

*“L’esperienza giapponese è fondata sulla
diversità di metodi e strumenti, e non su
insormontabili differenze di mentalità ”*

Giovanni Agnelli, Prefazione all’edizione italiana di “La macchina che
ha cambiato il mondo”, Febbraio 1991

Un ringraziamento speciale va ai miei genitori che, grazie al loro costante supporto, hanno permesso la realizzazione del mio percorso di studi sin qui condotto e il raggiungimento di importanti obiettivi, cui si aggiunge un grazie alla mia nonna per essermi sempre stata accanto anche nei momenti di maggiore tensione. Un grazie anche a Manuel che con il suo affetto ha attenuato le giornate più pesanti e riempito i momenti di maggiore soddisfazione. Un grazie è rivolto al Prof. Andrea Furlan e al Prof. Adriano Paggiaro che mi hanno accompagnata da vicino in questa avventura permettendo la stesura della presente trattazione, cui si aggiunge un ringraziamento al Prof. Andrea Vinelli, all'Ing. Giorgia Dal Pont e all'Ing. Massimiliano Niselli senza i quali l'intero studio non sarebbe stato possibile. Un ultimo ringraziamento va infine a tutte le persone a me care di cui non è necessario fare ogni singolo nome poiché già conoscono l'importanza da loro rivestita nella mia vita.

INDICE

PREFAZIONE	5
Capitolo 1: LEAN PRODUCTION: NASCITA, DIFFUSIONE E CARATTERISTICHE	
INTRODUTTIVE	9
1.1 - LE ORIGINI DELLA PRODUZIONE SNELLA	10
1.1.1 – LA PRODUZIONE ARTIGIANALE	11
1.1.2 – LA PRODUZIONE DI MASSA	12
1.1.3 – L’INNOVAZIONE DEL TOYOTA PRODUCTION SYSTEM	16
1.2 – LE LINEE GUIDA DEL LEAN THINKING	23
1.2.1 – IL CONCETTO DI VALORE	25
1.2.2 – L’IDENTIFICAZIONE DEL FLUSSO DI VALORE	26
1.2.3 – LA CAPACITA’ DI “FAR SCORRERE IL FLUSSO”	27
1.2.4 – PULL SYSTEM	32
1.2.5 – LA PERFEZIONE	34
Capitolo 2: ANALISI DELLA LETTERATURA E PRESENTAZIONE DEGLI OBIETTIVI	37
2.1 – LEAN BUNDLES: DEFINIZIONE E CONTENUTO	40
2.1.1 – LETTERATURA E LEAN BUNDLES	40
2.1.2 – JIT, TQM E HRM	42
2.2 – LEAN BUNDLES E PERFORMANCE: IPOTESI DI RICERCA	48
2.2.1 – JIT E PERFORMANCE	49
2.2.2 – HRM E PERFORMANCE	53
2.2.3 – TQM E PERFORMANCE	60
Capitolo 3: HIGH PERFORMANCE MANUFACTURING	67
3.1 – PIANO CAMPIONARIO E DESCRIZIONE DEL QUESTIONARIO	68
3.2 – ANALISI ESPLORATIVA	73
3.2.1 – ANALISI DEL CAMPIONE DI RISPONDENTI	73
3.2.2 – PRATICHE LEAN: DESCRIZIONE, STATISTICHE DESCRITTIVE E DISTRIBUZIONE	81
3.2.3 – PERFORMANCE: STATISTICHE DESCRITTIVE E DISTRIBUZIONE	91
3.3 – TRATTAZIONE DEI DATI MANCANTI	93
Capitolo 4: IL MODELLO DI MISURA	99
4.1 – PRIMA SELEZIONE DELLE PRATICHE SNELLE E DELLE PERFORMANCE	101
4.2 – ANALISI FATTORIALE E MODELLI DI MISURA	102
4.2.1 – SPECIFICAZIONE DEL MODELLO	105
4.2.2 – ANALISI FATTORIALE ESPLORATIVA	107
4.2.3 – ANALISI FATTORIALE CONFERMATIVA	110
4.2.4 – VALUTAZIONE DEL MODELLO	114
4.3 – SECONDO PASSO NELLA SELEZIONE DELLE TECNICHE LEAN	119
4.4 – CONVALIDA DEL MODELLO DI MISURA	131
Capitolo 5: LEAN BUNDLES E PERFORMANCE	143
5.1 – MODELLI DI EQUAZIONI STRUTTURALI	144
5.1.1 – HISTORICAL BACKGROUND	144
5.1.2 – FORMULAZIONE DEL MODELLO	147
5.1.3 – IDENTIFICAZIONE DEL MODELLO	151

5.1.4 – STIMA DEI PARAMETRI DEL MODELLO TRAMITE IL METODO DELLA MASSIMA VEROSIMIGLIANZA -----	154
5.1.5 - RELAZIONI CAUSALI -----	157
5.2 – STUDIO DELLE RELAZIONI DI CAUSALITA' TRA LEAN BUNDLES E PERFORMANCE	158
5.2.1 – FORMULAZIONE E STIMA DEL MODELLO-----	159
5.2.2 – VERIFICA DELLE IPOTESI DI RICERCA: IMPLICAZIONI MANAGERIALI -----	178
5.3 – APPROFONDIMENTI	185
5.3.1 – MATRICE DI VARIANZA-COVARIANZA E MATRICE DI CORRELAZIONE -----	185
5.3.2 – TRATTAZIONE DATI MANCANTI -----	187
5.3.3 – APPLICAZIONE A VARIABILI ORDINALI -----	190
 <i>Appendice A : ANALISI DEI MISSING VALUES IN RELAZIONE AGLI ITEM MISURANTI LE PERFORMANCE OPERATIVE DI STABILIMENTO -----</i>	<i>193</i>
 <i>Appendice B: MATRICE DELLE CORRELAZIONI DI SPEARMAN TRA PRATICHE SNELLE E PERFORMANCE OPERATIVE -----</i>	<i>195</i>
 <i>BIBLIOGRAFIA-----</i>	<i>197</i>

PREFAZIONE

Gli anni Cinquanta hanno visto nascere in Giappone un nuovo modo di gestire e concepire l'azienda stessa come risposta alle esigenze manifestate dal mercato, alla tensione creatasi con i sindacati e ai problemi macroeconomici del Paese. Questa nuova filosofia gestionale, denominata in seguito *lean thinking*, catturò l'attenzione degli studiosi a livello mondiale solamente a partire dai primi anni Settanta visto il successo ottenuto dalle case automobilistiche giapponesi. La spinta decisiva per la piena divulgazione dei metodi *lean* fu impressa da J. Womack, D. Jones e D. Ross con la pubblicazione di “*The Machine that Changed the World*” contenente una descrizione dei principi base della produzione snella (la cui culla è da identificarsi all'interno dell'azienda automobilistica Toyota) ed una descrizione dei vantaggi produttivi ad essa riconducibili. A partire da tale concettualizzazione iniziale numerosi studiosi e ricercatori hanno tentato di teorizzare gli aspetti collegati al grande universo del *lean thinking*, improntato originariamente su aspetti pratici. La letteratura che si è venuta a creare sull'argomento è molto vasta e di ampio respiro in quanto inerente a molteplici aspetti di tale filosofia gestionale, osservati da diversi punti di vista (operativo, manageriale, quantitativo, qualitativo, etc.). L'interesse primario di ciascuno di questi studi risiede nella comprensione del legame esistente tra l'implementazione delle diverse tecniche applicative collegate alla filosofia *lean* e i risultati aziendali. Un'analisi puntuale della relazione esistente tra ciascuna delle numerose pratiche adottate dalle imprese snelle e le performance ottenute risultava essere molto difficile, sia in termini di informazioni necessarie sia in termini di analisi quantitative vere e proprie. Ecco perché molti studiosi si sono interessati, anche in pubblicazioni recenti, allo studio degli effetti sulle performance aziendali di singoli gruppi di pratiche accomunati dall'area gestionale coinvolta (produzione piuttosto che manutenzione e gestione della qualità o risorse umane). Attraverso tali studi è stato possibile inoltre dimostrare come l'applicazione congiunta di più tecniche, appartenenti ad una stessa area gestionale, comportasse ritorni marginali superiori rispetto all'implementazione isolata di una sola delle pratiche in questione. Emerge quindi il concetto di relazione sinergica tra tecniche snelle. Negli ultimi anni l'attenzione si è spostata sull'analisi congiunta delle relazioni esistenti tra tecniche appartenenti a diverse aree gestionali e le performance stesse. Con l'articolo pubblicato nel 2003 da Shah e Ward si arriva alla definizione di *lean bundle* inteso come gruppo di pratiche distinte ma all'interno fortemente interrelate. Attraverso tali

costrutti, che coincidono con il concetto di fattore latente proprio del linguaggio dell'analisi fattoriale, è possibile ottenere una rappresentazione complessiva ma allo stesso tempo parsimoniosa della variegata realtà *lean*.

L'intera ricerca ha come obiettivo complessivo quello di rappresentare dapprima in modo parsimonioso la complessa realtà di un'impresa snella e, successivamente, di districare i legami esistenti tra diversi gruppi di pratiche e alcune performance operative aziendali. Gli strumenti statistici utilizzati rientrano nella grande classe dei modelli di equazioni strutturali ed in particolar modo fanno riferimento alle tecniche di analisi fattoriale esplorativa e confermativa ed all'applicazione di modelli di tipo ricorsivo con variabili latenti.

Il primo obiettivo della presente ricerca, preliminare alla verifica delle successive ipotesi, è di rappresentare in modo parsimonioso ma esaustivo la complessa realtà *lean* attraverso la costruzione dei cosiddetti *bundles*, come suggerito dalla letteratura più recente. L'applicazione congiunta di tecniche di analisi fattoriale esplorativa e confermativa ha portato alla definizione dei seguenti gruppi di pratiche (la denominazione è avvenuta in fase di interpretazione dei fattori convalidati):

JUST IN TIME	TOTAL QUALITY MANAGEMENT	HUMAN RESOURCE MANAGEMENT
Consegne JIT JIT con i fornitori <i>Kanban</i> Lotto unitario Layout dei macchinari Livellamento della produzione Riduzione dei tempi di set up	Macchinari proprietari <i>Poka Yoke</i> Controllo statistico di processo <i>Total Productive Maintenance</i>	Cooperazione dei dipendenti Formazione su più mansioni Gruppi di miglioramento Miglioramento continuo Riduzione dei livelli gerarchici Suggerimenti Uffici di produzione

Tabella 1: Specificazione delle tecniche incluse nei tre *lean bundles*.

La rappresentazione tramite costrutti evidenzia una prima importante caratteristica della produzione snella: essa infatti risulta essere composta da una serie di pratiche tra loro distinte ma fortemente interconnesse nel formare costrutti orientati al raggiungimento di particolari tipologie di performance. In alcuni casi però concetti generali di questo tipo (quali possono essere il JIT, il TQM e l'HRM) spesso vengono confusi ed identificati con

una singola pratica mentre è l'applicazione congiunta di tutte le tecniche presentate in ciascuna colonna della *Tabella 1* che permette il raggiungimento ed il mantenimento di un vantaggio competitivo.

A questo punto definite le performance di interesse (di tipo operativo) e convalidati i costrutti, è possibile passare alla discussione dei legami causali esistenti tra gli stessi. La prima ipotesi di ricerca fa riferimento al rapporto esistente tra il fattore JIT e le performance operative:

IPOTESI 1 : Il *bundle* denominato JIT ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

La specificazione finale del modello ha permesso di dimostrare come i dati sembrano supportare tale ipotesi. Un'azienda che quindi decide di implementare le tecniche incluse in questo *bundle* potrà ottenere, anche nel breve periodo, un miglioramento significativo di performance collegate al costo unitario dei prodotti, alla velocità di consegna, all'affidabilità, alla qualità e alla flessibilità ai cambiamenti di volume. Il miglioramento di performance di questo tipo è da collegarsi principalmente allo scorrere del flusso di prodotti e di informazioni garantito dall'implementazione di tali tecniche.

Le successive due ipotesi focalizzano la propria attenzione sul costrutto HRM:

IPOTESI 2^A : Il *bundle* denominato HRM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 2^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato HRM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* HRM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto TQM;
3. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

Il modello stimato permette di affermare che l'applicazione congiunta delle tecniche di gestione delle risorse umane porta ad un impatto positivo diretto sulle performance operative. In termini gestionali significa che se un'azienda decide di adottare una gestione delle risorse umane, secondo un'ottica *lean*, essa vedrà migliorare le proprie performance operative. I dati evidenziano, inoltre, l'esistenza di un forte legame indiretto tra i due costrutti, mediato sia dal fattore TQM che da JIT. Questi risultati confermano il ruolo

centrale del *bundle* HRM come prerequisito per l'implementazione della *lean production*: tale costruito rappresenta la base sulla quale andare a costruire le rimanenti tecniche.

Il quadro dei legami esistenti tra i diversi costrutti è poi completato tramite le ultime due ipotesi di ricerca:

IPOTESI 3^A : Il *bundle* denominato TQM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 3^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato TQM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* TQM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* TQM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costruito JIT.

I dati in questo caso non sembrano supportare completamente le ipotesi di ricerca tratte dalle letteratura esistente. Il costruito TQM, come del resto anche alcuni autori sostengono, sembra non avere un impatto complessivo sulle performance operative aziendali. Questa non significatività deriva in realtà da una bassa forza sia del legame diretto tra TQM e performance operative, sia del legame indiretto mediato dal fattore JIT. Seguendo quanto indicato dai dati si ha quindi che l'applicazione di tecniche per la prevenzione degli errori e per la manutenzione dei macchinari non sembra né portare ad un miglioramento diretto delle performance operative né impattare sulle stesse attraverso il legame causale significativo tra i *bundles* TQM e JIT. In realtà alcuni autori definiscono in modo più complesso la relazione esistente tra TQM, JIT e performance. Essi focalizzano la loro attenzione non tanto sugli effetti di mediazione, oggetto di studio della presente ricerca, quanto piuttosto sugli effetti di complementarità. L'ipotesi di complementarità tra i due costrutti implica che l'applicazione delle tecniche inerenti il fattore TQM tende a rafforzare il legame esistente tra il costruito JIT e le performance operative, senza che necessariamente esistano dei legami di causazione tra i due *bundles*. Tutte le ipotesi di ricerca sinora discusse evidenziano un altro importante aspetto della *lean production* spesso citato in letteratura: le pratiche snelle, oltre ad essere collegate tra esse all'interno di costrutti di ordine superiore, permettono il raggiungimento e il mantenimento di un vantaggio competitivo grazie alla sinergia esistente tra le stesse. Le aziende che intendono quindi applicare a fondo le logiche del pensare snello devono implementare congiuntamente le tecniche *lean* appartenenti a diversi *bundles* così da poterne sfruttare le complementarità e gli effetti sinergici.

CAPITOLO 1

LEAN PRODUCTION: NASCITA, DIFFUSIONE E CARATTERISTICHE INTRODUTTIVE

Lean Production, ovvero “produzione snella”, è sempre più un concetto, una filosofia, un modo di pensare e di agire che si sta radicando nelle realtà aziendali mondiali tanto da divenire logica operativa e riferimento di qualsiasi strategia di miglioramento. Il termine *Lean Production* è stato coniato da James P. Womack, Daniel T. Jones e Daniel Ross all’interno di “*La macchina che ha cambiato il mondo*”, un volume pubblicato nei primi anni Novanta facente riferimento al programma di ricerca promosso, durante gli anni immediatamente precedenti, dal Massachusetts Institute of Technology sull’industria automobilistica. Questa ricerca, ponendo a confronto il modo di funzionare delle imprese occidentali con quelle giapponesi, mise in luce come i principi e i criteri della produzione di massa di stampo *fordista* erano oramai ampiamente superati da altri principi e criteri volti costantemente all’aumento della flessibilità, alla qualità, al miglioramento continuo e alla riduzione di tempi e costi attraverso strutture organizzative agili, una partecipazione attiva e intelligente del personale al processo produttivo e ad un uso delle tecnologie meglio integrato con le risorse umane. La nascita del cosiddetto “pensiero snello” è da individuarsi in Giappone nei primi anni Cinquanta. In realtà la vera culla di tale filosofia e metodologia gestionale è stata una particolare azienda giapponese operante nel settore automobilistico: Toyota. L’attenzione di studiosi e manager fu catturata dalla capacità di penetrazione dell’industria automobilistica giapponese, a cominciare dai primi anni Settanta, nei mercati precedentemente controllati dall’industria automobilistica americana ed europea, non soltanto nei mercati di interesse secondario e nei segmenti di vetture utilitarie ma anche nel fondamentale mercato nordamericano e nelle fasce di vetture di alta gamma. Il lavoro di ricerca condotto dai tre autori, terminato con la stesura del libro sopra citato, ha in realtà posto fine ad una lunga discussione che aveva contrapposto i sostenitori delle metodologie occidentali a chi invece rivendicava l’originalità e il rilievo delle applicazioni gestionali giapponesi (in particolar modo quelle attuate dalla casa automobilistica Toyota). All’inizio le tesi prevalenti in Occidente facevano riferimento alle

diversità socio-economiche del Giappone: la strutturale sottovalutazione della moneta giapponese rispetto al dollaro che agevolava l'esportazione; la forte identificazione del lavoratore giapponese con la propria azienda; il tradizionale rispetto per la gerarchia aziendale; la bassa conflittualità sindacale. A questi aspetti andavano a sommarsi osservazioni sul particolare assetto industriale giapponese dove si registrava una bassa integrazione verticale delle singole imprese, che però disponevano di forti e ramificate connessioni finanziarie all'interno di grandi agglomerati industriali. Per contro altri studiosi, senza negare gli aspetti sopra citati, sostenevano che il modo di produrre giapponese, e della Toyota in particolare, aveva delle importanti e originali valenze di efficienza. Tutti gli anni Ottanta furono caratterizzati dal confronto di tesi fra chi cercava di analizzare e diffondere gli elementi di novità del modello industriale giapponese (spesso indicato come *toyotismo* oppure *ohnismo*, da Taiichi Ohno, il dirigente aziendale cui va il merito di avere iniziato il processo di revisione delle metodologie organizzative e di produzione). Alla fine fu proprio la pubblicazione di "*La macchina che ha cambiato il mondo*" che portò al giudizio definitivo in favore dell'importanza e originalità del *Toyota Production System* e alla consapevolezza dell'esigenza di realizzare un profondo processo di "imitazione" delle prassi messe a punto dalla casa giapponese.

1.1 - LE ORIGINI DELLA PRODUZIONE SNELLA

La *lean production* è un processo produttivo che, paragonato alla produzione di massa tipica dell'industria occidentale, usa "meno di tutto", e cioè meno lavoro umano, meno tempo per sviluppare nuovi prodotti, minori stock, minore superficie di stabilimento. In questo modo non ci si limita ad abbattere i costi, [...] ma si ottiene contemporaneamente un prodotto migliore, in quanto i difetti qualitativi che caratterizzano la produzione di massa si riducono di due terzi (tratto da J. P. Womack, D. T. Jones e D. Ross, "*La macchina che ha cambiato il mondo*", Biblioteca Universale Rizzoli, Milano 1993).

Che cosa permette di definire la *lean production* come un sistema e un pensiero manageriale nuovo e innovativo rispetto alla consolidata produzione di massa o alla più tradizionale produzione artigianale? La produzione di tipo artigianale era caratterizzata dall'elevato fabbisogno di manodopera di alta professionalità, da un capitale fisico tecnicamente semplice ma utilizzabile in modo flessibile, da una produzione a costi molto

elevati e su diretta richiesta dal cliente. Per contro, nella produzione di massa, la professionalità dei lavoratori è scarsa mentre la dotazione di capitale fisico di buon livello tecnologico è alta (perdita della flessibilità artigianale). Inoltre la produzione segue una logica *push*, ovvero è l'azienda stessa che spinge sul mercato i propri prodotti, senza attendere che i consumatori ne richiedano la disponibilità. La produzione snella può quindi essere vista come la sintesi degli aspetti positivi dei due approcci: qualità artigianale e bassi costi della produzione di massa. A questo punto è opportuno approfondire maggiormente la nascita della produzione snella, esplicitando le forze che hanno spinto verso questo cambiamento di prospettiva e mentalità, e verso l'evoluzione dello stesso. Per capire cosa ha spinto la nascita di questa nuova teoria di produzione è necessario effettuare una breve premessa esplicativa per tracciare le linee fondamentali di altre due modalità di produzione: la produzione artigianale e la produzione di massa.

1.1.1 – LA PRODUZIONE ARTIGIANALE

Le origini dell'industria nel 1880 videro come prima metodologia produttiva l'artigianato, che vedeva le seguenti caratteristiche di base come proprie fondamentali:

- Una forza lavoro altamente specializzata in progettazione, lavorazioni meccaniche e montaggio. La maggior parte dei lavoratori, dopo un primo periodo di apprendistato, arrivava a possedere un bagaglio completo di abilità manuali. Molti di loro potevano, inoltre, sperare di gestire un'officina meccanica in proprio, diventando appaltatori delle aziende finali.
- Le strutture erano fortemente decentrate anche se ubicate nella stessa città in quanto quasi tutti i componenti, e anche gran parte della progettazione del veicolo, provenivano da piccole officine meccaniche. L'intero sistema era coordinato da un imprenditore in contatto con tutte le parti interessate.
- Le macchine utensili utilizzate erano generiche.
- La produzione era molto ridotta ed inoltre i prodotti non erano mai esattamente uguali l'uno all'altro poiché le tecniche artigianali producevano implicitamente delle variazioni.
- L'attenzione era posta sulle prestazioni dei prodotti forniti ai clienti e sulla maestria dei lavoratori.

Gli inconvenienti di tale sistema di produzione fanno riferimento al fatto che i costi unitari di produzione erano elevati e non diminuivano con l'aumentare della produzione, il che significava che soltanto i ricchi potevano permettersi certi prodotti come le automobili. Inoltre difficilmente si testavano i prodotti finiti, così che l'affidabilità e la qualità non erano garantite. Un ultimo inconveniente deriva dal fatto che il metodo artigianale non spingeva sull'innovazione tecnologica.

1.1.2 – LA PRODUZIONE DI MASSA

Nel settore automobilistico i limiti sopra descritti del modello artigianale erano molto evidenti, e nei primi anni del '900 oramai l'industria era diventata terreno fertile per nuove idee. Ecco allora che nel 1908 venne immesso nel mercato il modello *T* di Ford che segnò una nuova rivoluzione non solo nel settore automobilistico ma anche per l'intera industria. Il concetto chiave della produzione di massa è l'intercambiabilità dei pezzi e la semplicità d'incastro. Per ottenere l'intercambiabilità, Ford spinse molto sull'implementazione di un sistema di calibratura unico per ogni pezzo nel corso dell'intero processo produttivo così da ridurre i costi di montaggio. In quegli anni, inoltre, ci fu la possibilità di sfruttare l'avanzamento tecnologico delle macchine utensili, capaci ora di lavorare metalli pretemprati. In questo modo si andò ad evitare la deformazione dei componenti in fase di tempratura e la successiva, necessaria, rilavorazione degli stessi prima di procedere con la fase di assemblaggio. Congiuntamente queste due nuove tecnologie per la costruzione della componentistica comportarono una notevole semplificazione della fase di assemblaggio e questo diede a Ford un forte vantaggio sulla concorrenza. I primi sforzi di Ford implicarono la predisposizione di un banco di montaggio su cui veniva costruita un'intera auto, spesso da un unico montatore. La prima tecnica adottata per aumentare l'efficienza del processo fu di consegnare i pezzi ad ogni stazione di lavoro cosicché i montatori potessero stare fermi nello stesso posto per tutto il giorno. Nel 1908, raggiunta la perfetta intercambiabilità dei pezzi, Ford decise di assegnare al montatore un'unica mansione e di farlo muovere da vettura a vettura nel reparto assemblaggio. Questa nuova pratica di predisposizione del reparto portò ad una notevole riduzione del tempo ciclo di un montatore medio: da 5.14 a 2.3 minuti. Questo comportò una forte spinta all'aumento della produttività, in parte perché i montatori divenivano sempre più esperti nelle proprie mansioni e in parte perché i pezzi ora combaciavano perfettamente e non dovevano più essere adattati prima dell'assemblaggio. Ford si rese poi subito conto del problema che

comportava lo spostamento degli operai da una postazione all'altra in fatto di tempo e possibili ingorghi. Nel 1913 egli introdusse quindi nello stabilimento di *Highland Park* di Detroit la linea di montaggio in movimento che faceva passare l'automobile davanti agli operai fermi. Tale innovazione comportò un'ulteriore riduzione del tempo ciclo, che raggiunse gli 1.19 minuti. La cosa ancora più interessante fu che l'introduzione della linea di montaggio in movimento aveva ridotto la quantità di lavoro necessaria per assemblare un'automobile ed, inoltre, maggiore era il numero di veicoli prodotti da Ford, minore era il costo unitario. Per accattivarsi la fascia media di mercato, Ford aveva progettato l'auto puntando su una facilità di utilizzo e manutenzione senza precedenti, in quanto l'idea alla base era che il consumatore fosse un contadino con pochi attrezzi e con le conoscenze di meccanica consone alla riparazione di macchinari agricoli. Questa combinazione di vantaggi catapultò Ford in testa all'industria automobilistica mondiale ed eliminò dalla piazza le aziende artigianali incapaci di raggiungere la stessa efficienza. La produzione di massa di Henry Ford fu il motore dell'industria automobilistica per oltre mezzo secolo, adottata alla fine in quasi tutti i settori industriali americani ed europei.

Egli negli anni successivi perfezionò il sistema tanto da arrivare all'intercambiabilità non soltanto dei componenti ma anche della forza lavoro. Tale traguardo fu raggiunto attraverso l'attenzione estrema dedicata alla divisione del lavoro: il montatore della linea di assemblaggio doveva compiere durante l'intera giornata lavorativa un unico compito e ad esso non era chiesto di capire cosa dovessero fare gli altri operai o di partecipare alla risoluzione di problemi emersi nella linea al di fuori della propria postazione. Con questa forte suddivisione del lavoro all'operaio bastavano pochi minuti di addestramento ed inoltre egli era tenuto costantemente sotto tensione dalla velocità della linea, che incalzava i lavoratori lenti e rallentava quelli veloci. Date le condizioni di lavoro appena descritte, Ford aveva previsto che i lavoratori non sarebbero stati molto propensi a fornire volontariamente informazioni sulle condizioni operative e tantomeno suggerimenti per il miglioramento. In aggiunta ai montatori nacquero quindi delle nuove figure professionali specializzate nel lavoro indiretto: il riparatore, l'ispettore della qualità, l'addetto alle pulizie, il tecnico del lavoro, etc. Tale scomposizione del lavoro non era presente soltanto nelle fabbriche ma anche nel reparto progettazione, dove ciascun tecnico si specializzava nella progettazione di un particolare componente o particolare fase dell'assemblaggio. In questo nuovo sistema gli operai non avevano prospettive di carriera, eccetto forse quella di caporeparto.

La logica *fordista* della linea di assemblaggio continua andava ben oltre i confini dello stabilimento, per allargarsi anche nelle fasi a monte e a valle. Seguendo tale direzione, nel 1915, Ford riuscì ad internalizzare gran parte della produzione di componentistica, seguendo l'obiettivo finale di una completa integrazione verticale (ossia fabbricare internamente tutto ciò che è inerente alle automobili, a partire dalle materie prime). L'obiettivo venne pienamente raggiunto nel 1931 con l'apertura dello stabilimento *Rouge* a Detroit. Il motivo principale di tale ricerca, oltre al risparmio sui costi dovuto al fatto che i fornitori ancora non usavano le tecniche descritte e ad una sostanziale diffidenza insita in Ford stesso, risiedeva nella possibilità di ottenere pezzi con tolleranze più ridotte e termini di consegna più ravvicinati.

A questo punto Ford iniziò ad allargare i confini geografici colpiti dal proprio modello *T* dapprima attraverso l'esportazione e, successivamente, tramite la creazione di impianti produttivi in diversi Stati europei per ovviare alle problematiche legate all'esportazione stessa (barriere all'entrata, imposte sui prezzi in aumento, problematiche socio-politiche, gusti e richieste diverse da parte dei consumatori residenti in diversi Stati, etc.).

La chiave dell'economicità di tale sistema produttivo risiedeva nelle macchine utensili in grado di effettuare il lavoro in quantità elevate a basso, o nessun, costo di messa a punto tra un pezzo e l'altro. Ford, infatti, ridusse in modo considerevole il tempo di messa a punto costruendo dei macchinari che eseguivano una sola operazione, corredati da semplici maschere e attrezzi per tenere fermo il pezzo da lavorare. Ciò significava che le macchine potevano essere caricate e scaricate da un lavoratore con cinque minuti di addestramento. Inoltre, poiché Ford produceva un solo articolo, tali macchine potevano essere disposte in successione così che ogni stadio del processo portasse immediatamente a quello successivo. L'unico difetto di questo sistema era la mancanza di flessibilità in quanto la modifica di queste macchine richiedeva molto tempo e denaro.

Anche se il modello *T* era disponibile in diverse varianti (spider, berlina, etc.), il telaio che includeva la totalità dei pezzi meccanici era sempre il medesimo. Il successo del modello *T* risiedeva, in prima battuta, nel prezzo basso che non smetteva di scendere. Alcune riduzioni si collegavano alle variazioni dei prezzi generali al consumo, ma soprattutto erano dovute ai crescenti quantitativi prodotti che favorivano un abbattimento dei costi unitari di produzione, che a loro volta implicavano un aumento della produzione. Raramente in questi stabilimenti si controllavano le automobili finite, ovvero nessuno accendeva il motore dell'automobile prima dell'assemblaggio e il modello *T* non fu mai provato su strada.

Alla fine Ford tentò di produrre in serie tutto quanto, dagli alimentari (con uno stabilimento di estrazione dell'olio di soia) al trasporto aereo (con Ford TriMotor). Ford pensava che così facendo avrebbe potuto ridurre sensibilmente il costo dei prodotti e arricchire le masse. Alla fine però tutte queste iniziative fallirono in parte per la mancata sinergia tra industrie e in parte perché lo stesso Ford non aveva nessuna idea di come organizzare un'industria globale di quel tipo se non centralizzando su di esso tutta l'attività decisionale.

Il sistema complesso cui è associato il termine di produzione di massa è stato poi completato da Alfred Sloan, che nei primi anni Venti divenne direttore generale della General Motors. Innanzitutto egli per risolvere la questione manageriale (emersa anche nell'azienda di Ford) creò divisioni centralizzate amministrare da una piccola sede centrale. Inoltre sviluppò fonti costanti di finanziamento disponibili in caso di necessità, grazie ai suoi legami con alcuni istituti bancari, e applicò la sua teoria della gestione decentralizzata nell'amministrazione delle consociate. Egli riuscì inoltre a superare il conflitto tra esigenza di standardizzazione e necessità di una diversità di modelli per soddisfare la domanda: i pezzi meccanici dell'intera produzione erano fortemente standardizzati e prodotti per molti anni con macchinari dedicati, ma, allo stesso tempo, tutti gli anni l'esterno dell'automobile veniva modificato e vennero introdotti molti accessori supplementari quali il cambio automatico, l'aria condizionata e la radio.

Nonostante questi nuovi accorgimenti, la situazione all'interno degli stabilimenti di produzione di massa non era tra le più rosee, soprattutto in relazione alla crescente consapevolezza della propria condizione da parte dei lavoratori (con la nascita dei primi sindacati) cui andava a sommarsi la ciclicità del mercato automobilistico che comportava la necessità di licenziare frequentemente alcuni dipendenti.

La produzione di massa a questo punto iniziò ad espandersi, tanto che negli anni Venti e Trenta la Volkswagen e la Fiat intrapresero ambiziosi progetti di adeguamento alla nuova modalità di produzione, ma ben presto lo scoppio della seconda guerra mondiale interruppe la produzione civile. Così fu soltanto negli anni Cinquanta che questa tecnologia si diffuse oltre i confini americani. Le fabbriche europee si specializzarono in prodotti differenti rispetto agli standard offerti dagli statunitensi, e questo, unitamente ad un livello salariale più basso, contribuì ad aprire i mercati mondiali ai produttori europei che ottennero un successo dopo l'altro fino agli anni Settanta. Gli europei negli ultimi anni di successo inserirono numerose migliorie tecniche (tra le quali i freni a disco e il cambio a cinque velocità) mentre gli americani erano leader in fatto di confort. Anche negli stabilimenti

europei iniziarono comunque a sorgere problemi collegati alle condizioni di lavoro che vennero temporaneamente tamponati tramite aumenti salariali e abbattimento delle ore lavorative. Tale situazione stagnante della produzione di massa, tanto in Europa quanto negli Stati Uniti, avrebbe potuto continuare indistintamente se in Giappone non fosse emersa una nuova industria automobilistica con lo sviluppo di un modo del tutto nuovo di produrre: la produzione snella.

