sigma}(\underline{\theta}) = \begin{array}{|c|c|} \hline \underline{\Sigma}_{yy} & \\ \hline \underline{\Sigma}_{xy} & \underline{\Sigma}_{xx} \\ \hline \end{array}$$

Figura 3.1 Struttura della matrice di varianza-covarianza di X e Y

Se si considerano separatamente tutti gli elementi di questa matrice:

- $\underline{\Sigma}_{yy} = E (YY')$
 sapendo che $\underline{y} = \underline{\Lambda}_y \underline{\eta} + \underline{\varepsilon}$ (dalla seconda equazione dei modelli SEM)
 $E (YY') = E [(\underline{\Lambda}_y \underline{\eta} + \underline{\varepsilon}) (\underline{\Lambda}_y \underline{\eta} + \underline{\varepsilon})'] =^{35} \underline{\Lambda}_y [(\underline{I} - \underline{B})^{-1} (\underline{\Gamma} \underline{\Phi} \underline{\Gamma}' + \underline{\Psi}) (\underline{I} - \underline{B})^{-1}] \underline{\Lambda}_y' + \underline{\Theta}_{\varepsilon}$
- $\underline{\Sigma}_{xx} = E (XX')$
 sapendo che $\underline{x} = \underline{\Lambda}_x \underline{\xi} + \underline{\delta}$ (dalla terza equazione dei modelli SEM)
 $E (XX') = E [(\underline{\Lambda}_x \underline{\xi} + \underline{\delta}) (\underline{\Lambda}_x \underline{\xi} + \underline{\delta})'] =^{36} \underline{\Lambda}_x \underline{\Phi} \underline{\Lambda}_x' + \underline{\Theta}_{\delta}$
- $\underline{\Sigma}_{xy} = E (XY')$
 sapendo che $\underline{x} = \underline{\Lambda}_x \underline{\xi} + \underline{\delta}$ e che $\underline{y} = \underline{\Lambda}_y \underline{\eta} + \underline{\varepsilon}$ (dalla seconda e dalla terza equazione dei modelli SEM)
 $E (XY') = E [(\underline{\Lambda}_x \underline{\xi} + \underline{\delta}) (\underline{y} = \underline{\Lambda}_y \underline{\eta} + \underline{\varepsilon})'] =^{37} \underline{\Lambda}_x \underline{\Phi} \underline{\Gamma}' (\underline{I} - \underline{B})^{-1} \underline{\Lambda}_y'$

³⁵ Tramite una serie di passaggi algebrici, basati sulle proprietà delle operazioni tra matrici e su quelle dell'operatore "valore atteso" E.

³⁶ Tramite una serie di passaggi algebrici, basati sulle proprietà delle operazioni tra matrici e su quelle dell'operatore "valore atteso" E.

³⁷ Ibidem

Da cui ne deriva la matrice di varianza-covarianza $\underline{\Sigma}$, la quale ha una struttura parametrica di questo tipo (figura 3.2):

$$\underline{\Sigma}(\underline{\theta}) = \begin{bmatrix} \underline{\Lambda}_y [(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} (\underline{\Gamma} \underline{\Phi} \underline{\Gamma}' + \underline{\Psi})(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}] \underline{\Lambda}_y' + \underline{\Theta}_\varepsilon & \\ & \underline{\Lambda}_x \underline{\Phi} \underline{\Lambda}_x' + \underline{\Theta}_\delta \end{bmatrix}$$

Figura 3.2 Matrice di varianza-covarianza, funzione dei parametri del modello

Riassumendo, il vettore di parametri ($\underline{\theta}$) si ottiene minimizzando un'adeguata funzione di distanza tra \underline{S} e $\underline{\Sigma}(\underline{\theta})$: bisogna quindi minimizzare (rispetto a $\underline{\theta}$) la funzione di stima $F(\underline{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\theta}))$. Per giungere a stime consistenti di $\underline{\theta}$ la funzione $F(\cdot)$ deve soddisfare alcune condizioni matematiche, quali:

- $F(\underline{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\theta}))$ scalare;
- $F(\underline{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\theta})) \geq 0$;
- $F(\underline{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\theta})) = 0$ se e solo se $\underline{S} = \underline{\Sigma}(\underline{\theta})$;
- $F(\underline{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\theta}))$ e continua in \underline{S} e in $\underline{\Sigma}(\underline{\theta})$.

Il metodo più utilizzato per minimizzare la distanza tra $\underline{\Sigma}(\underline{\theta})$ e \underline{S} è quello di massima verosimiglianza (*Maximum Likelihood*). La minimizzazione di $F(\cdot)$ rispetto a $\underline{\theta}$, che non viene presentata in questo elaborato, avviene attraverso un metodo iterativo elaborato da Fletcher e Powell (1963) con varianti introdotte da Gruvaeus e Jöreskog (1970); minimizzata quindi la funzione $F(\cdot)$ si ottengono stime $\hat{\underline{\theta}}_{ML}$, le quali, proprio perché stime di massima verosimiglianza, hanno le seguenti caratteristiche:

- Correttezza asintotica;
- Consistenza;
- Efficienza asintotica;

Modelli SEM

- Normalità asintotica

Sostituendo $\underline{\theta}$ con $\hat{\underline{\theta}}_{ML}$ nella matrice di covarianza asintotica si ottiene la matrice di covarianza asintotica stimata; inoltre, data la proprietà della stima di massima verosimiglianza, per cui la stima ML è invariante alle trasformazioni di scala, anche F_{ML} è invariante alle trasformazioni di scala; per questo motivo è possibile cambiare l'unità di misura di una o più delle variabili osservate.

Al di là di quanto appena detto si possono utilizzare altri metodi di stima come stimatori ULS (*Unweighted Least Squares*) o stimatori GLS (*Generalized Least Squares*). Nel primo caso si ottengono stime $\hat{\underline{\theta}}_{ULS}$ consistenti indipendentemente dagli assunti sulla distribuzione delle variabili osservate, ma non asintoticamente efficienti, mentre nel secondo caso si ottengono stime $\hat{\underline{\theta}}_{GLS}$ consistenti, asintoticamente normali e asintoticamente efficienti se il vettore delle variabili osservate ha una distribuzione senza eccessiva curtosi (anche se non necessariamente normale). Un'ultima osservazione permette di sottolineare che per gli stimatori ML e GLS gli assunti sono irrilevanti per le variabili \underline{x} che, in particolari specificazioni del modello, siano propriamente esogene. Una volta ottenute le stime dei parametri del modello il passo successivo è quello di verificarne la bontà generale e la bontà delle singole stime, al fine di poter accettare o rifiutare il modello e/o il singolo parametro stimato.

3.7 Adattamento del modello

Una volta che il modello è stato implementato è necessario confortare i risultati ottenuti con i dati di partenza, per assicurare che il modello ottenuto non se ne discosti eccessivamente. E' importante sottolineare che non è possibile provare la "correttezza" di un modello ma è possibile verificare unicamente la sua "non-falsificazione", ovvero il suo adeguamento ai dati; infatti, anche se il modello si adatta bene ai dati non necessariamente è "il migliore" o il modello "corretto": possono esserci modelli equivalenti, o potrebbe essere ancora migliorato al fine di ottenere un adattamento ancora migliore; per questo i ricercatori spesso elaborano un

Modelli SEM

set di modelli più o meno equivalenti tra i quali determinano quello che permette di avere un miglior adattamento ai dati.

Come accennato precedentemente è necessario verificare l'adattamento del modello nella sua globalità e la validità dei singoli parametri.

Intuitivamente la prima verifica che è possibile attuare è valutare la distanza tra $\underline{\Sigma}(\theta)$ e \underline{S} ; se questa distanza (opportunamente standardizzata) è significativa indica che il modello non rappresenta adeguatamente i dati reali.

Data quindi l'ipotesi nulla

$$H_0: \underline{\Sigma}(\theta) = \underline{\Sigma}(\hat{\theta})$$

si ha che (sotto H_0) la statistica $c = (N - 1) F_{ML}[S, \underline{\Sigma}(\hat{\theta})] \sim \chi^2_{df}$ dove df sono i gradi di libertà della statistica c ; in particolare $df = \frac{1}{2} (p + q)(p + q - 1) - t^{38}$, ovvero il numero di parametri "fissi", cioè i parametri che non devono essere stimati; infatti $\frac{1}{2} (p + q)(p + q - 1)$ rappresenta il numero di equazioni del modello e t rappresenta il numero di parametri "liberi", cioè i parametri da stimare. Il valore della statistica c (o il suo *p-value*) permette quindi di valutare se la distanza tra $\underline{\Sigma}(\theta)$ e S è dovuta a oscillazioni stocastiche (pertanto ignorabili), accettando H_0 , o da una reale differenza tra le due matrici, rifiutando H_0 . E' necessario sottolineare che la statistica χ^2 da sola non è sempre un indicatore affidabile della validità del modello; infatti la statistica c e la sua distribuzione dipendono da diversi fattori, quali:

- *Distribuzioni delle variabili osservate*: se le variabili osservate presentano un'eccessiva curtosi (non seguono quindi la distribuzione normale) la statistica c non è necessariamente distribuita come un χ^2_{df} (Browne 1974, 1982);
- *Numerosità campionaria*: è noto che le statistiche che fanno riferimento al χ^2 aumentano il loro valore in proporzione all'aumentare della numerosità campionaria, quindi se il campione è troppo grande anche se il modello è buono (con un buon adattamento ai dati) il valore χ^2 potrebbe portare il ricercatore a rifiutare l'ipotesi nulla e, di conseguenza, il modello;

³⁸ Si ricorda che p = numero di variabili endogene (y) e q = numero di variabili esogene osservate (x)

Modelli SEM

- *Ipotesi nulla assolutamente verificata*: l'ipotesi H_0 considerata presuppone che il modello ipotizzato descriva totalmente la realtà, invece, solitamente lo scopo del ricercatore è quello di trovare una buona approssimazione della realtà; di conseguenza l'adattamento perfetto del modello ai dati può essere uno standard troppo elevato ed un elevato valore della statistica può indicare che, per quel modello, l'ipotesi nulla vale solo approssimativamente.

Dati i limiti appena descritti, può essere utile affiancare alla statistica χ^2 degli indici di adattamento descrittivi, al fine di valutare il modello con più strumenti contemporaneamente.

Altri indicatori della bontà di adattamento globale sono:

- *GFI, AGFI e PGFI*: l'indice GFI (*Goodness of Fit Index*) standardizza il valore della statistica χ^2 con il valore massimo che essa può raggiungere; assume valori compresi tra 0 (pessimo adattamento ai dati) e 1 (ottimo adattamento ai dati). Gli indici AGFI (*Adjusted Goodness of Fit Index*) e PGFI (*Parsimonious Goodness of Fit Index*) tengono conto di alcuni fattori di correzione e variano sempre tra 0 (pessimo adattamento ai dati) e 1 (ottimo adattamento ai dati). Queste misure permettono di essere valutate immediatamente, tuttavia non è nota la loro distribuzione per cui non è possibile effettuare test di significatività del modello a partire da questi.
- *RMR*: l'*RMR (Root Mean Residuals)* è un indice che fornisce la distanza tra gli elementi del campione (\underline{S}) e la matrice di varianza-covarianza ipotizzata ($\underline{\Sigma}$) attraverso la media dei quadrati dei residui. L'*RMR* è nullo se le due matrici sono identiche e cresce via via che la distanza tra le due matrici aumenta. Per questo indice non esiste un limite superiore, per questo è consigliabile considerare l'indice *Standardized RMR*, analogo all'indicatore *RMR*, ma calcolato su residui standardizzati, indipendente quindi dalla scala delle variabili, uno *Standardized RMR* inferiore a 0.1 indica un buon adattamento ai dati. Nemmeno in questo caso è nota la distribuzione della statistica.