1.1.3 – L'INNOVAZIONE DEL TOYOTA PRODUCTION SYSTEM

Il passaggio al nuovo sistema produttivo avvenne all'interno dell'industria automobilistica giapponese Toyota, fondata nel 1937 dalla famiglia Toyoda. La famiglia fondatrice si era già distinta nella costruzione di macchine tessili negli ultimi anni del diciannovesimo secolo e alla fine degli anni Trenta, sotto le pressioni del governo, la società era entrata nel settore automobilistico, specializzandosi in autocarri militari. Poco dopo l'inserimento nel nuovo settore era scoppiato il conflitto mondiale e la produzione di automobili era cessata. Nel dopoguerra la Toyota aveva deciso di intraprendere la produzione completa di vetture commerciali ma si era trovata di fronte ad alcuni ostacoli tra cui le caratteristiche del mercato interno (molto limitato ma la cui domanda abbracciava un'ampia gamma di veicoli) e la consapevolezza dei lavoratori indigeni di non volere più essere trattati come pezzi intercambiabili. Per lo più le nuove leggi sindacali americane avevano rafforzato in modo considerevole la posizione degli operai nelle trattative per ottenere condizioni di lavoro migliori. A questi aspetti si sommava il fatto che l'economia giapponese nel dopoguerra soffriva per la mancanza di capitali e questo comportava la mancata possibilità di acquistare le più recenti tecnologie occidentali. Non bisogna inoltre dimenticare come i grandi colossi occidentali fossero smaniosi di insediarsi in Giappone e come, contemporaneamente, proteggessero i propri mercati dalle importazioni. Quest'ultima difficoltà comportò una reazione del Governo giapponese che emanò il divieto di investimenti esteri diretti nell'industria automobilistica nazionale e creò barriere protezionistiche con alte tariffe sull'importazione. Il Governo propose poi la fusione di molte aziende locali per formare due o tre grandi case costruttrici, specializzate in automobili di dimensione diversa, in modo da combattere le "Tre Grandi" occidentali senza scontrarsi in modo diretto le une con le altre sul mercato nazionale ed internazionale. La Toyota, la Nissan ed altre fabbriche sfidarono invece il ministero e si misero a produrre

gamme complete di automobili con una varietà di modelli diversi. A questo punto emerse un nuovo problema: le attrezzature della produzione di massa, indagate da Eiji Toyoda nel suo pellegrinaggio presso lo stabilimento *Rouge* di Detroit, non erano adatte al contesto giapponese, così come non lo erano i metodi. Le tecniche artigianali potevano essere un'alternativa, ma non sembravano appropriate se si voleva affacciare un mercato di massa. Taiichi Ohno capì quindi che era necessario un diverso approccio, e lo trovò.

La vera forza che scatenò la necessità di un cambiamento fu la profonda crisi che dovette affrontare l'azienda all'inizio del 1950. Negli ultimi anni Toyota aveva già iniziato a sperimentare nuove logiche produttive quali il *just in time* e la riduzione dei tempi di *set up* (anche se fu soltanto nel 1953, anno in cui Taiichi Ohno fu promosso direttore generale per i motori, le trasmissioni e l'assemblaggio, che tutte le sue intuizioni furono ben amalgamate tra di loro e trasferite dal reparto motori alla linea di assemblaggio finale). La reazione a tale cambiamento non fu delle migliori da parte dei lavoratori e dei dirigenti che si mostrarono alquanto scettici al nuovo approccio. La situazione peggiorò nei primi anni Cinquanta quando, a causa di problemi macroeconomici del paese, la Toyota capì che la propria attività nascente era in profonda crisi e stava rapidamente esaurendo i prestiti delle banche. L'allora presidente Kiichiro Toyoda propose come soluzione il licenziamento di un quarto dell'organico. A questo punto l'azienda si ritrovò al centro di una rivolta che portò all'occupazione della fabbrica. I sindacati, infatti, iniziarono ad avere sempre maggior potere tanto da essere i detentori di un forte potere contrattuale. Dopo lunghe trattative, l'azienda e il sindacato trovarono un compromesso, che rimane ancora oggi in uso nel settore automobilistico giapponese. In particolare un quarto della forza lavoro fu licenziato com'era stato inizialmente proposto, ma Kiichiro Toyoda dovette dare le dimissioni da presidente assumendosi le responsabilità del fallimento dell'azienda. Inoltre i dipendenti rimasti ricevettero due garanzie: la prima fu il posto di lavoro a vita, la seconda fu una retribuzione con lauti scatti basata sull'anzianità e vincolata alla redditività aziendale tramite premi alla produzione. Essi divennero quindi membri della comunità Toyota, con una serie di diritti inclusi la garanzia del posto di lavoro a vita e l'accesso alle strutture aziendali (alloggi, stabilimenti ricreativi, etc.). In cambio l'azienda si aspettava che la sua forza lavoro restasse a lavorare alla Toyota per tutta la vita e chiedeva ai dipendenti di essere flessibili all'assegnazione dei compiti e attivi nella promozione degli interessi dell'impresa, favorendone il miglioramento invece di limitarsi a risolvere i problemi. A questo punto la forza lavoro era diventata un costo fisso che non poteva però essere ammortizzato, anzi esso diventava sempre più gravoso lungo gli anni a causa degli

aumenti di anzianità. Questi accadimenti portarono ad una svolta decisiva nella concezione dei lavoratori da parte dell'azienda: essi non erano più visti come parti intercambiabili, ma quello che si cercava di fare era accrescere le loro capacità ed approfittare della loro esperienza e competenza oltre che della loro forza fisica.

Il primo problema che sorgeva nell'applicazione dell'approccio *fordista* era la scala minima richiesta per l'economia delle varie operazioni. Le massicce e costose linee di stampaggio occidentali, ad esempio, erano progettate per produrre più di un milione di pezzi di un singolo articolo l'anno, mentre agli inizi l'intera produzione annua della Toyota arrivava a poche migliaia di veicoli. Si poteva pensare di alternare vari stampi e configurazioni di macchinari per produrre pezzi diversi, ma ciò comportava notevoli difficoltà (difficoltà della riconfigurazione, lunghi tempi di settaggio, gravi problemi se ciò non veniva effettuato nel migliore dei modi). Una seconda soluzione era di dedicare una serie di macchinari alla produzione di un unico pezzo in modo continuativo per diversi mesi, o anni, senza cambiare gli stampi. Anche questa soluzione non era soddisfacente in quanto il budget di Ohno imponeva l'utilizzo di un limitato numero di macchinari. Pensò quindi di sviluppare procedure semplificate per il cambio degli stampi e di effettuare l'operazione frequentemente servendosi di rulli per spostare e riposizionare gli stampi e di semplici meccanismi di regolazione. Verso la fine degli anni Cinquanta egli aveva ridotto notevolmente il tempo necessario per cambiare gli stampi ed aveva eliminato l'esigenza di possedere operatori specializzati. Inoltre capì che il costo unitario dello stampaggio (funzione che per prima vide l'inserimento di tecniche per la riduzione dei tempi di *set up*) di piccoli lotti era inferiore a quello relativo a grandi partite. Tale considerazione derivava da due fattori: in primis la produzione di quantitativi limitati eliminava le spese di immobilizzo degli immensi stock di pezzi finiti, ed inoltre producendo lotti piccoli era facile individuare quasi istantaneamente gli errori nelle componenti prima dell'assemblaggio. I lavoratori delle varie fasi erano quindi più consapevoli del fattore qualità e si vennero ad eliminare gli sprechi di numerosi pezzi difettosi (riparazione ad alti costi o scarto). Per far sì però che il sistema funzionasse Ohno doveva disporre di una forza lavoro molto qualificata e altamente motivata.

Dopo la visita allo stabilimento di *Detroit*, Ohno si convinse, inoltre, che la linea di montaggio tipica della produzione di massa fosse carica di *muda*, ovvero di sprechi in termini di tempo, fatica e materiali. Inoltre egli riteneva che tutti gli esperti che ruotavano attorno alla linea di fatto non contribuissero al plusvalore dell'automobile, ed inoltre era convinto che ciascun montatore sarebbe stato capace di compiere le stesse mansioni degli

esperti, forse anche in termini migliori. Di ritorno dalla visita negli Stati Uniti, Ohno iniziò ad effettuare alcuni esperimenti. Dapprima raggruppò gli operai in squadre con un caposquadra al posto del caporeparto. Alla squadra fu quindi affidata una parte della linea di assemblaggio, spiegando loro che avrebbero dovuto collaborare assieme per trovare il modo di eseguire al meglio le necessarie operazioni. In una fase successiva, alla squadra venne affidato il compito anche di pulire l'area di lavoro, di effettuare riparazioni minori agli utensili e di controllare la qualità. Infine, quando il lavoro delle squadre iniziò a funzionare regolarmente, chiese loro di dedicare un po' di tempo a suggerimenti collettivi su come migliorare il sistema. Questo processo di miglioramento continuo, *kaizen* in giapponese, fu attuato in collaborazione con i tecnici del lavoro, che continuavano ad esistere seppur in numero minore rispetto alle aziende occidentali.

Ohno riteneva inoltre che la pratica della produzione di massa di ignorare i difetti per mantenere la linea in movimento favorisse il moltiplicarsi degli errori all'infinito, oltre al fatto che un errore iniziale (un pezzo difettoso o un assemblaggio scorretto) procedendo nella linea veniva ad ampliarsi. Una volta che il pezzo difettoso fosse stato inserito all'interno di un veicolo complesso, la riparazione dello stesso poteva richiedere molto tempo e lavoro. Per risolvere tali inconvenienti egli sistemò un interruttore sopra ogni posto di lavoro e istruì gli operai affinché fermassero l'intera linea non appena fosse insorto un problema che non riuscivano a sistemare. In questo modo l'intera squadra poteva intervenire per risolvere il problema stesso. Agli operai addetti alla lavorazione si insegnò inoltre a rintracciare sistematicamente la causa ultima dell'errore e a trovare la soluzione in modo che non accadesse una seconda volta. Anche se all'inizio la linea di montaggio continuava a fermarsi, tuttavia con la pratica il numero di errori cominciò a diminuire sensibilmente e già negli anni Novanta si raggiunse un rendimento per operaio quasi pari al 100%. Non appena tale sistema trovò il ritmo giusto la quantità di ritocchi necessari prima della spedizione diminuì in modo costante. Anche la stessa qualità delle automobili che uscivano dallo stabilimento continuò a crescere.

La funzione assemblaggio rappresentava però soltanto il 15% circa dell'intero processo di fabbricazione dell'automobile, la restante parte includeva la progettazione e la costruzione di oltre 10000 pezzi distinti e il relativo assemblaggio in circa 100 componenti principali quali motori, sedili, sterzi e così via. Come visto precedentemente, la produzione di massa gestiva tale problematica attraverso l'integrazione verticale, parziale o globale, delle attività legate alla componentistica. Ohno capì invece che la vera questione non era tanto legata al dilemma "*make or buy*" tipico della produzione di massa, quanto piuttosto alle

modalità attraverso le quali l'assemblatore e i fornitori potessero collaborare per ridurre i costi e migliorare la qualità. Il sistema di approvvigionamento tipico della produzione di massa presentava, infatti, alcune importanti problematiche: innanzitutto i fornitori, che lavoravano su disegno, avevano scarse opportunità e pochi incentivi per suggerire miglioramenti nella progettazione e produzione dei loro prodotti; al tempo stesso i fornitori che offrivano propri modelli standardizzati non conoscevano alcuna informazione sul resto della vettura e quindi non erano in grado di consentire l'ottimizzazione all'impresa assemblatrice; mettere i fornitori uno contro l'altro alla ricerca del costo migliore bloccava il flusso orizzontale di informazioni tra di essi, soprattutto quelle riguardanti i progressi nelle tecniche di fabbricazione e la qualità. Per rispondere a questi inconvenienti e per far fronte ad un'impennata nella domanda verificatasi negli anni Cinquanta (dovuta allo scoppio della guerra in Corea), la Toyota adottò un nuovo approccio alla fornitura di componenti. Il primo passo fu l'organizzazione dei fornitori in fasce funzionali, dove i fornitori della prima fascia divennero parte integrante del team di sviluppo di un nuovo prodotto mentre i fornitori di seconda fascia fornivano i fornitori di prima senza interagire direttamente con l'azienda assemblatrice, e così via. La Toyota inoltre incoraggiava i fornitori di prima fascia a comunicare fra loro sulle possibilità di migliorare il processo di progettazione. Dal momento che, nella maggior parte dei casi, ogni fornitore si specializzava in un tipo di componente e non si trovava in concorrenza con gli altri fornitori della fascia, il fatto di comunicare fra loro non causava problematiche ed era proficuo per tutte le parti coinvolte. Toyota quindi iniziò a gestire l'approvvigionamento da un lato attraverso ditte fornitrici semi-indipendenti della prima fascia, di cui deteneva un pacchetto di azioni, dall'altro sviluppando analoghi rapporti con fornitori del tutto indipendenti. Con il tempo, i fornitori della prima fascia della Toyota si scambiarono gran parte dei restanti pacchetti azionari. Infine la Toyota decise di condividere con i suoi fornitori anche il personale: prestava loro un certo numero di dipendenti in caso di aumenti improvvisi del lavoro e trasferiva i dirigenti più anziani in posti importanti nelle imprese fornitrici. Di conseguenza i fornitori di Toyota erano società indipendenti con economie distinte, tanto da lavorare anche per altri produttori di auto e aziende in settori industriali diversi, ma allo stesso tempo essi condividevano il loro destino con quello di Toyota. Infine, Ohno sviluppò un nuovo modo di coordinare il flusso giornaliero dei pezzi all'interno del sistema di approvvigionamento, il cosiddetto *kanban*. L'idea fu di convertire un vasto gruppo di fornitori in un unico grande sistema, imponendo che i pezzi fossero prodotti nella fase appena precedente nel momento esatto in cui era inoltrata la richiesta

degli stessi. Alcuni container trasportavano i pezzi al momento giusto e quando un container si svuotava veniva rimandato indietro: tale procedura divenne il segnale automatico per dare il via alla fabbricazione di altri pezzi. Questa semplice idea era però difficile da mettere in pratica in quanto eliminava il bisogno di magazzini e al tempo stesso rischiava di bloccare l'intero sistema qualora si fosse verificato un inceppamento in un singolo anello della catena. In questo modo però era possibile far sì che ogni membro prestasse la sua attenzione all'anticipazione dei problemi prima che potessero divenire abbastanza gravi da compromettere tutto.

Anche il processo di progettazione subì notevoli modifiche rispetto a quanto previsto dall'approccio della produzione di massa. La progettazione avveniva all'interno di squadre con a capo un leader forte che riuniva in sé tutte le relative competenze. Inoltre la carriera era strutturata in modo da premiare chi lavorava meglio in gruppo più che quelli che dimostravano talento in una singola area della progettazione slegata però dal contesto della squadra.

Negli anni Sessanta, nei paesi industriali, vetture e camion iniziarono a diventare sempre più di uso comune. Questo comportò una sempre maggiore richiesta di prodotti diversificati e una sostanziale ricerca dell'affidabilità. Poiché il sistema adottato da Toyota permetteva di consegnare veicoli con affidabilità superiore, ben presto l'azienda non fu più costretta a mantenere i prezzi in linea con quelli dei concorrenti a produzione di massa. Oltretutto il sistema di produzione snella e la riduzione dei costi di progettazione permettevano alla società, con un modesto incremento dei costi, la varietà di prodotti che i consumatori desideravano. Tuttavia tutta la varietà resa disponibile dalla produzione snella sarebbe stata inutile se il costruttore non fosse stato in grado di produrre ciò che voleva il cliente. La *Toyota Motor Sales Company* istituì una rete di distributori, alcuni di proprietà dell'azienda e altri di cui possedeva una piccola quota azionaria, che cercavano di sviluppare un rapporto a lungo termine tra produttore, concessionario e compratore inserendo il concessionario nel sistema di produzione e il consumatore nel sistema di sviluppo dei prodotti. Il concessionario era, infatti, il primo stadio del sistema *kanban*, il cui compito era di spedire alla fabbrica gli ordini di automobili già vendute per la consegna al cliente entro due o tre settimane. Il sistema di produzione di Ohno non era però in grado di rispondere a impennate o crolli della domanda globale o a spostamenti bruschi tra prodotti che non potevano esser costruiti con gli stessi macchinari. Si arrivò alla giusta sequenza degli ordini nel momento in cui i venditori Toyota smisero di aspettare i clienti nella concessionaria per contattarli direttamente effettuando visite a domicilio. Ciò era

possibile grazie ad una seconda caratteristica del sistema di vendita “aggressiva”: l’esistenza di un esteso archivio sulle famiglie e le loro preferenze d’acquisto che Toyota aveva creato gradualmente in base ad ogni nucleo familiare che aveva mostrato interesse per un loro prodotto. Avendo a disposizione queste informazioni, i venditori Toyota potevano orientarsi verso i consumatori più probabili. Il sistema riuscì ad integrare nel processo di sviluppo anche i clienti, concentrandosi principalmente sui clienti fedeli. E’ necessario osservare che i controlli statali sui veicoli in quegli anni, i famosi *shoken*, obbligavano a demolire praticamente ogni automobile dopo sei anni. La Toyota era determinata a non perdere mai un cliente, e poteva raggiungere tale obiettivo servendosi dei dati raccolti sugli stessi e coinvolgendo i più fedeli nella progettazione di nuovi prodotti. I vecchi clienti erano trattati come membri della famiglia Toyota e la fedeltà al marchio divenne una caratteristica saliente del sistema a produzione snella dell’impresa.

Questa nuova impostazione, per motivi di confronto competitivo, si è naturalmente diffusa dapprima nel settore automobilistico, anche se con modalità peculiari legate alle specificità delle diverse case automobilistiche e al corrispondente ambiente economico. In Occidente sono state le aziende americane a introdurre per prime alcuni elementi di questo sistema manageriale. Da un lato la localizzazione di stabilimenti di montaggio giapponesi in USA (iniziata dalla Honda nel 1982 e quindi seguita da Nissan e Toyota) ha richiesto l’attivazione di fornitori locali che hanno dovuto adeguarsi alle metodiche sviluppate dai loro clienti giapponesi, dall’altro le stesse partecipazioni finanziarie della General Motors e della Ford in società automobilistiche giapponesi hanno favorito un proficuo scambio di esperienze. Poco dopo anche l’industria automobilistica europea è stata influenzata dalla circolazione di queste nuove idee manageriali grazie ai sempre maggiori contatti internazionali tra tutti gli operatori del settore. Si ha quindi che nessuna industria europea dell’*automotive*, compreso il settore dei veicoli industriali, ha trascurato di studiare gli elementi base del *Lean Thinking* e di tradurlo in vistose iniziative di riorganizzazione, non solo nelle attività produttive, ma anche in quelle dell’outsourcing e della commercializzazione. In relazione all’industria automobilistica italiana si ha che Fiat si è mossa con decisione sul fronte della riorganizzazione, soprattutto a partire dalla fine degli anni Ottanta, in cui le idee della “Qualità totale” vennero messe al centro dell’attenzione aziendale. Ebbe così inizio una fase di innovazione tecnica e manageriale che ha coinvolto tutte le aree aziendali: a partire dagli acquisti di componenti e dalla progettazione dei nuovi prodotti fino alla commercializzazione, coinvolgendo anche i partner dell’intera filiera automobilistica nazionale.

1.2 – LE LINEE GUIDA DEL LEAN THINKING

Una volta identificate le linee guida attraverso le quali è nato e si è sviluppato il cosiddetto *lean thinking*, sembra opportuno cercare di capire quali sono le idee base cui ispirarsi per realizzare una gestione efficiente ed adeguata alle sfide competitive imposte dalla globalizzazione, non solo nel settore automobilistico, ma in riferimento a qualsiasi tipologia di impresa. La teorizzazione di questo approccio produttivo innovativo è stata pedissequamente affrontata da due studiosi occidentali, James P. Womack e Daniel T. Jones, ed ha portato alla pubblicazione del libro “*Lean Thinking*”. Da un certo punto di vista può sembrare strano che la teorizzazione di un approccio nato e maturato all’interno di un’impresa giapponese sia perseguita da due studiosi occidentali. Si deve però tenere in considerazione che le soluzioni gestionali ideate da Taiichi Ohno, e dai suoi sostenitori, derivano da un approccio pragmatico e non ideologico al problema, e questo ha sostanzialmente inibito la possibilità che fossero gli stessi ideatori di tale svolta manageriale a dare una schematizzazione della stessa. Gli studiosi giapponesi hanno inoltre anch’essi dato notevole importanza allo studio del modello Toyota, ma con intenti più descrittivi che di generalizzazione teorica.

I due autori citati individuano in particolare cinque principi applicativi alla base dell’approccio snello alla produzione:

1. definire con precisione il valore dei singoli prodotti;
2. identificare il flusso di valore per ciascun prodotto;
3. far sì che il valore scorra senza interruzioni;
4. adottare una logica di tipo “*pull*” (ovvero permettere al cliente di “tirare” il valore dal produttore);
5. perseguire la perfezione.

Essi rappresentano gli elementi base per effettuare un’efficace lotta allo spreco. In giapponese il concetto di spreco si traduce *muda* e nella cultura giapponese questo termine si carica anche di un significato sociale ed etico, oltre che strettamente economico. Il termine *muda* fa quindi riferimento a qualsiasi attività umana che assorbe risorse ma che non crea valore: errori che richiedono una rettifica, produzione di qualcosa che nessuno vuole, passi procedurali non strettamente necessari, etc. Per una società in cui la prosperità è una realtà, la presenza di sprechi può rappresentare un aspetto negativo ma secondario che sarebbe preferibile eliminare ma che non altera l’organizzazione sociale. Nel caso di

una società povera, come lo è stata quella giapponese fino a qualche decennio fa, lo spreco è molto di più di un inconveniente, ma è un qualcosa di intrinsecamente negativo che va combattuto ed eliminato. Taiichi Ohno (1912–1990), dirigente Toyota, è stato un convinto sostenitore della lotta agli sprechi ed in particolare ha identificato sette tipi di *muda*¹:

1. difetti nei prodotti;
2. sovrapproduzione non necessaria di beni;
3. magazzini di beni in attesa di ulteriori lavorazioni o di utilizzazione;
4. lavorazioni non necessarie;
5. spostamenti non necessari (di persone);
6. trasporti non necessari (di beni);
7. attese dei dipendenti che aspettano che le apparecchiature di processo completino il proprio lavoro o che si concludano delle attività a monte.

Gli autori di “*Lean Thinking*” in realtà hanno aggiunto un ottavo tipo di spreco, identificato nella progettazione di beni e servizi che non soddisfano i bisogni dei clienti. Tale introduzione deriva dal fatto che Ohno aveva inizialmente stilato la sua lista di *muda* per la realtà manifatturiera, anche se le sue tipologie di sprechi si applicano altrettanto bene alla gestione degli ordini e allo sviluppo dei prodotti.

In definitiva l’applicazione dei principi della *lean production* non è altro che la ricerca degli sprechi e la loro eliminazione allo scopo di produrre di più con un minor consumo di risorse (minor lavoro umano, minori attrezzature, minor tempo e spazio) avvicinandosi contemporaneamente sempre più a ciò che i clienti vogliono.

Scopo di questo paragrafo è di entrare ora nel dettaglio di ciascuno dei cinque principi base sopra elencati con il fine di capire la logica sottostante del “pensare snello” e le tecniche che aiutano l’implementazione degli stessi.

¹ Taiichi Ohno, “*The Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*”, Productivity Press, Portland (OR), 1988, pp. 19-20.

1.2.1 – IL CONCETTO DI VALORE

Il punto di partenza della caccia allo spreco non può che essere l'identificazione di ciò che ha valore per il consumatore. Il concetto di valore stesso inoltre assume significato solo nel momento in cui lo si esprime in termini di uno specifico prodotto (bene o servizio, o spesso entrambi) in grado di soddisfare le esigenze del cliente ad un dato prezzo ed in un certo momento.

Il valore è creato dal produttore, ma per una serie di motivi è difficile per il produttore stesso definirlo accuratamente. La definizione di valore è, infatti, molto spesso distorta dal potere delle organizzazioni, da tecnologie ed impianti preesistenti e da ragionamenti in merito alle economie di scala.

Ma come mai è così difficile partire dal punto giusto per definire correttamente il valore? La risposta a questa lecita domanda fa riferimento da un lato al fatto che molti produttori desiderano continuare a fare quello che fanno già, dall'altro al fatto che molti clienti sanno solo come chiedere varianti di quello che viene già a loro offerto. Quando quindi i fornitori, o i clienti, decidono di ripensare al valore ricadono spesso in semplici formule (minor costo, maggiore varietà di prodotto attraverso la personalizzazione, consegna immediata, etc.) piuttosto che mettere in discussione le definizioni tradizionali per capire di cosa ci sia veramente bisogno. Un altro motivo per cui le aziende trovano difficile definire esattamente il valore è che la creazione dello stesso avviene spesso attraverso diverse imprese, ma ognuna di queste tende a definirlo in modo diverso per soddisfare le proprie esigenze senza guardare al prodotto nel suo complesso con gli occhi del cliente.

La ricerca del vero concetto di valore per un dato prodotto implica necessariamente la ridefinizione dei rapporti produttore-cliente e dei rapporti tra aziende che si trovano lungo uno stesso flusso di valore.

Portato a termine il ripensamento iniziale del concetto di valore (*kaikaku*² del valore), le imprese snelle devono continuare a porsi il problema del valore nel loro team di prodotto per verificare se si è trovata realmente la risposta migliore (*kaizen*³).

A questo punto, una volta definito il valore per un determinato prodotto, un obiettivo importante è quello di determinare un *target cost* basato sull'ammontare di risorse e lavoro

² *Kaikaku* sta ad indicare un miglioramento radicale di un'attività per eliminare il *muda*.

³ *Kaizen* sta ad indicare un miglioramento continuo e graduale di un'attività al fine di creare più valore con meno *muda*.

per la realizzazione dello stesso, nell'ipotesi che tutti i *muda* attualmente visibili vengano rimossi dal processo. Le aziende tradizionali fissano il prezzo di vendita basandosi su quello che ritengono possa sopportare il mercato, lavorando poi a ritroso per stabilire il livello accettabile di costo per assicurarsi un margine di profitto. Le imprese snelle guardano invece all'insieme di prezzo e caratteristiche offerto attualmente ai propri clienti dalle aziende tradizionali e si chiedono quanti costi si potrebbero evitare applicando le metodologie *lean* ("Qual è il costo di quello specifico prodotto una volta eliminate le fasi del processo non necessarie e reso scorrevole il flusso del valore?"). Il valore così determinato diventa il *target cost* per lo sviluppo del prodotto, la gestione degli ordini e le attività di produzione richieste da quel prodotto. Poiché il *target cost* sarà sicuramente al di sotto dei costi che devono sopportare i concorrenti, l'impresa snella potrà scegliere tra diverse alternative: ridurre i prezzi (così da aumentare il volume di vendite), aggiungere caratteristiche o potenzialità al prodotto; utilizzare i profitti così ricavati per incentivare lo sviluppo di nuovi prodotti; etc.

Di conseguenza la definizione accurata del valore rappresenta il primo essenziale passo del pensiero snello, poiché fornire il prodotto o il servizio sbagliato nel modo giusto è *muda*.

1.2.2 – L'IDENTIFICAZIONE DEL FLUSSO DI VALORE

Il flusso di valore è costituito dall'insieme delle azioni richieste per condurre un dato prodotto attraverso le tre fasi critiche del management di qualsiasi business: la risoluzione dei problemi (dall'ideazione al lancio in produzione attraverso la progettazione di dettaglio e l'ingegnerizzazione); la gestione delle informazioni (dal ricevimento dell'ordine alla consegna); e la trasformazione fisica della materia prima in un prodotto finito. Il concetto di flusso di valore può apparire molto simile al concetto di catena del valore proposto da Michael Porter (Michael Porter. "*Competitive Advantage*", Free Press, New York 1985), ma in realtà esiste una sostanziale differenza. La definizione di flusso di valore viene applicata, infatti, all'intera gamma di attività che va dalla materia prima al prodotto finito, per un dato prodotto, ottimizzando il tutto dal punto di vista del cliente finale. La tipica analisi strategica basata invece sulla catena del valore aggrega attività quali la produzione, il marketing e le vendite per un insieme di prodotti e mira a capire cosa possa fare un'azienda per massimizzare i suoi profitti e come possa gestire in sincronia le attività eseguite in altre aziende a monte e a valle della catena del valore, per conseguire il massimo vantaggio.

L'identificazione dell'intero flusso di valore per ciascun prodotto (o al massimo per famiglie di prodotti) rappresenta il secondo passo del pensiero snello, e porta ad identificare quantità rilevanti di sprechi. In particolare l'analisi del flusso di valore evidenzia che in esso ci possono essere tre tipologie di attività:

1. attività che creano valore;
2. attività che non creano valore ma, stanti le attuali tecnologie e impianti produttivi, sono inevitabili;
3. attività che non creano valore e che possono essere eliminate da subito.

Una volta rimossa questa terza tipologia di attività, il percorso da seguire è chiaramente quello di lavorare sulle restanti fasi non creatrici di valore utilizzando le tecniche dei flussi, del *pull* e della perfezione che saranno descritte nel corso del capitolo.

La creazione di imprese snelle richiede dunque un nuovo modo di concepire le relazioni interaziendali attraverso la condivisione di alcuni principi che regolino i comportamenti tra aziende e la trasparenza per tutto ciò che riguarda i passi fatti lungo il flusso di valore.

1.2.3 – LA CAPACITA' DI "FAR SCORRERE IL FLUSSO"

Una volta che il valore è stato definito con precisione, che il flusso di valore per un dato prodotto è stato completamente ricostruito e che le attività inutili sono state eliminate, si arriva al passo successivo del pensiero snello: permettere alle restanti attività creatrici di valore di "fluire".

L'idea che la produzione di massa ha sviluppato è che le attività, per essere eseguite in modo più efficiente, dovessero essere raggruppate per tipologia. Affinché poi i compiti all'interno dei singoli reparti, od uffici, fossero eseguiti efficientemente sembrava appropriato processarli come lotti di attività. Lo scaricamento dei lotti implicava però tempi lunghi di attesa durante i quali il prodotto aspettava che il dipartimento si attrezzasse per il tipo di attività di cui esso necessitava. Questo tipo di approccio viene spesso definito per *Batch and Queue*. Esso ha il vantaggio di occupare a tempo pieno i membri del dipartimento e di far lavorare a tempo pieno le attrezzature e giustifica quindi impianti dedicati alla velocità.

In realtà Taiichi Ohno ha successivamente dimostrato come è possibile far funzionare meglio le cose se l'attenzione viene focalizzata sul prodotto e sulle necessità dello stesso

piuttosto che sull'azienda e sulle attrezzature, in modo che tutte le attività richieste per progettare, ordinare e fornire un prodotto avvengano in un flusso continuo.

Primo effetto visibile della conversione da reparti e lotti a team di prodotto e flussi è che il tempo dall'ideazione al lancio del prodotto, dalla vendita alla consegna e dalla materia prima al cliente si riduce drasticamente. I risultati sopra elencati sono ottenibili dal momento in cui il manager inizia a riflettere su possibili modi alternativi di allineare tutti i passi necessari all'esecuzione di un certo lavoro secondo un flusso costante, stabile e continuo: come organizzare il lavoro, che tipo di attrezzature ideare per facilitarlo, quale struttura creare per facilitare il flusso, che tipo di figure professionali cercare, quali legami devono esistere con i fornitori e la società, etc.

Com'è quindi possibile far fluire il flusso? Il primo passo, una volta definito il valore ed identificato l'intero flusso, è quello di concentrarsi sull'oggetto reale e di non perderlo mai di vista, dall'inizio alla fine del processo. Il secondo passo, che rende possibile il primo, è quello di ignorare i confini tradizionali delle mansioni, delle professionalità, delle funzioni e delle aziende per creare un'impresa snella, che rimuova tutti gli ostacoli della generazione del flusso continuo per un dato prodotto (o famiglia di prodotti). Il terzo passo è il ripensamento delle pratiche e delle attrezzature riferite allo specifico lavoro per eliminare i flussi a ritroso, gli scarti e le fermate di qualsiasi genere, in modo che progettazione, ordine e produzione di un dato prodotto possano procedere con continuità. Questi tre passi devono in realtà essere compiuti contemporaneamente.

La creazione del flusso deve partire dalla fase di progettazione. Il progetto di un nuovo prodotto tradizionalmente si spostava da ufficio ad ufficio, mettendosi in coda in ognuno di essi. Spesso inoltre risaliva a ritroso il percorso per delle rielaborazioni o veniva ridisegnato in segreto in un punto a valle per risolvere le incompatibilità tra le esigenze dei vari specialisti coinvolti. Tutto questo naturalmente non rappresentava un flusso. Durante i primi anni Novanta la maggior parte delle aziende ha iniziato ad adottare i cosiddetti team di prodotto nella progettazione (gruppi di persone ristretti dedicati alla progettazione di un determinato prodotto) ma questi in realtà erano soltanto semplici comitati che rimandavano la maggior parte del lavoro effettivo di sviluppo ai singoli uffici, nei quali esso veniva ancora messo in coda. Inoltre non esisteva alcuna metodologia efficace che consentisse di far viaggiare i progetti attraverso il sistema senza un gran numero di rielaborazioni, rifacimenti e flussi a ritroso. A questo andava a sommarsi il fatto che nessuno era realmente responsabile del risultato finale dello sviluppo perché il sistema di ricompense

non aveva mai legato il successo di un prodotto nel suo ciclo di vita allo sforzo originario del team di progettazione. Esisteva quindi un pregiudizio nei confronti di quei progetti particolarmente ingegnosi che magari piacevano anche ai clienti, ma che non riuscivano a portare profitto a causa dei costi eccessivi e dei ritardi del lancio. L'approccio snello prevede di creare dei team di prodotto realmente dedicati, dotati di tutte le abilità necessarie ad eseguire la definizione del valore, il progetto di massima, l'ingegnerizzazione del dettaglio, gli approvvigionamenti, l'ideazione delle attrezzature e la pianificazione della produzione in un unico ufficio. I team devono inoltre cercare di standardizzare il lavoro così da rendere possibile la misurazione del processo di lavorazione e migliorare continuamente la metodologia stessa di progettazione (*Quality Function Deployment – QFD*). Adottando queste tecniche le aziende riescono quindi ad identificare correttamente il valore ed eliminare rielaborazioni e flussi a ritroso: il progetto non si ferma mai fino al suo arrivo alla produzione in larga scala.