- **RMSEA**: l'RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) è un indice che tiene conto sia della parsimonia del modello che della numerosità campionaria e si basa sul valore della *Population Discrepancy Function* ($F_0 = \text{Max} \{F_{\min} - [d / (N - 1)], 0\}$, con F_{\min} = valore di adattamento della funzione al minimo), cioè una misura che considera l'errore di approssimazione nella popolazione e la precisione della misura stessa dell'adattamento. Precisamente l'RMSEA si calcola come F_0/df , con df = gradi di libertà del modello; in tal modo l'RMSEA ovvia a due dei maggiori limiti della statica χ^2 : l'effetto della numerosità campionaria e la necessità di avere l'ipotesi nulla assolutamente verificata. I valori critici per questo indice sono 0.05 e 0.08: un valore inferiore a 0.05 indica un ottimo modello, compreso tra 0.05 e 0.08 indica un buon modello e superiore a 0.08 indica un modello non soddisfacente. In alcuni software, tra i quali *Lisrel*, vengono solitamente presentati anche l'intervallo di confidenza al 90% per l'RMSEA, che per un buon modello dovrebbe essere compreso o uguale all'intervallo (0, 0.08) e un test per la verifica dell'ipotesi nulla $H_0 = \text{RMSEA} \leq 0.05$.
- χ^2/df : un altro indice utile per valutare la bontà dell'adattamento del modello è il valore della statistica χ^2 divisa per i suoi gradi di libertà; generalmente un valore inferiore a 3 indica un buon modello con una buona parsimoniosità. Tale indice risente, tuttavia, dei problemi legati alla statistica χ^2 ;
- **PNFI**: un ultimo indice utile per valutare la parsimoniosità del modello è il PNFI (*Parsimony Normed Fit Index*); un valore superiore a 0.7 di tale indice è sinonimo di un buon modello.

Una volta valutato l'adattamento globale del modello è possibile stabilire la validità dei singoli parametri. Una prima verifica consiste nel verificare la statistica t per ogni parametro: data l'ipotesi nulla di nullità del parametro i -esimo ($H_0: \theta_i = 0$) la statistica test si distribuisce asintoticamente come una normale standardizzata. Oltre a valutare la significatività del parametro è però importante stabilire anche se il segno e la grandezza possono essere realistiche, cioè se sono in accordo con la teoria alla

Modelli SEM

base del modello. Sempre a livello descrittivo (in quanto non è nota la loro distribuzione) può essere utile la misura dell'entità della relazione lineare tra le variabili attraverso il *Square Multiple Correlation Coefficient* (analogo al R^2 nella regressione lineare), questi coefficienti mostrano la proporzione di varianza in un indicatore che è spiegata dalla variabile latente e può essere calcolata per la singola variabile osservata, la singola equazione strutturale e le singole equazioni di misura. Anche le derivate prime calcolate corrispondentemente ai parametri liberi possono essere un buon indicatore della validità del singolo parametro: in caso di una buona specificazione del modello ci si aspetta che tali derivate siano nulle e che la somma delle derivate prime associate ai parametri vincolati siano quasi nulle. Un ultimo indicatore della bontà di adattamento di singole parti del modello è dato dal *Modification Index* (Indice di modifica, MI): per ogni parametro "vincolato" del modello, cioè non incluso, questo indice fornisce una stima di quanto si modificherebbe il valore della statistica χ^2 se il suddetto parametro venisse liberato, cioè inserito nel modello. Un valore alto del MI per un determinato parametro indica, quindi, che se quel parametro venisse liberato vi sarebbe una notevole diminuzione della statistica χ^2 .

Un'ultima considerazione da fare in merito alla verifica della bontà del modello consiste nel confronto tra modelli: un ricercatore, infatti, potrebbe voler confrontare il modello stimato con modelli annidati³⁹ o no. In caso di modelli annidati un utile indicatore è ancora la statistica χ^2 , tramite il test del rapporto di verosimiglianza; se consideriamo, infatti, l'ipotesi nulla $H_0: \underline{\Sigma} = \underline{\Sigma}(\underline{\nu})$ vs $H_1: \underline{\Sigma} = \underline{\Sigma}(\underline{\theta})$ in cui il modello $\underline{\Sigma}(\underline{\nu})$ presenta un sottoinsieme di parametri di $\underline{\theta}$ e calcoliamo la differenza tra le due statistiche c , ovvero $\mathbf{D}^2 = \mathbf{c}_0 - \mathbf{c}_1 = (\mathbf{N} - \mathbf{1})\{\mathbf{F}_{\text{ML}}[\mathbf{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\nu})] - \mathbf{F}_{\text{ML}}[\mathbf{S}, \underline{\Sigma}(\underline{\theta})]\}$, la quale sotto H_0 si distribuisce come un χ^2 i cui gradi di libertà sono la differenza tra i gradi di libertà del modello H_0 e del modello H_1 . La statistica rapporto di verosimiglianza soffre degli svantaggi della statistica χ^2 , di conseguenza può essere utile utilizzare altri indici di confronto tra modelli basati su altri criteri, oltre l'adattamento, quale ad esempio la parsimonia. Due degli indici più usati sono AIC (*Akaike Information*

³⁹ Due o più modelli si definiscono annidati se, una volta ordinati secondo il numero decrescente di parametri, ciascun modello è un caso particolare del precedente, ottenuto imponendo una serie di restrizioni sui parametri.

Criterion) e CAIC (*Consistent Akaike Information Criterion*), il primo è calcolato come: $AIC = c - 2df$, dove c è il valore della statistica χ^2 e df è il numero dei gradi di libertà associati, mentre il secondo è calcolato a partire dall'AIC tenendo conto di alcuni fattori di correzione; operativamente, stimati k modelli alternativi, si sceglie il modello con AIC (o CAIC) minore. È da sottolineare che l'indice AIC (e CAIC) può dare un'indicazione anche sulla bontà di adattamento del modello generale in quanto può essere confrontato con l'AIC (o l'CAIC) dell' *Independent model* e l'AIC (o l'CAIC) del *Saturated model*. L'*Independent model* ipotizza un modello dove le variabili sono indipendenti tra di loro e il *Saturated model* ipotizza un modello dove il numero di parametri da stimare è pari al numero di varianze-covarianze tra le variabili osservate. Un buon modello dovrebbe avere l'indice AIC (o CAIC) minore dell'AIC (o l'CAIC) del *Independent model* e dell'AIC (o l'CAIC) del *Saturated model*. Altri indici che confrontano il modello d'interesse con un modello dove le variabili osservate non sono correlate tra di loro (*Independent model* o modello nullo) sono il CFI (*Comparative Fit Index*) e l'IFI (*Incremental Fit Index*); in questo caso un valore di questi indici maggiore o uguale a 0.9 indica la presenza di un buon modello. È utile ricordare che gli indici di adattamento e miglioramento fin qui proposti sono di natura tecnico-matematica e per questo devono essere presi come suggerimenti: sta al ricercatore valutare il significato legato all'indicazione insita negli indici e accettarla, o rifiutarla, unicamente in relazione al significato di ogni variabile e al contesto teorico nel quale è stato sviluppato il modello.

3.8 Effetti diretti ed indiretti

Una volta stimato il modello e valutata la sua bontà (globale o delle singole parti) può essere utile una riflessione non solo sul significato dei valori trovati, ma anche sugli effetti diretti o indiretti che legano tra di loro le variabili considerate. Se consideriamo un modello causale con variabili osservate, $\mathbf{y} = \mathbf{B} \mathbf{y} + \mathbf{\Gamma} \mathbf{x} + \zeta$, risulta interessante valutare l'effetto delle variabili endogene y sulle altre variabili endogene y e l'effetto delle variabili esogene x sulle quelle endogene y . L'effetto diretto di una variabile sull'altra rappresenta la relazione che lega direttamente due variabili, senza la presenza di fattori intermedi. Questo è dato dai coefficienti della matrice che lega

Modelli SEM

le due variabili: se si considerano, ad esempio, gli effetti diretti delle variabili endogene (y) sulle altre variabili endogene vengono misurati attraverso i coefficienti della matrice \underline{B} , mentre gli effetti diretti delle variabili endogene (x) sulle variabili esogene (y) sono dati dai coefficienti della matrice $\underline{\Gamma}$. Gli effetti indiretti di una variabile sull'altra rappresentano, invece, la somma delle relazioni mediate attraverso "intervening variables", ovvero variabili di mediazione che si situano tra due variabili. L'effetto indiretto è dato dalla differenza degli effetti totali di una variabile sull'altra meno gli effetti diretti; ad esempio gli effetti indiretti delle variabili endogene (y) su altre endogene (y) si calcolano come $[(\underline{I} - \underline{B})^{-1} - \underline{I} - \underline{B}]$, mentre gli effetti indiretti delle variabili esogene (x) sulle quelle esogene (y) si calcola come $[(\underline{I} - \underline{B})^{-1}\underline{\Gamma} - \underline{\Gamma}]$. Gli effetti totali rappresentano, infine, la somma di tutte le relazioni, mediate e non, presenti tra due variabili e si calcolano come somma degli effetti diretti ed indiretti; ad esempio gli effetti totali delle variabili endogene (y) su quelle endogene (y) si calcolano come $[(\underline{I} - \underline{B})^{-1} - \underline{I}]$, mentre gli effetti totali delle variabili esogene (x) sulle quelle esogene (y) si calcolano come $[(\underline{I} - \underline{B})^{-1}\underline{\Gamma}]$. Una condizione sufficiente affinché esistano tutti gli effetti totali è che gli auto valori della matrice B siano in valore assoluto minore di uno, cioè deve essere verificata la condizione di stabilità del sistema. Nella tabella sottostante (3.5) vengono riportate la decomposizione delle effetti causali nel caso di modelli causali con variabili osservate.

EFFETTI	<i>Delle variabili x sulle variabili y</i>	<i>Delle variabili y sulle variabili y</i>
<i>Diretti</i>	$\underline{\Gamma}$	\underline{B}
<i>Indiretti</i>	$[(\underline{I} - \underline{B})^{-1}\underline{\Gamma} - \underline{\Gamma}]$	$[(\underline{I} - \underline{B})^{-1} - \underline{I} - \underline{B}]$
<i>Totali</i>	$[(\underline{I} - \underline{B})^{-1}\underline{\Gamma}]$	$[(\underline{I} - \underline{B})^{-1} - \underline{I}]$

Tabella 3.5 Decomposizione degli effetti causali nel caso di un modello senza errore di misura

Modelli SEM

Se si consideriamo, invece, un modello dove la variabile y è una variabile latente, cioè un modello

$$\eta = \mathbf{B} \eta + \mathbf{\Gamma} x + \zeta$$

$$y = \Lambda_y \eta + \varepsilon$$

$$x = \xi$$

bisogna tenere in considerazione, per gli effetti totali, diretti ed indiretti anche l'effetto della matrice Λ_y . La scomposizione degli effetti, valida per questo caso, viene riportata nella tabella sottostante (3.6).

EFFETTI	<i>Delle variabili x sulle variabili η</i>	<i>Delle variabili η sulle variabili η</i>
<i>Diretti</i>	$\underline{\mathbf{\Gamma}}$	$\underline{\mathbf{B}}$
<i>Indiretti</i>	$[(\underline{\mathbf{I}} - \underline{\mathbf{B}})^{-1} \underline{\mathbf{\Gamma}} - \underline{\mathbf{\Gamma}}]$	$[(\underline{\mathbf{I}} - \underline{\mathbf{B}})^{-1} - \underline{\mathbf{I}} - \underline{\mathbf{B}}]$
<i>Totali</i>	$[(\underline{\mathbf{I}} - \underline{\mathbf{B}})^{-1} \underline{\mathbf{\Gamma}}]$	$[(\underline{\mathbf{I}} - \underline{\mathbf{B}})^{-1} - \underline{\mathbf{I}}]$

EFFETTI	Delle variabili x sulle variabili y	Delle variabili η sulle variabili y
<i>Diretti</i>	$\Lambda_y \mathbf{\Gamma}$	Λ_y
<i>Indiretti</i>	$\Lambda_y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \mathbf{\Gamma} - \Lambda_y \mathbf{\Gamma}$	$\Lambda_y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} - \Lambda_y$
<i>Totali</i>	$\Lambda_y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \mathbf{\Gamma}$	$\Lambda_y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}$

Tabella 3.6 Decomposizione degli effetti totali, diretti ed indiretti nel caso di un modello dove la sola la variabile y è misurata con errore

CAPITOLO 4

Analisi dei risultati

4.1 Campione

I dati utilizzati per la stima del modello sono stati raccolti attraverso la ricerca “*High Performance Manufacturing*” (HPM), un progetto di ricerca teso a studiare la produzione e le attività amministrative più avanzate e il loro impatto sulla *performance*, ed in particolare l’applicazione delle attività *lean* e i loro effetti all’interno degli impianti di produzione. Il primo *round* di ricerca è stato svolto nel 1989, con lo scopo di comprendere i motivi del successo dei metodi di produzione giapponesi negli Stati Uniti e vi parteciparono 24 impianti di produzione (Flynn e altri, 1997). Il secondo *round* dell’indagine fu svolto nel 1996 e vide ampliarsi i suoi confini interessando 165 industrie in cinque stati: Inghilterra, Stati Uniti, Germania e Italia (Flynn e Flynn, 2004), a questo *round* ne seguì un terzo nel 2005 in cui vennero raccolti i dati di 189 fabbriche situate in Finlandia, Germania, Giappone, Corea, Svezia e Stati Uniti. L’ultimo *round* è stato realizzato nel 2008, arrivando a coinvolgere 266 impianti di produzione tra Austria, Corea, Finlandia, Germania, Giappone, Italia, Spagna, Svezia ed i dati utilizzati per la stima del modello sono stati estrapolati da quest’ultima ricerca. Tutti i quattro *round* utilizzano un campione stratificato di fabbriche tradizionali e “*high performance*”. Sarebbe stato interessante seguire lo stesso campione nel tempo, in modo da poter raccogliere contemporaneamente dati longitudinali e sezionali, tale scelta non è stata, tuttavia, praticabile a causa della chiusura di alcuni impianti o della volontà, degli stessi, di uscire dal campione per diversi fattori.