La gestione degli ordini è un altro aspetto aziendale su cui è necessario applicare la tecnica dei flussi. In passato, dopo il trattamento degli ordini all'interno dell'ufficio vendite, si procedeva con l'inoltro degli stessi all'ufficio programmazione della produzione per essere inseriti all'interno degli algoritmi di gestione della produzione (sistemi MRP). Nel caso in cui le consegne fossero notevolmente in ritardo e i rispettivi clienti minacciassero la cancellazione degli stessi, gli uffici vendite e programmazione procedevano a solleciti andando direttamente nel sistema di produzione fisica e spostando gli ordini in questione all'inizio di ciascuna coda in produzione. Sotto l'influsso del movimento di reingegnerizzazione degli anni Novanta l'ufficio vendite e programmazione si sono fusi portando ad una notevole riduzione del tempo di processo per ciascun ordine. Nell'impresa snella, invece, le vendite e la programmazione della produzione sono componenti essenziali del team di prodotto, in grado di pianificare le campagne di vendita non appena il progetto del prodotto è stato completato, di vendere avendo ben chiara la capacità del sistema produttivo ed eliminando la necessità di attività di sollecito. Tecnica chiave per mettere in atto questo approccio è il concetto di tempo *takt* che è pari al tempo di produzione disponibile diviso per il tasso di domanda dei clienti. Per esempio, se i clienti richiedono 240 oggetti al giorno e la fabbrica lavora 480 minuti al giorno, il tempo *takt* è pari a 2 minuti. Il tempo *takt* definisce quindi il ritmo che la produzione deve avere per soddisfare la domanda dei clienti. Il volume degli ordini può ovviamente aumentare o diminuire e il tempo *takt* dovrà conseguentemente essere modificato in modo tale che la produzione sia sempre sincronizzata con la domanda (attraverso il *kaizen* o attraverso ore

aggiuntive di produzione qualora esso non sia possibile). Nell'impresa snella i ritmi di produzione definiti dal calcolo del tempo *takt* vengono dichiarati espressamente e questo può essere fatto utilizzando display elettronici (chiamati spesso lavagne *andon*) situati nell'area produttiva e collegati elettronicamente ad altri display presso il fornitore e il cliente. L'utilizzo di un sistema di display è un esempio di un'ulteriore tecnica snella: la trasparenza o controllo visivo (ciascuno può vedere in qualsiasi momento a che punto è la produzione).

Per ottenere poi il flusso all'interno della produzione vera e propria le imprese *lean* prendono i concetti fondamentali del *Just in Time* (da qui in avanti identificato con la sigla JIT) e della programmazione dei livelli. Il JIT è un'innovazione introdotta pionieristicamente da Toyota negli anni Cinquanta e utilizzata per la prima volta dalle imprese occidentali all'inizio degli anni Ottanta ed è un sistema che prevede la produzione e la consegna del prodotto giusto, al momento giusto e nelle giuste quantità. Gli elementi chiave del JIT sono il flusso, la logica *pull*, le operazioni standard⁴ e il tempo *takt*. Questa tecnica era considerata da Taichi Ohno come un metodo per facilitare lo scorrimento dei flussi, ma il JIT può funzionare efficacemente solo se i tempi di attrezzaggio delle macchine vengono drasticamente ridotti, in modo che le attività di fabbricazione a monte producano piccole quantità di ciascuna parte per passare alla produzione di altre piccole quantità non appena quelle già prodotte vengono raccolte dalla fase successiva a valle. Il JIT risulta poi inutile se le fasi produttive a valle non praticano la produzione a livelli (*heijunka*⁵ nel linguaggio Toyota) per eliminare le perturbazioni nel flusso giornaliero degli ordini collegato alla domanda reale dei clienti. Se così non fosse si avrebbe la nascita immediata di colli di bottiglia a monte e l'introduzione diffusa di scorte di sicurezza che aiutano a prevenirli.

In un contesto per flussi le fasi produttive sono organizzate in sequenza, solitamente all'interno di un'unica cellula, e il prodotto si sposta da una all'altra senza accumuli

⁴ La standardizzazione delle operazioni fa riferimento ad una descrizione accurata di un'attività lavorativa che ne specifica il tempo ciclo, il tempo *takt*, la sequenza di esecuzione delle diverse operazioni e la quantità minima di parti che deve essere a disposizione dopo l'esecuzione.

⁵ Il termine *heijunka* fa riferimento alla creazione di un livellamento della produzione mettendo in sequenza gli ordini secondo uno schema ripetitivo e smorzando le variazioni giorno per giorno degli ordini totali per soddisfare una domanda di lungo termine.

intermedi di semilavorati grazie all'utilizzo di una serie di tecniche solitamente definite "flusso di pezzi singoli" o "flusso unitario"⁶.

Per realizzare un flusso unitario nelle situazioni in cui ogni famiglia di prodotto comprende molte varianti, è essenziale che ogni macchina possa essere convertita quasi istantaneamente da una specifica di prodotto ad un'altra. È inoltre fondamentale che molte delle enormi macchine tradizionali possano essere dimensionate su misura, in modo da adattarsi al processo di produzione (questo spesso significa utilizzare macchine più semplici, meno automatizzate e più lente di quelle tradizionali, ma forse più precise. Questo è il cosiddetto *muda* della complessità).

Affinché i sistemi a flusso unitario possano funzionare consecutivamente per più di un minuto o due è necessario che essi siano sempre in condizione di funzionare con precisione quando serve e che ogni parte prodotta sia esattamente quella giusta. Per loro natura i sistemi a flusso hanno la caratteristica per cui o tutto funziona o niente funziona. Ciò significa che i team di prodotto devono acquisire competenze trasversali in ogni mansione (nel caso qualcuno sia assente o sia stato richiesto per un altro compito) e che gli impianti devono essere resi disponibili e precisi al 100% attraverso l'applicazione di una serie di tecniche dette di *Total Productive Maintenance (TPM)*⁷. Questo significa anche che il lavoro deve essere rigorosamente standardizzato e che a lavoratori e macchine deve essere insegnato a monitorare il proprio lavoro attraverso una serie di metodologie dette *poka yoke*⁸, o a prova di errore, le quali impediscano che anche una sola parte difettosa venga inviata alla fase successiva. Concetto ad esso collegato è quello di *jidoka* che comporta il trasferimento dell'intelligenza umana alle lavorazioni meccaniche automatizzate, così che le macchine possano riuscire a rilevare la produzione di parti difettose, fermandosi immediatamente in attesa dell'intervento di un operatore.

⁶ L'applicazione della tecnica denominata "flusso unitario" corrisponde ad una situazione in cui i prodotti procedono, uno alla volta, attraverso diverse operazioni in progettazione, gestione ordini e produzione, senza interruzioni, flussi a ritroso e scarti. Esso si contrappone dunque al concetto *Batch and Queue*.

⁷ Il TPM fa riferimento ad una serie di metodologie, sperimentate per la prima volta nella Nippondenso (azienda del gruppo Toyota), che assicura che tutte le macchine di un processo siano sempre in grado di eseguire i compiti richiesti, così che la produzione non debba mai essere interrotta.

⁸ Il termine *poka-yoke* fa riferimento ad uno strumento o procedura a prova di errore, che previene la creazione di difetti nel processo di gestione degli ordini o in quello produttivo, rendendo difficile ed improbabile l'errore anche da parte di personale non particolarmente accorto.

Queste tecniche devono essere affiancate a controlli visivi che vanno dalle cinqueS⁹ per le quali ogni attrezzo ha una precisa collocazione e deve essere tenuto pulito e riposto nel luogo ad esso assegnato; a indicatori di stato spesso sotto forma di lavagne *andon*; fino ad arrivare a display riportanti informazioni chiave misurabili. Le tecniche esatte variano a seconda delle applicazioni, ma non cambia il principio di base: chiunque sia coinvolto nel processo deve poter vedere e deve saper comprendere ogni aspetto delle attività operative e il loro stato, istante per istante.

1.2.4 – PULL SYSTEM

Un ulteriore risultato rivoluzionario che può essere ottenuto dalle aziende che adottando il pensiero snello è la capacità che esse possono avere di progettare, programmare e realizzare esattamente quello che il cliente vuole, nel momento in cui lo desidera, eliminando quindi le previsioni di vendita. Per fare questo è necessario permettere ai clienti di “tirare” il prodotto dall’azienda anziché cercare di spingere verso i clienti prodotti spesso indesiderati (strategia *push*). Il termine *pull* sta infatti a significare che nessuno a monte dovrebbe produrre beni o servizi fino al momento in cui il cliente a valle li richiede. I tradizionali sistemi di produzione e di distribuzione, comportavano un forte accumulo di scorte di prodotti finiti per permettere al distributore finale di soddisfare il cliente in ogni momento. Quello che di fatto accadeva era però che la vastità di prodotti da tenere in magazzino era così ampia che non era possibile una copertura completa di tutta la gamma a causa dei costi eccessivi di mantenimento di un così ampio magazzino. Di conseguenza, il più delle volte, il distributore non possedeva a magazzino il prodotto, che doveva essere richiesto al deposito generale oppure direttamente alla casa produttrice, con una dilatazione evidente dei tempi di attesa (data la produzione per lotti e code).

L’implementazione del pensiero snello passa attraverso l’applicazione dei tre principi finora discussi: definizione del valore, identificazione del flusso di valore e creazione del flusso di attività. L’intero flusso però si deve attivare soltanto nel momento in cui la fase successiva richiede la produzione di un dato componente o lo svolgersi di determinate lavorazioni. Il ritmo delle attività a questo punto viene dettato solamente dalla programmazione delle consegne e dal tempo *takt*.

⁹ L’espressione deriva dalle iniziali delle parole giapponesi riferite a cinque prassi che conducono all’ottenimento di un’area di lavoro pulita e gestibile: *seiri* (organizzazione), *seiton* (ordine), *seiso* (purezza), *seiketsu* (pulizia) e *shitsuke* (disciplina).

Un modo per gestire un sistema di pianificazione e controllo di tipo *pull* è il cosiddetto controllo *kanban*¹⁰. *Kanban* in giapponese significa cartellino o segnale, ed è spesso chiamato anche trasportatore invisibile in quanto permette di controllare il trasferimento di materiale tra diverse cellule del processo produttivo. Nella sua forma più semplice, esso è materialmente un cartellino usato dalle fasi produttive “clienti” (ovvero a valle) per avvisare lo stage a monte della necessità di ulteriore materiale. Il sistema *kanban* può assumere anche altre forme come, ad esempio, indicatori di plastica oppure colorate palle da ping-pong, i cui colori rappresentano diversi componenti.

Ci sono anche diverse tipologie di *kanban*:

- *kanban di movimento*: il *kanban di movimento* è utilizzato per segnalare alla stazione a monte che il materiale può essere prelevato dal magazzino e trasferito in una specificata destinazione. Questi tipi di *kanban* solitamente contengono informazioni sul tipo e quantità del componente richiesto, sul sito dal quale deve essere prelevato e sulla destinazione alla quale deve essere spedito;
- *kanban di produzione*: il *kanban di produzione* segnala al processo produttivo di attivare la lavorazione di un certo componente che sarà poi riposto in un piccolissimo magazzino. Le informazioni incluse in questo *kanban* solitamente includono il nome e la quantità del componente richiesto, una descrizione del processo produttivo stesso, i materiali richiesti per la sua produzione e la destinazione alla quale tale componente deve essere spedito una volta terminata la lavorazione;
- *kanban di vendita*: questi *kanban* sono utilizzati per segnalare ad un fornitore la necessità dell’invio di materiali o componenti. Esso è quindi molto simile al primo tipo di *kanban* qui descritto, ma solitamente è utilizzato in relazione a fornitori esterni.

Qualunque sia la tipologia di *kanban* utilizzata, la logica alla base è sempre la medesima: la ricezione di un *kanban* causa lo spostamento, la produzione o la fornitura di un certo quantitativo di prodotti o materiali, ed esso è l’unica autorizzazione presente all’interno dell’azienda per compiere tali azioni.

¹⁰ Il *kanban* è un piccolo cartellino attaccato ai contenitori di parti che regolano il *pull* nel Sistema Produttivo Toyota, segnalando a monte produzione e consegne.

Il primo stadio di questo sistema di controllo e pianificazione della produzione di tipo *pull* risulta quindi essere il cliente finale. In questo modo l'azienda sarà in grado di abbandonare le previsioni di vendita per poi essere costretta a liquidare prodotti in magazzino che non incontrano più i bisogni del cliente, per potersi realmente concentrare su ciò che i clienti realmente vogliono in ogni momento del loro ciclo di vita.

1.2.5 – LA PERFEZIONE

Nel momento in cui le aziende iniziano a definire accuratamente il valore, a identificare l'intero flusso di valore, a permettere che i diversi passaggi della creazione del valore fluiscono con continuità e a permettere ai clienti di “tirare” il valore dall'impresa, i diretti interessati si accorgeranno che in realtà non c'è fine al processo di riduzione degli sforzi, del tempo, degli spazi, dei costi e degli errori se si vuole un prodotto che sia sempre più vicino a quello che il cliente vuole veramente. I primi quattro principi, infatti, interagiscono tra di loro in un circolo virtuoso: far scorrere più velocemente il valore significa far emergere il *muda* nascosto nel flusso di valore e tanto più si adotta la logica *pull* tanto più gli ostacoli al fluire del valore vengono evidenziati e possono essere rimossi. Tale circolo virtuoso viene spesso rappresentato attraverso una semplice immagine, rappresentata nella figura sottostante.

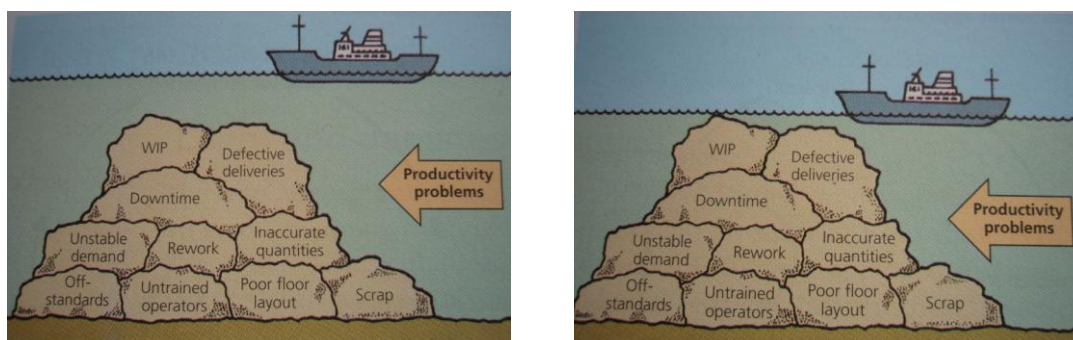


Figura 1.1: Rappresentazione grafica dell'effetto di interazione tra i quattro principi del lean thinking.

In particolare i principali problemi causati dalle scorte di sicurezza presenti tradizionalmente lungo il processo produttivo sono rappresentati come rocce posizionate nel letto di un fiume che non possono essere viste a causa del livello dell'acqua. L'acqua è un'analogia per rappresentare tali scorte di sicurezza. Anche se le rocce non sono visibili alle imbarcazioni, esse rallentano comunque lo scorrere del fiume e creano turbolenze.

Riducendo, invece, gradualmente il livello dell'acqua (ovvero delle scorte) i problemi più gravi emergono e devono necessariamente essere risolti, fino all'emergere del problema successivo, e così via.

Al contrario dei principi fino ad ora descritti, non esiste in questo caso una rappresentazione precisa della perfezione. E' praticamente impossibile per qualsiasi manager cercare di immaginare, e raggiungere, la perfezione, ma la volontà di provarci dà le linee guida essenziali per compiere progressi di lungo termine. Una delle cose che è più importante riuscire ad immaginare è il tipo di tecnologie produttive di cui l'azienda avrà bisogno per intraprendere i passi successivi lungo il cammino, in quanto uno degli ostacoli più grandi all'ottenimento di visibili progressi è l'inadeguatezza di molte tecnologie di processo esistenti rispetto alle necessità di un'impresa snella. Ecco quindi che di fondamentale importanza risulta anche essere una definizione chiara degli obiettivi e del percorso che l'azienda vuole intraprendere (enunciazione delle politiche, o *hoshin kanri* in giapponese) per guidare i tecnici che gestiscono lo sviluppo delle attrezzature. L'idea di quest'ultima tecnica snella è che il top management si accordi su una serie di pochi e semplici obiettivi per arrivare al passaggio dalla produzione di massa alla produzione snella, che si selezionino pochi progetti mirati al raggiungimento di questi obiettivi, che vengano identificate le persone e le risorse necessarie all'esecuzione dei progetti e, infine, che vengano definiti dei target di miglioramento numerici che devono essere raggiunti entro date prestabilite. E' importante sottolineare come questo processo sia di tipo top-down nelle fasi di definizione, ma top-down / bottom-up nelle fasi successive. I team sono infatti responsabili collettivamente dell'esecuzione del lavoro loro affidato e devono avere da subito autorità e risorse.

L'impulso più grande verso la perfezione è forse rappresentato dalla trasparenza, ovvero dal fatto che in un sistema snello ciascuno (subcontrattori, fornitori diretti, assemblatori, distributori, clienti e dipendenti) può vedere tutto.

Anche se il pensiero snello fa sembrare plausibile nel lungo periodo la perfezione, è importante sottolineare anche quali sono i benefici che da esso è possibile trarre nel breve periodo. A livello empirico si è osservato infatti che la conversione di un sistema produttivo classico a lotti e code in un flusso continuo con un effettivo *pull* da parte del cliente¹¹ permette di raggiungere nel breve periodo i seguenti traguardi:

- un aumento considerevole della produttività del lavoro in tutto il sistema;

¹¹ Da James P. Womack e Daniel T. Jones, "*Lean Thinking*", Guerini e Associati, Milano 2002, p. 59.

- un taglio dei tempi di produzione del 90%;
- una riduzione del 90% delle scorte;
- gli errori nel raggiungere il cliente e gli scarti di processo produttivo vengono normalmente ridotti alla metà, così come gli infortuni sul lavoro;
- il *time-to-market* dei nuovi prodotti è dimezzato ed è possibile offrire a costi aggiuntivi modesti una più ampia varietà di prodotti all'interno delle diverse linee di prodotto;

Questi aspetti sono inoltre semplicemente diretta conseguenza che il *kaikaku* fornisce nel momento del riallineamento radicale iniziale del flusso di valore. A questo punto segue un miglioramento continuo, come accennato precedentemente, attraverso il *kaizen* sulla strada della perfezione. Le aziende che hanno infatti completato il riallineamento possono di norma raddoppiare ancora la produttività attraverso miglioramenti incrementali nell'arco di due - tre anni e dimezzare ancora magazzini, errori e tempi nello stesso lasso temporale.

CAPITOLO 2

LEAN BUNDLES: ANALISI DELLA LETTERATURA E PRESENTAZIONE DEGLI OBIETTIVI

Le innovazioni *lean* (applicate interamente all'interno del gruppo Toyota già negli anni '50 alla produzione di motori, poi implementate nell'intera linea di assemblaggio dei veicoli negli anni '60 ed infine estese a tutta la catena di fornitura durante gli anni '70) per quanto non segrete, vennero a conoscenza del grande pubblico soltanto agli inizi degli anni '90. Questo ritardo nella divulgazione della nuova filosofia del *lean thinking* può essere ricondotto a due principali cause: da un lato esisteva l'indiscutibile ostacolo della lingua, dall'altro emergeva un'iniziale riluttanza verso le nuove tecniche poiché non fu immediatamente evidente il vantaggio, in termini di performance, che esse consentivano.

La spinta decisiva per la piena divulgazione dei metodi *lean* fu impressa da James Womack, Daniel Jones e Daniel Ross attraverso la pubblicazione del bestseller "*The Machine that Changed the World*" contenente una descrizione dei principi base del *Toyota Production System* ed una descrizione dei vantaggi produttivi ad esso riconducibili. Il libro descrive un modello produttivo capace di rovesciare i comuni dettami della produzione di massa (propria delle applicazioni di Henry Ford) e ottenere risultati sorprendenti in termini di produttività e qualità in ambienti propriamente instabili. Ispirato al sistema operativo di Taiichi Ohno, manager Toyota, il *lean manufacturing* è, infatti, una filosofia produttiva incentrata sull'eliminazione degli sprechi, sulla semplificazione dei processi e sull'adeguamento della produzione al mercato.

Nei primi anni '90, Womack e Jones, con il loro volume "*Lean Thinking. Banish waste and create wealth in your corporation*", ampliarono l'ambito di applicazione della logica *lean* estendendola dalla produzione a tutti i processi aziendali.

A seguito di questi studi pionieristici in merito ai principi *lean*, che ne hanno dato una prima struttura teorica, molti studiosi si sono interessati a tali tematiche. Il risultato che ne consegue è una vastissima letteratura inerente alle varie tecniche snelle, alla loro implementazione e alle problematiche ad esse connesse, sia a base teorica che empirica.

La definizione di *lean production* non è tuttavia sempre chiara, e tantomeno univoca, tra i diversi autori. A titolo di esempio si riportano di seguito alcune definizioni:

- Il *Toyota Production System* può essere descritto come il tentativo di produrre il più possibile in un flusso continuo (*Ohno, 1988*).
- La produzione snella utilizza metà sforzo umano negli stabilimenti, metà spazio, metà investimenti in strumentazioni, metà ore per sviluppare un nuovo prodotto. Essa richiede inoltre un fabbisogno dimezzato di magazzini, comporta risultati in termini di minori difetti e comporta una grande e sempre crescente varietà di prodotti (*Womack et al., 1990*).
- Il *Toyota Production System* include la standardizzazione del lavoro, un lavoro in flusso continuo, un collegamento diretto tra fornitore e cliente, e un continuo miglioramento basato su un metodo scientifico (*Spear and Bowen, 1999*).
- La produzione snella è un sistema integrato che realizza la produzione di beni e servizi con costi minimi di scorte di sicurezza/*buffer* (*Hopp and Spearman, 2004*).
- La *lean production* è un insieme integrato di pratiche aventi lo scopo di eliminare gli sprechi lungo l'intera catena del valore all'interno dell'azienda e tra aziende diverse (*Holweg, 2007*).

Le definizioni sopra riportate evidenziano aspetti diversi della logica snella. Tale varietà risiede nella propensione di ciascun autore di focalizzare la propria attenzione sulla “filosofia” *lean* (ovvero su aspetti concettuali e logici) piuttosto che verso pratiche produttive e manageriali vere e proprie: alcuni autori evidenziano l'obiettivo generale di eliminazione degli sprechi mentre altri caratterizzano il *lean thinking* attraverso le pratiche in esso contenute (standardizzazione del lavoro, produzione a flusso continuo, etc.). Le ultime due definizioni comprendono al loro interno entrambi gli aspetti, “filosofico” ed operativo, per arrivare a definire la produzione snella come un sistema integrato di pratiche, essendo esse un mezzo per raggiungere la concettualizzazione del pensiero snello stesso. Tale concetto è stato più volte ripreso in diversi articoli, all'interno dei quali molti ricercatori sostengono che soltanto l'implementazione dell'intero set di tecniche *lean* possa permettere alle aziende di raggiungere elevate performance, grazie al rapporto sinergico esistente tra le diverse pratiche (*Schroeder e Flynn, 2001*).

Alcune pratiche sono più vicine tra loro rispetto ad altre, e tale vicinanza è dovuta al loro ambito applicativo (produttivo piuttosto che gestionale), agli obiettivi primari che esse tentano di raggiungere (riduzione del tempo ciclo, miglioramento della qualità,

soddisfazione del cliente, etc.) e alle caratteristiche delle tecniche stesse. Ecco allora, come si vedrà tra breve, che numerosi autori hanno proposto di aggregare tra loro pratiche simili secondo i fattori sopra elencati, in modo da definire dei costrutti logici (*bundles*) di livello superiore al fine di semplificare la complessa realtà della *lean production*.

Lo scopo della presente ricerca è quindi quello di districare le complesse relazioni tra *lean bundles* (la definizione completa e la strategia di formazione degli stessi saranno specificate nel *Capitolo 4*) ed alcune performance operative. Considerando i dati a disposizione per la presente ricerca e dopo un'attenta analisi della letteratura (in particolare *Shah e Ward, 2007 e Slack, 2007*) si sono selezionate le cinque classiche aree di performance operative: qualità, affidabilità (*dependability*), velocità, flessibilità e costi.

Seguendo alcuni dei più recenti lavori di ricerca in merito al *lean manufacturing*, la definizione di *lean bundle* qui assunta fa riferimento ad un gruppo di pratiche snelle tra loro interrelate ed internamente consistenti (*Shah e Ward, 2003 e 2007*). La presente ricerca si focalizza (come si vedrà in dettaglio nel *Capitolo 4*) su tre dei principali *lean manufacturing bundles*, denominati *Just in Time* (JIT), *Total Quality Management* (TQM) e *Human Resource Management* (HRM).

Il *Capitolo 2* mira quindi alla presentazione di una carrellata dei principali contributi di ricerca presenti in letteratura e facenti riferimento alle relazioni esistenti tra *lean bundles* e performance aziendali. Il primo passo sarà capire da dove nasce l'idea di considerare gruppi di pratiche piuttosto che tecniche singole. In seguito si andranno brevemente a commentare alcuni articoli che trattano *bundles* analoghi a quelli poi oggetto di analisi, per poi concludere con alcuni studi empirici sui rapporti esistenti tra *lean bundles* e performance aziendali. Nel corso del capitolo verranno inoltre, di volta in volta, evidenziate le ipotesi di ricerca cui si cercherà di dare risposta con le successive analisi. Tali ipotesi derivano direttamente da un'attenta analisi della letteratura e nascono o come consolidamento di ipotesi già avanzate da alcuni autori o come completamento empirico di alcune ipotesi teoriche.

2.1 – LEAN BUNDLES: DEFINIZIONE E CONTENUTO

Nella recente letteratura manageriale, e non, si osserva sempre più un tentativo di semplificazione della complessità sottostante numerosi fenomeni, con lo scopo di agevolare la lettura della realtà stessa in modo da rendere chiare le implicazioni dedotte dalle analisi empiriche. Come più volte ribadito il *lean thinking* rappresenta una filosofia produttiva e manageriale altamente complessa, composta di numerose sfaccettature e facente capo ad un numero di tecniche abbastanza ampio. I cosiddetti *lean bundles*, ovvero raggruppamenti di pratiche in un unico costrutto logico, rispecchiano questo tentativo di semplificazione e ricerca di trasparenza nelle conclusioni manageriali che si possono trarre dagli studi empirici ad essi collegati. Poiché lo scopo della presente ricerca è di cercare di spiegare i complessi legami esistenti tra pratiche e performance operative, risulta di notevole aiuto il considerare agglomerati di pratiche piuttosto che tecniche isolate. Di seguito si presenterà una breve discussione della letteratura sull'argomento.

2.1.1 – LETTERATURA E LEAN BUNDLES

Molti sono gli autori che hanno applicato il concetto di *bundle* alla realtà *lean*, ma la maggior parte di essi ha concentrato la propria attenzione sulla definizione di uno specifico gruppo di pratiche, senza guardare complessivamente al sistema. I due autori che invece si sono interessati in modo approfondito alla definizione di *bundles* con riferimento all'intero sistema della produzione snella sono Shah e Ward che con i loro due articoli, pubblicati in “*Journal of Operations Management*” rispettivamente nell'anno 2003 e 2007, hanno contribuito alla creazione di una solida base metodologica e concettuale in merito da un lato alla definizione di *lean bundle* e, dall'altro, allo studio del rapporto esistente tra più agglomerati di tecniche e vari indicatori di performance, senza fermarsi ad un'analisi tecnica per tecnica.

Nel loro articolo pubblicato nel 2007, con il titolo “*Defining and developing measures of lean production*”, gli autori individuano 48 pratiche snelle, e le raggruppano in 10 fattori: tre fattori fanno riferimento a tecniche concernenti i fornitori (*supplier feedback*, *JIT delivery* e *developing suppliers*), un fattore è collegato ai clienti (*involved customers*) e gli ultimi sei fanno riferimento a dinamiche interne (*pull*, *flow*, *low set up*, *controller processes*, *productive maintenance* e *involved employees*).

I due autori affermano che l'obiettivo principale della produzione snella risiede nell'eliminazione degli sprechi riducendo o minimizzando la variabilità legata alla fornitura, al tempo di processo e alla domanda. La variabilità deve necessariamente essere eliminata contemporaneamente in tutte le sue varianti (ovvero in tutti gli aspetti aziendali sopra elencati) altrimenti l'eliminazione degli sprechi ad essa collegati potrà essere solamente parziale.

È l'effetto complementare e sinergico dei 10 distinti, ma fortemente correlati, raggruppamenti di pratiche che dà alla *lean production* il suo carattere unico e la sua superiore abilità nel raggiungere molteplici obiettivi di performance. L'implementazione di ciascun *bundle* preso singolarmente porterà sicuramente l'azienda al raggiungimento di performance superiori rispetto alla situazione tradizionale, ma è l'applicazione congiunta degli stessi che creerà un forte e sostenibile vantaggio competitivo. La sostenibilità del vantaggio è una conseguenza della difficoltà di abbracciare contemporaneamente diversi aspetti della produzione snella che rende il sistema complesso e difficilmente imitabile.

In un lavoro di ricerca precedente a quello sopra discusso, l'attenzione dei due autori si concentra solamente sulle pratiche facenti riferimento agli aspetti "interni" (ovvero sono oggetto di studio solamente le tecniche orientate all'eliminazione dei *muda* interni senza porre particolare attenzione agli aspetti collegati ai fornitori e ai clienti). Le tecniche principali identificate dagli autori sono 22, come riportato in *Tabella 2.1*.

Lean Practice
Bottleneck removal (production smoothing)
Cellular manufacturing
Competitive benchmarking
Continuous improvement programs
Cross-functional work force
Cycle time reduction
Focused factory production
JIT/continuous flow production
Lot size reduction
Maintenance optimization
New process equipment/technologies
Planning and scheduling strategies
Preventive maintenance
Process capability measurements
Pull system/kanban
Quality management programs
Quick changeover techniques
Reengineered production process
Safety improvement programs
Self-directed work teams
Total quality management

Tabella 2.1: *Pratiche lean esaminate nell'articolo di Shah e Ward, "Lean manufacturing: context, practice bundles and performance", Journal of Operations Management, Volume 21, 2003.*

Tali tecniche sono quindi raggruppate in quattro *bundles*. Il *bundle* JIT raggruppa al suo interno tutte le pratiche legate al flusso di prodotto e aventi lo scopo di eliminare in particolar modo due forme di *muda*: il *work-in-progress* (WIP) e i ritardi nel flusso di materiale. Le pratiche riguardanti il miglioramento continuo e al raggiungimento di una migliore qualità di prodotto formano assieme il *bundle* TQM. Il *bundle* TPM include invece tecniche pensate appositamente per la massimizzazione dell'efficienza delle macchine, mentre il *bundle* HRM tratta aspetti inerenti alla formazione del personale, l'incentivazione di suggerimenti da parte dei dipendenti, la formazione di gruppi di lavoro autonomi e così via.

I due articoli qui presentati brevemente hanno giocato il ruolo di guida nella definizione dei tre *bundles* di interesse per la presente ricerca (cfr. JIT, TQM e HRM) in quanto definiscono un quadro complessivo del pensiero snello che ben rispecchia la complessità di tale filosofia.

2.1.2 – JIT, TQM E HRM

Come discusso nei successivi capitoli, l'interesse della presente ricerca è focalizzato in particolar modo su tre ben definiti gruppi di pratiche: JIT, TQM e HRM. Ma perché si è arrivati a questa scelta? Il processo di formazione dei *bundles* non è semplice e si basa sull'interazione di analisi concettuali (ovvero analisi della letteratura disponibile sull'argomento) e di tecniche statistiche. Le tecniche statistiche utilizzate in particolare rientrano nell'ampia classe dei modelli di analisi fattoriale esplorativa e confermativa. Una prima selezione delle tecniche *lean* è stata effettuata tramite scelta ragionata: sono state incluse all'interno del gruppo di interesse tutte le tecniche che maggiormente erano state oggetto di studio nel corso degli anni. Successivamente, tramite l'analisi fattoriale esplorativa, tali tecniche sono state raggruppate in *bundles* e alcune di esse sono state ulteriormente eliminate. I *bundles* così definiti sono stati poi convalidati tramite un'analisi fattoriale confermativa. Si è poi constatato che i costrutti così definiti in realtà erano, a grandi linee, già stati presi in considerazione in diversi modi da molti autori.

JIT

In letteratura si possono trovare diverse definizioni di *just in time*:

- Il JIT è un sistema di produzione che produce “solo i prodotti necessari nel tempo necessario, nella quantità necessaria” (*Sugimori et al., 1977*).

- Il sistema *kanban*, la produzione fluente e la riduzione dei tempi di set up sono tutti componenti critici del sistema JIT (Monden, 1981).
- I programmi associati al JIT includono l'eliminazione degli sprechi e la completa utilizzazione delle persone, degli strumenti, dei materiali e dei componenti (Davy et al., 1992).
- Il JIT è basato sull'eliminazione degli sprechi mediante la semplificazione dei processi produttivi come per esempio l'eliminazione dei magazzini in eccesso e la diminuzione dei lotti, che causano un lungo tempo ciclo (Flynn et al., 1995).

Nelle sue linee più essenziali il *just in time* (JIT) può essere definito come un sistema produttivo che garantisce il continuo e preciso adeguamento dell'offerta di beni prodotti alla domanda che proviene dal mercato. Il JIT comporta un complesso sincronismo tra i vari sub-sistemi che intervengono nel flusso produttivo, ma l'idea che ne sta alla base è molto semplice: produrre e consegnare al momento opportuno i componenti da montare nei prodotti finiti o le parti da assemblare nei sottogruppi, e acquisire al momento opportuno i materiali da lavorare.

In un articolo pubblicato da Cua, McKone e Schroeder (2001) è stato proposto un confronto tra sei recenti studi empirici sul JIT (Davy et al., 1992 (1); Mehra and Inman, 1992 (2); Sakakibara et al., 1993 (3); McLachlin, 1997 (4); Sakakibara et al., 1997 (5); Ahmad, 1998 (6)) portando ad identificare nove pratiche frequentemente associate a tale costrutto, come evidenziato in *Tabella 2.2*.

	1	2	3	4	5	6
Riduzione dei tempi di set up	x	x	x	x	x	x
<i>Pull system production</i>	x		x	x	x	x
Consegne JIT da parte dei fornitori	x		x	x	x	x
<i>Functional equipment layout</i>	x		x	x	x	x
Aderenza alla schedulazione giornaliera			x	x	x	x
<i>Committed leadership</i>	x	x		x		
Pianificazione strategica	x	x			x	x
Formazione del personale cross-funzionale	x		x	x		
Coinvolgimento dei dipendenti	x	x	x	x	x	x

Tabella 2.2 : Elenco delle tecniche lean più frequentemente associate al costrutto JIT, in relazione agli studi empirici più frequenti.

Come sarà successivamente evidenziato nel *Capitolo 3*, quattro delle nove tecniche associate più di frequente a tale costrutto saranno incluse anche nel *bundle JIT* definito nella presente ricerca: riduzione dei tempi di set up, produzione a logica *pull* (*pull system production*), consegne JIT da parte dei fornitori, layout dei macchinari (*functional equipment layout*) e aderenza alla schedulazione giornaliera.

TQM

La definizione di *Total Quality Management* è presente in letteratura sotto svariate forme, ognuna delle quali evidenzia alcuni aspetti, piuttosto che altri:

- Il TQM è un insieme di pratiche che enfatizza il miglioramento continuo, incontrando le richieste dei clienti, riducendo il lavoro, pensando a lungo termine, incrementando il coinvolgimento del personale e il lavoro di gruppo, riprogettando i processi, misurando costantemente i risultati e avendo una stretta relazione con i fornitori (*Ross, 1993*).
- Le linee guida comuni del TQM sono suddivisibili concettualmente in tre gruppi: attenzione alla soddisfazione del cliente, evidenziazione del miglioramento continuo, analisi dell'impresa come sistema globale (*Sitkin et al., 1994*).
- Il TQM è un approccio per migliorare la qualità dei prodotti e dei servizi mediante il miglioramento continuo dei processi, la qualità guidata dal cliente, una produzione senza difetti, e decisioni prese mediante l'utilizzo di dati concreti (*Flynn et al., 1994*).
- Il TQM è un programma di produzione il cui scopo è il continuo miglioramento della qualità dei prodotti e dei processi. Per fare ciò è necessario che siano coinvolti il management, la forza lavoro, i fornitori e i clienti. Lo scopo finale è raggiungere le esigenze del cliente o addirittura superarle (*Cua et al., 2001*).

Un confronto tra le pratiche citate in sei diversi studi empirici¹² (*Saraph et al., 1989 (1)*; *Flynn et al., 1994 (2)*; *Powell, 1995 (3)*; *Ahire et al., 1996 (4)*; *Black and Porter, 1996 (5)*; *Samson and Terziovski, 1999 (6)*) ha portato ad identificare nove pratiche tra le più comuni citate all'interno del programma TQM, come mostrato in *Tabella 2.3*.

¹² Tratto da Cua, K. O., McKone, K. E., Schroeder, R. G.. *Relationships between implementation of TQM, JIT and TPM and manufacturing performance*. Journal of Operations Management, 2001, Vol. 19, pp. 675-694.

	1	2	3	4	5	6
Design di prodotto cross-funzionale	x	x	x	x	x	
Gestione del processo produttivo	x	x	x	x	x	
<i>Supplier quality management</i>	x	x	x	x	x	
Coinvolgimento dei clienti		x	x	x	x	x
Informazione e feedback	x	x	x	x		
<i>Committed leadership</i>	x	x	x	x	x	x
Pianificazione strategica	x		x		x	x
Formazione del personale cross-funzionale	x		x	x		
Coinvolgimento dei dipendenti	x	x	x	x	x	x

Tabella 2.3 : Elenco delle tecniche lean più frequentemente associate al costrutto TQM, in relazione agli studi empirici più frequenti.

Anche in relazione a questo secondo costrutto molte delle tecniche incluse nel *bundle* TQM costruito nella presente ricerca fanno parte dell'elenco sopra riportato:

- la tecnica indicata come *process management* (gestione del processo produttivo) contiene al suo interno concetti quali il *Total Productive Maintenance* (TPM) e il *Poka Yoke*;
- la tecnica indicata come *information and feedback* fa riferimento al controllo statistico di processo;
- lo *strategic plannig* contiene al suo interno le decisioni facenti riferimento alla proprietà dei macchinari: la varianza del processo produttivo e degli aspetti ad esso collegati (tra i quali la qualità dei prodotti) può essere ridotta tramite lo sviluppo interno di macchinari proprietari, creati per le specifiche esigenze del prodotto e dei clienti.

HRM

I primi studi inerenti alla gestione delle risorse umane risalgono ad un tempo precedente alla nascita e diffusione della filosofia snella. Tali concettualizzazioni ed analisi empiriche sono state poi utilizzate da molti ricercatori interessati alle pratiche *lean*, così che le tecniche HRM sono ora pienamente riorganizzate e inserite coerentemente all'interno del complesso sistema snello.

Alcune delle definizioni proposte in letteratura sono riportate di seguito:

- Le principali caratteristiche della gestione delle risorse umane fanno riferimento alla formazione ed alle conoscenze dei dipendenti che determinano le abilità professionali di cui l'impresa può disporre, l'adattabilità dei dipendenti che determina la flessibilità strategica dell'impresa, l'adesione e la lealtà degli stessi che comporta la capacità dell'impresa di mantenere il vantaggio competitivo (*Grant, 1991*).
- Il termine Human Resource Management indica un interesse nei confronti dei valori e delle abilità dei soggetti. Tale insieme di tecniche permette di concentrare l'attenzione su tutti i membri dell'organizzazione visti come giacimenti di risorse inutilizzate (*Purcell, 1992*).
- HRM è un set di attività, funzioni e processi distinti ma interrelati, diretti al coinvolgimento, allo sviluppo e al mantenimento delle risorse umane aziendali (*Lado e Wilson, 1994*).

Gli studi facenti riferimento alla gestione delle risorse umane sono molto numerosi. Una rassegna dei principali e più recenti articoli pubblicati, inerenti il *bundle* HRM secondo la logica della produzione snella, ha portato alla definizione del seguente set di pratiche maggiormente riferite a tale aspetto:

<u>Pratiche HRM</u>	<u>Autori</u>
<i>Reclutamento e selezione</i>	
Uso di test di selezione	Huselid, 1995; Koch e McGrath, 1996; Delaney, Lewin e Ichniowski, 1989; Terpstra, 1994; Khatri, 2000
Interviste strutturate e standardizzate	Terpstra e Rozell, 1993; Koch e McGrath, 1996; Khatri, 2000
Studi di validazione delle metodologie utilizzate per la selezione.	Koch e McGrath, 1996; Terpstra, 1994; Khatri, 2000
<i>Formazione e Sviluppo delle capacità</i>	
Programmi formali di formazione per i nuovi dipendenti	Pfeffer, 1994; McDuffie, 1995; Huselid, 1995; Khatri, 2000
Analisi Costi-Benefici dei programmi di formazione	Terpstra, 1994; Khatri, 2000
Valutazione dei programmi di formazione	Terpstra, 1994; Khatri, 2000

<i>Compensi e benefici</i>	
Compensazione basata sulle performance	Pfeffer, 1994; McDuffie, 1995; Hiltrop, 1996; Delany Lewin e Ichniowski, 1989; Huselid, 1995; Khatri, 2000
<i>Relazione/Partecipazione dei dipendenti</i>	
Opportunità da parte dei dipendenti di suggerire azioni di miglioramento	McDuffie, 1995; Delery e Doty, 1996; Ichniowski, Kochan, Levine, Olson e Strauss, 1996; Khatri, 2000
Esortazione dei dipendenti nel prendere decisioni	McDuffie, 1995; Delery e Doty, 1996; Arthur, 1992; Hiltrop, 1996; Ichniowski, Kochan, Levine, Olson e Strauss, 1996
Dipendenti spesso esortati dai supervisori nel partecipare alle decisioni	Pfeffer, 1994; Delaney, Lewin e Ichniowski, 1989; Delery e Doty, 1996; Arthur, 1994; Hiltrop, 1996; Khatri, 2000
Comunicazioni trasparenti da parte dei supervisori	Pfeffer, 1994; Arthur, 1992; Delaney, Lewin e Ichniowski, 1989; Khatri, 2000
<i>Valutazione delle performance</i>	
Performance misurate con risultati oggettivamente quantificabili	Roberts, 1995; Kravetz, 1988; Khatri, 2000
Misure di performance comprendenti criteri di qualità	Roberts, 1995; Ghorpade e Chen, 1995; Khatri, 2000
Promozioni basate principalmente sul merito	Gratton, 1995; Khatri, 2000

Tabella 2.4 : Elenco delle tecniche lean più frequentemente associate al costrutto HRM, in relazione agli studi empirici più frequenti.

Come risulterà maggiormente chiaro nel capitolo successivo, il *bundle* HRM oggetto di studio della presente trattazione contiene alcune delle tecniche sopra specificate:

- la spinta alla partecipazione alla soluzione dei problemi dei dipendenti corrisponde alla creazione di gruppi di miglioramento, ovvero piccoli gruppi di lavoratori (ciascuno composto da rappresentanti di varie funzioni aziendali) il cui obiettivo è migliorare i diversi aspetti produttivi e manageriali collegati ad una determinata famiglia di prodotti (riduzione tempi di set up, miglioramento della condivisione delle informazioni, etc.);

- uno degli aspetti maggiormente rilevanti all'interno dei programmi di formazione dei dipendenti risiede nel disporre di operatori multifunzionali in grado di ricoprire una serie di mansioni per fronteggiare da un lato picchi improvvisi di domanda, dall'altro possibili assenze;
- il miglioramento continuo (*kaizen*) può essere attuato efficacemente soltanto attraverso il coinvolgimento dei dipendenti nelle decisioni aziendali ed una comunicazione trasparente tra i diversi livelli gerarchici.

Il primo obiettivo della presente ricerca fa quindi riferimento alla costruzione dei cosiddetti *lean bundles*. Il raggiungimento di una tale configurazione è necessario per un'analisi delle relazioni esistenti tra le pratiche snelle e le performance poiché non sarebbe possibile (ovvero non sarebbe di così immediata attuazione e lettura) uno studio tecnico per tecnica.

IPOTESI 0 : Costruzione dei *lean bundles*.

2.2 – LEAN BUNDLES E PERFORMANCE: IPOTESI DI RICERCA

Anche se il *Just in Time*, il *Total Quality Management* e lo *Human Resource Management* sono spesso considerati componenti della *lean production*, detta anche *World Class Manufacturing* (Schonberger, 1986 e 1990; Steinbacher, 1993; Benson, 1991), la letteratura non comprende una grande varietà di studi inerenti alle relazioni esistenti tra l'applicazione congiunta dei tre *bundles* e le performance aziendali. Inoltre essa manca di studi incentrati sulla ricerca degli effetti di mediazione e complementarità tra questi gruppi di tecniche e lo sviluppo delle performance operative. Queste due tipologie di effetti sono in realtà un aspetto cruciale dato che tutti gli autori sono concordi sul fatto che le pratiche snelle sono parte di un sistema internamente coerente ed integrato che porta ad effetti sinergici sulle performance.

Il presente paragrafo ha come obiettivo la presentazione puntuale degli obiettivi della presente ricerca, specificati a partire da un'analisi accurata della letteratura inerente alle relazioni esistenti tra *lean bundles* e performance.

2.2.1 – JIT E PERFORMANCE

In letteratura ci sono molti articoli che enfatizzano l'importanza del *just in time* nel miglioramento di performance. L'articolo di Brox and Fader (1997) dà un'idea di quali siano i possibili effetti dell'applicazione di tale set di tecniche: "C'è una crescente evidenza che il JIT è un sistema di produzione efficiente, come riflesso dal fatto che numerose organizzazioni affermano di aver avuto successo grazie all'implementazione del JIT. Queste aziende hanno riscontrato un miglioramento della qualità del prodotto, un aumento dell'efficienza e della produttività. In particolare queste aziende hanno riscontrato una riduzione nei costi e negli sprechi".

In generale, il maggior beneficio proveniente dall'adozione del JIT, evidenziato negli studi empirici, è la riduzione nei livelli di magazzino e l'aumento della rotazione dello stesso (Crawford e Cox, 1990; Gilbert, 1990; Billesbach, 1991; Ockree, 1993; Billesbach e Hayen, 1994; Norris et al., 1994; Huson e Nanda, 1995; Balakrishnan et al., 1996; Droge e Germain, 1998).

In particolare i risultati presentati nel *paper* pubblicato da Huson and Nanda (1995) dimostrano che le aziende affiliate alla logica JIT possono vedere aumentare il turnover dei magazzini e incrementare i guadagni. L'uso del JIT può inoltre portare ad un calo del costo totale di produzione grazie a minori rilavorazioni, ad una riduzione dei magazzini, a minori set up e ad una contrazione del cosiddetto *lead time*¹³.

Altri studi concernenti le relazioni esistenti tra pratiche JIT e performance (misurate attraverso indicatori di produttività, *lead time* e qualità) hanno riportato risultati negativi, non sono cioè riusciti a dimostrare l'esistenza di una relazione diretta tra JIT e tali performance (Sakakibara et al., 1997, Flynn et al., 1995, Dean e Snell, 1996).

Ad esempio, nell'articolo scritto da Sakakibara, Flynn, Schroeder e Morris nel 1997, lo studio si focalizza sull'impatto sia delle pratiche JIT sia delle pratiche infrastrutturali sulle performance. La ricerca empirica è basata su di una lista di aziende statunitensi e giapponesi appartenenti ai settori di componentistica per automobili, elettronico e meccanico. Le conclusioni tratte indicano una relazione non significativa tra l'uso di pratiche JIT (riduzione dei tempi di set up, flessibilità alla schedulazione, manutenzione

¹³ Il termine *lead time* sta ad indicare il tempo totale che un cliente deve aspettare per ricevere un prodotto dopo averlo ordinato.

dei macchinari, layout dei macchinari, *kanban* e consegne JIT da parte dei fornitori) e performance (*turn-over* del magazzino, puntualità, *lead time* e *cycle time*). Le pratiche infrastrutturali (gestione della qualità, gestione della forza lavoro, strategia di produzione, caratteristiche organizzative e design di prodotto) sembrano invece essere sufficienti per spiegare i livelli di performance conseguiti. Un ulteriore risultato evidenzia come in realtà una combinazione delle pratiche infrastrutturali e di JIT comporti un miglioramento delle performance stesse. L'effetto sinergico osservato tra la gestione della qualità (*Quality management*) e JIT è facilmente interpretabile: le attività di gestione della qualità forniscono un supporto per il JIT mediante la creazione di un processo sotto controllo e questo comporta un flusso libero di prodotti ed una riduzione dei magazzini. Le pratiche legate alla forza lavoro (*Work Force Management*) includono le politiche di selezione e retribuzione nella formazione di team di lavoro, molto efficaci nella risoluzione dei problemi. Programmi di formazione e politiche personali sono veramente importanti per sviluppare lavoratori flessibili in grado di spostarsi lungo l'intero processo, secondo le necessità del momento. Inoltre i piccoli gruppi di lavoro orientati alla risoluzione di problemi permettono di trovare soluzioni riguardanti la riduzione degli sprechi e del tempo ciclo di produzione.

Gli articoli che dimostrano una relazione complessiva non significativa tra JIT e performance aziendali sono in realtà in numero nettamente inferiore rispetto a quelli che invece sostengono l'esistenza di tale relazione.

Nello studio condotto da Davy, White, Merritt e Gritzmacher (1992) è dimostrata l'esistenza di una relazione significativa tra l'implementazione del JIT, la tempestività (misurata attraverso i seguenti indicatori: incontro tra domanda ed offerta, spedizioni frequenti, riduzione del *lead time* e riduzione del tempo di processo) e il miglioramento della qualità (misurato da indicatori quali minori ispezioni, riduzione dei difetti, minori scarti, minori chiamate di assistenza e minori lavorazioni in garanzia). In particolare il contributo del JIT è da collegarsi alla riduzione dei tempi di produzione ed alla risoluzione dei problemi legati alla qualità. Il modello proposto dagli autori è rappresentato in *Figura 2.1*.

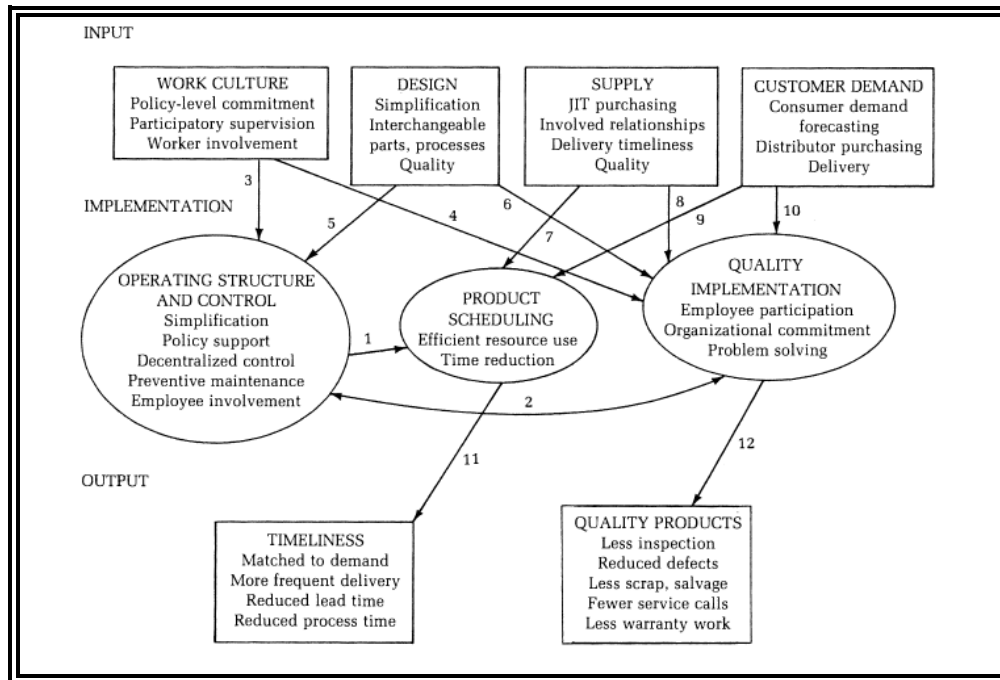


Figura 2.1: Modello di analisi proposto da Davy, White, Merritt e Gritzmacher in “A Derivation of the Underlying Constructs of Just-in-Time Management Systems”, *The Academy of Management Journal*, 1992.

I *path* 11 e 12 evidenziati in *Figura 2.1* mostrano come la pianificazione di prodotto (*product scheduling*) e l’implementazione della qualità (*quality implementation*) abbiano una relazione diretta sulle due performance misurate, mentre l’effetto che la struttura operativa e di controllo (*operating structure and control*) ha su di esse avviene soltanto per via indiretta. I quattro input (*work culture, design, supply, customer demand*), rappresentati nella parte superiore della figura, sono indirettamente correlati alle due performance mediante i costrutti centrali (*path* 3-10).

In un articolo pubblicato nel 1993, Sakakibara e Flynn identificano in quattro pratiche JIT (*layout dei macchinari, pull system, livello qualitativo dei fornitori e kanban*) le maggiori forze che guidano il miglioramento di un particolare set di performance: *lead time, cycle time* ed *inventory turns*. In aggiunta, altre due pratiche (riduzione dei tempi di set up e aderenza alla schedulazione) sono identificate come fattori meno influenti, ma allo stesso tempo comunque importanti, del miglioramento delle performance.

L’articolo scritto da Lawrence and Hottenstein nel 1995 presenta i risultati di uno studio condotto per la verifica dell’esistenza di una relazione significativa tra pratiche JIT e performance, facente riferimento ad un campione di industrie messicane affiliate ad

industrie statunitensi. Sono stati identificati quattro potenziali benefici ottenibili tramite l'implementazione delle tecniche JIT: aumento della produttività, miglioramento della qualità, riduzione del *lead time* e miglioramento del servizio al cliente. Lo studio ha inoltre dimostrato la presenza di relazioni positive e significative tra le pratiche JIT e ciascuna dimensione di performance. Gli autori hanno inoltre approfondito la ricerca attraverso l'analisi di alcune variabili contestuali: la dimensione dell'industria, il tipo di industria e il tipo di processo produttivo. I risultati evidenziano come tutte queste variabili sembrano impattare significativamente sulla relazione tra pratiche JIT e performance. In particolare all'interno dell'industria meccanica si è osservata una relazione più forte tra tecniche JIT e performance all'interno di aziende di grandi dimensioni piuttosto che negli stabilimenti più piccoli. All'interno del settore elettronico, al contrario, la relazione tra pratiche JIT e performance sembra essere più forte nelle piccole imprese piuttosto che nelle grandi. I risultati inoltre indicano che la nazionalità dei manager può influenzare l'efficace implementazione del JIT: avere un manager di nazionalità non messicana, nelle posizioni al vertice dell'azienda, aiuta un'applicazione più efficace del JIT.

In uno studio incentrato sul confronto tra aziende aderenti e non alla logica JIT situate in Canada ed appartenenti al settore elettronico, Brox and Fader (1997) dimostrano empiricamente, attraverso rigorose analisi statistiche, come le aziende adottanti le tecniche JIT non solo vedano aumentare la propria efficienza ma anche come osservino una crescita della produttività dello stabilimento, grazie al raggiungimento di obiettivi quali la flessibilità di produzione e il miglioramento della qualità.

In uno studio pubblicato nel 1998 Nakamura, Sakakibara e Schroeder propongono un'analisi empirica con lo scopo di valutare l'impatto di alcune pratiche JIT (riduzione dei tempi di set up, flessibilità alla schedulazione, layout dei macchinari, *kanban*, *pull system* e relazioni di tipo JIT con i fornitori) su alcune performance di produzione. Il campione copre tre diversi settori ed include sia aziende statunitensi sia giapponesi. In questo articolo si dimostra, in sintesi, come le pratiche JIT possano migliorare in particolare sei performance: tempo di inattività ovvero percentuale di tempo in cui la macchina è ferma a causa di errori di produzione (il JIT contribuisce ad un flusso continuo di produzione, con un bisogno minimo di fermo degli impianti), percentuale di prodotti che passano l'ispezione finale senza rilavorazioni (l'implementazione del JIT porta ad aumento di tale percentuale che a sua volta è necessario per una migliore implementazione del JIT stesso),

percentuale di spedizioni evase secondo le tempistiche pianificate (indice di affidabilità), *cycle time* (indice di efficienza produttiva), *lead time* (permette di misurare la prontezza di un'azienda nel rispondere ad un nuovo ordine) e rapporto tra totale magazzino e totale vendite. Le pratiche JIT, tuttavia, non mostrano un effetto uniforme sulle performance. In particolare il JIT è solo marginalmente legato al miglioramento della percentuale degli ordini che sono evasi in tempo, mentre risultano più efficaci secondo questa direzione le pratiche TQM.

I risultati dello studio di Fullerton e McWatters nel 2001, applicato ad un campione di aziende statunitensi, dimostrano come pratiche incluse all'interno della filosofia JIT, quali l'implementazione della qualità, l'approccio al miglioramento e la riduzione degli sprechi, possano migliorare le performance aziendali mediante una riduzione dei livelli dei magazzini, una riduzione del costo, un miglioramento della qualità ed un maggiore feedback positivo da parte dei clienti. Gli autori evidenziano inoltre che più le pratiche JIT sono implementate simultaneamente ed in profondità maggiori sono i ritorni in termini generali. Lo studio rivela, inoltre, come le risorse umane siano un fattore critico per il successo del JIT: sono, infatti, state trovate evidenti differenze tra imprese che hanno adottato o meno gruppi di lavoro e flessibilità del personale.

Dall'analisi di alcuni dei più importanti e recenti *papers* trattanti la relazione tra tecniche JIT e performance emerge la seconda domanda di ricerca della presente trattazione:

IPOTESI 1 : Il *bundle* denominato JIT ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

2.2.2 – HRM E PERFORMANCE

Le pratiche HRM sono discusse da molti autori come fattori critici nell'implementazione della filosofia *lean*. Tali tecniche fanno riferimento al coinvolgimento e alla formazione multi-funzionale di tutti i dipendenti di stabilimento (*De Treville e Antonakis, 2006*), raggiunti tramite la decentralizzazione dell'autorità, l'attenzione alla comunicazione tra management e lavoratori, i programmi di formazione multi-funzionali e una forte collaborazione all'interno dello stabilimento stesso (*Womack at al., 1990; Adler, 1993;*

Kenney e Florida, 1993; Barker, 1993; Babson, 1993; Hackman e Wageman, 1995; Graham, 1995; Rinehart et al., 1997).

Molti studi condotti nella recente letteratura mostrano come le tecniche HRM influenzino significativamente le performance operative aziendali (*Shah e Ward, 2003; Huselid, 1995; Ulrich e Lake, 1990; Becker e Gerhart, 1996; Lieberman e Montgomery, 1998*).

In particolare Huselid, basandosi sull'analisi di un campione contenente circa mille aziende statunitensi, dimostra, in una ricerca condotta nel 1995, come le pratiche HRM abbiano un impatto positivo sia su alcune performance operative, quali la rotazione dei magazzini e la produttività (*turnover and productivity*), sia su performance finanziarie di breve e di lungo termine.

La ricerca condotta da Ichniowski, Shaw e Prennushi (1997) evidenzia come l'introduzione di pratiche HRM possa migliorare la produttività aziendale. Gli autori identificano in particolare sette diverse pratiche HRM:

- *Incentive pay* (sistema di incentivi per i dipendenti);
- *Recluting and selection* (attenta selezione del personale);
- *Teamwork* (presenza di team per risolvere problemi);
- *Employment security* (garanzia del posto di lavoro);
- *Flexible job assignment* (possibilità di spostare un dipendente da una mansione all'altra);
- *Skill training* (formazione delle competenze del personale);
- *Communication* (sviluppo di comunicazione tra i vari livelli dell'azienda).

Gli autori vogliono in particolare sottolineare come i grandi miglioramenti nella produttività si ottengano con un grande cambiamento iniziale piuttosto che attraverso piccoli adattamenti al sistema mirati all'implementazione isolata di alcune pratiche.

Fey, Björkman e Pavlovskaya hanno proposto nel 2000 uno studio in cui si sono individuate 10 pratiche HRM, rappresentate in *Figura 2.2*: compensi basati su performance personali, promozioni allineate ai meriti conseguiti, sicurezza del posto di lavoro, formazione tecnica e non del personale, pianificazione della carriera, decentralizzazione delle decisioni, promozione interna, sistema di risoluzione dei reclami e alti salari.

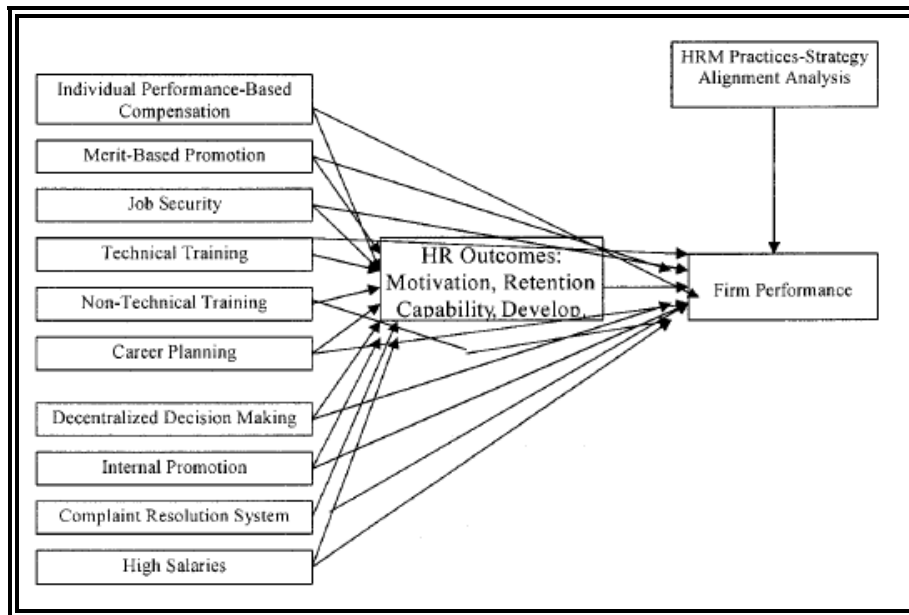


Figura 2.2: Modello di analisi proposto da C. F. Fey, I. Björkman e A. Pavlovskaya in “The effect of human resource management practices on firm performance in Russia”, *The International Journal of Human Resource Management*, 2000.

Il modello proposto e stimato dagli autori suddetti prevede un impatto sia diretto che indiretto delle pratiche HRM sulle performance aziendali. Il ruolo di mediatore è giocato dai cosiddetti HRM *Outcomes*: motivazione, mantenimento, competenze e sviluppo. Tra i risultati dello studio emerge inoltre che pratiche quali una formazione non tecnica del personale (*non-technical training*) e alti salari (*high salaries*) hanno un impatto positivo sugli *HR Outcomes* per i manager, mentre è la sicurezza del lavoro (*job security*) la pratica che maggiormente impatta sugli *HR Outcomes* per quanto riguarda i dipendenti che non occupano una posizione manageriale. Lo studio fornisce dunque un supporto alla letteratura esistente che sostiene la necessità di formare e trattare in modo mirato ciascun livello della gerarchia aziendale.

Un ulteriore studio inerente all’implementazione delle tecniche HRM, e facente riferimento ad un campione di aziende operanti a Singapore, è proposto da Khatri (2000). L’autore considera sedici pratiche facenti parte la logica HRM: in particolare tre di esse fanno riferimento al reclutamento e alla selezione dei dipendenti, cinque alla formazione e allo sviluppo delle capacità del personale, uno ai compensi, quattro alla partecipazione dei dipendenti ed infine tre legate alla valutazione delle performance. A tali pratiche si aggiunge la misurazione di tre diverse performance aziendali: redditività (*profitability*),

crescita delle vendite (*sales growth*) ed alcune performance non finanziarie quali la qualità, l'immagine e l'efficienza dei processi.

Come primo passo lo studio dimostra l'esistenza di un legame significativo e positivo tra l'applicazione della logica HRM e le performance aziendali. In un secondo momento evidenzia inoltre l'esistenza di un legame significativo tra la strategia aziendale e le pratiche HRM: le tecniche esaminate sembrano infatti giocare il ruolo di mediazione nel legame esistente tra performance e scelte strategiche. Delle dieci pratiche analizzate in questo studio quattro non sembrano però essere influenzate dalla strategia: partecipazione degli addetti (*employee participation*), pianificazione delle risorse umane (*HR planning*), uso di interviste strutturate (*use of structured interviews*) e uso di test nella selezione del personale (*use of employment tests in the selection process*). Analizzando più da vicino il legame esistente tra HRM e performance si osserva come le pratiche HRM sembrino avere un effetto diretto più sulla redditività che sull'incremento delle vendite o su performance non finanziarie. Se la relazione tra pratiche HRM e redditività è stata convalidata empiricamente anche da altri autori (ad esempio *Huselid, 1995; Gerhart e Milkovich, 1990*), la non significatività della relazione tra tecniche HRM e performance non finanziarie è enigmatica. Scendendo ancor più nel dettaglio, lo studio dimostra come la partecipazione dei dipendenti (*employee participation*) abbia un effetto maggiore sulle performance non finanziarie, così come accade per la pianificazione delle risorse (*HR planning*) e l'ammontare di preparazione (*amount of training*). Al contrario un sistema di ricompense basato sulle performance (*performance based compensation*) ha un effetto positivo sulla redditività, ma non sulle performance non finanziarie o sulla crescita delle vendite.

Lo studio di Ahmad e Schroeder (2003) considera sette pratiche HRM già elaborate da Pfeffer nel 1998 per misurare la relazione esistente tra esse e le seguenti performance:

- costi unitari (*unit cost*);
- qualità (*quality*);
- consegna (*delivery*);
- flessibilità (*flexibility*);
- velocità nell'introduzione di un nuovo prodotto (*speed of new product introduction*).

Le analisi condotte dimostrano l'esistenza di una correlazione significativa tra tutte le pratiche considerate e le performance, fatta eccezione per la flessibilità. Lo studio prosegue poi con alcuni confronti tra i diversi Paesi coinvolti nel piano di campionamento: i risultati evidenziano come l'insicurezza dei dipendenti (*employment insecurity*) sia molto alta in Germania, al contrario del Giappone che presenta valori molto bassi di tale variabile. Si è inoltre comprovato come in Giappone molte pratiche siano più enfatizzate rispetto agli altri Paesi: ad esempio sembra che in Italia, a confronto degli altri Paesi campionati, vi sia uno sforzo minore nell'implementazione di alcune pratiche, tra cui *team activities*, *interaction facilitation training in multiple functions*, *communication of strategy* e *feedback on performance*.