Nella tabella sottostante (4.1) viene mostrato il numero di industrie partecipanti, suddivise per paese nel progetto del 2008:

<i>Paese</i>	<i>Numero stabilimenti coinvolti</i>
Austria	20 stabilimenti

Analisi dei risultati

Corea	31 stabilimenti
Finlandia	30 stabilimenti
Germania	41 stabilimenti
Giappone	35 stabilimenti
Italia	27 stabilimenti
Spagna	28 stabilimenti
Svezia	25 stabilimenti
USA	29 stabilimenti
TOTALE	266 stabilimenti

Tabella 4.1 Stabilimenti coinvolti nella ricerca HPM del 2008, suddivisi per nazionalità

All'interno di ogni paese è stato estratto il campione di imprese, tradizionali e ad “*high performance*”, proveniente da tre settori: Elettronico, Meccanico e Fornitori di componenti per il settore automobilistico. Le imprese ad “*high performance*”, le quali rappresentano circa la metà del campione, sono state selezionate tra quelle vincitrici di riconoscimenti per i loro risultati nei tre settori considerati, avvalendosi, inoltre, dell'aiuto di alcuni esperti industriali; mentre le imprese tradizionali sono state estratte da alcune liste che rappresentano la popolazione generale industriale. Una volta selezionato lo stabilimento, veniva richiesta la sua disponibilità alla partecipazione al progetto attraverso una telefonata ed una mail; ricevuta conferma della partecipazione all'interno dell'impianto veniva scelto un manager che fungesse da collegamento tra il *team* di ricerca HPM e l'impianto stesso. Ad ogni stabilimento veniva, quindi, inviato un questionario di ricerca con le istruzioni per la compilazione. Il questionario era suddiviso per aree, ciascuna delle quali raccoglieva una serie di item, relative a diverse tecniche *lean* e alle *performance* della fabbrica. In particolare le pratiche *lean* coinvolte sono state:

Analisi dei risultati

- *Sistemi informativi (Information Technology)*: architettura software, sistemi di telecomunicazione, applicazione della I.T. e architettura, gestione delle informazioni esterne (*supplier quality control*) e gestione delle informazioni interne sulla qualità;
- *Ambiente*: questa sezione del questionario include informazioni facenti riferimento alla complessità dell'ambiente, alla descrizione dello stabilimento, e ai prodotti, ai componenti e ai processi dello stesso;
- *Obiettivi e Performance*: questo gruppo di item è volto a misurare le performance competitive in merito a costi, qualità, consegne e flessibilità, cui si aggiungono dati contabili in merito a costi, scarti, rilavorazioni e *cycle time*;
- *Risorse umane*: attenzione alla collaborazione, incentivi ai suggerimenti da parte dei lavoratori, bassa gerarchizzazione dell'organizzazione, lavoratori multifunzione, reclutamento e selezione, piccoli gruppi per la risoluzione dei problemi e interazione facilitata con i supervisori;
- *Miglioramento*: questo gruppo di item mira all'ottenimento di informazioni riguardanti i passi compiuti dall'azienda per raggiungere la piena implementazione del pensiero snello;
- *Just in time*: rispetto della schedulazione giornaliera, *layout* delle attrezzature, *kanban*, *pull system*, riduzione dei tempi di *set up* e riduzione della dimensione dei lotti;
- *Qualità*: miglioramento continuo, coinvolgimento dei clienti, *customer satisfaction*, responsabilizzazione alla qualità, controllo di processo e *Supplier Quality Management*;
- *Strategia*: anticipazione delle nuove tecnologie, comunicazione della strategia di produzione, pianificazione strategica formale, integrazione tra le funzioni e macchinari di proprietà;

Analisi dei risultati

- *Tecnologia e Mass customization*: processo di sviluppo nuovi prodotti, *Mass Customization*, modularità dei prodotti e livello di automazione;
- *Manutenzione*: manutenzione preventiva e pianificata e manutenzione autonoma da parte dei lavoratori;
- *Sviluppo nuovi prodotti*: coinvolgimento della produzione nel processo di sviluppo di nuovi prodotti, complessità dei progetti, priorità di progetto e coinvolgimento dei fornitori;
- *Supply chain*: minimizzazione tempi di rifornimento, coordinazione e costruzione di relazioni basate sulla fiducia con i fornitori.

Poiché ogni area del questionario richiede il coinvolgimento di differenti figure professionali, i manager coinvolti nella compilazione del questionari sono stati:

- *Responsabile del Controllo di Gestione* per la sezione *Performance*;
- *Operaio dello Stabilimento* per le sezioni *Risorse Umane, Strategia e Qualità*;
- *Responsabile delle Risorse Umane* per le sezioni *Ambiente e Risorse Umane*;
- *Responsabile Sistemi Informativi* per la sezione *Sistemi Informativi*;
- *Responsabile della Produzione* per le sezioni *Ambiente e JIT*;
- *Responsabile Logistico e Gestione Scorte* per le sezioni *Ambiente, Supply Chain, JIT, Strategia, Qualità e Tecnologia*;
- *Membro del Team Sviluppo Prodotti* per le sezioni *Tecnologia e Sviluppo nuovi prodotti*;
- *Ingegnere di Processo* per le sezioni *Strategia, Qualità, Manutenzione e Tecnologia*;
- *Responsabile della Qualità* per le sezioni *Risorse Umane, Strategia,*

Analisi dei risultati

Performance e Qualità;

- *Supervisore per le sezioni Supply Chain, Risorse Umane, JIT, Strategia, Qualità, Manutenzione e Tecnologia;*
- *Direttore dello stabilimento per le sezioni Ambiente, Supply Chain,*
- *Risorse Umane, Miglioramento, Strategia, Qualità, Manutenzione e Tecnologia.*

La maggior parte degli item sono stati misurati attraverso una scala di Likert a sette punti, mentre quelli relativi alla performance, valutata rispetto ai concorrenti su scala globale, sono stati misurati attraverso una scala di Likert a cinque punti. Le altre domande del questionario si presentavano a risposta multipla, percentualizzazioni di alcuni aspetti della realtà aziendale o risposte aperte. Gli item relativi all'attuazione delle pratiche *lean* che erano misurati attraverso la scala di Likert potevano essere a scala "normalizzata" o a scala "inversa", nei primi il valore più basso (1) corrispondeva ad una bassa implementazione della tecnica *lean* considerata e il valore più alto (7) corrispondeva ad un'alta implementazione della tecnica *lean* considerata, mentre negli item a scala inversa avveniva il contrario, ovvero il valore più basso (1) corrispondeva ad un'alta implementazione della tecnica *lean* e il valore più alto (7) corrispondeva ad una bassa implementazione della stessa. Nel caso di item a scala inversa è importante effettuare una "riconversione" al fine di poterli confrontare con quelli a scala "normalizzata". Gli item coinvolti nel modello sono tutti item misurati con una scala di Likert "normalizzata", ad eccezione delle variabili di controllo (numero di addetti e età dell'impianto) le quali erano a risposta aperta, e che nella fase preliminare del lavoro sono state elaborate al fine di poterle inserire nel modello. Una volta che il team di ricerca HPM riceveva il questionario, compilato in ogni sua sezione, calcolava il punteggio medio per ogni stabilimento per ogni item, inserendoli nel database che è stato utilizzato per lo sviluppo del modello.

4.2 Item

Gli item necessari alla misurazione delle variabili latenti (*Ambidexterity*, *Innovation*, *Improvement*, *Just in Time* e *Performance*) sono stati scelti in seguito ad un'analisi della letteratura, in particolare per le variabili *Innovation* e *Improvement* sono stati considerati gli item utilizzati nell'articolo "*Linking routines to operation capabilities: a new perspective*" di D. X. Peng, R. G. Schroede e R. Shah (2007), mentre per i fattori *Just in Time* e *Performance* sono stati considerati gli item utilizzati nell'articolo "*Interrelationship among lean bundles and their effects on operational performance*" di G. Dal Pont, A. Furlan e A. Vinelli (2008); infine per la variabile *Ambidexterity* sono stati utilizzati alcuni item tratti dagli articoli "*Relationship between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance*" di K. O. Cua, K. E. McKone e R. G. Schroeder (2001) e "*Interrelationship among lean bundles and their effects on operational performance*" di G. Dal Pont, A. Furlan e A. Vinelli (2008) basandosi sull'articolo "*Solving innovation paradox with lower-level ambidextrous capability*" di H. Jiang e F. Wang (2009). In seguito è stata fatta un'analisi fattoriale confermativa, al fine di mantenere gli item più indicativi. Per le variabili di controllo (numero di addetti e età dell'impianto) sono stati utilizzati altri item presenti nella sezione di presentazione dello stabilimento.

Nello specifico, per ogni variabile gli item utilizzati sono stati:

V. CONTROLLO

Età dell'impianto

ERDSN02	In che anno è stato costruito lo stabilimento?
---------	--

Analisi dei risultati

Addetti

GRADN39	Numero impiegati
GRADN42	Numero operai

IMPROVEMENT

QSVIN01	Piuttosto che adottare un approccio statico ci sforziamo di migliorare continuamente tutti gli aspetti riguardanti i prodotti e i processi.
QSVIN04	Siamo convinti che il miglioramento di un processo non sia mai completo; c'è sempre spazio per un ulteriore miglioramento.
QSPSN08	Usiamo carte di controllo per determinare se i nostri processi produttivi sono sotto controllo oppure no.
QSTPN02	Il management dello stabilimento fornisce personalmente guida e sostegno per ottenere prodotti di qualità ed il miglioramento della qualità stessa. (La leadership sulla qualità dei prodotti e sul miglioramento viene affidata personalmente ai manager dello stabilimento)
QSTPN06	Il management dello stabilimento crea e comunica una visione centrata sul miglioramento della qualità.
TSEIN05	Cerchiamo di imparare e di migliorare continuamente dopo l'installazione degli impianti.

INNOVATION

SSR4N04	Perseguiamo programmi di lungo termine per acquisire le capacità produttive in anticipo rispetto ai nostri fabbisogni.
SSR4N05	Ci sforziamo di cogliere in anticipo il potenziale delle nuove tecnologie e dei nuovi metodi di gestione della produzione.

Analisi dei risultati

SSATN06	Il nostro stabilimento è fra i più avanzati tecnologicamente nel nostro settore.
SSATN07	Riflettiamo costantemente sulle opportunità offerte dalla futura generazione di tecnologie produttive.
TSNPN03	Gli operai sono ampiamente coinvolti prima dell'introduzione di nuovi prodotti o di modifiche di prodotti esistenti.
TSNPN13	Abbiamo ridotto il tempo di introduzione di nuovi prodotti mediante progettazione congiunta prodotto-processo.

JUST IN TIME

JSMHN06	La disposizione planimetrica (lay-out) dello stabilimento facilita rapidi attraversamenti e scorte ridotte.
JSVNN11	I fornitori effettuano consegne frequenti nei nostri confronti.
JSPLN06	Utilizziamo un sistema kanban con logica a trazione (pull system) per il controllo della produzione.
JSSUN04	Nel nostro stabilimento abbiamo ridotto i tempi di attrezzaggio delle macchine.
JSSUN11	Diamo importanza ai piccoli lotti per incrementare la flessibilità produttiva.
JSVCN01	I nostri clienti ricevono da noi consegne "just in time".

AMBIDEXTERITY

HSFLN01	La nostra struttura organizzativa è relativamente piatta.
HSTWN01	I nostri addetti ricevono una formazione tale da poter eseguire più mansioni.

Analisi dei risultati

HSMFN03	Gli addetti sono addestrati in modo tale da potersi sostituire ad altri, se necessario.
HSPCN03	Il nostro sistema di incentivi riconosce realmente le persone che collaborano al massimo con la nostra azienda.
SSCSN01	Nel nostro stabilimento mi vengono comunicati obiettivi e strategie.
HSVCN02	Preferiamo incoraggiare i nostri dipendenti a collaborare per raggiungere obiettivi comuni, piuttosto che favorire la competizione tra gli individui.
HSTMN03	Nel nostro stabilimento vengono formati dei gruppi di lavoro per risolvere i problemi.

PERFORMANCE

GRCPN01	Costi unitari di produzione
GRCPN02	Qualità dei prodotti (conformità)
GRCPN03	Puntualità delle consegne
GRCPN04	Velocità di consegna
GRCPN05	Flessibilità al cambiamento di mix
GRCPN06	Flessibilità al cambiamento di volume produttivo

4.3 Analisi preliminare

Prima di procedere con la realizzazione dei modelli, sono state eseguite delle analisi preliminari sui dati, al fine di controllare che fossero verificate le assunzioni dei modelli SEM e garantire, quindi, delle stime corrette.

Analisi dei risultati

In primo luogo i dati sono stati puliti, controllando la presenza di valori errati e/o mancanti; essendo gli *item* misurati su una scala di Likert da 1 a 7 (da 1 a 5 gli *item* relativi alla *performance*) valori errati sarebbero stati al di fuori di questo range, ma l'analisi non ha riscontrato alcun valore di questo tipo; anche nelle variabili di controllo non sono stati trovati valori errati. Sono stati riscontrati, invece, valori mancanti, in particolare nelle risposte relative alla *performance* dell'aziende, dove 28 imprese su 266 non hanno risposto; notando che molto spesso nei 28 casi mancavano contemporaneamente tutte le risposte relative alla variabile latente si è pensato che la mancanza dei dati non fosse casuale, magari per aziende con *performance* molto elevate o molto minori rispetto ai concorrenti. Considerando questa osservazione e il fatto che la *performance* sia la variabile risposta di molte delle equazioni del modello si è deciso di non stimare i valori mancanti, ma eliminare le osservazioni relative. Partendo da un campione di 266 unità si è giunti, quindi, ad un campione finale di 238; nonostante questa modifica la numerosità del campione è rimasta buona. Una breve analisi descrittiva ha evidenziato come i principali indici di posizione (media, moda e mediana) di molte variabili siano spostati verso l'estremo superiore (senza mai raggiungerlo).

Infine, si sono verificate le assunzioni alla base dei modelli SEM:

- Continuità e normalità (quantomeno approssimativa) delle variabili coinvolte: per le variabili osservate endogene è stata appurata la continuità (all'interno del range considerato), mentre attraverso indici di asimmetria e di curtosi e grafici *qq-plot* è stata verificata la normalità delle stesse. Anche per le variabili esogene "Età" e "Addetti" sono state verificate le ipotesi
- Linearità del sistema di equazioni utilizzato per definire le relazioni tra variabili;
- Casualità del campione utilizzato per le variabili osservate, in questo caso l'ipotesi è stata rilassata; questo non compromette la validità delle stime.

Prima di procedere con il calcolo della matrice di correlazione i dati sono stati standardizzati a seconda del paese e del settore, in modo da rendere i dati di partenza più omogenei.

Analisi dei risultati

Una volta conclusa l'analisi preliminare e verificate le ipotesi dei modelli SEM il modello iniziale, e successivamente il modello con la variabile *ambidexterity*, sono stati implementati, attraverso il *software* per l'analisi dei modelli SEM Lisrel™

4.4 Bontà del modello iniziale

In primo luogo sarà illustrato e commentato il modello iniziale, ovvero il modello senza la variabile latente *ambidexterity*.

Prima di procedere con la discussione dei risultati del modello, è importante stabilire se il modello ottenuto è buono, ovvero se i risultati ottenuti sono validi; per verificare l'adattamento al modello verranno considerati gli indici presentati al capitolo precedente.

Il primo *step* è verificare l'adattamento globale del modello e per questo si possono considerare congiuntamente il valore delle statistica χ^2 (con le dovute cautele), il *Root Mean Square Error of Approximation* (RMSEA) e il *Root Mean Square Residual* (RMR). Il valore della prima è di 479.87 con 292 gradi di libertà⁴⁰, tuttavia, date le considerazioni espresse precedentemente sulla distribuzione χ^2 è bene considerare tale valore con le dovute attenzioni e valutare anche gli altri indicatori; l'RMSEA ha un valore pari a 0.049 ben al di sotto della soglia 0.08, soglia massima indice di un buon modello, e addirittura, al di sotto del valore 0.05, limite superiore per un modello ottimo; anche il *p-value* per la verifica dell'ipotesi $H_0 = \text{RMSEA} \leq 0.05$, pari a 0.55, permette di accettare l'ipotesi di un RMSEA al di sotto del valore 0.05. L'intervallo di confidenza al 90% del modello (0.040 ; 0.058) è ben compreso all'interno della soglia consigliata (0 ; 0.08); infine, il valore dell'RMR è pari a 0.065, anch'esso al di sotto del valore soglia consigliato pari a 0.1, in questo caso RMR e *Standardized RMR* hanno lo stesso valore. Altri indici di adattamento globale del modello, quali GFI e AGFI assumono, rispettivamente, il valore di 0.87 e 0.84 decisamente più vicini ad 1 (buon adattamento ai dati) che a 0 (cattivo adattamento ai dati).

⁴⁰ 292 = N. equazioni (N. varianze-covarianze) - N. incognite (N. parametri da stimare)

Analisi dei risultati

Se si considera il miglioramento del modello rispetto al modello nullo e al modello saturo possono essere considerati gli indici AIC (confrontato con l'*Independence AIC* e il *Saturated AIC*) e CAIC (confrontato con l'*Independence CAIC* e il *Saturated CAIC*), mentre se si considera unicamente il miglioramento rispetto al modello nullo vengono considerati gli indici *Comparative Fit Index* (CFI) e *Incremental Fit Index* (IFI). In questo modello il valore dell'indice AIC è 577.43, minore sia dell'*Independence AIC* (4374.75) che del *Saturated AIC* (702.00), quello del CAIC è 841.29, minore sia dell'*Independence CAIC* (4491.03) che del *Saturated CAIC* (2271.77): entrambi indicano che il modello considerato è migliore rispetto al modello nullo e al modello saturo; gli indici CFI e IFI sono entrambi 0.95, superiori a 0.9, ovvero il valore soglia che indica un buon modello.

Per ultima è stata valutata la parsimoniosità del modello considerando indici quali il *Normed χ^2* , rapporto tra la statistica χ^2 e i suoi gradi di libertà, per il quale è consigliabile ottenere un valore inferiore o uguale a 3 e l'indice *Parsimony Normed Fit Index* (PNFI); il primo è quindi $479.87 / 292 = 1.64$ ben al di sotto di 3, tuttavia questo indice soffre dei limiti della distribuzione χ^2 e va, giudicato con le attenzioni del caso, invece, l'indice PNFI è pari a 0.80, valore al di sopra della soglia minima 0.7.

Nella tabella 4.2 sono riportati gli indici di adattamento del modello con i relativi valori soglia.

MISURE DI ADATTAMENTO	MISURA STATISTICA	VALORE	SOGLIA
<i>Adattamento globale</i>	Statistica χ^2	479.87 CON 292 df	
	<i>Root Mean Square Error of Approximation</i> (RMSEA)	0.049	≤ 0.08
	Intervallo di confidenza al 90% per RMSEA	(0.040 ; 0.058)	(0 ; 0.08)
	<i>P value</i> (RMSEA < 0.05)	0.55	> 0.05

Analisi dei risultati

	<i>Root Mean Square Residual (RMR)</i>	0.065	≤ 0.1
	<i>Goodness of Fit Index (GFI)</i>	0.87	~ 1
	<i>Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI)</i>	0.84	~ 1
Miglioramento	AIC	577.43	\leq Independence AIC \leq Saturated AIC
	CAIC	841.29	\leq Independence CAIC \leq Saturated CAIC
	<i>Comparative Fit Index (CFI)</i>	0.95	≥ 0.9
	<i>Incremental Fit Index (IFI)</i>	0.95	≥ 0.9
Parsimoniosità	<i>Normed χ^2 (χ^2/df)</i>	1.64	≤ 3
	<i>Parsimony Normed Fit Index (PNFI)</i>	0.80	≥ 0.7

Tabella 4.2 Indici di adattamento del modello

Come ultimo controllo è stata considerata anche la matrice dei residui, la quale mostra dei buoni residui: la loro mediana è 0 è il *qq-plot* mostra una buona normalità. Il conclusione il modello stimato può essere considerato decisamente un buon modello.

Una volta considerata la bontà del modello è possibile esaminare nello specifico i risultati ottenuti. La figura 4.1 riporta una rappresentazione del modello.

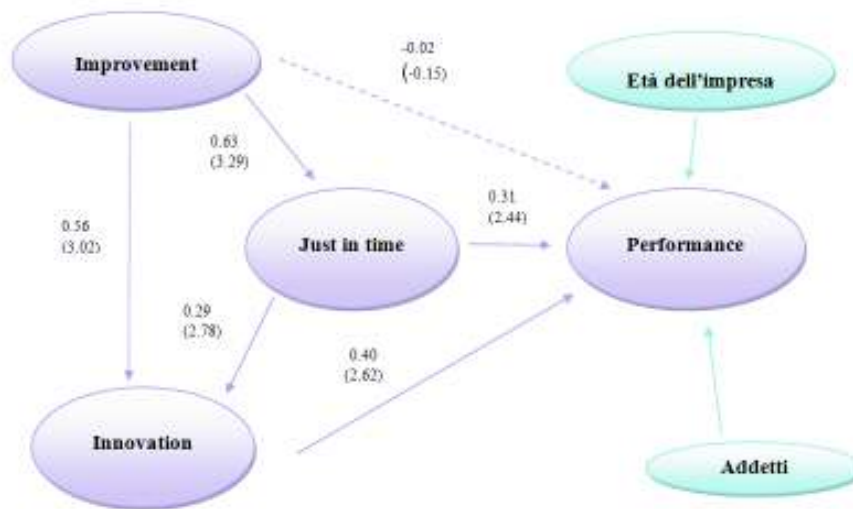


Figura 4.1 Modello. Tra parentesi sono inseriti gli *standard error* dei valori.⁴¹

4.5 Analisi delle relazioni del modello iniziale

Di seguito verranno commentate nello specifico le singole relazioni emerse dall'analisi del modello iniziale

⁴¹ E' importante sottolineare come gli effetti tra le variabili latenti sono standardizzati, ovvero con media nulla e varianza unitaria.

➤ **Il *Just in time* ha un impatto positivo sulla *performance***

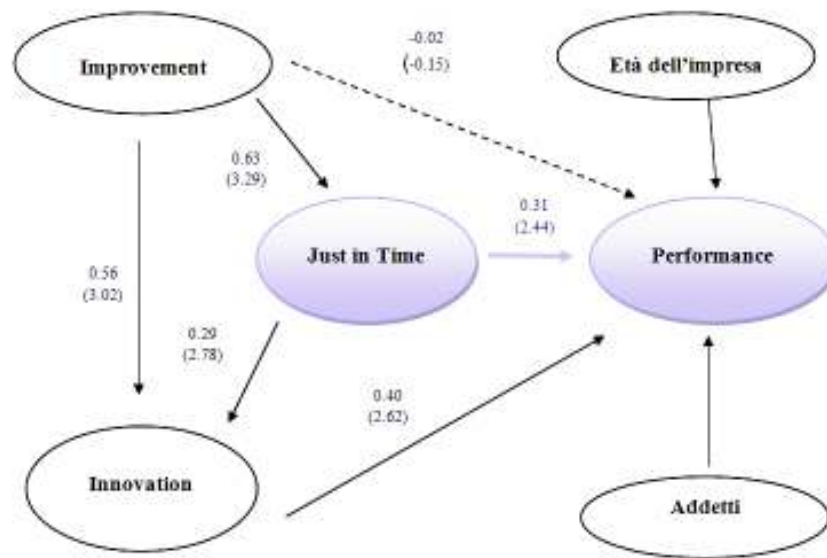


Figura 4.2 Relazione tra *just in time* e *performance*

La relazione di causalità positiva tra *just in time* e *performance* risulta confermata dal modello, essendo significativa e di segno positivo come si era ipotizzato.