I due autori, dopo aver dimostrato la significatività dell'impatto complessivo che le pratiche HRM hanno sulle performance considerate (escludendo la flessibilità), mostrando come in realtà molte di queste tecniche non abbiano un impatto diretto sulle performance, bensì indiretto e mediato dall'impegno organizzativo (*organizational commitment*).

Lo studio condotto da Paul e Anantharaman (2003) prende avvio dall'individuazione di nove pratiche HRM (selezione, addestramento, formazione, design del lavoro, ambiente di lavoro, valutazione delle performance, sistema di compensi, sviluppo delle carriere e incentivi) e cinque performance operative (mantenimento dei dipendenti, produttività dei dipendenti, qualità dei prodotti, velocità delle consegne e costi di produzione). Il modello proposto dai due autori è presentato in *Figura 2.3*. Il principale risultato emerso dallo studio in esame risiede nel fatto che nessuna delle nove pratiche sembra avere un impatto diretto sulle performance finanziarie, ma mostra un impatto mediato attraverso le performance operative.

Wright e McMahan nel 1992 furono i primi ad introdurre il concetto di *bundle* di pratiche HRM. Essi dimostrarono quindi la maggiore efficacia ed i maggiori risultati sulle performance dell'applicazione congiunta di questo set di pratiche, piuttosto che l'implementazione focalizzata su una di esse in particolare. A seguito del loro studio molti altri autori focalizzarono l'attenzione sul *bundle* HRM.

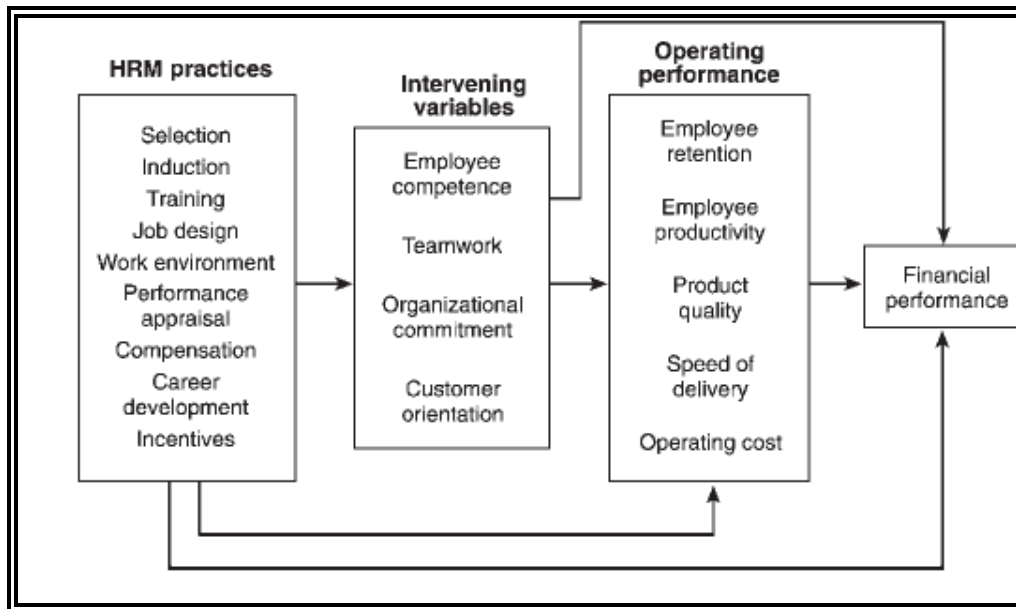


Figura 2.3: Modello di analisi proposta da A. K. Paul e R. N. Anantharam in "Impact of people management practices on organizational performance: analysis of a casual model", *The International Journal of Human Resource Management*, 2003.

Mac Duffie (1995) condusse uno studio interamente centrato alla ricerca delle relazioni esistenti tra pratiche HRM e performance, focalizzandosi su come esse interagissero con le politiche di gestione delle scorte e delle strutture organizzative del lavoro negli stabilimenti. Egli dimostrò che le tecniche HRM non implicavano migliori performance se implementate individualmente, ma tale evidenza era verificata nel momento in cui si considerava un *bundle* HRM e quindi un sistema integrato. In particolare si dimostrò che tale *bundle* contribuiva in modo maggiore alla produttività e alla qualità dello stabilimento se integrato con le politiche di organizzazione del lavoro.

Da questa serie di articoli è stata quindi ricavata la prima ipotesi inerente il rapporto esistente tra HRM e performance operative:

IPOTESI 2^A : Il *bundle* denominato HRM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

La letteratura suggerisce inoltre una possibile scomposizione in effetto diretto ed indiretto del rapporto di causalità esistente tra il *bundle* HRM e le performance operative. Questo secondo filone di pensiero si basa sulla convinzione che la prospettiva legata alle risorse

umane all'interno della filosofia *lean* possa rendere possibile un miglioramento continuo facendo leva sul coinvolgimento dei dipendenti. Molti studi evidenziano l'importanza del coinvolgimento dei dipendenti come elemento infrastrutturale determinante per il successo dell'implementazione del *lean thinking* (Flynn et al., 1995; MacDuffie, 1995; Sakakibara et al., 1997). Il coinvolgimento del personale diventa inoltre un fattore di differenziazione tra aziende *lean* e *non lean* (Shah, 2002) in quanto accresce la condivisione dell'informazione e incoraggia le persone ad identificare i problemi e a risolverli nel momento in cui essi si presentano.

Le pratiche costituenti il *bundle* HRM sono spesso anche considerate una condizione necessaria ed un aspetto costitutivo sia delle tecniche JIT che TQM. Alcuni autori considerano le pratiche HRM come elementi centrali del *bundle* TQM (Hay, 1988; Flynn et al., 1990), mentre altri le indicano come condizione necessaria per l'implementazione del *bundle* JIT (Myers, 1987; Im e Lee, 1989). La filosofia HRM crea quindi un ambiente idoneo all'interno del quale i lavoratori possono liberamente prendere iniziative e diventa un importante fattore nel momento in cui l'approccio JIT richieda un processo di innovazione guidato dai lavoratori (Sakakibara et al., 1993).

Questo tipo di ipotesi sono confermate da tutti i modelli TQM che incorporano al loro interno pratiche appartenenti al contesto della gestione delle risorse umane. Tali modelli indicano infatti come le risorse umane siano necessarie per lo sviluppo di un approccio TQM e per i miglioramenti di performance ad esso associati (Belohlav, 1993; Briggs e Keogh, 1999; Hill e Wilkinson, 1995). Gli articoli facenti capo ipotesi di questo tipo considerano dunque le pratiche HRM come prerequisito dell'applicazione TQM.

Dean e Bowen, ad esempio, (1994) argomentano accuratamente come alcune tecniche HRM, quali coinvolgimento dei dipendenti, formazione del personale e ricerca della soddisfazione del cliente cosiddetto interno, siano necessarie per raggiungere risultati eccellenti in termini di qualità. Le pratiche HRM considerate dai due autori sono pianificazione e controllo delle risorse umane, coinvolgimento dei dipendenti, formazione dei dipendenti, soddisfazione del personale e analisi delle performance dei lavoratori.

Questa seconda tipologia di articoli ha quindi portato alla formulazione di un'ulteriore ipotesi in merito alla relazione esistente tra pratiche HRM e performance, che in realtà va a scomporre l'effetto complessivo ipotizzato al punto precedente:

IPOTESI 2^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato HRM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* HRM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto TQM;
3. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

2.2.3 – TQM E PERFORMANCE

Il *Total Quality Management* è un programma di produzione facente riferimento al miglioramento continuo e al sostegno della qualità dei prodotti e dei processi in modo da incontrare o superare le aspettative del cliente (*Cua et al., 2001*). In un'ottica *lean*, l'approccio TQM può essere arricchito da tecniche peculiari a tale filosofia produttiva e manageriale che presentano come obiettivo primario la riduzione della varianza dei processi (*Sripavatsu e Gupta, 1997; Edelson e Bennett, 1998; Fujimoto, 1999; De Treville et al., 2005*).

Sono molti gli studi empirici che dimostrano l'esistenza di relazioni significative tra le pratiche TQM e le performance.

Esiste comunque una minoranza di articoli nei quali tale ipotesi non è supportata empiricamente (*Boje and Winsor, 1993; Spector and Beer, 1994; Taylor and Wright, 2003*).

Osservando più da vicino l'articolo pubblicato da Taylor e Wright nel 2003, emerge che solamente 17 delle 109 aziende in esame sono pienamente convinte del grande successo implicato dall'adozione delle logiche TQM, mentre 25 stabilimenti attribuiscono ad esse soltanto un discreto successo. Inoltre il 38% del campione dichiara di essere abbastanza soddisfatto dei risultati conseguiti e di voler affinare la diffusione di tali pratiche all'interno della propria realtà. La stessa percentuale di aziende ha però cessato, negli anni immediatamente antecedenti la raccolta dati, di utilizzare le pratiche TQM. Tre sono le possibili cause evidenziate dai due autori dell'abbandono delle logiche TQM:

1. mancanza di un manager veramente adatto all'implementazione e divulgazione all'interno dell'impresa delle tecniche in esame;

2. maggiori benefici tratti da alcune aziende dall'applicazione della norma ISO9000, molte volte dovuti alle dimensioni aziendali e quindi alle scarse risorse disponibili, il più delle volte non sufficienti all'implementazione di entrambi gli approcci;
3. definizione vaga e poco chiara delle pratiche TQM.

Un ulteriore studio con risultati contrastanti è quello proposto da Mohrman, Tenkasi, Lawler e Ledford (1995). Prima di misurare le performance, gli autori classificano diverse pratiche TQM, divise in *core practices* (team per il miglioramento della qualità, pianificazione cross-funzionale, reingegnerizzazione di processo, semplificazione del lavoro, monitoraggio della soddisfazione dei clienti e contatto diretto tra dipendenti e clienti) e tecniche orientate alla produzione (ispezioni autogestite da parte degli operatori, metodi di controllo statistico di processo attuati dagli operatori di *front-line*, consegne JIT e celle di produzione). Gli autori identificano inoltre due ulteriori pratiche TQM: monitoraggio del costo della qualità e collaborazione con i fornitori per il raggiungimento della qualità. I risultati ottenuti evidenziano come l'implementazione delle pratiche TQM all'interno di un'impresa comporti una maggiore efficienza degli addetti e dell'utilizzo del capitale. L'attuazione delle pratiche *core* sembra inoltre essere in stretta relazione con una maggior quota di mercato (*market share*). Lo studio ha inoltre evidenziato una relazione non significativa tra le tecniche TQM, costi di produzione e movimentazione del magazzino. Mentre la prima evidenza può essere giustificata dal fatto che, affinché i programmi di gestione della qualità manifestino i propri benefici in termini di costi di produzione, è necessario lo scorrere di un certo lasso temporale dal momento dell'implementazione effettiva, il secondo risultato sorge inaspettato. Inoltre non è stata rilevata alcuna evidenza empirica di un impatto significativo delle pratiche TQM su performance di tipo finanziario (ROE, ROI, ROS, ROA).

Nonostante gli esempi sopra proposti, la grande maggioranza degli studi porta alla conclusione di un impatto positivo delle pratiche TQM sui risultati aziendali. Le performance cui si fa riferimento in questi articoli sono molto varie in quanto alcuni studi si focalizzano su singoli obiettivi piuttosto che adottare una visione a più ampio raggio.

Alcuni studi hanno posto molta attenzione alla relazione esistente tra TQM e performance qualitative, dimostrando in realtà una relazione positiva e significativa (Goetsch e Davis, 1994; Adam, 1994; Pegels, 1995). In particolare, nell'articolo scritto da Adam si dimostra l'evidenza di una forte relazione tra approcci atti al miglioramento della qualità (controllo

statistico di processo, sistemi di incentivi basati sulla qualità, formazione professionale, etc.) e qualità come performance (scarti, rilavorazioni, ispezioni, etc.).

Molti delle affermazioni sin qui fatte si basano tuttavia su una cosiddetta “*anecdotal evidence*”, ovvero sono ricavate da un’analisi di tipo esplorativo ed osservazionale della realtà, piuttosto che dall’applicazione di specifiche metodologie statistiche. Altri autori, in articoli anche molto recenti, hanno invece proposto studi sistematici che mettono in relazione pratiche TQM e performance (Adam, 1994; Flynn et al., 1995; Dew, 1994; Easton e Jarrel, 1998; Hendricks e Shingal, 2001; Kaynak, 2003; Rahaman e Bullock, 2005; Tarì et al., 2007).

Nell’articolo proposto da Flynn, Schroeder e Sakakibara (1995), si analizzano le relazioni tra molte pratiche *lean* e alcune misure di performance. Gli autori propongono come maggiori indicatori di un’elevata qualità percepita dal mercato il controllo statistico (o feedback), il processo di design del prodotto, la gestione del flusso di processo, il supporto alla produzione da parte del top management e la percentuale di articoli approvati dall’ispezione finale senza subire rilavorazioni. La forte importanza di tecniche quali il controllo statistico e il processo di design del prodotto nella realizzazione di alte performance, emersa dallo studio suddetto, non è affatto sorprendente: le informazioni sulla qualità del processo giocano un ruolo importante nella produzione di prodotti che mirano ad incontrare le alte aspettative di qualità dei clienti. L’effetto della gestione del flusso produttivo presenta invece una relazione con le performance opposta a quanto atteso: l’uso di processi con una gestione poco attenta del flusso sembra portare ad una migliore qualità percepita dal cliente. Anche la percentuale di prodotti che passa l’ispezione finale senza una rilavorazione gioca un ruolo determinante nel definire la qualità percepita dal mercato, sintomo della ricerca di una conformità tra quest’ultima e la qualità reale. L’ultimo risultato di notevole rilevanza strategica che è possibile trarre dall’articolo in esame è che il *Quality Management* si dimostra essere una filosofia che copre l’intera organizzazione, piuttosto che la responsabilità di alcuni isolati individui o dipartimenti. Senza un forte supporto del management, infatti, le pratiche risulterebbero poco efficaci. Il modello proposto dagli autori, completo di alcuni risultati, è proposto in *Figura 2.4*.

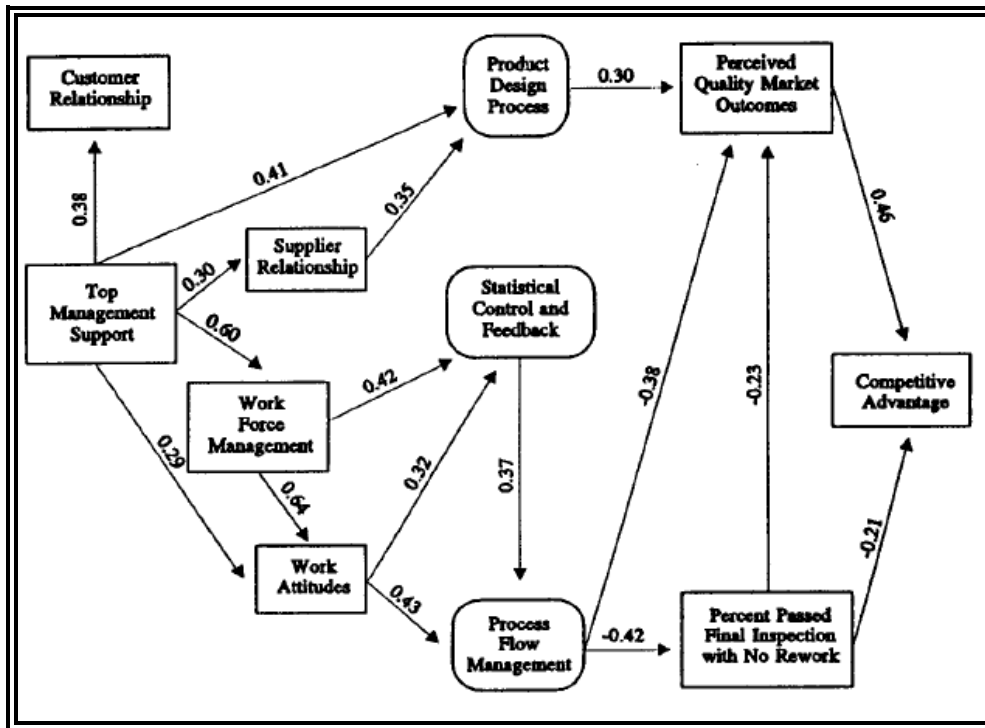


Figura 2.4: Modello di analisi proposto da B. B. Flynn, R. G. Schroeder e S. Sakakibara in "The impact of quality management practices on performance and competitive advantage", *Decision Science*, 1995.

Come evidenziato in Figura 2.4, la percentuale dei prodotti che passano l'ispezione finale senza richiedere una seconda lavorazione non è l'unica determinante della qualità percepita dal cliente. Questo dimostra che la qualità è un costrutto multidimensionale che include, oltre alla conformità alle specifiche, altre dimensioni come l'affidabilità, la durata, il servizio al cliente, le caratteristiche e l'estetica del prodotto. La gestione del flusso di processo (*process flow management*) è la prima determinante della percentuale di pezzi che passano l'ispezione senza richiedere una seconda lavorazione (anche se il segno di tale relazione, come già accennato, non corrisponde a quanto atteso) in quanto tale tecnica permette di progettare e attuare un processo prevedibile e facilmente sotto controllo riducendo quindi la varianza di processo. La stessa gestione del flusso di processo è supportata da diversi elementi: in prima battuta la presenza di un controllo statistico di processo permette agli operatori di gestire le informazioni sullo stesso ed identificare il momento in cui è necessario intervenire, permettendo inoltre un immediato feedback sulle prestazioni degli operatori stessi; in secondo luogo la gestione della forza lavoro (*workforce management*) risulta importante nella selezione e nella valorizzazione dei membri di un team di lavoro, che rappresentano la chiave di risoluzione dei problemi.

Process flow management, statistical control/feedback e workforce management sono tutti supportati (in modo diretto od indiretto) dalla presenza di un top management adeguato che ha il compito di indicare la direzione e la strategia da seguire. Perciò il management assume un ruolo fondamentale ai fini dell'implementazione: senza un forte supporto dello stesso le pratiche risulterebbero poco efficaci. Tale studio ha inoltre evidenziato come i maggiori contribuenti al vantaggio competitivo siano la qualità percepita dal mercato e la percentuale di prodotti che hanno passato l'ispezione finale senza una seconda lavorazione (anche se con un segno opposto a quanto previsto). Infine l'articolo supporta la tesi che la gestione della qualità è una filosofia che copre l'intera organizzazione, piuttosto che la responsabilità di alcuni isolati individui o dipartimenti.

Hendricks and Shingal (2001) analizzano le performance finanziarie di aziende adottanti le pratiche TQM. Anche in relazione alle performance di tipo finanziario, oltre che qualitativo come visto nei casi precedenti, si dimostra in questo caso una relazione positiva tra l'implementazione dei principi TQM e i risultati di lungo periodo. I loro risultati inoltre supportano ciò che molti sostenitori della materia da tempo affermavano: "Le aziende che implementano il TQM devono avere pazienza, perché i benefici si vedono nel lungo termine. L'esperienza suggerisce che, dopo un'effettiva implementazione, sono necessari almeno due anni perché le performance finanziarie migliorino".

Lo studio di Kaynak (2003) identifica la relazione tra TQM e performance ed esamina gli effetti diretti ed indiretti di queste pratiche sui diversi livelli di performance. La ricerca tratta dati derivanti da un'indagine postale condotta per investigare la relazione tra TQM e JITP (*just in time purchasing*, ovvero approvvigionamenti *just in time*) e performance aziendali, avente come popolazione di riferimento l'insieme degli stabilimenti statunitensi e sostenitori delle due tecniche oggetto di analisi. I risultati nel loro complesso suggeriscono l'esistenza di una relazione positiva tra TQM e performance. Le tre pratiche con effetto diretto sulle performance (misurate come gestione delle scorte e gestione della qualità) sono gestione della qualità dei fornitori, design di prodotto/servizio e gestione del processo. Pratiche quali leadership del management, formazione del personale, collaborazione dei dipendenti e raccolta dati inerenti alla qualità influiscono sulle performance mediante la gestione di fornitori di qualità, il design di prodotto/servizio e la gestione del processo.

I risultati salienti emersi da questo studio sono:

1. l'effetto positivo delle tecniche TQM sulle performance di mercato e finanziarie è mediato dall'effetto sulle performance operative;
2. le pratiche TQM sono tra loro fortemente interdipendenti.

I risultati di Tarì (2007), basati su di un campione di aziende operanti nella zona di Alicante, nella regione orientale della Spagna, e certificate ISO 9000, supportano l'ipotesi dell'interdipendenza delle pratiche TQM. Lo studio supporta inoltre la significatività e il segno positivo della relazione tra pratiche TQM e performance di qualità.

Per concludere, è interessante menzionare l'articolo pubblicato da Choi ed Eboch (1998) all'interno del quale si cerca di spiegare il cosiddetto paradosso del TQM. Lo studio presenta una classificazione delle pratiche in quattro aree:

- Gestione del processo della qualità (*process quality management*);
- Gestione delle risorse umane (*human resource management*);
- Pianificazione strategica della qualità (*strategic quality planning*);
- Pratiche legate all'informazione e all'analisi (*information and analysis practices*).

I due autori dimostrano come le pratiche TQM abbiano un maggior impatto sulla soddisfazione del cliente piuttosto che sulle performance aziendali. La *Figura 2.5* presenta esattamente questi risultati.

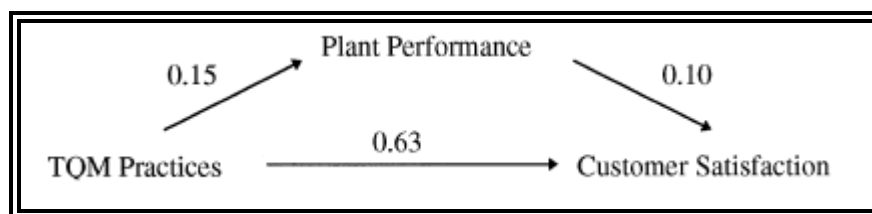


Figura 2.5: Modello di analisi proposto da T. Y. Choi e K. Eboch in "TQM Paradox: Relations among TQM practices, plant performance, and customer satisfaction", *Journal of Operations Management*, 1998.

Dall'analisi di alcuni articoli trattanti la relazione tra tecniche TQM e performance emerge la seconda domanda di ricerca della presente trattazione:

IPOTESI 3^A : Il *bundle* denominato TQM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

Seguendo la logica presentata nell'analisi della relazione esistente tra il *bundle* HRM e le performance operative, anche a proposito del costrutto TQM si procede con una breve analisi della letteratura inerente il rapporto tra quest'ultimo e le performance, in funzione anche del rapporto che esso ha con il *bundle* JIT.

In uno studio sui costrutti JIT e TQM, Flynn, Sakakibara e Schroeder (1995) dimostrano l'esistenza di effetti incrementali delle performance attribuibili al JIT e ad alcune pratiche infrastrutturali comuni sia al JIT che al TQM, ma non in riferimento a tecniche specifiche del TQM. L'effetto complessivo che il TQM può avere sulle performance può essere quindi scomposto in effetto diretto ed effetto indiretto tramite il *bundle* JIT poiché il primo insieme di pratiche può essere visto come preconditione all'implementazione di tecniche JIT (permette di creare cioè un ambiente idoneo all'applicazione di queste ultime).

Considerando esclusivamente le pratiche TQM, Choi e Eboch (1998), e Samson e Terziovski (1999) trovano un impatto diretto significativo delle stesse pratiche su performance di tipo operativo.

Adam (1994) e Powell (1995) dimostrano invece l'esistenza un impatto al limite della significatività tra pratiche TQM e performance operative e non solo. Powell dimostra che soltanto 3 delle 12 pratiche TQM studiate presentano un'influenza diretta sulle performance.

A questo punto è interessante sviluppare un'analisi più approfondita del legame tra TQM, performance e JIT, pervenendo alla seguente ipotesi di ricerca:

IPOTESI 3^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato TQM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* TQM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* TQM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

CAPITOLO 3

HIGH PERFORMANCE MANUFACTURING

Le domande di ricerca dichiarate nel capitolo precedente nascono, quindi, come verifica di precedenti ipotesi discusse nella letteratura facente riferimento al tema della *lean production*. Sono pochi però gli autori che analizzano l'impatto simultaneo dell'applicazione di più di una tecnica *lean* sulle performance operative aziendali. Una possibile causa di tale evidenza può risiedere nel fatto che analisi di questo tipo (ovvero analisi sull'applicazione simultanea di più tecniche) richiedono necessariamente la disponibilità di dati raccolti mediante indagini che sondino in profondità le tematiche della produzione snella, cercando di creare un quadro generale di una realtà molto complessa attraverso la predisposizione di un questionario e il coinvolgimento di un campione globale di aziende. Indagini di questo tipo richiedono un forte investimento sia in termini monetari sia di tempo e di attività umane. Il coinvolgimento di un certo numero di aziende in un progetto, che richiede innanzitutto una disponibilità di tempo e una predisposizione a rendere trasparenti alcune informazioni, non è poi sempre così facile.

I dati utilizzati per la verifica delle ipotesi precedentemente esplicitate sono tratti da un progetto di ricerca, denominato *High Performance Manufacturing*, condotto da Roger G. Schroeder e Barbara B. Flynn ed iniziato nel 1989 con lo scopo di raccogliere dati per capire le motivazioni per cui le aziende giapponesi da alcuni anni detenessero vantaggi consistenti, in particolare nel settore automobilistico, rispetto ad aziende europee e americane. Allo stesso tempo i ricercatori coinvolti nel progetto credevano nella possibilità che le migliori aziende statunitensi potessero trapiantare le tecniche produttive nipponiche e raggiungere le medesime performance. Da questa idea un gruppo di ricercatori iniziali condusse il primo round d'indagine. Questo primo approccio al problema innescò un forte interesse da parte di molti ricercatori di altri Paesi che chiesero di partecipare allo studio in modo da rendere possibile la comparazione tra Paesi e settori differenti. Questa collaborazione portò quindi al secondo round di raccolta dati, iniziato con una revisione del questionario da somministrare alle aziende (contenente accurate misure degli aspetti demografici aziendali, delle tecniche implementate e delle performance conseguite). Un'ulteriore revisione del questionario portò poi al terzo round di raccolta dati (la

somministrazione del questionario è avvenuta nell'anno 2004) oggetto delle successive analisi.

Il presente capitolo ha lo scopo di dare una visione chiara e panoramica dei dati che si hanno a disposizione, focalizzandosi poi soltanto sulle variabili selezionate per le successive indagini. Il metodo di selezione delle variabili sarà poi oggetto del capitolo successivo. Dopo la descrizione del piano di campionamento, del questionario e della composizione del campione di rispondenti, si mostreranno alcune analisi esplorative e descrittive relative agli item selezionati, in funzione delle successive analisi.

3.1 – PIANO CAMPIONARIO E DESCRIZIONE DEL QUESTIONARIO

L'unità statistica di interesse del progetto è essenzialmente il singolo stabilimento di una data azienda. Dalla popolazione degli stabilimenti aziendali dei Paesi coinvolti nella rilevazione (Italia, Finlandia, Svezia, Germania, Austria, Stati Uniti d'America, Giappone e Corea del Sud) e per tre settori di interesse (Elettronico, Meccanico e Fornitori di componenti per il settore automobilistico) è stato quindi estratto un campione attraverso un processo a stadi. Tale metodo probabilistico prevede che l'estrazione del campione avvenga in due o più stadi successivi dai quali sarà poi estratto casualmente un insieme di unità statistiche. Nel caso in esame la definizione del piano di campionamento si basa essenzialmente su due step:

- Circa la metà degli stabilimenti sono stati casualmente selezionati da una lista di stabilimenti "*high performance reputation*". Tale lista è stata composta attraverso l'analisi della letteratura sul tema in esame e attraverso l'aiuto di esperti industriali. Questa scelta consente di avere a disposizione una buona rappresentanza di alcuni dei migliori stabilimenti nel mondo.
- L'altra metà del campione è stata casualmente selezionata da alcune liste che rappresentano la popolazione generale industriale.

Il gruppo di professori aderenti al progetto si è quindi impegnato a contattare le aziende del proprio Paese e a raccogliere i dati. Dal momento in cui un'azienda era inserita nel campione, un membro del team di ricerca contattava personalmente il manager dello stabilimento per richiedere la partecipazione allo studio. Il tasso di risposta per il terzo

round di ricerca è stato pari al 65% (ovvero il 65% delle aziende selezionate ed inserite nel campione ha accettato la partecipazione al progetto attraverso la compilazione di un questionario).

Il risultato di questo terzo round di raccolta dati sarà utilizzato nella presente trattazione per evidenziare diversi aspetti inerenti all'implementazione delle tecniche *lean*, discusse nel *Capitolo 1*, e per rispondere alle domande di ricerca precedentemente esplicitate. Il data-set contiene quindi informazioni sulle tecniche adottate dai vari stabilimenti presi in esame, le performance ad essi associate e il contesto ambientale degli stessi.

La raccolta dei dati del progetto di ricerca sopra descritto avvenne tramite somministrazione di un questionario, compilato da diversi responsabili di ciascun stabilimento, costituito da una serie di item suddivisi in diverse aree, ciascuna riferita a specifici gruppi di tecniche *lean*, alla specificazione delle performance aziendali e ad indicazioni in merito al contesto aziendale dello stabilimento. In questo modo a ciascuna sezione del questionario è dedicato un particolare aspetto, indagato secondo diverse prospettive e attraverso diverse tipologie di domande. Le categorie sono le seguenti (per ciascuna categoria sono inoltre elencate alcune delle principali tecniche ad esse ricondotte):

1. 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.
2. Ambiente: questa sezione del questionario include informazioni facenti riferimento alla complessità dell'ambiente; alla descrizione dello stabilimento; ai prodotti, ai componenti e ai processi dello stesso.
3. Obiettivi / 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*¹⁴.
4. 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.

¹⁴ Il termine *cycle time* fa riferimento al tempo richiesto per completare un ciclo di un'operazione.

5. Miglioramento: questo gruppo di item mira all'ottenimento di informazioni riguardanti i passi compiuti dall'azienda per raggiungere la piena implementazione del pensiero snello.
6. *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.
7. Qualità: miglioramento continuo; coinvolgimento dei clienti; *customer satisfaction*; responsabilizzazione alla qualità; controllo di processo e *Supplier Quality Management*.
8. Strategia: anticipazione delle nuove tecnologie; comunicazione della strategia di produzione; pianificazione strategica formale; integrazione tra le funzioni e macchinari di proprietà.
9. Tecnologia / *Mass customization*: processo di sviluppo nuovi prodotti; *Mass Customization*; modularità dei prodotti e livello di automazione.
10. Manutenzione: manutenzione preventiva e pianificata; cinqueS e manutenzione autonoma da parte dei lavoratori.
11. Sviluppo nuovi prodotti: coinvolgimento della produzione nel processo di sviluppo di nuovi prodotti; complessità dei progetti; priorità di progetto e coinvolgimento dei fornitori.
12. *Supply chain*: minimizzazione tempi di rifornimento; coordinazione e costruzione di relazioni basate sulla fiducia con i fornitori.

Questo modello comprende una più ampia selezione di tecniche se comparato ai modelli proposti da altri autori. Per esempio, Hayes e Wheelwright (1984) suggerirono uno dei primi modelli di *high performance manufacturing*. Essi identificarono le seguenti aree: costruire le competenze e le abilità della propria forza lavoro; costruire le competenze tecniche del proprio management; competere attraverso la qualità; sviluppare una reale partecipazione dei lavoratori; ripensare all'ingegnerizzazione del processo produttivo e sviluppare un processo di miglioramento continuo. Il modello sottostante al progetto di ricerca esaminato include tutte le pratiche proposte da Hayes e Wheelwright, aggiungendo JIT e Sistemi informativi. Inoltre sono state approfondite aree come la gestione della tecnologia, la gestione della qualità e delle risorse umane attraverso l'inclusione di nuove variabili. Un secondo esempio è il modello proposto da Schonberger (1986) comprendente

JIT, TQM (*Total Quality Management*), EI (*Employee Involvement*) e TPM (*Total Productive Maintenance*). Data la vastità delle pratiche indagate e la necessità di rispondere a specifiche domande di ricerca, nelle sezioni successive sarà evidenziato come non tutte le suddette categorie siano state oggetto diretto di studio. L'analisi quantitativa è stata infatti preceduta da una fase qualitativa, ovvero di selezione delle principali tecniche *lean*, effettuata in base alla letteratura disponibile sull'argomento.