Recentemente un articolo di Mackelprang e Nair “*Relationship between just-in-time manufacturing practices and performance. A meta analytic investigation*” (2010) ha portato un’ulteriore conferma a questa ipotesi, considerando i dati raccolti da numerosi studi sull’argomento e confrontandoli tra di loro i due studiosi sono arrivati a dimostrare ancora una volta che tra *just in time* e *performance* vi è una relazione positiva, anche se la relazione tra alcune singole pratiche *just in time* e il rendimento aziendale sono risultate influenzate da fattori contestuali. Nella tabella sottostante sono riportati gli studi esaminati da Mackelprang e Nair

Analisi dei risultati

Study	Corrected correlation (r')	Study sample size (N)	Attenuation factor (A)	JIT-performance correlation (r)	Error variance (e)
Mehra and Inman (1992)	0.243	114	0.794	0.193	0.0131
Sakakibara et al. (1993)	0.414	822	0.727	0.301	0.0021
Flynn et al. (1995)	0.097	42	0.772	0.075	0.0381
Lawrence and Hottenstein (1995)	0.564	116	0.745	0.420	0.0146
Dean and Snell (1996)	0.079	92	0.760	0.060	0.0177
Forza (1996)	0.263	248	0.745	0.196	0.0068
Jayaram and Vickery (1998)	0.172	53	0.767	0.132	0.0304
Claycomb et al. (1999)	-0.013	200	0.781	-0.010	0.0077
Sim and Curtola (1999)	0.361	74	0.706	0.255	0.0255
Callen et al. (2000)	0.100	100	0.767	0.077	0.0160
Fullerton and McWatters (2001)	0.137	91	0.827	0.113	0.0151
McKone et al. (2001)	0.359	117	0.847	0.304	0.0112
He and Hayya (2002)	0.122	48	0.767	0.093	0.0337
Das and Jayaram (2003)	0.277	309	0.804	0.223	0.0047
Shah and Ward (2003)	0.242	1508	0.748	0.181	0.0011
Ketokivi and Schroeder (2004)	0.348	164	0.730	0.254	0.0107
Nahm et al. (2004)	0.330	224	0.808	0.267	0.0064
Challis et al. (2005)	0.219	1024	0.616	0.135	0.0024
Li et al. (2005)	0.148	196	0.852	0.126	0.0066
Swink et al. (2005)	0.378	57	0.760	0.279	0.0288
Narasimhan et al. (2006)	0.201	224	0.776	0.149	0.0069
Ward and Zhou (2006)	0.210	769	0.806	0.169	0.0019
Avittathur and Swamidass (2007)	-0.047	26	0.764	-0.036	0.0638
Matsui (2007)	0.367	46	0.736	0.270	0.0381
Dal Pont et al. (2008)	0.239	266	0.724	0.173	0.0067

Tabella 4.3 Studi esaminati nell'articolo " *Relationship between just-in-time manufacturing practices and performance. A meta analytic investigation*"⁴²

I risultati forniti dal modello elaborato, in linea con molti studi svolti sino a d'ora, portano ad un'ulteriore conferma della relazione positiva tra i due elementi: il *just in time*, infatti, ponendosi come obbiettivo la produzione solo se e quando necessaria, senza difetti e, soprattutto, senza sprechi permette ad un impresa di implementare una serie di attività (come la riduzione dei tempi di *set-up*, l'ottimizzazione del *layout*, la produzione "livellata",...) che abbassano i costi e, nel contempo, aumentano la qualità del prodotto distribuito. Si giunge ad un'impresa che produce più efficientemente delle imprese tradizionali con costi minori e ad un livello di qualità maggiore, questo, di conseguenza, porta ad un aumento delle *performance*. In conclusione, sebbene non sia ancora possibile quantificare il miglioramento apportato dal *just in time* sul rendimento aziendale (anche se alcune ricerche parlano di una diminuzione dei costi di quasi il 50%), sembra essere ormai accertato che il *just in time* ha un effetto positivo sulle *performance*.

⁴² Mackelprang A. W., Nair A., 2010, " *Relationship between just-in-time manufacturing practices and performance. A meta analytic investigation*", pp. 287

➤ **L'improvement supporta il just in time**

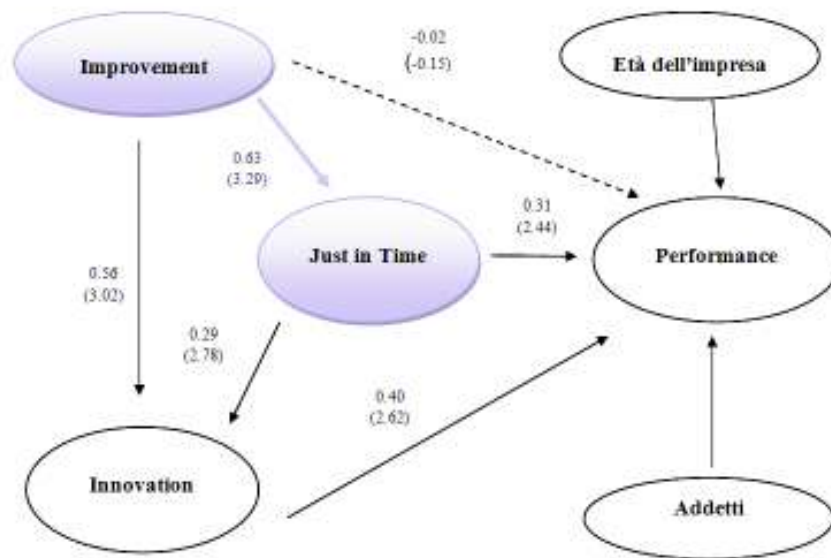


Figura 4.3 Relazione tra *improvement* e *just in time*

Il modello empirico, come si vede dalla figura 4.3, conferma l'ipotesi dell'esistenza di un rapporto tra il miglioramento dell'azienda e l'implementazione della pratica *lean* del *just in time*, i dati, infatti, portano ad un coefficiente di relazione significativo e positivo; anche il valore dell'impatto stimato dal modello (0.63) sottolinea l'importanza dell'*improvement* nel rafforzare il *just in time*, essendo questo il valore più alto tra le relazioni studiate nel modello.

L'*improvement* si configura, quindi, come un aspetto basilare per l'implementazione del *just in time*: cercare di migliorarsi continuamente porta verso una produzione con minori sprechi, proprio l'obiettivo della pratica *lean*.

➤ **L'*improvement* ha un effetto positivo sulla *performance*.**

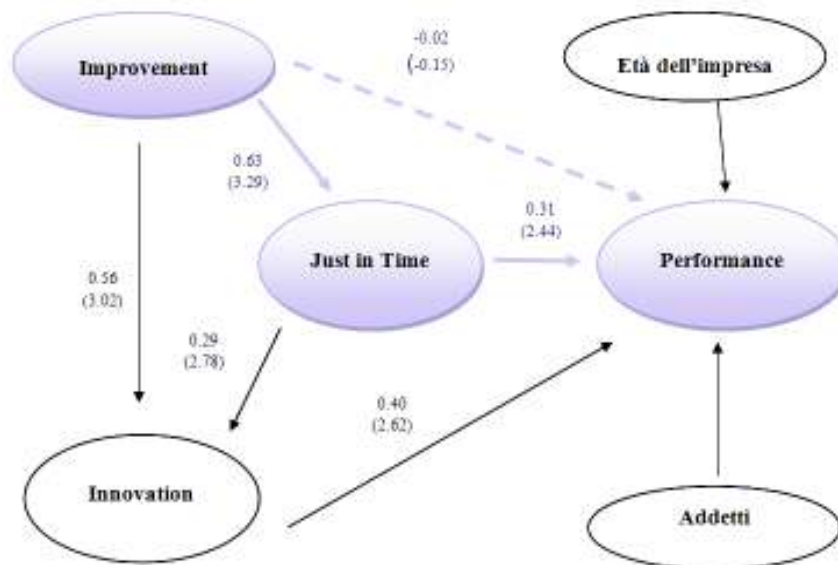


Figura 4.4 Relazione tra *improvement* e *performance*, mediata dal *just in time*

I dati portano ad rifiutare l'ipotesi che il rapporto tra *improvement* e *performance* sia positivo e diretto (figura 4.4): infatti, la relazione diretta tra i due elementi risulta non significativa a qualsiasi livello, e addirittura, se lo fosse, avrebbe segno negativo (anche se l'impatto è quasi nullo). Si può comunque affermare che vi è un effetto del *improvement* sulle prestazioni aziendali, tuttavia non diretto bensì mediato da un altro fattore: l'implementazione, da parte di un'impresa, delle tecniche *just in time*; L'*improvement*, infatti ha un effetto positivo sul *just in time*, e, a sua volta, il *just in time* ha un effetto positivo sulla *performance*. Considerando i risultati del modello, tale ipotesi viene confermata analizzando, dopo aver verificato la condizione di stabilità del sistema, gli effetti indiretti delle variabili endogene y sulle altre variabili endogene y: l'effetti indiretto dell'*improvement* sulla *performance* è di 0.49, con uno *standard error* di 0.19 che lo rende significativo a qualsiasi livello. Si può quindi affermare che il miglioramento ha un effetto positivo sul rendimento, mediato dall'implementazione del *just in time* indipendente da fattori contestuali: l'*improvement* permette ad un'azienda di migliorare il suo utilizzo delle tecniche *just in time*, consentendole di ottenere *performance* superiori (come dimostrato precedentemente). Il fondatore dell'istituto Kaizen, Masaaki Imai, citato

Analisi dei risultati

precedentemente afferma, circa l'*improvement* che lo scopo di questa *capabilities* non è un traguardo predefinito, ma una ricerca costante del miglioramento che coinvolge i lavoratori di tutti i livelli dell'impresa. Pertanto, anche se l'*improvement* non agisce direttamente sugli indicatori di *performance* (costi, velocità, qualità...), la sua stessa natura lo porta a predisporre un ambiente idoneo per l'attuazione ottimale di una serie di attività che, a loro volta, influiscono positivamente sulla *performance*. Queste attività sono rappresentate dai *lean bundle*, espresse in questo modello dal *just in time*: Davy e altri (1992) definiscono il *just in time* come un insieme di tecniche che hanno come conseguenza l'eliminazione degli sprechi e la ottimale utilizzazione delle persone, degli strumenti, dei materiali e dei componenti che l'azienda possiede; in tal senso il *just in time* acquisisce proprio quel ruolo di mediatore che permette all'*improvement* di impattare positivamente sulla *performance*.

➤ **L'innovation ha un impatto positivo sulla performance**

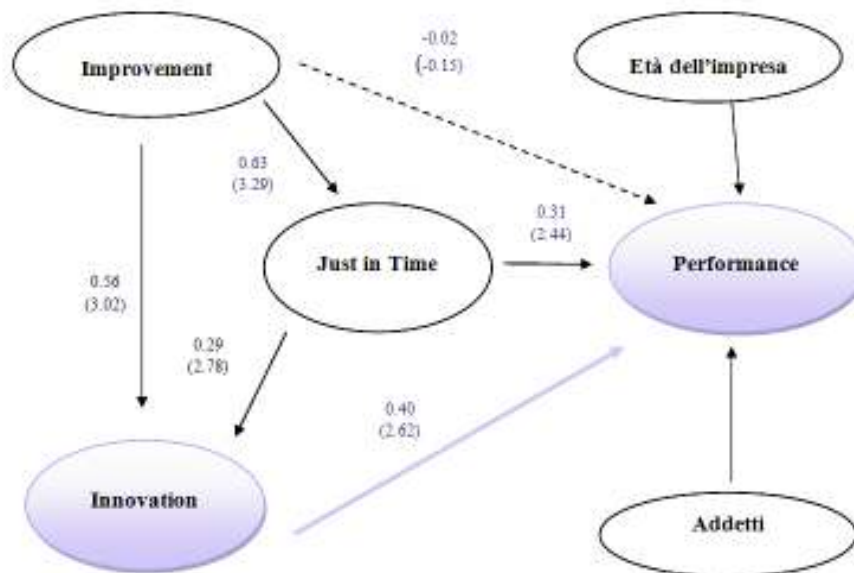


Figura 4.5 Relazione tra *innovation* e *performance*

La relazione tra innovazione e rendimento aziendale risulta nel modello significativa e positiva (figura 4.5); inoltre il valore dell'impatto della prima

Analisi dei risultati

sulla seconda (0.40) è uno dei più alti, ad indicare che questa è una relazione molto importante, e che, a differenza dell'*improvement*, è diretta. Investire risorse nella ricerca di innovazioni, sia di prodotto che di processo, si configura, quindi, come un'azione importante all'interno di una strategia competitiva di successo, anche se, naturalmente, bisogna stare attenti al rischio di "*disruptive technologies e disruptive innovation*" individuato da Christensen (2003), di cui si è parlato al capitolo 2.

➤ **Il just in time supporta l'innovation**

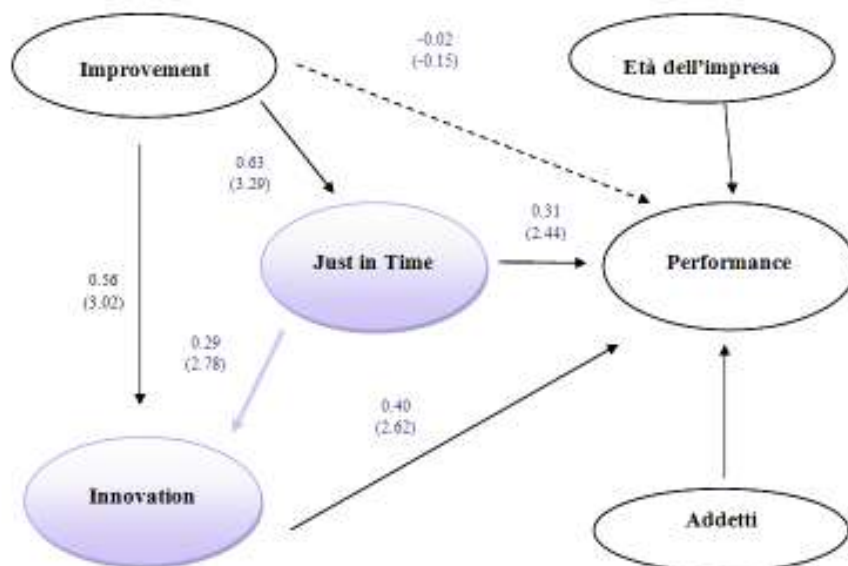


Figura 4.6 Il just in time supporta l'innovation

Come si può vedere dalla figura 4.6 i dati confermano la relazione positiva tra *just in time* e *innovation*; in particolare risulta verificato che il primo supporta il secondo. Un'ulteriore conferma di questa relazione viene da un articolo di M. Meybodi, "*An exploration of the links between just-in-time manufacturing and simultaneous new product development*" (2005), il quale ha analizzato in diversi studi, la similarità di alcuni fattori (*layout, process and information*

Analisi dei risultati

flow, set-up/transition time, lot size, quality...) tra *just in time* e *new product development* (NPD); i risultati di tali studi hanno portato l'autore ad affermare l'esistenza di una forte similarità tra i fattori

La spiegazione di tale relazione positiva va ricercata nel concetto stesso di *just in time*: una produzione di ciò che il mercato richiede, senza sprechi, permette di liberare risorse (economiche e umane) che l'impresa può convogliare verso le attività di innovazione, come affermano Womack, Jones e Ross nel lavoro "*La macchina che ha cambiato il mondo*" (1991) e Womack e Jones in "*Lean Thinking*" (1997). Confrontando le aziende giapponesi con quelle americane, gli autori affermarono che, eliminando i *muda*, le prime riuscivano ad ottenere utili maggiori rispetto alle seconde, e reinvestendoli nell'innovazione pervenivano a *performance* superiori rispetto ai *competitors*, data la relazione positiva tra innovazione e rendimenti aziendali vista nel paragrafo precedente.

➤ **L'improvement supporta l'innovation**

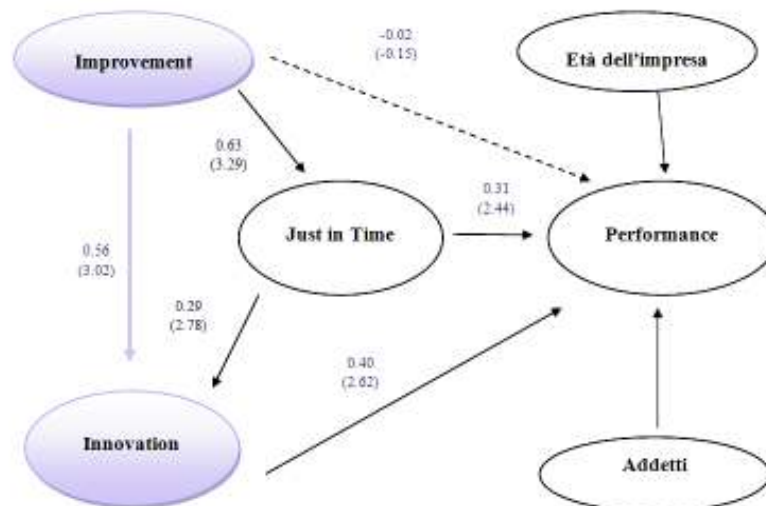


Figura 4.7 L'improvement supporta l'innovation

L'ipotesi di una relazione causale tra *improvement* e *innovation*, e in particolare di un effetto positivo e significativo del primo sul secondo viene confermata dai dati (figura 4.7). Sembra, quindi, non solo possibile la coesistenza delle due *capabilities* all'interno della stessa impresa, ma emerge addirittura che implementare una delle due *capabilities* (in particolare l'*improvement*) porta ad un incremento dell'altra (cioè l'*innovation*); è importante sottolineare, tuttavia, che un'impresa deve riuscire a bilanciare correttamente il rapporto tra miglioramento e innovazione: fossilizzarsi su uno dei due aspetti rischierebbe di portare a danni maggiori e a non ottenere i miglioramenti che si cercano. In conclusione, per un'azienda è importante investire nel miglioramento, non solo come mezzo per ottenere *performance* migliori (in particolare implementando l'attività *lean* del *just in time*), ma anche per ottenere delle innovazioni capaci di garantire ancora *performance* superiori ai *competitors*. L'azione del miglioramento è importante per ottenere innovazioni anche perché le “*small wins*” (Cole, 2001) consentono di conoscere a fondo tali innovazioni, così da riuscire a gestire l'innovazione (soprattutto se radicale) in modo migliore rispetto ai concorrenti.

4.6 Effetti totali e indiretti del modello iniziale

Al fine di avere un'idea più completa degli effetti di una variabile endogena sulle altre sono state considerati anche gli effetti totali ed indiretti, ottenuti attraverso l'*output* di Lisrel™. Verificato l'indice di stabilità del sistema si è appurato che tutti gli effetti indiretti, ovvero gli effetti di una variabile su un'altra mediato da una terza variabile sono tutti significativi, così come gli effetti totali. Si nota in particolare che oltre all'effetto indiretto dell'*improvement* sulla *performance* già citato, l'*improvement* ha un effetto indiretto anche sull'*innovation*, mediato dal *just in time*; osservando che l'*improvement* supporta il *just in time*, permettendogli di ottimizzare l'implementazione di questa tecnica *lean*, e il *just in time* a sua volta supporta l'innovazione, liberando risorse che possono poi essere sfruttate per lo sviluppo di nuovi progetti, è possibile, quindi, affermare che l'*improvement* supporta direttamente e indirettamente l'*innovation*. Risulta che anche il *just in time* ha un

Analisi dei risultati

effetto indiretto sulle *performance*, mediato, in questo caso dall'*innovation*: ponendosi di supporto allo sviluppo di nuove innovazioni gli effetti del *just in time* non si concludono con l'ideazione di nuovi progetti, ma si riflettono, attraverso la relazione positiva tra *innovation* e *performance* su quest'ultima. Gli effetti totali di una variabile su un'altra non si limitano, quindi, a quelli diretti, verificati nei paragrafi precedenti, ma possono essere ampliati (o diminuiti) attraverso la mediazione di altre variabili. Nelle tabelle sottostanti (4.4, 4.5) vengono riportati gli effetti totali ed indiretti delle variabili endogene considerate sulle altre variabili endogene al fine di comprendere il più possibile l'impatto di un elemento sugli altri.

	<i>Improvement</i>	<i>Innovation</i>	<i>JIT</i>	<i>Performance</i>
<i>Improvement</i>				
<i>Innovation</i>	0.74 (3.28)		0.29 (2.78)	
<i>JIT</i>	0.63 (3.29)			
<i>Performance</i>	0.47 (2.79)	0.40 (2.62)	0.43 (3.08)	

Tabella 4.4 Effetti totali delle variabili endogene sulle altre variabili endogene⁴³

	<i>Improvement</i>	<i>Innovation</i>	<i>JIT</i>	<i>Performance</i>
<i>Improvement</i>				
<i>Innovation</i>	0.18 (2.28)			
<i>JIT</i>				
<i>Performance</i>	0.49 (2.56)		0.11 (2.06)	

Tabella 4.5 Effetti indiretti delle variabili endogene sulle altre variabili endogene nel modello iniziale⁴⁴

⁴³ Il valore dell'effetto è standardizzato (media nulla e varianza unitaria) e tra parentesi è espresso il valore della statistica *t*

⁴⁴ Idem

4.7 Bontà del secondo modello

Il modello presentato è stato poi arricchito con l'introduzione di una nuova variabile latente definita “*ambidexterity*”, così da poter verificare se i dati supportano l'ipotesi presentata al capitolo 2 dell'esistenza di tale variabile nella realtà. Di seguito verrà presentato e commentato il modello contenente questa nuova variabile.

L'adattamento di questo secondo modello si presenta molto buono, e tutti gli indicatori si presentano ben al di sotto (o al di sopra) dei valori soglia, come per il modello precedente.

In primo luogo si considera l'adattamento globale del modello: il valore della statistica χ^2 è di 822.34 con 487 gradi di libertà, tuttavia, come per il modello iniziale, tale valore è stato considerato con le dovute attenzioni; l'RMSEA (*Root Mean Square Error of Approximation*) presenta un valore di 0.053, con un *p-value* per verificare l'ipotesi $H_0 = \text{RMSEA} \leq 0.05$ di 0.20 che porta ad accettare l'ipotesi nulla. Il valore del RMSEA al di sotto del valore soglia di 0.05, così come il suo intervallo di confidenza al 90% (0.047 ; 0.060), propone questo come un modello molto buono; anche l'RMR (*Root Mean Square Residual*) conferma tale idea, con un valore di 0.071, al di sotto del valore soglia 0.1. Inoltre gli indici GFI (*Goodness of Fit Index*) e AGFI (*Adjusted Goodness of Fit Index*), rispettivamente 0.83 e 0.80 si presentano più spostati verso 1 (buon adattamento ai dati) che non verso 0 (cattivo adattamento ai dati). Da questi valori si evince che il modello presenta un adattamento globale ai dati molto buono.

Anche gli indici considerati (AIC e CAIC) per valutare il miglioramento del modello rispetto a quello nullo e a quello saturo portano ad accettare questo modello; infatti, il valore dell'indice AIC è 961.53, minore sia dell'*Independence AIC* (7002.02) che del *Saturated AIC* (1122.00), e quello del CAIC è 1292.48, minore sia dell'*Independence CAIC* (7149.60) che del *Saturated CAIC* (3630.94): entrambi indicano che il modello considerato è migliore rispetto al al modello nullo e a quello saturo. Gli indici CFI (*Comparative Fit Index*) e IFI (*Incremental Fit Index*), che indicano il miglioramento del modello rispetto al modello nullo, sono entrambi 0.95, superiori a 0.9, ovvero il valore soglia che indica un buon modello.

Analisi dei risultati

Anche considerando la parsimoniosità il modello risulta essere buono: il *Normed χ^2* , cioè il rapporto tra la statistica χ^2 e i suoi gradi di libertà, $822.34/487= 1.68$ è minore di 3 (valore soglia); considerate però le peculiarità della statistica χ^2 è stato considerato anche l'indice PNFI (*Parsimony Normed Fit Index*), il quale con un valore di 0.81, superiore alla soglia di 0.70, conferma la parsimoniosità del modello. Nella tabella sottostante (4.6) sono riportati gli indici riassunti del modello

MISURE DI ADATTAMENTO	MISURA STATISTICA	VALORE	SOGLIA
<i>Adattamento globale</i>	Statistica χ^2	822.34 con 487 df	
	<i>Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)</i>	0.053	≤ 0.08
	Intervallo di confidenza al 90% per RMSEA	(0.047 ; 0.060)	(0 ; 0.08)
	<i>P value (RMSEA < 0.05)</i>	0.20	> 0.05
	<i>Root Mean Square Residual (RMR)</i>	0.071	≤ 0.1
	<i>Goodness of Fit Index (GFI)</i>	0.83	~ 1
	<i>Adjusted Goodness of Fit Index (AGFI)</i>	0.80	~ 1
<i>Miglioramento</i>	AIC	961.53	\leq Independence AIC \leq Saturated AIC
	CAIC	1292.48	\leq Independence CAIC \leq Saturated CAIC
	<i>Comparative Fit Index (CFI)</i>	0.95	≥ 0.9
	<i>Incremental Fit Index (IFI)</i>	0.95	≥ 0.9
<i>Parsimoniosità</i>	<i>Normed χ^2 (χ^2/df)</i>	1.68	≤ 3
	<i>Parsimony Normed Fit Index (PNFI)</i>	0.81	≥ 0.7

Tabella 4.6 Indici riassuntivi circa la bontà del modello

Analisi dei risultati

Anche in questo caso la matrice dei residui sembra buona: la loro mediana è 0 e il *qq-plot* mostra una buona normalità.