Il questionario contiene inoltre domande strutturate in modi differenti, ciascuno dei quali è presente comunque in tutte le aree sopra descritte (ad eccezione della sezione Ambiente). Una parte considerevole del questionario è coperta da item misurati su scala di Likert a sette modalità, e queste, come si vedrà tra breve, saranno le variabili di diretto interesse del presente progetto di ricerca. In relazione alle scale inserite per la misurazione delle performance aziendali, che fanno riferimento al confronto delle prestazioni dello stabilimento con i concorrenti su scala globale, si osserva che le modalità della scala di Likert, in questo caso, sono cinque e non più sette. Le rimanenti variabili non sono misurate attraverso scale ma fanno riferimento a domande a risposta multipla, percentualizzazioni di alcuni aspetti aziendali e domande aperte. Gli item misurati attraverso una scala di Likert possono essere graduati normalmente oppure in maniera inversa. Gli item appartenenti a questa tipologia mirano a misurare secondo quale grado una particolare tecnica di produzione (produzione intesa nel suo senso più ampio) è implementata in quel particolare stabilimento. Si ha quindi che, ad esempio, l'osservazione di un grado alto in corrispondenza di una scala a misurazione diretta indica una completa applicazione della tecnica in esame ("Gli addetti sono addestrati in modo tale da potersi sostituire ad altri, se necessario") mentre lo stesso valore in corrispondenza di una scala inversa, nella versione originale, comporta la conclusione della mancata implementazione della tecnica in esame ("I nostri tempi di set up sono irrimediabilmente lunghi"). La presenza di scale inverse ha in realtà creato alcuni problemi nell'interpretazione dei dati raccolti. La motivazione risiede nel fatto che gli autori dichiarano che la versione pubblicata del data-set prevede che tali scale siano già state ricodificate in modo da poter essere lette in modo diretto senza particolari problemi. Se questo fosse vero, tali scale dovrebbero, a rigor di logica, correlare positivamente e significativamente con le scale dirette appartenenti allo stesso gruppo di item e in stretta relazione con esse in termini di tecniche sottostanti. Quest'osservazione non sempre è verificata dagli item inversi.

Ad esempio:

- La scala indiretta “I nostri macchinari sono all’incirca gli stessi di quelli delle altre aziende del settore” ha una correlazione sì positiva, ma non significativa (pari a 0.079) ad un livello di confidenza del 5% con la scala “Modifichiamo frequentemente i nostri macchinari per soddisfare le nostre specifiche esigenze”.
- La scala indiretta “I direttori della produzione, anziché gli operatori, ispezionano e monitorano le performance dei macchinari” ha una correlazione non significativa ed inoltre di segno negativo (pari a -0.054) con la scala “La pulizia dei macchinari eseguita dagli operatori è critica per le prestazioni degli stessi”.
- Le scale “Ognuno dei nostri impianti stabilisce i suoi standard di manutenzione” e “I pezzi di ricambio per la manutenzione sono gestiti centralmente” presentano una correlazione significativa e negativa, pari a -0.176.

Una volta definito il questionario, con le caratteristiche sopra specificate, a ciascun stabilimento campionato, che decideva di aderire al progetto di ricerca, dopo un primo contatto iniziale di spiegazione degli obiettivi, era richiesto di collaborare al progetto attraverso la compilazione del questionario da parte di diversi Responsabili. In particolare, ciascuna sezione del questionario richiedeva l’impegno di una o più figure professionali, secondo l’area aziendale e manageriale da essa colpita. In particolare l’attenzione era focalizzata su:

- 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 dello stabilimento per le sezioni Ambiente, Risorse Umane, Miglioramento, Strategia e Performance;

- Responsabile della qualità per le sezioni Risorse Umane, Strategia, 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.

Per ciascun stabilimento si disponeva quindi di una serie di questionari compilati, variabili nel numero secondo la sezione, e di un insieme di valutazioni per ciascuna tecnica implementata. Le analisi discusse in seguito saranno applicate al data-set contenente i dati di stabilimento, ovvero per ogni item di ciascuna delle 12 sezioni è disponibile un punteggio medio di stabilimento (in altre parole i dati cui si farà riferimento rappresentano la media delle risposte date dai responsabili coinvolti in ciascuna sezione del questionario per ciascun stabilimento).

3.2 – ANALISI ESPLORATIVA

Una volta definiti il piano di campionamento e la struttura del questionario utilizzato per la raccolta dei dati, è opportuno, prima di procedere con la ricerca di adeguate tecniche di analisi, osservare più da vicino i dati a disposizione, così da creare una conoscenza di base delle variabili che maggiormente saranno approfondite. L'analisi esplorativa, di seguito riportata, prende avvio da una descrizione della composizione del campione di rispondenti, per passare poi alla selezione degli item di interesse e ad alcune riflessioni di carattere descrittivo.

3.2.1 – ANALISI DEL CAMPIONE DI RISPONDENTI

Il numero di stabilimenti che ha accettato di partecipare al progetto *High Performance Manufacturing* è stato pari a 238. Le informazioni che si hanno a disposizione per queste aziende non solo riguardano il grado di implementazione di varie tecniche *lean*, ma fanno anche riferimento al contesto ambientale all'interno del quale ogni stabilimento è inserito. Molti autori, tra cui gli stessi Roger G. Schroeder e Barbara B. Fynn, hanno infatti spesso

evidenziato l'importanza di considerare alcune variabili ambientali quali lo Stato di ubicazione dello stabilimento, il settore di appartenenza, la dimensione aziendale e l'età dello stabilimento, per meglio comprendere le logiche di adozione di una pratica piuttosto che un'altra o le relazioni che tra esse intercorrono.

I dati resi disponibili per la presente ricerca sono stati rilevati su scala globale, focalizzandosi su alcuni Paesi europei (Italia, Austria, Finlandia e Svezia), sugli Stati Uniti d'America e su due Paesi asiatici (Giappone e Corea del Sud). Questo può implicare, ad esempio, che un'azienda italiana e un'azienda giapponese siano tra loro molto diverse, ma che questa diversità, in realtà, possa essere ricondotta per molti versi a variabili specifiche di Paese come la situazione economico-finanziaria ed industriale, le regole e le leggi che governano la competitività e i fattori culturali e organizzativi specifici. Fino a non molto tempo fa il contesto Paese era senza dubbio un fattore determinante per la struttura e le competenze di ciascun stabilimento. Queste differenze si stanno ora gradualmente attenuando grazie alla globalizzazione dei mercati che ha imposto alle aziende di operare in termini internazionali.

Il *Grafico 3.1* mostra la composizione del campione di rispondenti in base al Paese di appartenenza. E' possibile osservare come Germania e Giappone siano i Paesi per cui si ha a disposizione un maggior numero di questionari compilati. Poiché non è stato reso noto dagli autori il numero iniziale di stabilimenti campionati per ciascun Paese, non è quindi possibile definire lo Stato che presenta un tasso di risposta più elevato.

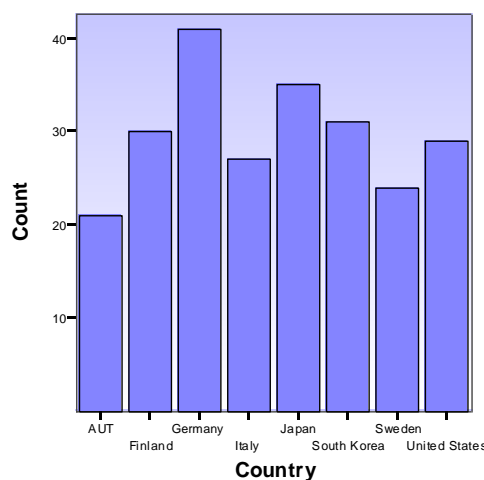


Grafico 3.1: *Composizione del campione di rispondenti in relazione al Paese di appartenenza dello stabilimento.*

Un secondo fattore ambientale di indubbio interesse risulta essere il settore di appartenenza di ciascuna azienda. Seguendo la nascita e la prima evoluzione del pensiero snello, come discusso nel *Capitolo 1*, si scopre che esse sono da localizzarsi geograficamente in Giappone. Le prime aziende occidentali che poi hanno tentato di apprendere ed implementare questo nuovo modo di concepire l'azienda risiedevano negli Stati Uniti d'America (grazie anche alla delocalizzazione delle pioniere aziende giapponesi). Si è appena evidenziato come in realtà i dati raccolti vanno ben oltre a tali confini geografici, sintomo di un progressivo espandersi dei concetti e delle tecniche *lean*. Facendo sempre riferimento alla nascita della produzione snella, si è visto come essa abbia interessato innanzitutto il settore automobilistico e in particolar modo le aziende assemblatrici. Con l'evolversi dello stesso modo di intendere la produzione, il *lean thinking* si è diffuso a tutte le fasi a monte e a valle, così da interessare i fornitori diretti di tali stabilimenti che iniziarono così anch'essi ad implementare tali principi. Così come è successo dal punto di vista geografico, anche dal punto di vista settoriale si è osservata, dagli ultimi anni Ottanta, una progressiva contaminazione verso altri settori. Ecco allora che la ricerca di un quadro completo sull'implementazione delle tecniche *lean*, quale è il data-set di interesse, passa attraverso il coinvolgimento di aziende non solo operanti nel settore di fornitura di componentistica per aziende automobilistiche, ma anche nel settore dell'elettronica e della meccanica. La struttura di settore diventa quindi un importante elemento di valutazione per comprendere le possibili differenze che possono essere riscontrate tra stabilimenti.

Il *Grafico 3.2* mostra la composizione dei rispondenti sia in funzione del solo settore sia congiuntamente in funzione del settore e Paese di appartenenza. Si può facilmente osservare come la composizione del campione dei rispondenti in funzione del settore è ben equilibrata. Il numero di rispondenti per settore varia invece tra Paesi diversi: il settore comprendente i fornitori di componentistica di aziende automobilistiche è maggiormente rappresentato in Germania, Giappone e Corea del Sud, il settore elettronico e il settore meccanico sono invece prevalenti, rispettivamente in Austria, Finlandia e negli Stati Uniti d'America e Svezia. L'Italia presenta la stessa numerosità di rispondenti per il settore elettronico e meccanico.

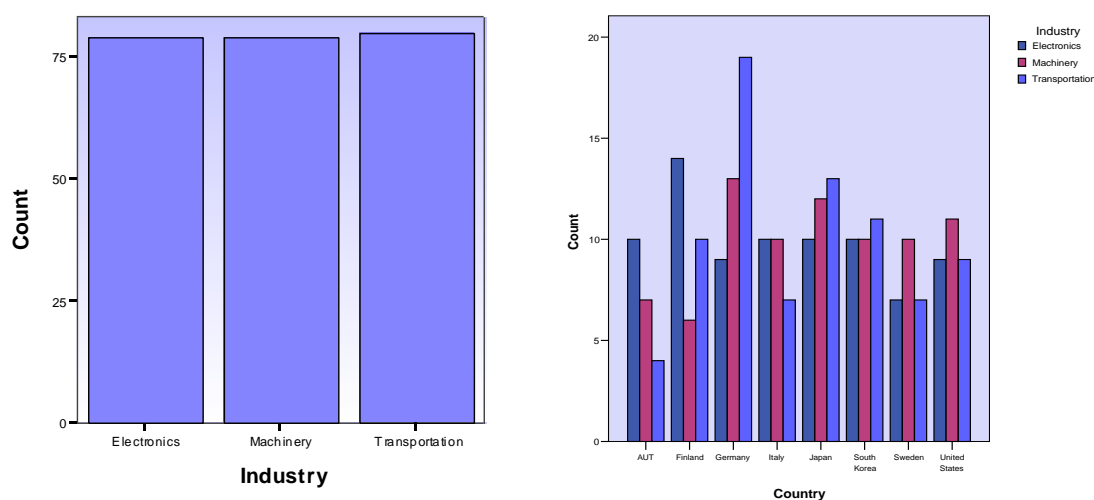


Grafico 3.2 : *Composizione del campione di rispondenti in relazione al solo settore di appartenenza (grafico a sinistra) e congiuntamente in relazione a settore e Paese di appartenenza dello stabilimento (grafico a destra).*

Un limitato numero di studi empirici suggerisce che l'adozione di una particolare tecnica di produzione può dipendere da caratteristiche specifiche dell'organizzazione (*White et al., 1999; McKone et al., 1999*). Per esempio, White trovò una significativa evidenza di come le grandi aziende americane adottassero la tecnica del JIT più frequentemente rispetto alle piccole aziende. Esistono infatti alcune differenze organizzative all'interno di aziende di dimensioni diverse. Alcuni autori (ad esempio *Chandler, 1962; Child, 1972*) hanno notato che, poiché ciascuna funzione amministrativa ha iniziato ad essere più complicata nelle grandi aziende, i manager delle stesse non presentano una predisposizione al cambiamento, e tendono a far permanere il sistema esistente. Di conseguenza le imprese di dimensioni maggiori subiscono delle forze strutturali inerziali (*Hannan e Freeman, 1984*) che impattano negativamente sull'implementazione delle tecniche *lean*. Nonostante questo, una dimensione importante implica la disponibilità di capitale e di risorse umane che possono d'altro canto aiutare l'implementazione di tali pratiche. La letteratura propone quindi argomenti teorici a supporto di un'associazione sia positiva sia negativa tra la dimensione aziendale e l'adozione delle pratiche *lean*, mentre l'evidenza empirica supporta nettamente la tesi di una relazione positiva tra le due. Shah e Ward (2003) hanno dimostrato che la maggior parte delle pratiche *lean* è positivamente correlata con la dimensione aziendale, ovvero le aziende più grandi sono più propense ad implementare le tecniche *lean* rispetto ad aziende di dimensione inferiore.

Nel caso in esame la dimensione dello stabilimento è stata misurata tramite il numero di dipendenti (numero operai più numero impiegati) e, al fine di avere un quadro generale dei rispondenti anche in funzione di questa variabile contestuale, si sono suddivise le aziende in tre gruppi:

- le aziende con meno di 250 dipendenti sono state classificate come “piccole”;
- le aziende con un numero di dipendenti compreso tra 251 e 999 sono state classificate come “medie”;
- le aziende con un numero di dipendenti maggiore a 1000 sono state classificate come “grandi”.

Il *Grafico 3.3* propone una panoramica della dimensione degli stabilimenti rispondenti, permettendo anche un confronto tra Paesi e settori.

La maggior parte delle aziende rispondenti alla sezione del questionario in questione risulta essere di media dimensione, come si può facilmente osservare dal primo grafico. Non tutte le aziende partecipanti al progetto hanno fornito informazioni in merito al numero di dipendenti dello stabilimento in esame: tra i questionari pervenuti il 15% presenta un dato mancante in merito alla dimensione aziendale. E' interessante notare come le grandi imprese siano presenti in particolar modo in Giappone e nella Corea del Sud, come le medie imprese siano maggiormente rappresentate in Germania e negli Stati Uniti mentre come le piccole imprese siano maggiormente presenti nei Paesi europei quali Finlandia ed Italia. Il campione di rispondenti sembra quindi essere rappresentativo della situazione dimensionale ed organizzativa globale delle aziende che prevede aziende di medie grandi dimensioni presenti nei grossi colossi asiatici e negli Stati Uniti, mentre prevede una prevalenza di aziende di piccole dimensioni in Paesi quali l'Italia e la Finlandia. Per quanto riguarda i settori non si osserva una differenza dimensionale così netta: in tutti e tre i settori considerati esistono imprese di varie dimensioni.

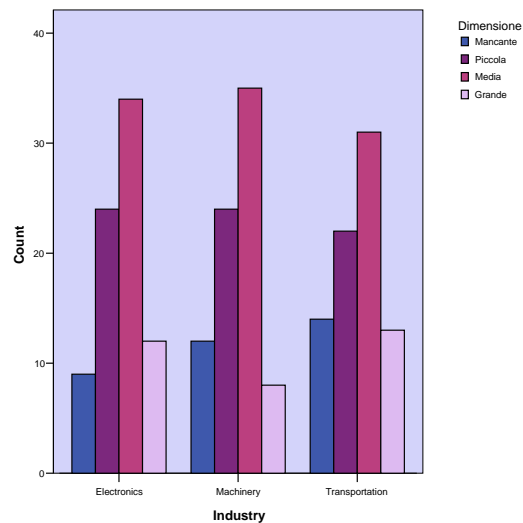
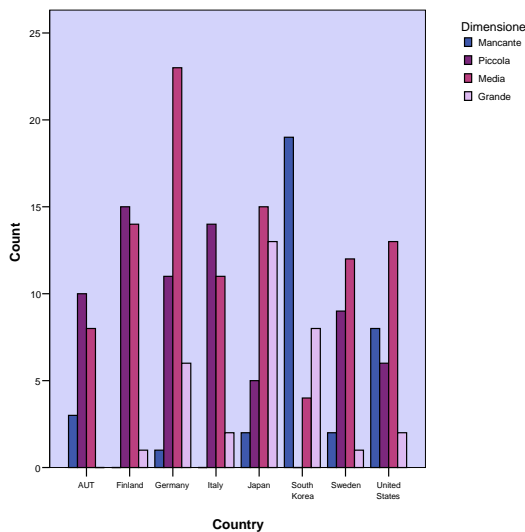
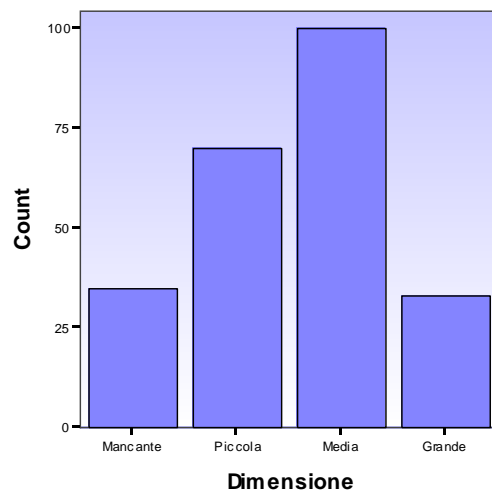


Grafico 3.3 : *Composizione del campione di rispondenti in relazione alla sola dimensione dello stabilimento (grafico in alto) e congiuntamente in relazione a dimensione e Paese di appartenenza (grafico in basso a sinistra) e in relazione a dimensione e settore di appartenenza dello stabilimento (grafico in basso a destra).*

Un'ultima variabile contestuale di notevole interesse, anche se poco studiata in letteratura, è l'età dello stabilimento. A tale variabile non è stata data molta importanza dal punto di vista empirico, in relazione al suo legame con le pratiche *lean*, e quindi sono scarsi gli aspetti teorici di riferimento che possono guidare l'ipotesi sulla direzione di tale legame. L'età dello stabilimento potrebbe implicare sia una tendenza alla tradizione, sia una predisposizione verso le novità. La visione della "resistenza al cambiamento" è supportata

dalla letteratura sociologica organizzativa che suggerisce che l'età di un'unità produttiva può inversamente influenzare il tasso di adozione di innovazioni poiché l'organizzazione tende ad essere "congelata" all'anno della sua istituzione (*Stinchcombe, 1965*). In risposta altre tesi affermano che tanto più l'esperienza di un'azienda è consolidata, tanto più sarà difficile mantenere le vecchie pratiche qualora esse comportino rendimenti inferiori rispetto alle nuove. In altri casi (*Osterman, 1994*) si è dimostrato empiricamente che l'età dello stabilimento non è una determinante significativa per l'adozione di nuove pratiche produttive. Un'analisi per la verifica di quale ipotesi teorica sia maggiormente supportata dalla realtà è stata condotta da Shah e Ward (2003). Essi hanno dimostrato come questo legame esista e come esso sia negativo: gli stabilimenti "vecchi" sono meno propensi all'implementazione delle pratiche *lean* rispetto agli stabilimenti più giovani.

Nel caso in esame la misura dell'età dello stabilimento è stata ottenuta sottraendo a 2004 (anno di compilazione del questionario) l'anno dichiarato di costruzione dello stabilimento stesso. Le aziende sono quindi state suddivise in tre categorie, seguendo la classificazione proposta da *IndustryWeek*:

- le aziende con meno di 10 anni d'età sono state classificate come "giovani";
- le aziende con età compresa tra gli 11 e i 20 sono state classificate come "adolescenti";
- le aziende con più di 21 anni d'età sono state classificate come "adulte".

Il *Grafico 3.4* propone una panoramica dell'età degli stabilimenti rispondenti, permettendo anche un confronto tra Paesi e settori.

I grafici sotto riportati mostrano come le imprese rispondenti abbiano, nella maggior parte dei casi meno di 10 anni d'età. Anche in questo caso non tutti gli stabilimenti aderenti all'iniziativa hanno fornito informazioni in merito all'anno di costruzione dello stabilimento: di tutti i questionari compilati, il 38% è risultato incompleto dell'informazione di interesse. E' interessante osservare come, tranne in rarissimi casi, chi non ha fornito dati in merito al numero di dipendenti non ha fornito neppure informazioni in merito all'anno di costruzione dello stabilimento. In relazione alla distribuzione geografica è possibile osservare come le aziende di più giovane età si concentrino in Italia, Finlandia e Svezia, mentre aziende più vecchie si osservano in particolar modo in Giappone. Per quanto riguarda la distribuzione settoriale, le aziende più datate tendono a concentrarsi nel settore meccanico e di fornitura di componentistica per automobili, mentre le più giovani nel settore elettronico. In realtà i diversi settori non sembrano presentare

grandissime differenze in termini di distribuzione della variabile relativa all'età dello stabilimento.

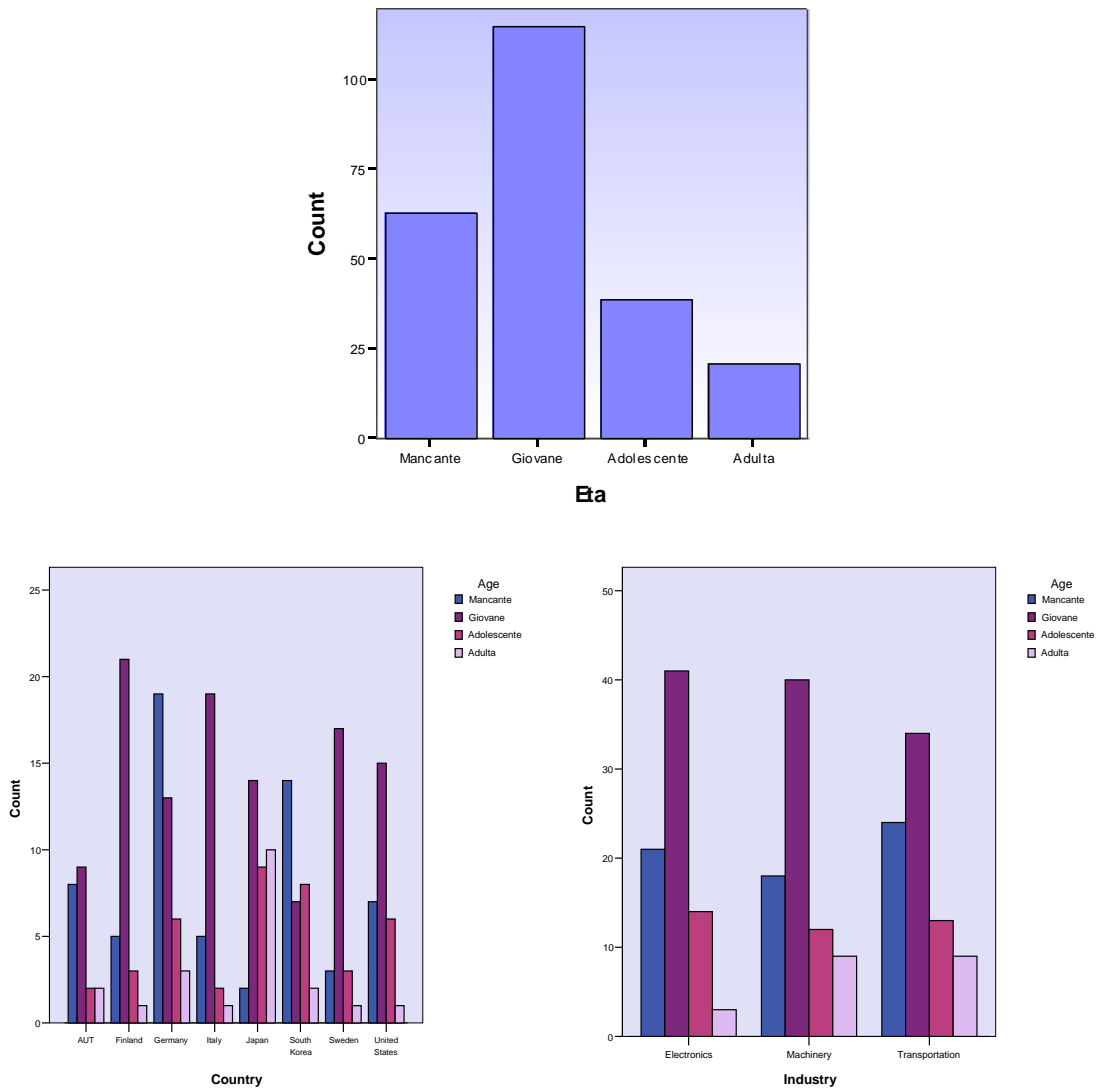


Grafico 3.4 : *Composizione del campione di rispondenti in relazione alla sola età dello stabilimento (grafico in alto) e congiuntamente in relazione ad età e Paese di appartenenza (grafico in basso a sinistra) e in relazione ad età e settore di appartenenza dello stabilimento (grafico in basso a destra).*

3.2.2 – PRATICHE *LEAN*: DESCRIZIONE, STATISTICHE DESCRITTIVE E DISTRIBUZIONE

Il data-set *High Performance Manufacturing* mette a disposizione innumerevoli informazioni riguardanti gli stabilimenti campionati. Tale ricerca di profondità è da collegarsi alla volontà dei due autori di costruire un quadro generale di come il *lean thinking* si stia diffondendo in moltissime aziende. Come alcuni autori affermano (*Shah e Ward, G. Schroeder e Barbara B. Fynn* e molti altri) la *lean production* è un approccio multi-dimensionale che include una grande varietà di pratiche manageriali, quali il JIT, i sistemi di controllo qualità, i team di lavoro, il layout a celle, etc. che formano però un sistema integrato. Il cuore della *lean production* risiede in particolar modo nel fatto che queste pratiche possono lavorare sinergicamente per creare un nuovo sistema, a più alto rendimento qualitativo e non solo, capace di produrre prodotti finiti al momento in cui il consumatore li richiede con pochi o zero sprechi.

Poiché la presente ricerca ha obiettivi ben specifici (discussi nel *Capitolo 2*) e poiché la numerosità dei dati a disposizione non è così elevata, non è stato possibile includere nelle successive analisi quantitative tutte le varie pratiche indagate nel questionario. Si è quindi avuta la necessità di far precedere qualsiasi ragionamento metodologico-statistico da una valutazione sostanziale, ovvero da una scrematura delle tecniche *lean*, per arrivare ad un gruppo selezionato delle stesse che fosse di aiuto nella verifica delle ipotesi di ricerca. Tale processo di selezione è partito da un'analisi della principale letteratura facente riferimento a tali tecniche (all'interno della quale sono compresi i due volumi già citati "*Lean Thinking*" e "*La macchina che ha cambiato il mondo*" e molti altri articoli elencati in *Bibliografia*) che ha permesso di identificare le tecniche *lean* maggiormente studiate nel corso degli anni. A questo punto a ciascuna tecnica è stata associata la corrispondente sezione del questionario comprendente un certo numero di item ciascuna (tra questi sono stati eliminati gli item con scala inversa per ovviare ad alcuni inconvenienti legati alla ricodifica di tali variabili). Per ciascuna tecnica si è quindi selezionato l'item che maggiormente esplicitava il grado di implementazione della stessa all'interno degli stabilimenti indagati. Si è in questo modo ottenuta una lista di 28 pratiche *lean*, ciascuna delle quali misurata da uno specifico item. I risultati di tale selezione sono presentati nella tabella sottostante.

TECNICA	CODICE	DESCRIZIONE
CinqueS	QSPWN01	Nel nostro stabilimento si dà importanza al riporre tutti gli strumenti di lavoro al loro posto.
Rimozione colli di bottiglia	JSTCN03	I livelli di utilizzo e la tempificazione degli ordini relativi a processi "non collo di bottiglia" viene effettuata tenendo conto della capacità dei processi "collo di bottiglia".
Collaborazione con i fornitori	QSSUN01	Abbiamo rapporti di collaborazione con i nostri fornitori.
Collaborazione con i clienti	HSVCN03	Collaboriamo strettamente con i nostri clienti.
Cooperazione dei dipendenti	HSVCN02	Preferiamo incoraggiare i nostri dipendenti a collaborare per raggiungere obiettivi comuni, piuttosto che favorire la competizione tra gli individui.
Formazione su più mansioni	HSTWN01	I nostri addetti ricevono una formazione tale da poter eseguire più mansioni.
Enunciazione delle politiche	SSCSN01	Nel nostro stabilimento mi vengono comunicati obiettivi e strategie.
Gruppi di miglioramento	HSTMN07	Durante gli ultimi tre anni, molti problemi sono stati risolti mediante incontri in piccoli gruppi.
Consegne JIT	JSVCN01	I nostri clienti ricevono da noi consegne "just in time".
JIT con fornitori	JSVNN11	I fornitori effettuano consegne frequenti nei nostri confronti.
<i>Kanban</i>	JSPLN06	Utilizziamo un sistema <i>kanban</i> con logica a trazione (<i>pull system</i>) per il controllo della produzione.
Lotto unitario	JSSUN11	Diamo importanza ai piccoli lotti per incrementare la flessibilità produttiva.
Layout dei macchinari	JSMHN06	La disposizione planimetrica (layout) dello stabilimento facilita rapidi attraversamenti e scorte ridotte.
Livellamento della produzione	JSFTN06	Normalmente completiamo la schedulazione giornaliera come pianificato.
Miglioramento continuo	QSVIN01	Piuttosto che adottare un approccio statico ci sforziamo di migliorare continuamente tutti gli aspetti riguardanti i prodotti e i processi.
Macchinari proprietari	SSR4N01	Sviluppiamo attivamente macchinari proprietari (ossia realizzati internamente per le nostre specifiche esigenze).
<i>Poka yoke</i>	QSPSN01	I processi produttivi nel nostro stabilimento sono progettati al fine di evitare gli errori (sono a "prova di stupido").
QFD	QSTPN05	Il top management incoraggia significativamente il coinvolgimento dei dipendenti nel processo di produzione.
Riduzione dei livelli gerarchici	HSFLN01	La nostra struttura organizzativa è relativamente piatta.
Riduzione tempi di set up	JSSUN04	Nel nostro stabilimento abbiamo ridotto i tempi di attrezzaggio delle macchine.
<i>Supplier lead time</i>	PSLTN01	Progettiamo la nostra catena di fornitura cercando di minimizzare i tempi (<i>lead times</i>) di rifornimento.
Controllo statistico di processo	QSPSN03	Un'elevata percentuale di macchinari e di processi produttivi nei reparti sono attualmente sotto controllo statistico di qualità.

Suggerimenti	HSESN03	Il management ci spiega sempre perché i nostri suggerimenti vengono messi in pratica oppure vengono scartati.
TPM	MSTMN03	In passato, molti problemi dei macchinari sono stati risolti attraverso riunioni coinvolgenti un ristretto gruppo di persone.
Team di progetto	TSNPN06	Nel processo di sviluppo di nuovi prodotti lavoriamo in gruppi di persone di aree diverse (marketing, produzione,...)
Training personale	HSTWN10	I nostri dipendenti vengono formati con regolarità affinché possano migliorare le loro capacità professionali.
Uffici di produzione	HSMGN03	I nostri tecnici hanno gli uffici dislocati vicino ai reparti di produzione per poter fornire una pronta assistenza quando la produzione si ferma.
<i>Visual factory</i>	QSFBN06	Informazioni sui livelli di produttività sono immediatamente rese disponibili al personale.

Tabella 3.1 : *Elenco delle tecniche lean maggiormente discusse in letteratura, con descrizione dell'item ad esse associato (gli item evidenziati corrispondono alle pratiche di interesse per le successive analisi).*

Questa prima fase di selezione ha comunque condotto ad una lista di pratiche troppo numerosa, dati i modelli statistici che si andranno ad adottare. Come si vedrà nel *Capitolo 4*, un'ulteriore selezione degli item di interesse è stata condotta attraverso lo studio di un modello di analisi fattoriale esplorativa, avendo come base le 28 tecniche sopra specificate. Il risultato finale consiste in un insieme di 19 pratiche, come evidenziato in *Tabella 3.1* (le tecniche evidenziate compongono il set finale di pratiche scelte).

Un primo aspetto interessante può essere discusso a partire dall'analisi del punteggio medio osservato per ciascun item, come riportato in *Tabella 3.2*.

E' importante osservare come tutte le variabili selezionate presentino un valore medio superiore alla modalità media della scala (pari a 4, essendo la scala di misura composta da sette modalità). Molte pratiche presentano inoltre un valore medio maggiore di 5, ovvero, in media, tali pratiche risultano essere implementate negli stabilimenti campionati secondo un'intensità medio-alta. In altre parole le tecniche *lean* selezionate, che rappresentano il cuore del *lean thinking*, risultano essere tutte applicate in modo abbastanza intenso dal campione di stabilimenti in esame.

ITEM	MEDIA	ITEM	MEDIA
Suggerimenti	4.72	Macchinari proprietari	4.66
Uffici di produzione	5.17	Controllo statistico di processo	4.74
Miglioramento continuo	5.50	TPM	4.83
Consegne JIT	4.50	<i>Poka yoke</i>	4.58
JIT con i fornitori	4.98	Gruppi di miglioramento	5.06
<i>Kanban</i>	3.91	Cooperazione dei dipendenti	5.85
Lotto unitario	4.76	Formazione su più mansioni	5.22
Layout dei macchinari	5.00	Riduzione dei livelli gerarchici	4.66
Livellamento della produzione	5.28		
Riduzione dei tempi di set up	4.75		

Tabella 3.2 : Media aritmetica calcolata per ciascuna pratica lean di diretto interesse.