Si può quindi affermare che il modello, con l'introduzione della variabile latente "Ambidexterity" si presenta come un ottimo modello. Di seguito una rappresentazione grafica del modello (figura 4.8).

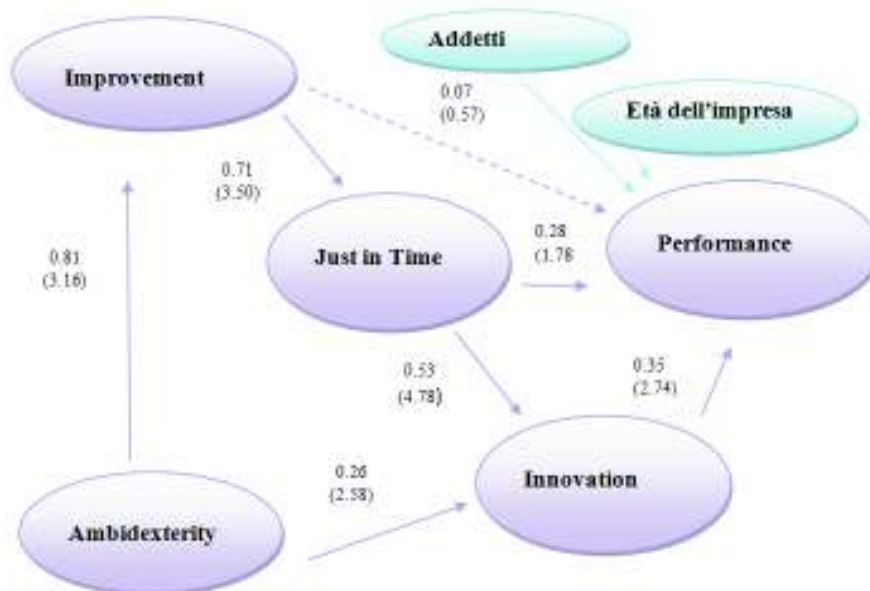


Figura 4.8 Rappresentazione del modello contenente la variabile latente "Ambidexterity"

4.8 Analisi delle relazioni nel secondo modello

Confrontandolo con il modello iniziale, si vede come l'introduzione della variabile latente lascia pressoché inalterate le considerazioni fatte nei paragrafi precedenti circa tutte le tesi ipotizzate al capitolo 2.

Le uniche differenze significative risultano il segno del coefficiente del valore della relazione tra *improvement* e *performance* e il coefficiente della relazione tra *just in time* e *performance*.

Il primo passa da -0.02 a 0.07 diventando, quindi, positivo (più in linea con l'ipotesi di un impatto positivo dell'*improvement* sulla *performance*) rimanendo, tuttavia, non significativo. Il secondo diventa non significativo al 5%, ma se si considera un livello di significatività al 10% non si accetta l'ipotesi di un coefficiente nullo. Rimane

Analisi dei risultati

quindi una sola ipotesi da approfondire, ovvero la presenza di una variabile latente “*ambidexterity*” che impatta positivamente su *improvement* e *innovation*.

➤ **L’*ambidexterity* supporta positivamente l’*improvement* e l’*innovation***

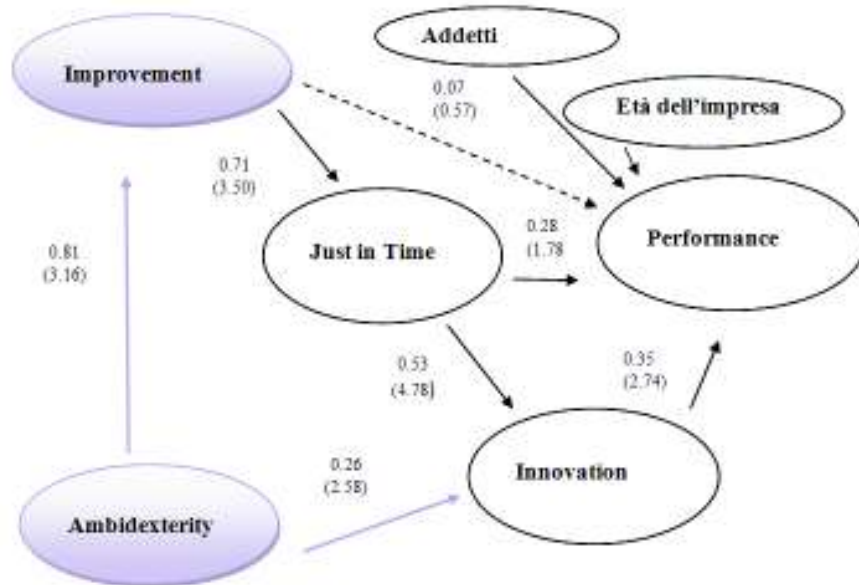


Figura 4.9 Esistenza di una variabile “*ambidexterity*”, la quale impatta positivamente su *improvement* e *innovation*

Il modello empirico porta alla conferma dell’esistenza di una variabile sottostante *improvement* e *innovation*; dagli item utilizzati e da un’analisi della letteratura presente sull’argomento si evince che tale variabile rappresenta l’aspetto organizzativo dell’impresa: sono, infatti, le scelte che l’azienda realizza che rendono possibile una co-esistenza positiva delle *capabilities* dell’*exploitation* e dell’*exploration* e, sempre l’azienda, deve riuscire a gestire adeguatamente questi due elementi in modo da ottenere *performance* superiori ai *competitors*. L’*ambidexterity*, intesa appunto come una scelta organizzativa aziendale, non deve essere una rigida decisione imposta dall’alto: nel *paper* già citato di Jiang e Wang “*Solving innovation paradox with lower-level ambidextrous capabilities*” (2009) emerge che oltre ad un aspetto organizzativo che parte dai vertici dell’azienda è necessario

rendere gli stessi lavoratori dell'impresa *ambidextrous*; anche Womack e Jones (1997), sottolinearono come fosse importante che il cambiamento verso l'implementazione della filosofia *lean* non fosse una scelta rigida e imposta dai vertici, ma un movimento che coinvolgesse l'impresa nel suo insieme. La relazione positiva con l'*improvement* e l'*innovation* è legata, come già detto al capitolo 2, al significato stesso di *ambidexterity*: un'impresa che applica questo tipo di strategia organizzativa cerca, attraverso essa, di implementare positivamente sia l'innovazione che il miglioramento.

4.9 Effetti totali ed effetti indiretti nel secondo modello

L'effetto della variabile *ambidexterity* non si limita unicamente all'*innovation* e all'*improvement*: analizzando gli effetti totali ed indiretti (dopo essersi assicurati la stabilità del sistema) risultano tutti significativi. Emerge che l'*ambidexterity* ha un effetto totale sull'*innovation* non solo diretto, ma anche mediato dall'*improvement* e dal *just in time*; l'*ambidexterity* ha un effetto positivo e diretto sull'*innovation*, in quanto la definizione stessa di *ambidexterity* porta ad un'implementazione positiva dell'*improvement*, la quale, come già visto, ha un effetto positivo sul *just in time*, che, a sua volta, è di supporto all'*innovation*: si può affermare quindi che l'*ambidexterity* ha un effetto positivo sull'*innovation* mediato dall'*improvement* e dal *just in time*. Inoltre si può affermare che un ambiente *ambidexterity* non solo ha un impatto positivo sul miglioramento e sull'innovazione, ma anche sull'implementazione delle tecniche *just in time* attraverso il ruolo di mediazione dell'*improvement*: l'*ambidexterity* ha un effetto positivo sulla realizzazione del miglioramento, il quale a sua volta, per i motivi già visti, è di supporto al *just in time*. Si potrebbe, inoltre, ipotizzare che in un'azienda nella quale si cerca di attuare contemporaneamente miglioramento e innovazione si è, verosimilmente, più propensi al cambiamento e quindi a provare nuove tecniche di gestione, come il *just in time*. Infine l'*ambidexterity* ha un impatto totale di segno positivo e significativo anche sulla *performance*, mediato dall'*improvement*, dall'*innovation* e dal *just in time*: si può affermare che un ambiente *ambidexterity* porta ad una implementazione del miglioramento e contemporaneamente dell'innovazione, con effetti positivi anche

Analisi dei risultati

in caso di attuazione delle tecniche *just in time* e tutto questo si trasforma in un effetto positivo sulla *performance*. Gli altri effetti totali e indiretti rimangono pressoché inalterati. Nelle tabelle seguenti (4.7 e 4.8) sono stati riassunti gli effetti diretti ed indiretti delle variabili endogene nel modello con la variabile latente *ambidexterity*.

	<i>Improvement</i>	<i>Innovation</i>	<i>JIT</i>	<i>Ambidexterity</i>	<i>Performance</i>
<i>Improvement</i>				0.81 (3.16)	
<i>Innovation</i>	0.38 (2.98)		0.53 (4.78)	0.57 (4.47)	
<i>JIT</i>	0.71 (3.50)			0.58 (4.58)	
<i>Ambidexterity</i>					
<i>Performance</i>	0.40 (2.69)	0.35 (2.74)	0.46 (2.97)	0.42 (3.50)	

Tabella 4.7 Effetti totali delle variabili endogene sulle altre variabili endogene nel modello con *ambidexterity*⁴⁵

	<i>Improvement</i>	<i>Innovation</i>	<i>JIT</i>	<i>Ambidexterity</i>	<i>Performance</i>
<i>Improvement</i>					
<i>Innovation</i>	0.38 (2.98)			0.31 (3.59)	
<i>JIT</i>				0.58 (4.58)	
<i>Ambidexterity</i>					
<i>Performance</i>	0.33 (2.34)		0.19 (2.56)	0.42 (3.50)	

Tabella 4.8 Effetti indiretti delle variabili endogene sulle altre variabili endogene nel modello con *ambidexterity*⁴⁶

⁴⁵ Il valore dell'effetto è standardizzato (media nulla e varianza unitaria) e tra parentesi è espresso il valore della statistica *t*

⁴⁶ Idem

CAPITOLO 5

Conclusioni

Questo lavoro ha cercato di dare un contributo alla comprensione sugli effetti dell'implementazione della gestione *lean* in un'impresa. Nel modello che è stato elaborato ci siamo soffermati sulla *lean bundles* del *just in time*, esaminando i suoi effetti sulla *performance* e le sue relazioni con altre due *capabilities* molto importanti all'interno di un'impresa: l'*improvement* e l'*innovation*.

Il *just in time* rappresenta uno dei principali strumenti della filosofia di produzione snella: lo scopo di una produzione *just in time* è quello di produrre quanto e quando il mercato richiede, alla migliore qualità e soprattutto senza sprechi.

L'*improvement* è la ricerca, da parte di un'impresa, di un miglioramento continuo (in giapponese *kaizen*) sia nei prodotti, ad esempio con miglioramenti incrementali che nei processi, ad esempio con l'eliminazione degli ostacoli che impediscono al processo di scorrere, questi miglioramenti devono nascere dall'interno dell'impresa stessa.

L'*innovation* rappresenta la ricerca, da parte di un'impresa, di un miglioramento radicale di prodotto o di processo, queste innovazioni possono essere progettate all'interno dell'azienda, ma possono essere ricercate anche all'esterno.

I risultati ottenuti, a cui si è giunti attraverso l'utilizzo dei modelli SEM, mostrano che vi è effettivamente un effetto positivo del *just in time* sulla *performance* come riscontrato già in diversi studi; questo è possibile poiché il *just in time* mira a produrre ciò che il mercato desidera senza sprechi, con diverse conseguenze (come la diminuzione dei costi e dei tempi di produzione) che si riflettono su *performance* maggiori, tuttavia il suo effetto non si limita a questo in quanto è emerso che il *just in time* supporta la *capabilities* dell'innovazione all'interno dell'impresa, la quale a sua volta ha effetti positivi sul rendimento aziendale. L'effetto del *just in time* sulla *performance* si rivela essere, quindi, diretto e indiretto; inoltre questa *lean bundles* funge anche da mediatore tra l'*improvement* e la *performance*: il miglioramento si

Conclusioni

pone di supporto all'implementazione della produzione *just in time*, la quale a sua volta porta a risultati di *performance* positivi.

Da tutto ciò sembra possibile affermare che l'attuazione di una filosofia di produzione *lean* da parte dell'impresa si possa riflettere positivamente sul rendimento dell'azienda, bisogna, tuttavia, sottolineare che la produzione *lean* e in particolare la tecnica di produzione *just in time* sono strumenti a disposizione dell'impresa: se utilizzati non correttamente o in maniera non ottimale anche i risultati potranno non essere positivi.

Considerando il modello nel suo complesso si può affermare che l'*improvement*, riveste, all'interno dell'azienda, un ruolo cruciale non solo per i vantaggi impliciti che derivano dalla sua applicazione, ma anche perché crea un ambiente che permette di ottimizzare le altre attività implementate (come il *just in time* e l'*innovation*). Un'impresa che cerchi, quindi di guadagnare vantaggio competitivo rispetto ai suoi competitors dovrebbe, quindi, prestare particolarmente attenzione a questa *capabilities*; soprattutto per il suo ruolo di supporto.

Anche l'applicazione del *just in time*, con la sua costante eliminazione degli sprechi riveste, all'interno di un'impresa, una notevole importanza, permettendo di giungere ad una produzione ottimizzata ed efficiente e di conseguenza con minor costi. Come l'*improvement*, anche il *just in time* si configura come un'attività senza fine: è sempre possibile individuare ed abolire gli sprechi e migliorare la produzione., soprattutto se ci si concentra su quello che veramente il cliente considera importante.

In questo studio sono stati esaminati anche gli effetti del miglioramento e dell'innovazione e si è visto come queste due *capabilities* portino ad un miglioramento, diretto o indiretto, delle *performance* aziendali; nel caso dell'*improvement* l'effetto è indiretto, mediato come già detto dall'attuazione del *just in time*, mentre nel caso dell'*innovation* tale effetto è diretto. Anche in questo caso il ruolo dell'impresa è fondamentale: se un'azienda decide di attuare una strategia volta alla coesistenza delle due *capabilities* (cioè una strategia *ambidexterity*) vi saranno effetti positivi su entrambe, che, come già detto si rifletteranno sulle *performance*.; questo è emerso nel secondo modello stimato dove è stata introdotta una variabile che rappresentasse proprio la scelta dell'impresa di attuare una strategia di questo tipo. La letteratura ha sottolineato più volte come l'attuazione efficace di una

Conclusioni

strategia organizzativa *ambidexterity* o di un sistema di produzione *lean* sia strettamente legata a fattori quali il coinvolgimento dei lavoratori a tutti i livelli dell'impresa: una decisione di cambiamento decisa ed imposta dall'alto del *management*, senza avere il supporto e la partecipazione dei lavoratori, difficilmente si tradurrà in risultati positivi. Come per lo Yin e lo Yang della filosofia orientale, necessari l'un l'altro, anche le aziende devono essere capaci di trovare l'equilibrio tra la loro direzione e i lavoratori, come sottolineato da autori quali Womack e Jones (1997) e Jiang e Wang (2009), al fine di ottenere prestazioni migliori.

Altri fattori, come sottolineano ancora Womack e Jones (1997) e Jiang e Wang (2009), necessari per ottenere risultati positivi sono rappresentati dalla preparazione *cross-functional* dei lavoratori e dalla conoscenza degli obiettivi dell'impresa stessa.

In questo lavoro si è cercato di rappresentare il coinvolgimento dei lavoratori dell'impresa e gli altri fattori indicati (come una preparazione *cross-functional*) attraverso item utilizzati già da diversi studiosi (Peng e altri, 2007, Dal Pont e altri, 2008, Cua e altri, 2001) estratti dal progetto HPM.

In un ambiente altamente competitivo e in forte cambiamento come quello odierno, la capacità da parte dell'impresa di attuare strategie che si riflettano positivamente sulla *performance* diventa quindi cruciale. Womack e Jones (1997) sottolineano l'importanza da parte della stessa di cambiare e di non fossilizzarsi sui risultati ottenuti, così da saper rispondere ai cambiamenti del mercato in modo rapido ed ottimale.

In questo studio si è cercato di dare una rappresentazione completa delle relazioni che intercorrono tra il *just in time*, l'*improvement*, l'*innovation* e, successivamente, l'*ambidexterity* all'interno di un'impresa e dei loro effetti sulla *performance* così da mostrare l'importanza dell'implementazione di questi elementi sia singolarmente che insieme. Naturalmente non si è potuto cogliere tutti gli aspetti connessi a questi elementi e alle loro relazioni, ma si è cercato di cogliere quelli importanti e basilari, lasciando aperto a studi futuri l'approfondimento degli aspetti trascurati.

Bibliografia

Babson S., 1993, "Lean or mean: The MIT model and lean production at Mazda", Labor Studies Journal, Vol. 18 (No. 2), pp. 3-25.

Benner M. J., Tushman M., 2003, "Exploitation, exploration, and process management: the productivity dilemma revisited", Academy of Management Review, Vol. 28 (No. 2), pp. 238-256.

Boer H, Caffyn S., Corso M., Coughlan P., Gieskes J., Magnusson M., Pavesi S, Ronchi S., 2001, "Knowledge and continuous innovation. The CIMA methodology", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 21 (No. 4), pp. 490-503.

Bollen K.A., 1989, "Structural equations with latent variables", Wiley, New York;

Bonfigliolo R., 2009, "Pensare snello". Lean Thinking alla maniera italiana", Franco Angeli, Milano.

Browning T. R., Heath R. D., "Reconceptualizing the effects of lean on production costs with evidence from the F-22 program", Journal of Operations Management, Vol. 27, pp. 23-44.

Cole R. E., 2001, "From continuous improvement to continuous innovation", Quality Management Journal, Vol. 8 (No. 4), pp.7-21.

Corbetta P., 1992, "Metodi di analisi multivariata per le scienze sociali. I modelli di equazioni strutturali", Il Mulino, Bologna.

Cua K. O., McKone K. E., Schroeder R. G., 2001, "Relationship between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance", Journal of Operations Management, Vol. 19, pp. 675-694.

Bibliografia

Dal Ponte G., Furlan A., Vinelli A., 2008, "Interrelationships among lean bundles and their effects on operational performance", *Operation Management Research*, Vol. 1 (Issue. 2), pp. 150-158.

Furlan A, Dal Ponte G., Vinelli A., 2010, "On the complementarity between internal and external just in time bundles to build and sustain competitive high performance manufacturing", *International Journal of Production Economics*, forthcoming.

Furlan A, Vinelli A., 2009, "Can just in time and innovation capabilities coexist? An empirical study", paper presentato alla 17th International Annual EurOMA Conference, Porto, Portugal.

Grandinetti R., 2002, "Concetti e strumenti di marketing", ETAS, Milano.

Grant R. M., 2006, "L'analisi strategica per le decisioni aziendali", Il Mulino, Bologna.

Lewis M. A., 2000, "Lean production and sustainable competitive advantage", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 20 (No.8), pp. 959-978.

Gopesh A., Peter T. W., Mohan V. T., David A. S., 2009, "Dynamic capabilities through continuous improvement infrastructure", *Journal of Operations Management*, Vol. 27, pp.444-461.

He Z. L., Wong P., 2010, "Exploration vs Exploitation: An empirical test of the ambidexterity hypothesis", *Organization Science*, Vol. 15 (No. 4), pp. 481-4694.

Isobe T, Makino S., Montgomery D., 2008, "Technological Capabilities and Firm Performance: The Case of Small Manufacturing Firms in Japan", *Asia Pacific Journal of Management*, Vol. 25 (No. 3), pp. 413-428.

Jiang H., Wang F., 2009, "Solving innovation paradox with lower-level ambidextrous capabilities", paper presentato al Academy of Management Annual Meeting.

Bibliografia

Kristal M. M., Huang X., Roth A., 2010, "The effect on an ambidextrous supply chain strategy on combinative competitive capabilities and business performance", *Journal of Operations Management*, forthcoming.

Mackelprang A. W., Nair A., 2010, "Relationship between just-in-time manufacturing practices and performance: A meta-analytic investigation", *Journal of Operations Management*, Vol. 28, pp.283-302.

Meybodi M. Z., 2005, "An exploration of the links between just-in-time manufacturing and simultaneous new product development", *Advances in Competitiveness Research*, Vol. 13 (No. 1), pp.9-21.

Niall P., Nick R., 2009, "Lean transformation in the pure service environment: the case of the call service centre", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 29 (No. 1), pp. 54-76.

Peng D.X., Schroeder R.G., Shah R., 2008, "Linking routines to operations capabilities: a new prospective", *Journal of Operations Management*, Vol. 26, pp. 730-748.

Shah R., Ward, P.T., 2003, "Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance", *Journal of Operations Management*, Vol. 21, pp. 129-149.

Shah R., Ward, P.T., 2007. "Defining and developing measures of lean production" *Journal of Operations Management*, Vol. 25, pp. 785-805.

Shigeo Shingo, 1991, "Il sistema di produzione giapponese Toyota: dal punto di vista dell'industrial engineering" (edizione italiana a cura di Riccardo Varvelli), Franco Angeli, Milano.

Slack N., Chambers, S., Johnston, R., 2004. "Operations Management", Prentice Hall, London.

Taiichi O., 1993, "Lo spirito Toyota" Einaudi, Torino.

Bibliografia

Wallace T., 2004, "Innovation and hybridization. Managing the introduction of lean production into Volvo do Brazil", *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24 (No. 8), pp. 801-819.

Womack J. P., Jones D. T., D. Roos, 1990, "The Machine That Changed the World", Harper Perennial, New York.

Womack J. P., Jones D. T., D. Roos, 1991, "La macchina che ha cambiato il mondo (con prefazione all'edizione italiana di Giovanni Agnelli)", Rizzoli, Milano.

Womack J. P., Jones D. T., 1997, "Lean Thinking: come creare valore e bandire gli Sprechi", Guerini e Associati, Milano.

Womack J.P., Jones D.T., 2009, "Lean Solutions: la produzione snella incontra il consumo snello", Guerini e Associati, Milano.

Zandarin G., 2009, "Improvement, Innovation e Just in Time: un'analisi empirica tramite modelli a equazioni strutturali", Padova.

Pasqualetto C., 2010, "Toyota fa scuola a Nord-Est", *Il Sole 24 Ore*.

Sorrentino R., 2010, "Toyota? Ha tradito lo spirito Toyota", *il Sole 24 Ore*.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare, alla fine di questo lavoro, le persone che mi hanno aiutato a aiutato a realizzarlo e che, in generale, mi hanno supportato in questi anni di università.

Il primo ringraziamento va al Prof. Furlan, non solo per la sua disponibilità, ma anche per avermi sempre dato la possibilità di un confronto libero riguardo le mie idee.

Vorrei ringraziare anche il Prof. Vinelli e la Dott.ssa Franchini, della Facoltà di Ingegneria Gestionale, per la loro gentilezza e disponibilità circa l'uso del database HPM.

Il ringraziamento più grande va sicuramente ai miei genitori, non solo per la loro supporto e il loro incoraggiamento in questi anni, ma anche per avermi fatto diventare la donna che sono oggi. Un ringraziamento speciale va a mio fratello Andrea, per avermi sempre fatto sempre tornare il sorriso e per i suoi, rari ma speciali, abbracci.

Un grazie esclusivo va a Filippo, il mio compagno, il mio migliore amico, il mio confidente, che in questi anni mi è sempre stato accanto incoraggiandomi ed esortandomi, con il suo esempio, a dare sempre il meglio di me stessa.

Grazie anche alle mie amiche Michela, Chiara e tutte le altre con le quali trascorro dei bellissimi momenti, sedute davanti ad un caffè a parlare per ore e ore, al cinema, in vacanza.... In questi momenti e grazie al loro incoraggiamento tutti i problemi incontrati nel mio cammino diventano facilmente risolvibile...grazie ragazze!

Come non ringraziare Matteo, Giulia, Stefano ed Elena? Gli spritz al "solito baretto" al "solito posto" rendono la mia serata sempre allegra, divertente, ma soprattutto piena di chimica!

Infine, vorrei esprimere la mia gratitudine anche a tutti coloro che non sono riuscita a citare, ma che hanno reso bellissimi questi anni di università.

A tutti voi un grande Grazie!