Una volta definite le variabili di interesse, il passo successivo risulta essere la selezione delle metodologie statistiche più adatte alla verifica delle sei ipotesi di ricerca, esplicitate nel *Capitolo 2*. Le due principali tecniche utilizzate sono l'analisi fattoriale (sia esplorativa sia confermativa) e i modelli ricorsivi con variabili latenti. Una delle ipotesi fondamentali che accomuna queste due diverse metodologie statistiche fa riferimento alla distribuzione delle variabili che entrano in gioco. In particolare tali modelli fanno uso di stimatori che godono di buone proprietà statistiche (consistenza, efficienza asintotica, calcolo corretto degli *standard error*, etc.)¹⁵ e producono delle stime consistenti qualora la distribuzione congiunta delle variabili sia, almeno approssimativamente, di tipo normale. A questo punto è opportuno aprire una serie di considerazioni inerenti alla robustezza delle stime di massima verosimiglianza in riferimento alla classe di modelli SEM.

¹⁵ Per i modelli SEM le stime cui si fa qui riferimento sono ottenute tramite l'applicazione del metodo della massima verosimiglianza.

Le variabili sino a qui discusse sono misurate attraverso una scala di Likert a 7 modalità ed appartengono a diverse sezioni del questionario, ognuna delle quali è stata somministrata a diversi responsabili per ciascun stabilimento campionato. Il data-set cui si fa riferimento, ha come obiettivo la creazione di una visione unitaria di quali tecniche *lean* siano applicate in modo più o meno spinto da ciascuna azienda e per questo motivo riporta al suo interno dati aggregati per stabilimento e non per rispondente. In altre parole i dati a disposizione corrispondono a medie aritmetiche di misurazioni su scala Likert.

La distribuzione approssimata di variabili misurate attraverso scala Likert è molto discussa in letteratura, anche nel contesto dell'analisi fattoriale confermativa e dei modelli SEM: in alcuni articoli (ad esempio *B. Muthén e D. Kaplan, 1985*) si sono spesso analizzati item di tipo Likert come fossero variabili distribuite normalmente, in altri si sostiene invece che tale assunzione semplificativa debba essere fatta con molta attenzione e sotto precise condizioni (ad esempio *G. H. Lubke e B. O. Muthén, 2004*). Molti sono, inoltre, gli studi condotti in merito della robustezza del modello di analisi fattoriale in riferimento ad una non normalità introdotta da variabili categoriali ordinate (ad esempio *Bernstein e Teng, 1989; Dolan, 1994; Hoogland, 1999; Olsson, 1978,1979*). Questi studi hanno dimostrato che un numero sufficientemente ampio di modalità di risposta (almeno pari a sette), l'assenza di asimmetria e una divisione dello spazio delle possibili risposte uguali fra tutti gli item selezionati (stesso numero di modalità di risposta con la medesima codifica) porta comunque ad una non distorsione delle stime dei *factor loadings* e della stima della statistica Chi-quadro (*Dolan, 1994; Olsson, 1979*)¹⁶.

Gli item cui si fa qui riferimento sono innanzitutto misurati attraverso una scala che comprende 7 modalità di risposta (uguali per ciascun item selezionato) ed inoltre non sembrano presentare particolari problemi di asimmetria (come sarà tra breve evidenziato). Inoltre, le variabili osservate non risultano semplici misurazioni da una scala Likert, bensì una media delle stesse. In questo modo si è arrivati ad una misurazione continua che, sommandosi alle proprietà appena elencate, comporta una sostanziale robustezza all'ipotesi di normalità delle analisi che successivamente saranno implementate.

¹⁶ Informazioni tratte da Gitta H. Lubke e Bengt O. Muthén, "Applying multigroup confirmatory factor models for continuous outcomes to Likert scale data complicates meaningful group comparisons", *Structural Equation Modeling*, Fascicolo 4, Volume 11, Anno 2004, pp. 514-534.

Sulla base di quanto appena detto si è approfondita la tematica inerente alla robustezza. Il problema basilare che emerge avendo a disposizione variabili distribuite in modo arbitrario è che la funzione di stima F_{ML} deriva dalla distribuzione multi-normale delle variabili osservate. La forma della funzione F_{ML} è comunque giustificata anche nel caso in cui le variabili osservate non dimostrino eccessiva curtosi. In particolare si ha che le stime di massima verosimiglianza dei parametri risultano comunque robuste a leggeri scostamenti dall'ipotesi di normalità. La *Tabella 3.3* riassume le conseguenze di diverse ipotesi distributive delle variabili osservate su alcune proprietà degli stimatori di massima verosimiglianza.

DISTRIBUZIONE DELLE VARIABILI OSSERVATE	PROPRIETA' DEGLI STIMATORI ML			
	CONSISTENZA	EFFICIENZA ASINTOTICA	ACOV ($\hat{\theta}$)	STIMATORE CHI- QUADRO
Multinormale	Sì	Sì	corretta	corretto
No Curtosi	Sì	Sì	corretta	corretto
Ellittica	Sì	Sì	non corretta	non corretto
"Arbitraria"	Sì	No	non corretta	non corretto

*Tabella 3.3: Proprietà degli stimatori ML con e senza l'ipotesi di multi-normalità delle variabili osservate*¹⁷.

Un'importante caratteristica di tale stimatore è che esso, indipendentemente dalle assunzioni distributive, rimane comunque consistente, ovvero, al tendere della numerosità campionaria all'infinito lo stimatore converge al vero valore del parametro anche se le variabili osservate non si distribuiscono normalmente. La prima riga della tabella mostra che per variabili multi-normali, lo stimatore ML è anche asintoticamente efficiente e l'usuale matrice di covarianza asintotica e lo stimatore della statistica Chi-quadro $((N-1)F_{ML})$ possono essere considerati validi. Tutte le proprietà appena elencate continuano comunque ad essere valide qualora la distribuzione delle variabili osservate si discosti leggermente dalla normalità, non presentando però eccessiva curtosi (sia in senso positivo che negativo). Se invece le variabili osservate presentano una distribuzione ellittica (ovvero le variabili non presentano problemi di simmetria, ma presentano tutte lo stesso grado di curtosi), lo stimatore ML rimane ancora consistente e asintoticamente efficiente, ma la matrice di covarianza (dello stimatore) stimata, gli standard error e la statistica Chi-quadro, basata su F_{ML} , non sono corretti. Rilasciando ulteriormente le ipotesi distributive

¹⁷ Tratto da Kenneth A. Bollen, "Structural Equations with latent variables", Wiley, USA, 1979.

viene inoltre a cadere anche l'ipotesi di efficienza asintotica di tali stimatori. Riassumendo, una violazione dell'ipotesi di multi-normalità non compromette la consistenza dello stimatore di massima verosimiglianza, ma un'eccessiva curtosi di solito invalida l'efficienza asintotica e crea delle possibili distorsioni nella stima della matrice di covarianza e della statistica Chi-quadro. Di conseguenza la presenza di variabili osservate non normali può compromettere la veridicità dei test di significatività statistica.

Alcuni test di normalità o di verifica di presenza di eccessiva curtosi possono essere quindi di aiuto per affermare o meno l'appropriatezza delle stime di massima verosimiglianza. In particolare si ha che i momenti calcolati attorno alla media di una distribuzione rilevano possibili scostamenti dalla normalità. Per una variabile casuale X con una media pari a μ_1 , l' r -esimo momento attorno alla media è definito come

$$\mu_r = E (X - \mu_1)^r, \text{ per } r > 1$$

La distribuzione normale univariata è completamente caratterizzata dalla sua media (μ_1) e dalla sua varianza (μ_2), in quanto statistiche sufficienti. I momenti di ordine superiore sono uguali a zero oppure possono essere scritti come funzione della media e della varianza. Di conseguenza scostamenti dalla normalità possono essere valutati a partire da un'analisi dei momenti di ordine superiore al secondo. I momenti standardizzati di terzo e quarto ordine sono, rispettivamente, così definiti:

$$\text{Momento standardizzato del terzo ordine} = \frac{\mu_3}{(\mu_2)^{3/2}}$$

$$\text{Momento standardizzato del quarto ordine} = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}$$

Se una variabile aleatoria presenta una distribuzione Normale, allora il suo momento terzo standardizzato è pari a 0 e il suo momento quarto standardizzato è pari a 3. I corrispondenti campionari di tali momenti sono così definiti:

$$\sqrt{b_1} = \frac{m_3}{(m_2)^{3/2}}$$

$$b_2 = \frac{m_4}{(m_2)^2}$$

dove m_r è l' r -esimo momento campionario definito come

$$m_r = \frac{\sum (X - \bar{X})^r}{N}$$

Fluttuazioni campionarie possono causare deviazioni dai valori caratteristici, il che rende necessario testare statisticamente la significatività di un possibile scostamento. I test presentati in *Tabella 3.4* sono stati proposti da D'Agostino (1986). La parte sinistra della tabella indica gli step che si devono compiere per calcolare la statistica $Z_{\sqrt{b_1}}$ utilizzata per i test di asimmetria che si distribuisce approssimativamente, sotto H_0 , come una normale standardizzata ($H_0 : \beta_1=0$). La sezione destra della tabella presenta invece i passi necessari per il calcolo della statistica test Z_{b_2} utilizzata per la verifica di eccessiva curtosi, e anch'essa si distribuisce asintoticamente, sotto H_0 , come una normale standardizzata ($H_0 : \beta_2-3=0$). Entrambi i test proposti prevedono un'ipotesi alternativa bilaterale in quanto i due test mirano a verificare se la distribuzione campionaria si discosta eccessivamente da una normale. Tale evidenza si verifica infatti se la variabile di interesse mostra una distribuzione campionaria asimmetrica verso destra o verso sinistra oppure se presenta code più pesanti o più leggere rispetto alla classica distribuzione normale.

Skewness	Kurtosis
$H_0: \sqrt{\beta_1} = 0$	$H_0: \beta_2 - 3 = 0$
Compute:	Compute:
(1) $\sqrt{b_1}$	(1) b_2
(2) $a_1 = \sqrt{b_1} \left[\frac{(N+1)(N+3)}{6(N-2)} \right]^{1/2}$	(2) $E(b_2) = \frac{3(N-1)}{N+1}$
(3) $a_2 = \frac{3(N^2 + 27N - 70)(N+1)(N+3)}{(N-2)(N+5)(N+7)(N+9)}$	(3) $\text{var}(b_2) = \frac{24N(N-2)(N-3)}{(N+1)^2(N+3)(N+5)}$
(4) $a_3 = -1 + [2(a_2 - 1)]^{1/2}$	(4) $c_1 = \frac{b_2 - E(b_2)}{[\text{var}(b_2)]^{1/2}}$
(5) $a_4 = \left[\frac{1}{\log a_3} \right]^{1/2}$	(5) $c_2 = \frac{6(N^2 - 5N + 2)}{(N+7)(N+9)} \left[\frac{6(N+3)(N+5)}{N(N-2)(N-3)} \right]^{1/2}$
(6) $a_5 = \left[\frac{2}{a_3 - 1} \right]^{1/2}$	(6) $c_3 = 6 + \frac{8}{c_2} \left[\frac{2}{c_2} + \left(1 + \frac{4}{c_2^2} \right)^{1/2} \right]$
if $N \geq 8$:	if $N \geq 20$:
$Z_{\sqrt{b_1}} = a_4 \log \left\{ \frac{a_1}{a_5} + \left[\left(\frac{a_1}{a_5} \right)^2 + 1 \right]^{1/2} \right\}$	$Z_{b_2} = \frac{1 - \left(\frac{2}{9c_3} \right) - \left[(1 - 2/c_3) / \left\{ 1 + c_1 [2/(c_3 - 4)]^{1/2} \right\} \right]^{1/3}}{\left(\frac{2}{9c_3} \right)^{1/2}}$
if $N \geq 150$:	if $N \geq 1000$:
$Z_{\sqrt{b_1}} = a_1$	$Z_{b_2} = c_1$
$Z_{\sqrt{b_1}}$ approx. $N(0,1)$	Z_{b_2} approx. $N(0,1)$

Tabella 3.4: Costruzione delle statistiche test per la verifica di una distribuzione univariata simmetrica e priva di eccessiva curtosi.

I risultati dei test, presentati in *Tabella 3.5*, sono coerenti con gli studi di simulazione sull'applicazione del modello di analisi fattoriale confermativa effettuati da Dolan ed Olsson, in quanto le variabili osservate non sembrano mostrare segnali di asimmetria distributiva (il test per la verifica di tali ipotesi, presentato nella seconda colonna della tabella, porta all'accettazione dell'ipotesi nulla, ovvero di assenza di asimmetria, ad un livello di confidenza del 5% per tutti gli item selezionati). In relazione al test per la verifica della presenza di code più pesanti (rispettivamente leggere) rispetto alla distribuzione normale, l'ipotesi nulla (ovvero di assenza di eccessiva curtosi) è rifiutata, ad un livello di confidenza del 5%, per 4 item su 19.

TECNICHE	ITEM	a1	Z _{b2}
Macchinari proprietari	ssr4n01	-0.23	0.68
Controllo statistico di processo	qspsn03	-0.19	-1.81
TPM	mstmn03	-0.26	1.50
<i>Poka Yoke</i>	qspsn01	-0.19	-2.48
Gruppi di miglioramento	hstmn07	-0.23	0.48
Cooperazione dei dipendenti	hsvcn02	-0.46	2.99
Formazione su più mansioni	hstwn01	-0.24	1.25
Riduzione dei livelli gerarchici	hsfln01	-0.02	-1.90
Suggerimenti	hsesn03	-0.24	1.97
Uffici di produzione	hsmgn03	-0.39	0.96
Miglioramento continuo	qsvin01	-0.25	1.00
Consegne JIT	jsvcn01	-0.28	-0.20
JIT con i fornitori	jsvnn11	-0.19	-0.66
<i>Kanban</i>	jspln06	-0.09	-5.94
Lotto unitario	jssun11	-0.17	-0.79
Layout dei macchinari	jsmhn06	-0.27	0.96
Livellamento della produzione	jsftn06	-0.48	1.86
Riduzione dei tempi di set up	jssun04	-0.21	0.98

Tabella 3.5: Statistiche test per la verifica di eccessiva asimmetria e curtosi in relazione alle variabili di interesse.

Al termine di tali analisi distributive è quindi possibile concludere che, a fronte degli studi di simulazione effettuati e dei risultati dei test distributivi calcolati, le condizioni sotto le quali le stime di massima verosimiglianza dei parametri dei modelli di equazioni strutturali, e quindi dei modelli di analisi fattoriale, risultano consistenti e asintoticamente efficienti e sotto le quali non si incorre in stime errate di statistiche di diagnostica (Chi-quadro) e standard error sono da ritenersi soddisfatte. Un eventuale limite della presente ricerca potrebbe risiedere nel fatto che, seppur non presentando segni di asimmetria, alcune variabili osservate di diretto interesse presentano un valore di curtosi diverso da quanto previsto dalla legge normale. In particolare le variabili corrispondenti alle tecniche della cooperazione dei dipendenti e dell'esortazione ai suggerimenti della forza lavoro presentano code più sottili rispetto ad una distribuzione normale; mentre le variabili

QSPSN01 e JSPLN06, corrispondenti alle tecniche del *poka-yoke* e del *kanban*, presentano code più pesanti.

3.2.3 – PERFORMANCE: STATISTICHE DESCRITTIVE E DISTRIBUZIONE

Una volta identificati e studiati gli item corrispondenti ad alcune delle più studiate e discusse pratiche *lean*, è ora necessario definire una misura delle performance aziendali, in quanto l’oggetto attorno al quale ruota l’intero studio è il legame causale esistente tra le due dimensioni. Le performance possono in realtà far riferimento a diversi risultati aziendali: risultati finanziari, contabili, operativi, etc. Il data-set in analisi contiene al suo interno due modalità di rilevazione delle performance aziendali (intese nel senso più ampio del termine): la prima modalità fa riferimento ad una rilevazione diretta ed oggettiva della performance stesse (si chiede ad esempio al responsabile della contabilità di indicare a quanto ammontano i costi di produzione, qual è il valore monetario delle scorte per prodotti finiti, semilavorati e materiali; etc.), mentre la seconda è strutturata come misurazione indiretta, ovvero, in relazione a performance quali costi unitari di produzione, rotazione delle scorte, velocità di consegna, etc., tale modalità prevede che il Responsabile dello stabilimento indichi, attraverso una scala da 1 a 5, la propria opinione su come lo stabilimento stesso si posizioni rispetto ai concorrenti a livello globale.

L’attenzione è stata focalizzata sullo studio di quale sia l’impatto dell’implementazione delle tecniche *lean* sulle performance propriamente di tipo operativo: costi unitari di produzione, qualità dei prodotti, puntualità delle consegne, velocità di consegna e flessibilità al cambiamento di volume produttivo. Le performance sopra elencate sono inoltre state misurate attraverso il metodo soggettivo (confronto con i principali concorrenti) in parte perché tali scale comprendevano tutte le performance operative definite a priori come di interesse, in parte perché le misure oggettive mostravano una grossa percentuale di dati mancanti all’interno del campione.

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

Tabella 3.6: *Elenco delle performance operative esaminate, con descrizione dell’item ad esse associato.*

Il confronto tra le performance di ciascun stabilimento e i principali concorrenti in ambito mondiale, osservato dal punto di vista del Responsabile di stabilimento, ha portato all'evidenza che in media gli stabilimenti campionati si percepiscono sulla stessa linea, o addirittura superiori, in riferimento a diverse misure di performance di tipo operativo, come evidenziato in *Tabella 3.7*. I valori medi osservati sono tutti maggiori del punteggio medio di scala (pari a 3 in quanto, in questo caso, le modalità di risposta risultano essere solamente cinque), anche se nessuno di essi supera la soglia del 4 (valore indicante una decisa percezione del proprio vantaggio di performance rispetto ai concorrenti).

ITEM	MEDIA
grcpn01	3.21
grcpn02	3.88
grcpn03	3.85
grcpn04	3.77
grcpn06	3.87

Tabella 3.7: Media aritmetica calcolata per ciascuna variabile di diretto interesse in relazione alle performance operative di stabilimento.

Si procede ora, in modo analogo a quanto visto per le tecniche produttive, alla verifica delle condizioni sotto le quali lo stimatore di massima verosimiglianza nel modello SEM, e di analisi fattoriale, non presenta problemi di efficienza asintotica e di calcolo degli standard error (grazie alla robustezza a leggeri scostamenti dalla distribuzione delle variabili osservate dalla forma normale).

ITEM	a1	Z _{b2}
grcpn01	0.26	-0.20
grcpn02	-0.92	-0.03
grcpn03	-2.35	-0.06
grcpn04	-1.23	-0.18
grcpn06	-2,82	0,07

Tabella 3.8: Statistiche test per la verifica di eccessiva asimmetria e curtosi rispettivamente, in relazione alle variabili di performance.

In *Tabella 3.8* sono presentate le statistiche test per la verifica della presenza di distribuzione asimmetrica ed eccessiva curtosi, analoghe a quanto calcolato per gli item relativi alle pratiche *lean*. Questo set di item sembra dimostrare un livello di curtosi molto compatibile con i valori di una distribuzione normale, mentre sembrano emergere alcuni

scostamenti in termini di simmetria (le variabili relative alla misura della puntualità delle consegne e della flessibilità al mix presentano una coda sinistra, ovvero verso i valori più bassi della scala, leggermente più estesa rispetto ad una distribuzione di tipo Normale).

3.3 – TRATTAZIONE DEI DATI MANCANTI

Il data-set da cui si attingono le informazioni per la costruzione della matrice di correlazione, usata come base per la stima dei modelli teorici che saranno ipotizzati, presenta alcuni dati mancanti in relazione alle variabili di interesse. Le modalità di trattazione dei dati mancanti possono essere raggruppate in due grandi categorie: forzare un dato plausibile al posto di quello mancante (*imputation*) ed esclusione dell'unità in cui manca il dato. Il primo metodo, che può essere applicato secondo diverse modalità sia a dati quantitativi sia a variabili ordinali, permette di sostituire a ciascun dato mancante un valore scelto attraverso diverse modalità: media dei valori validi, metodo della regressione, forzatura di valori tratti da gruppi omogenei, mediana dei valori validi, metodo *hot-deck/cold-deck*, etc. L'esclusione dell'unità cui manca il dato comporta una perdita di unità campionate e può essere attuata secondo due diverse strategie:

- metodo *listwise*: si elimina definitivamente l'unità per cui si verifica un dato mancante per almeno una variabile di interesse;
- metodo *pairwise*: nel confrontare tra loro le diverse variabili, l'unità con dato mancante viene eliminata solamente nel momento in cui per una delle due variabili di interesse si osserva un dato mancante.

Le variabili di interesse della presente ricerca possono essere raggruppate in tre gruppi: variabili misuranti il grado di applicazione delle tecniche *lean* scelte, variabili misuranti i livelli di performance aziendali e variabili contestuali. Ciascun gruppo è stato coinvolto da un diverso trattamento in merito ai dati mancanti, funzione della numerosità degli stessi e dell'importanza ai fini della ricerca stessa di ciascuna variabile.

Per le variabili relative alla misurazione del grado di applicazione delle varie tecniche snelle si è scelto di adottare una strategia di imputazione dei dati mancanti. Poiché i dati a disposizione permettono una classificazione degli stabilimenti in base al Paese di provenienza, e poiché si è dimostrato in letteratura come tale variabile sembri impattare la probabilità di adottare in profondità o meno le diverse tecniche (cfr. *Shah e Ward, 2003*),

sembra opportuno sostituire i dati mancanti con le medie condizionate al Paese di appartenenza, qualora queste differiscano statisticamente le une dalle altre. La percentuale di dati mancanti all'interno di tale categoria di variabili è inoltre molto esiguo: solamente tre variabili inerenti alle pratiche snelle presentano un dato mancante ciascuna (“cooperazione dei dipendenti” (hsvcn02), “suggerimenti” (hsesn03) e “kanban” (jspln06)). In *Tabella 3.9* sono presentate le medie condizionate al Paese di appartenenza di ciascuna unità statistica e la statistica F per la verifica dell'ipotesi nulla di uguaglianza tra le medie dei gruppi considerati.

Paese	Cooperazione dei dipendenti	Suggerimenti	Kanban
Finlandia	5.86	4.9	4.25
Germania	5.98	4.79	4.34
Italia	5.70	4.54	3.93
Giappone	5.73	4.90	3.40
Corea del Sud	5.51	4.59	4.42
Svezia	6.03	4.61	2.96
USA	5.93	4.45	4.19
Austria	6.15	4.93	3.41
Complessiva	5.85	4.72	3.91
Statistica F	3.717	1.432	4.664
df	(7; 229)	(7; 229)	(7; 229)
p-value	0.001	0.193	0.00

Tabella 3.9 : Medie condizionate al Paese di appartenenza dello stabilimento delle variabili “cooperazione dei dipendenti”, “suggerimenti” e “kanban”, corredate dalla statistica F e rispettivo p-value.

Le variabili “cooperazione dei dipendenti” e “kanban” mostrano una differenza significativa in termini di media, condizionatamente al Paese di appartenenza. Per questo motivo si è proceduto con la sostituzione dei dati mancanti con la media relativa al Paese in cui lo stabilimento di interesse risultava ubicato. La variabile “suggerimenti” non presenta invece valori medi differenti in relazione al Paese considerato, così è apparso opportuno sostituire al dato mancante la media complessiva del campione.

Il gruppo delle variabili contestuali è composto dall'età dello stabilimento (misurata a partire dall'anno di istituzione) e dalla dimensione dello stesso (misurata come numero di operai più numero di impiegati). La scelta di inserire tali variabili di controllo all'interno dei modelli che andranno a specificare le relazioni causali esistenti tra *lean bundles* e performance operative deriva dal fatto che alcuni autori (tra i quali *Galbraith, 1977; Shah e Ward, 2003*) sostengono che il successo nell'implementazione di alcune particolari pratiche gestionali può dipendere dalle caratteristiche dell'organizzazione stessa e che non tutte le organizzazioni possono implementare lo stesso set di tecniche. Shah e Ward, in un articolo pubblicato nel 2003, considerano come variabili di controllo, per lo studio delle relazioni tra i costrutti snelli ed una serie di performance operative, il grado di sindacalizzazione dello stabilimento, l'età e la dimensione dello stesso. In tale studio gli autori dimostrano l'esistenza di un effetto non significativo sulle performance delle variabili collegate alla sindacalizzazione e alla dimensione, mentre l'età dello stabilimento porta alla stima di un effetto complessivo negativo e significativo ad un livello di confidenza del 10%. Seguendo tale lavoro di ricerca si è quindi deciso di inserire inizialmente nell'analisi le variabili collegate all'età e alla dimensione dello stabilimento (il questionario non permette di ottenere alcuna informazione in merito al grado di sindacalizzazione).

In prima battuta si è quindi pensato di adottare una strategia analoga a quanto utilizzato nel contesto degli item misuranti il grado di implementazione delle diverse tecniche poiché dalle analisi esplorative sul campione di rispondenti sembrano ben delinearsi caratteristiche tipiche strutturali per i diversi Paesi coinvolti. In questo caso la portata dei *missing value* è però nettamente maggiore: il 38% dei rispondenti non ha reso noto l'anno di istituzione dello stabilimento mentre il 15% delle risposte presenta dati mancanti in relazione al numero di dipendenti.

In relazione alle due variabili contestuali si ha che, in entrambi i casi, viene rifiutata l'ipotesi nulla di uguaglianza tra le medie nei diversi gruppi e di conseguenza a ciascun valore mancante è stato sostituita la corrispondente media (cfr. *Tabella 3.10*).

Paese	Age	Size
Finlandia	6.80	353.27
Germania	12.09	598.31
Italia	4.45	393.07
Giappone	17.06	1437.67
Corea del Sud	13.18	1635.82
Svezia	5.48	361.82
USA	8.68	479.90
Austria	11.92	310.50
Complessiva	10.18	664.39
Statistica F	3.994	8.547
df	(7, 167)	(7, 194)
p-value	0.00	0.00

Tabella 3.10 : Medie condizionate al Paese di appartenenza dello stabilimento delle variabili “age” e “size”, corredate dalla statistica F e rispettivo p-value.

Il modello strutturale che si andrà a formalizzare in seguito (cfr. *Capitolo 5*) prevede una serie di relazioni dirette ed indirette tra i *lean bundles* e le performance operative, cui si sommano gli effetti causali ipotizzati tra le due variabili contestuali e le performance stesse. La stima di tale modello ha condotto a parametri non significativi, nemmeno ad un livello di confidenza del 10%, in relazione al legame esistente tra età, dimensione e performance di stabilimento. Risultati di questo tipo si sono ottenuti sia a seguito della procedura di imputazione dei dati mancanti attraverso i valori medi condizionati al Paese di appartenenza dello stabilimento, sia a seguito di un’eliminazione di tipo *listwise* degli stessi.

Nonostante alcuni autori sostengano l’importanza dell’inserimento di tali variabili come controllo all’interno dell’analisi delle relazioni causali tra *lean bundles* e performance, le formulazioni discusse nel *Capitolo 5* non faranno ad esse riferimento poiché:

1. tali variabili giocano nella formulazione del modello solamente un ruolo di controllo (e non sono quindi di diretto interesse nella presente ricerca);
2. la frequenza di dati mancanti per entrambe le variabili non è irrisoria;
3. tali variabili non mostrano un effetto complessivo sulle performance significativo sia nel caso di eliminazione dei dati mancanti che di imputazione degli stessi.

In relazione agli item misuranti i livelli di performance aziendali, la metodologia scelta segue il secondo filone discusso in precedenza. In particolare, poiché a livello di performance non risulta coerente affermare un'omogeneità né rispetto al Paese né al settore di appartenenza dello stabilimento, la scelta è di non forzare in alcun modo i dati mancanti ma di eliminare le unità non rispondenti a tale sezione del questionario. I dati mancanti riferiti a tali variabili risultano essere di più difficile trattazione in quanto facenti riferimento alle variabili dipendenti. La scelta di eliminare tali dati mancanti (arrivando ad una numerosità campionaria di riferimento pari a 215) deriva anche dal fatto che non sembrano esserci processi di selezione endogena in riferimento alla non risposta da parte di alcune aziende. Come evidenziato in *Appendice A*, gli stabilimenti che hanno deciso di non fornire tali informazioni non appartengono sistematicamente ad un unico Paese o Settore e non mostrano particolari caratteristiche strutturali. Nella maggior parte dei casi inoltre le aziende non rispondono all'intera sezione dedicata alla misurazione soggettiva delle performance (sono cioè pochi i casi in cui il Responsabile di riferimento decide di dare indicazioni sui costi unitari ma non sulle performance ad esempio di flessibilità). Come già accennato tali stabilimenti possono essere elisi attraverso due diverse metodologie. Il metodo di eliminazione *listwise* rimuove ogni osservazione che presenta almeno un dato mancante per le variabili di interesse. La matrice di correlazione calcolata sui rimanenti casi, denominata S_L , è l'input per la stima di modelli di equazioni strutturali. La numerosità campionaria di riferimento corrisponde al numero dei casi che presentano una completa informazione (N_L). Da quanto finora detto si evince che necessariamente, qualora il dataset presenti dati mancanti, la dimensione del campione basato su l'eliminazione *listwise* sarà minore della dimensione di partenza. Un ulteriore aspetto negativo di tale tecnica risiede nel fatto che i valori delle variabili per i casi eliminati non sono considerati nelle procedure di analisi. In relazione al campione completo, l'analisi di S_L porta a stimatori meno efficienti rispetto a quanto ottenibile con la matrice S piena. Questi effetti collaterali sono però accompagnati dal fatto che l'eliminazione *listwise* comporta la consistenza asintotica degli stimatori di θ , basati sulle funzioni di stima F_{ML} , F_{GLS} o F_{UL} , sia con $N_L \rightarrow \infty$ sia con $N \rightarrow \infty$. Quando N_L è maggiore di $(p + q)$, la matrice S_L è definita positiva (*Dijkstra, 1981*). Se, inoltre, l'assunzione di distribuzione multi-normale delle variabili osservate è soddisfatta per l'intero campione, essa è verificata anche dal campione derivato dall'eliminazione *listwise*. Questo significa che gli usuali test statistici sono appropriati quando S_L sostituisce S , e N_L sostituisce N .

L'eliminazione *pairwise* crea una matrice di correlazione campionaria, S_P , utilizzando i casi con valori non mancanti per calcolare ciascuna covarianza. Gli elementi di S_P sono quindi tipicamente basati su un diverso numero di osservazioni da cui deriva che la scelta della numerosità N_P risulta essere ambigua. Una caratteristica positiva di tale metodologia risiede nel fatto che tutte le informazioni a disposizione del ricercatore sono utilizzate nel calcolo. S_P può però non risultare definita positiva, e questo comporta problemi in fase di stima (*Browne, 1982*).

Per i motivi sopra descritti si è scelto di trattare i dati mancanti delle variabili inerenti alle performance operative attraverso un'eliminazione di tipo *listwise*. Di conseguenza la numerosità campionaria di riferimento passa da $N=238$ a $N_L=215$, con una perdita quindi di 23 unità statistiche dovuta alla presenza di dati mancanti per la sezione relativa alla misurazione delle performance operative di stabilimento. La numerosità campionaria derivata dall'eliminazione *listwise* sarà utilizzata come base in tutti quei modelli (analisi fattoriale confermativa per il modello di misura complessivo e modelli di equazioni strutturali) in cui comparirà il fattore inerente alle performance. La convalida del modello di misura per le sole tecniche *lean* utilizzerà invece come base la numerosità campionaria complessiva (pari a 238) data la trattazione dei tre dati mancanti presenti in tale set di item.

CAPITOLO 4

IL MODELLO DI MISURA

Il *Capitolo 3* ha condotto il lettore ad un primo contatto con le tecniche *lean* di diretto interesse della presente ricerca attraverso analisi di tipo descrittivo che hanno permesso di costruire le fondamenta sulle quali si sono successivamente costruiti i modelli di cui ora si discuterà. L'intera impalcatura della ricerca è comunque costruita in vista del raggiungimento di alcuni ben specifici obiettivi, o domande di ricerca, già discusse nel *Capitolo 2* e qui brevemente riproposte:

IPOTESI 0 : Costruzione dei *lean bundles*.

IPOTESI 1 : Il *bundle* denominato JIT ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 2^A : Il *bundle* denominato HRM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 2^B: La relazione positiva tra il *bundle* denominato HRM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* HRM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto TQM;
3. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

IPOTESI 3^A : Il *bundle* denominato TQM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 3^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato TQM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* TQM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* TQM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

Il presente capitolo prende in esame solamente la prima ipotesi di ricerca: di seguito verranno infatti discusse alcune metodologie statistiche atte alla rappresentazione semplificatrice della realtà *lean* in gruppi di pratiche. Le ulteriori cinque ipotesi di ricerca saranno invece discusse nel capitolo successivo, in quanto facenti riferimento ad una metodologia di analisi sostanzialmente differente.

A questo punto gli ingredienti a disposizione sono una serie di variabili che misurano l'implementazione, da parte di un campione casuale di aziende, di alcune tecniche tipicamente appartenenti alla logica della produzione snella, cui si sommano altre variabili collegate a performance di tipo operativo. L'analisi della letteratura ha mostrato come molti autori siano concordi nell'affermare come la *lean production* sia composta da una serie molto varia di tecniche distinte, facenti riferimento a diverse funzioni aziendali e aventi come scopo comune l'eliminazione del *muda* (tramite la riduzione di ogni forma di varianza), ma collegate sinergicamente tra di loro per formare un unico sistema complesso. Tale complessità negli ultimi anni è stata rappresentata sempre più frequentemente attraverso i cosiddetti *lean bundles*, ovvero cercando di raggruppare pratiche molto simili tra di loro (secondo gli obiettivi primari di fondo e le funzioni coinvolte) in un numero ridotto di costrutti logici. L'idea alla base di tale semplificazione risiede nel fatto che se una data azienda decide di applicare alla sua realtà una particolare tecnica con molta probabilità sarà tentata di applicare anche le altre pratiche contenute nello stesso *bundle*, in quanto affini ad essa per obiettivi e metodologie di implementazione.

Dal punto di vista statistico come può essere interpretato il concetto di *bundle*? Avendo ben chiaro il fatto che un *bundle* in realtà altro non è che un insieme di pratiche distinte che tendono ad essere implementate molto probabilmente con lo stesso grado da un certo stabilimento, è facile riconoscere in esso il concetto di fattore latente proprio del linguaggio dei modelli di equazioni strutturali (detti anche SEM). I fattori latenti sono variabili casuali non osservabili direttamente nella realtà, così come non è direttamente misurabile il grado di applicazione del JIT, piuttosto che del TQM, all'interno di un dato stabilimento. Quello che è possibile misurare sono una serie di variabili, denominate "indicatori", che caratterizzano il fattore latente, ma che non coincidono con lo stesso. Nel caso in esame è possibile misurare il grado con cui sono messe in atto alcune tecniche facenti riferimento ad un costrutto unico di livello superiore.

Dopo aver tracciato brevemente le linee guida di una particolare forma dei modelli di equazioni strutturali, ovvero l'analisi fattoriale, il primo passo sarà la definizione dei

bundles a partire dalle 29 pratiche *lean* selezionate tramite un'analisi della letteratura. Per far questo le tecniche utilizzate saranno dapprima l'analisi fattoriale esplorativa e successivamente l'analisi fattoriale confermativa per la validazione dei neo costrutti. L'analisi fattoriale confermativa sarà utilizzata anche per convalidare il costrutto PERFORMANCE, misurato dai cinque item facenti riferimento a performance operative aziendali (cfr. *Capitolo 3*).

La combinazione tra analisi fattoriale esplorativa e confermativa porterà quindi alla definizione dei *lean bundles*, permettendo di raggiungere il primo degli obiettivi sopra specificati.

4.1 – PRIMA SELEZIONE DELLE PRATICHE SNELLE E DELLE PERFORMANCE

L'accorpamento delle tecniche *lean* in costrutti logici di ordine superiore parte necessariamente dal presupposto della disposizione da parte del ricercatore di una lista delle stesse non troppo numerosa (per ovviare a problematiche di modellazione e di numerosità campionaria richiesta molto elevata) ed esaustiva della filosofia snella. Queste due proprietà, desiderabili al fine di ottenere una rappresentazione parsimoniosa ma allo stesso tempo rappresentativa della realtà che si sta osservando, sono in realtà in contrasto tra loro: poiché la filosofia *lean*, come più volte sottolineato, rappresenta un modo di pensare la produzione e il management aziendale altamente complesso e comprendente innumerevoli pratiche, il disporre di un numero limitato delle stesse comporta necessariamente una perdita nella generalità della rappresentazione. Tale *trade-off* è in realtà comune a tutte le metodologie che mirano ad una rappresentazione parsimoniosa di molti fenomeni osservati.

Al fine di raggiungere un giusto compromesso è stato necessario attuare una prima scrematura delle pratiche *lean* attraverso un'analisi ragionata della letteratura disponibile sull'argomento. Si sono quindi selezionate innanzitutto le pratiche che più di frequente, indipendentemente dalle funzioni aziendali coinvolte o dagli obiettivi specifici ad esse collegati, risultano citate in articoli o volumi. Tali pratiche, attraverso il loro studio e il loro grado di divulgazione, sono ai giorni d'oggi considerate il cuore e le fondamenta della produzione snella.

Dopo aver definito la lista delle *core practices*, il passo successivo ha condotto ad un'attenta analisi del questionario, e quindi delle variabili a disposizione, al fine di individuare per ciascuna tecnica l'item che maggiormente mira alla misurazione del grado di applicazione della stessa all'interno di ciascun stabilimento. Il questionario somministrato infatti non contiene un unico item per ciascuna pratica, ma molto spesso un'intera sezione dello stesso (composta da quattro o cinque scale) ha come obiettivo la misurazione di una certa tecnica o attività affine ad essa.

Nel *Capitolo 3* il gruppo di pratiche così selezionato è già stato oggetto di discussione, anche se l'approccio in quel caso era puramente di tipo esplorativo. L'elenco completo delle pratiche selezionate è presentato in *Tabella 3.1*.

Dopo aver selezionato le principali tecniche snelle di interesse, si è proceduto con la scelta degli indicatori di performance sui quali studiare l'impatto dei *bundles* che si andranno a formare. In accordo con la letteratura in linea con gli obiettivi della presente trattazione (tra gli altri *Shah e Ward, 2003; Slack et al., 2007*), si considerano indicatori di prestazione attinenti a cinque diverse aree incidenti, in misura diversa le une dalle altre, la soddisfazione dei clienti finali e la competitività dell'azienda: qualità, velocità, affidabilità, flessibilità ai cambiamenti di volume produttivo e costi unitari.

4.2 – ANALISI FATTORIALE E MODELLI DI MISURA

Nello stesso momento in cui un ricercatore si appresta ad analizzare un particolare fenomeno non sperimentale, sia esso sociologico piuttosto sia economico, egli si trova ad affrontare due problematiche generali: la misurazione e la causalità. Alla tematica della misurazione possono essere ricondotti due grandi approcci entrambi di derivazione psicometrica: l'analisi fattoriale ed i modelli di misurazione. Nella seconda tematica si iscrive invece la tradizione prevalentemente sociologica ed econometrica dei modelli causali. Esiste una classe di modelli, definiti come Modelli Lisrel o SEM (*Structural Equation Models*), che permette di trattare in modo unitario queste tre problematiche. In particolare è facilmente dimostrabile che modelli di misurazione, analisi fattoriale e modelli causali non sono altro che forme particolari del più generale modello Lisrel (di cui si parlerà in modo approfondito nel *Capitolo 5*). La formulazione di tale modello, nella sua

accezione più generale, può essere espressa tramite tre equazioni matriciali di seguito riportate ¹⁸:

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

$$\mathbf{Y} = \boldsymbol{\Lambda}_Y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon}$$

$$\mathbf{X} = \boldsymbol{\Lambda}_X \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta}$$

Quello sopra riportato è il caso di un modello Lisrel completo, nel quale sono presenti quattro tipi di variabili (X , Y , ξ e η , oltre ai termini di errore ζ , ε e δ), quattro matrici di coefficienti di regressione ($\boldsymbol{\Lambda}_Y$, $\boldsymbol{\Lambda}_X$, \mathbf{B} e $\boldsymbol{\Gamma}$) e quattro matrici di covarianza ($\boldsymbol{\Phi}$, $\boldsymbol{\Psi}$, $\boldsymbol{\Theta}_\varepsilon$ e $\boldsymbol{\Theta}_\delta$). Assai frequentemente, tuttavia, il modello non si presenta in forma completa ma in forma parziale. Nel contesto degli obiettivi del presente capitolo, il sottomodulo cui si farà riferimento sarà composto solamente dalla terza equazione sopra specificata all'interno della quale compaiono le variabili X e ξ , e le sole matrici dei parametri $\boldsymbol{\Lambda}_X$, $\boldsymbol{\Phi}$ e $\boldsymbol{\Theta}_\delta$. A questo tipo di modello vengono ricondotti tutti i modelli di analisi fattoriale e i modelli di misurazione con indicatori multipli.

Lo sviluppo storico dell'analisi fattoriale prende avvio nei primi anni del Novecento e la sua introduzione può essere ricondotta a due particolari ricercatori provenienti da diverse discipline:

- in ambito statistico il punto di riferimento principale per l'analisi fattoriale (e per altre tecniche affini) è un articolo del 1901 di Karl Pearson, in cui si fa uso di strumenti di analisi matematica a quel tempo già consolidati, come la distribuzione normale multivariata di Bravais e la teoria degli autovalori e autovettori delle trasformazioni lineari;
- parallelamente, essa venne proposta in ambito psicometrico da Charles Spearman e da alcuni suoi collaboratori per misurare l'intelligenza negli esseri umani (qui la datazione è più incerta, ma si può collocare tra il 1904 e il decennio successivo).

Questa tecnica ha trovato in seguito un notevole successo in diversi campi del sapere scientifico. Le ragioni di questo successo risiedono essenzialmente nel fatto che l'analisi fattoriale permette di misurare proprietà che non hanno una definizione semplice e netta sul piano teorico e, conseguentemente, non sono rilevabili sul piano empirico mediante una singola operazione di misurazione.

¹⁸ Per una spiegazione esaustiva del significato di ciascuna matrice rappresentata si rimanda al seguito del presente capitolo e in particolare al *Capitolo 5*.

L'analisi fattoriale esplorativa e confermativa sono due dei principali approcci alla tecnica sopra citata. L'analisi fattoriale esplorativa (EFA – *Explanatory factor analysis*) non richiede la conoscenza a priori di un modello dettagliato delle relazioni esistenti tra variabili osservate e fattori latenti. A tale fonte di indeterminatezza si aggiungono altri aspetti: molto spesso il numero di fattori coinvolti nel modello non è noto prima dello svolgersi delle analisi stesse; tutte le variabili latenti tipicamente possono influenzare tutte le variabili osservate (non si conoscono cioè a priori particolari restrizioni per la matrice Λ_X contenente i *factor scores*) e non è possibile ipotizzare una correlazione tra errori di misura (δ) per motivi di identificazione del modello.

Al contrario, nell'analisi fattoriale confermativa (CFA – *Confirmatory Factor Analysis*) il modello teorico è costruito preliminarmente alla stima dello stesso, il numero di variabili latenti è determinato dal ricercatore, il modo in cui un certo fattore influenza le variabili osservate è specificato a priori (alcuni parametri della matrice Λ_X possono quindi essere fissati a zero, o ad una qualche altra costante), gli errori di misura possono essere correlati ed è richiesta una verifica preventiva dello stato di identificazione dei parametri del modello.

In pratica la distinzione tra EFA e CFA è meno precisa di quanto possa emergere dalle definizioni teoriche. Ad esempio i ricercatori usano tradizionalmente le procedure esplorative per restringere la loro analisi ad un gruppo di indicatori che, secondo convinzioni a priori, possono essere influenzati da un certo fattore. Per fare questo si utilizza un modello non esplicito per arrivare poi ad un modello di tipo confermativo, supportato quindi da teorie o studi precedenti. Come si vedrà tra breve, la strada seguita dalla presente ricerca seguirà appunto questa direzione: la definizione del modello di misura in riferimento alle tecniche *lean* partirà da una prima analisi fattoriale esplorativa con l'obiettivo di ridurre ulteriormente il set di variabili di interesse, cui seguirà una fase confermativa per la verifica dell'esistenza dei *bundles* e della coerenza da essi dimostrata con la teoria sottostante.

Per il modello di analisi fattoriale (sia di tipo esplorativo che confermativo), ed in generale per tutti quei modelli che coinvolgono variabili latenti, è necessario definire una metrica per tali variabili, ovvero risulta indispensabile fissare un'origine ed un'unità di misura (scala). In relazione all'origine si ha che i modelli della classe SEM (di cui l'analisi fattoriale è una specificazione) non impongono vincoli sulle medie, né delle variabili

osservate né di quelle latenti ¹⁹. Senza perdita di generalità quindi si considerano le variabili osservate come scarti dalla loro media, e quindi sia le medie delle variabili osservate sia le medie delle variabili latenti sono esattamente pari a zero. In relazione all'unità di misura, essa può essere fissata in diversi modi tra i quali i più usati sono:

- porre la varianza della variabile latente in esame pari ad uno;
- definire la scala della variabile latente uguale a quella di un suo indicatore.

4.2.1 – SPECIFICAZIONE DEL MODELLO

Il modello generale per l'analisi fattoriale, come si è illustrato precedentemente, altro non è che un sottomodulo della formulazione generale SEM, rappresentato dalla seguente equazione ²⁰:

$$\mathbf{X} = \mathbf{\Lambda}_X \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta}$$

Le caratteristiche sostanziali di tale modello e le assunzioni che lo accompagnano sono di seguito elencate:

1. Nell'analisi fattoriale esplorativa non si pone alcuna restrizione alla matrice dei coefficienti $\mathbf{\Lambda}_X$, mentre nell'analisi fattoriale confermativa le variabili osservate possono dipendere da uno o più variabili latenti.
2. I coefficienti che esprimono gli effetti delle variabili latenti sulle variabili osservate sono contenuti nella matrice $\mathbf{\Lambda}_X$.
3. Per convenzione tutte le variabili all'interno dei vettori \mathbf{X} e $\boldsymbol{\xi}$ sono scritte come deviazioni dalle rispettive medie.
4. Le due assunzioni che riguardano il termine di errore sono:

$$E(\boldsymbol{\delta}) = \mathbf{0} \text{ e } E(\boldsymbol{\xi} \boldsymbol{\delta}') = \mathbf{0}$$

5. Il vettore contenente gli errori di misura $\boldsymbol{\delta}$ può essere scomposto in due componenti:

$$\boldsymbol{\delta} = \mathbf{s} + \mathbf{e}$$

dove \mathbf{s} rappresenta la varianza specifica associata a ciascuna variabile ed \mathbf{e} è la rimanente componente casuale in \mathbf{x} . Assieme le due componenti formano il

¹⁹ Tale affermazione è corretta nel momento in cui il ricercatore non è interessato a modellare tali medie, come invece avviene nello studio congiunto di più campioni indipendenti.

²⁰ In termini del tutto equivalenti il modello potrebbe essere rappresentato da $\mathbf{Y} = \mathbf{\Lambda}_Y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon}$, in quanto la logica rimane immutata anche se cambiano le notazioni dei vettori.

cosiddetto “*unique factor*” di \mathbf{x} . Entrambe le componenti sono errori di misura in \mathbf{x} rispetto a ξ e sono incorrelate sia con ξ stessa sia le une con le altre.

6. Nell’analisi fattoriale esplorativa si assume inoltre che la matrice di varianza-covarianza degli errori di misura (Θ_δ) sia diagonale.
7. Non si fa alcuna restrizione, tranne che per permettere l’identificazione del modello (come si vedrà tra breve) o per convinzioni del ricercatore in un contesto confermativo, sulla matrice di varianza-covarianza delle variabili latenti (Φ).

La stima del modello sopra riportato, così come la stima del modello più generale, parte non dalla minimizzazione di una funzione dei valori individuali osservati e predetti (come accade ad esempio nel modello di regressione lineare), ma da una minimizzazione della differenza tra le covarianze campionarie e le covarianze predette dal modello. L’ipotesi fondamentale per questo tipo di procedura è che la matrice di covarianza delle variabili osservate implicata dal modello sia funzione di un certo numero di parametri. La formalizzazione di tale concetto può essere così espressa:

$$\Sigma = \Sigma(\theta) \quad (4.1)$$

In (4.1) Σ rappresenta la matrice di covarianza delle variabili osservate, θ rappresenta un vettore che contiene i parametri del modello e $\Sigma(\theta)$ rappresenta la matrice di covarianza scritta in funzione di θ .

Se le variabili \mathbf{x} sono espresse come scarti dalle rispettive medie, la matrice di covarianza delle \mathbf{x} stesse è pari al valore atteso di \mathbf{xx}' . La matrice di covarianza di \mathbf{x} può quindi essere scritta in funzione dei parametri θ nel seguente modo:

$$\begin{aligned} \Sigma(\theta) &= E(\mathbf{xx}') \\ &= E[(\Lambda_X \xi + \delta)(\xi' \Lambda_X' + \delta)] \\ &= \Lambda_X E(\xi \xi') \Lambda_X' + \Theta_\delta \\ &= \Lambda_X \Phi \Lambda_X' + \Theta_\delta \end{aligned} \quad (4.2)$$

La varianza di ciascuna variabile \mathbf{x} può dunque essere scomposta in due componenti ortogonali:

- la prima, definita “*communality*” rappresenta la varianza delle variabili osservate spiegate dai fattori ($\Lambda_X \Phi \Lambda_X'$);
- la seconda, definita “*unique variance*”, è invece la parte di varianza che rimane dopo la “spiegazione” dei fattori (Θ_δ).

4.2.2 – ANALISI FATTORIALE ESPLORATIVA

L'analisi fattoriale esplorativa è un modello per la risoluzione di un insieme di variabili osservate in termini di un ridotto numero di variabili ipotetiche, dette appunto fattori. Tale metodologia cerca di spiegare le correlazioni tra le variabili osservate e, quando ha successo, porta ad individuare dei fattori latenti, in numero inferiore al numero delle osservate, contenenti tutta l'informazione essenziale circa le interrelazioni lineari fra esse.

I principi ispiratori dell'analisi fattoriale esplorativa sono essenzialmente due:

1. indipendenza lineare condizionata: i fattori danno conto di tutte le relazioni lineari fra le variabili osservate, ovvero al netto dell'influenza dei fattori non rimane correlazione tra di esse. Tale principio è tradotto in termini modellistici imponendo la diagonalità della matrice di covarianza degli errori di misura (Θ_{δ});
2. struttura semplice: nella definizione della struttura parametrica del modello molto spesso si impone la condizione $\Phi = \mathbf{I}$: mentre la restrizione ad uno dei coefficienti situati nella diagonale principale di tale matrice risale alla necessità di definire un'unità di misura per le variabili latenti, l'uguaglianza a zero dei rimanenti parametri (ovvero delle correlazioni tra i fattori) è posta invece per stimare in modo conveniente il modello. Una volta stimato il modello infatti l'insieme dei fattori può essere soggetto a rotazione, o ad una qualche trasformazione lineare in un altro insieme di fattori, al fine di facilitarne l'interpretazione senza tuttavia modificare la soluzione iniziale (in altre parole le procedure di rotazione non andranno ad intaccare la comunaltà e la varianza unica delle variabili osservate).

A questo punto è bene approfondire il concetto di rotazione della soluzione derivata dall'applicazione di un'analisi fattoriale esplorativa poiché nel seguito del presente capitolo sarà proprio attraverso questa procedura che emergeranno in maniera chiara le prime indicazioni per la costruzione dei *lean bundles*. La rotazione è utile per semplificare l'operazione di interpretazione dei fattori, secondo il principio della ricerca di una struttura semplice. L'operazione di rotazione è così definita poiché le variabili manifeste possono essere viste come punti-vettore in uno spazio a K dimensioni, dove K è il numero dei fattori. Ciò che viene ruotato sono dunque gli assi di riferimento e cioè proprio i fattori stessi. La rotazione non fa altro che ridefinire in modo più opportuno le coordinate dei vettori che rappresentano le variabili, lasciando inalterata la posizione relativa degli stessi: tale operazione lascia perciò inalterata la soluzione da un punto di vista globale. Essa ha

un'utilità di carattere semantico, se i fattori estratti sono due o più, in quanto nella *pattern matrix* non ruotata, solitamente, ogni variabile ha legami diversi da zero con più fattori e ciò rende difficile distinguere questi ultimi e interpretarli. Con la rotazione, si cerca, in linea di massima, di far passare gli assi di riferimento (fattori) tra addensamenti di punti-vettore (variabili) in modo che siano il più distinti possibile da altri addensamenti, che saranno attraversati da altri assi. Anche per le rotazioni sono disponibili metodi diversi: esse sono classificabili in **rotazioni ortogonali**, dove la rotazione degli assi è soggetta al vincolo della perpendicolarità tra gli stessi; e **rotazioni oblique**, dove tale vincolo è rilasciato del tutto o parzialmente. I metodi di rotazione disponibili sono moltissimi ma i più comunemente utilizzati da parte dei ricercatori (ed oggetto di studio nella presente ricerca) sono:

1. VARIMAX

Varimax ha come effetto, in linea di principio, quello di ottenere che parte dei coefficienti di ogni colonna di Λ_X siano molto prossimi a 1, altri molto prossimi a zero e pochi di essi di grandezza intermedia. In tal modo i fattori tendono a essere molto distinti tra loro, cosicché l'operazione di etichettamento dovrebbe essere agevolata. Non sempre è possibile ottenere una struttura semplice mantenendo l'ortogonalità dei fattori; se però ciò è possibile, allora *Varimax* è la procedura più efficace.

2. PROMAX

Questo metodo prende avvio da una soluzione ortogonale, quale potrebbe essere *Varimax*. I *factor loadings* ottenuti vengono poi elevati a potenza: al crescere dell'esponente le grandezze dei coefficienti diminuiranno e tale diminuzione sarà tanto più rapida quanto più piccoli saranno i valori di partenza. La prima soluzione ortogonale viene poi ruotata tramite un metodo obliquo in modo tale da approssimare al meglio la matrice dei coefficienti elevati a potenza. I fattori risulteranno tanto più correlati tra loro, quanto più alte saranno le potenze cui sono elevati i coefficienti iniziali.

3. REFERENCE VARIABLES ROTATION

La soluzione a "variabili di riferimento" utilizza il metodo di stima a variabili strumentali (TSLS) proposto da Hägglund (1982) per ottenere i *factor loadings* e la matrice di covarianza dei fattori (esso appartiene infatti ai metodi di rotazione

obliqua). Tale metodo permette di individuare per ciascun fattore una variabile di riferimento che corrisponde alla variabile osservata che presenta il più alto coefficiente per ciascuna colonna della matrice Λ_X calcolata tramite una rotazione *promax*. Il vantaggio di questo tipo di soluzione risiede nel fatto che possono essere ottenute le stime degli standard error per tutti i *factor loadings*, ad eccezione di quelli associati alle variabili di riferimento.

Prima di procedere con la stima del modello, il ricercatore deve necessariamente affrontare un'ulteriore problematica, ovvero l'identificazione dello stesso. Il problema dell'identificazione riguarda la possibilità di individuare univocamente i parametri incogniti θ a partire dagli elementi (distinti) di Σ . In altre parole la domanda da porre è: risolvendo l'equazione (4.1) esiste una soluzione unica per i parametri strutturali contenuti in Λ_X , Φ e Θ_δ ? Un modello è detto globalmente identificato se, dati due vettori θ_1 e θ_2 si ha che $\Sigma(\theta_1) = \Sigma(\theta_2)$ se e soltanto se $\theta_1 = \theta_2$.

Senza ulteriori restrizioni il modello presenta una sottoidentificazione (ovvero un'indeterminatezza), connessa al fatto che le matrici ξ e Λ_X possono rispettivamente essere rimpiazzate da $M\xi$ e $\Lambda_X M'$, essendo M una qualsiasi matrice ortogonale di ordine k , senza tuttavia modificare il sistema di equazioni del modello e la struttura di covarianza implicata (Lawley e Maxwell, 1971). Affinché il modello di analisi fattoriale esplorativa sia identificato risulta necessario imporre k^2 restrizioni indipendenti. Solitamente tali restrizioni vengono ad interessare due diverse matrici coinvolte nel modello:

- $\frac{1}{2} k (k + 1)$ restrizioni sono imposte ponendo $\Phi = I$ (fissazione dell'unità di misura e ricerca della struttura semplice);
- le rimanenti restrizioni, in un contesto SEM, sono poste in fase di specificazione del modello e vanno a coinvolgere alcuni elementi di Λ_X opportunamente distribuiti (tipicamente in righe e colonne diverse). Alcuni software specifici per la sola analisi fattoriale impongono queste restrizioni in sede di procedimento di stima, imponendo alla matrice $\Lambda_X' \Theta_\delta \Lambda_X$ di essere diagonale.

Una volta verificata l'identificazione del modello è possibile procedere con la stima dei parametri strutturali. Una trattazione esaustiva della procedura di stima sarà presentata nel *Capitolo 5* facente riferimento alla formulazione generale del modello Lisrel. Brevemente l'informazione di cui si dispone consiste nella matrice di covarianza (o correlazione) campionaria S mentre la matrice di covarianza implicata dal modello è $\Sigma(\theta)$ ed i parametri

incogniti (contenuti nel vettore θ) sono stimati minimizzando, rispetto a θ , una conveniente funzione di stima $F(\mathbf{S}, \Sigma(\theta))$. La funzione di stima più usata è la verosimiglianza, basata sull'assunzione che la distribuzione delle variabili osservate sia normale multivariata (come discusso nel *Capitolo 3*). Minimizzando tale funzione si ottiene dunque lo stimatore di massima verosimiglianza per θ che, sotto opportune condizioni, risulta essere asintoticamente corretto, consistente, asintoticamente efficiente ed asintoticamente normale.

Molto spesso l'analisi fattoriale esplorativa è confusa erroneamente con l'analisi delle componenti principali. Questa seconda tecnica in realtà ha come obiettivo quello di trovare tante componenti (ovvero fattori) quante sono le variabili osservate, per cui tutta la varianza di queste ultime è spiegata dalle componenti principali (in questo caso *comunalità* = varianza). L'analisi fattoriale invece scompone la varianza di ogni variabile in una parte spiegata dai fattori (*comunalità*) e una parte specifica della variabile stessa (*varianza unica*). In sintesi quindi tutto quello che fa l'analisi delle componenti principali è di trasformare un insieme di variabili in un insieme (della stessa numerosità) di combinazioni lineari delle stesse tra loro incorrelate: essa non costituisce quindi un modello, ma solamente una trasformazione lineare dei dati.

4.2.3 – ANALISI FATTORIALE CONFERMATIVA

Come si è appena discusso, nell'analisi fattoriale esplorativa non vi sono ipotesi concernenti i fattori e per ottenere stime di massima verosimiglianza uniche di Λ_X e Θ_δ le k^2 restrizioni indipendenti necessarie sono scelte ponendo $\Phi = \mathbf{I}$ e restringendo a zero (o ad una qualsiasi altra costante) un numero opportuno di *factor loadings*. Nell'analisi fattoriale confermativa il ricercatore ha informazioni a priori (o ipotesi) sul numero di fattori e su quali di essi siano coinvolti in certi indicatori: in altre parole il ricercatore in questo caso è in grado di fissare alcuni elementi delle matrici Λ_X e Φ . Usualmente ciò comporta che il modello CFA sia ristretto, nel senso che esso impone la presenza di restrizioni all'intero spazio fattoriale. In questo caso la soluzione non può più essere ottenuta tramite rotazione da una soluzione non ristretta, in quanto ciascuna presenta diverse e specifiche *communalities* e *unique variance*.

Anche in riferimento all'analisi fattoriale confermativa, prima di procedere con la stima dei parametri strutturali, è necessario studiare l'identificazione del modello. Una prima

condizione necessaria all'identificazione è che la scala delle variabili latenti sia stata fissata attraverso uno dei due metodi discussi in precedenza.

Ancora una volta il problema da verificare è se il vettore dei parametri θ è univocamente determinato da Σ oppure no. In particolare qualora tutti i parametri strutturali siano identificati o sovra-identificati, allora è possibile asserire che anche il modello è identificato. In caso contrario è opportuno rivedere le restrizioni imposte prima di procedere con le metodologie di stima.

Qualora il modello non risulti molto complesso, lo stato di identificazione può essere valutato esplicitando tutte le equazioni che legano le varianze e covarianze (o correlazioni²¹) e i parametri strutturali, analizzando se per ciascuno di essi esiste una soluzione unica. Tale procedura esplicita può però divenire molto complessa nel momento in cui i parametri del modello e le variabili osservate crescono di numerosità. Ecco dunque che per particolari situazioni sono state proposte alcune regole che permettono di definire in modo molto semplice l'identificabilità del modello. Di seguito sono presentate le condizioni necessarie e sufficienti di identificazione più comuni, riassunte poi in *Tabella 4.1*.

Per comprendere le basi della **regola t** è necessario riconsiderare la specificazione di $\Sigma(\theta)$ proposta in (4.2), ovvero

$$\Sigma(\theta) = \Lambda_X \Phi \Lambda_X' + \Theta_\delta$$

La matrice Λ_X ha dimensioni $q \times n$, ovvero presenta qn elementi; la matrice Φ contiene al suo interno $\frac{1}{2} k(k+1)$ parametri non ridondanti (essendo k il numero di fattori considerato) e Θ_δ comprende, ammettendo la presenza di correlazione tra errori di misura, $\frac{1}{2} p(p+1)$ parametri (essendo p il numero di variabili osservate). Di conseguenza $\Sigma(\theta)$ è decomposta in $qn + \frac{1}{2} k(k+1) + \frac{1}{2} p(p+1)$ elementi in θ usando soltanto $\frac{1}{2} p(p+1)$ elementi noti nella matrice di covarianza delle variabili osservate. La regola t richiede che

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

dove t è il numero di parametri liberi in θ . In altre parole il numero di parametri liberi (t) deve essere minore od uguale al numero di elementi non ridondanti della matrice di covarianza delle X. La regola t è una condizione necessaria per l'identificazione, ma non sufficiente.

²¹ Se il modello impone restrizioni solamente alle covarianze, e non alle medie delle variabili, è equivalente analizzare la matrice di varianza-covarianza o la matrice delle correlazioni delle osservate.

REGOLA DI IDENTIFICAZIONE	CONDIZIONI IMPOSTE	CONDIZIONE NECESSARIA	CONDIZIONE SUFFICIENTE
Regola t	$t \leq \frac{1}{2} p (p+1)$	SI'	NO
Regola 3 indicatori	$\left\{ \begin{array}{l} k \geq 1 \\ 3 \text{ o pi\`u indicatori per fattore} \\ \text{un elemento non zero per ogni riga di } \Lambda_{\mathbf{x}} \\ \Theta_{\delta} \text{ diagonale} \end{array} \right.$	NO	SI'
Regola 2 indicatori			
Regola A	$\left\{ \begin{array}{l} k \geq 1 \\ \phi_{ij} \neq 0 \text{ per ogni } i \text{ e } j \\ 2 \text{ o pi\`u indicatori per fattore} \\ \text{un elemento non zero per ogni riga di } \Lambda_{\mathbf{x}} \\ \Theta_{\delta} \text{ diagonale} \end{array} \right.$	NO	SI'
Regola B	$\left\{ \begin{array}{l} \text{come sopra, salvo } \phi_{ij} \neq 0 \text{ per almeno} \\ \text{una coppia di } i \text{ e } j, \text{ con } i \neq j \end{array} \right.$	NO	SI'

Tabella 4.1 : Sommario delle regole di identificazione per l'analisi fattoriale confermativa.

Una condizione sufficiente per l'identificazione del modello, anche se non necessaria, è la **regola dei tre indicatori**, ovvero un modello ad un fattore è identificato se esso presenta almeno tre *factor loadings* non ristretti a zero ed una matrice Θ_{δ} diagonale. Se il modello presenta più di tre indicatori per quel dato fattore, allora esso risulta essere sovra-identificato. Un modello multi-fattoriale è invece identificato quando valgono contemporaneamente le seguenti affermazioni:

1. il modello presenta tre o più indicatori per ciascuna variabile latente;
2. ogni riga di $\Lambda_{\mathbf{x}}$ presenta un solo elemento diverso non ristretto a zero;
3. la matrice Θ_{δ} è diagonale;
4. non ci sono restrizioni per la matrice Φ .

La **regola dei due indicatori** è una condizione alternativa sufficiente per modelli di misura che presentano più di un fattore (proposta da *Wiley, 1973; Kenny, 1979*). Come la regola dei tre indicatori essa richiede che la matrice Θ_{δ} sia diagonale. In questo caso però l'avere

due indicatori per ciascun fattore è sufficiente per identificare il modello di misura se la complessità di ciascun fattore è pari ad uno (ovvero ogni riga di Λ_X presenta un solo elemento diverso non ristretto a zero) e se non sono ipotizzate restrizioni zero per la matrice Φ . Questa regola può essere ulteriormente generalizzata, consentendo l'identificazione del modello sotto le seguenti condizioni:

1. ogni riga di Λ_X presenta un solo elemento diverso non ristretto a zero;
2. ci sono almeno due indicatori per ciascun fattore;
3. ogni riga di Φ presenta almeno un elemento al di fuori della diagonale non ristretto a zero;
4. la matrice Θ_δ è diagonale.

La differenza con quanto detto precedentemente risiede nel fatto che alcuni elementi esterni alla diagonale principale della matrice Φ possono essere imposti pari a zero.

Regole di questo tipo non coprono però tutte le specifiche formulazioni sia in un contesto di analisi fattoriale confermativa (il caso in cui la matrice Θ_δ non è diagonale) sia in un contesto di formulazione generale, come sarà specificato nel prossimo capitolo. A fronte di tali situazioni è comunque possibile ricorrere a test empirici di identificazione che possono essere applicati a qualsiasi modello della classe SEM. Due concetti risultano di fondamentale importanza per la comprensione delle modalità di svolgimento di tali test: l'identificazione globale e locale. Un vettore di parametri θ si definisce **globalmente identificato** se non esistono due vettori θ_1 e θ_2 tali per cui $\Sigma(\theta_1) = \Sigma(\theta_2)$ senza che $\theta_1 = \theta_2$. L'**identificazione locale** è un concetto più debole di unicità: un vettore di parametri θ è localmente identificato in un punto θ_1 se, in un intorno di θ_1 non esiste un vettore θ_2 tale per cui $\Sigma(\theta_1) = \Sigma(\theta_2)$ senza che $\theta_1 = \theta_2$. Di conseguenza l'identificazione locale definisce l'identificazione in uno specifico punto di θ e porta a determinare come cambia la matrice di covarianza rispetto a piccoli scostamenti da tale punto. L'identificazione globale implica l'identificazione locale, ma quest'ultima è condizione necessaria ma non sufficiente per l'identificazione globale.

Perché quindi analizzare l'identificazione locale di un parametro? In primo luogo perché se essa non è verificata, allora non sarà nemmeno verificata la proprietà a livello globale. La seconda motivazione risiede nel fatto che esistono alcuni test empirici per la verifica della stessa facilmente implementabili in molti software dedicati ai modelli in questione.

Due sono i test maggiormente conosciuti:

1. Il primo si basa su di un lavoro condotto da Wald (1950). La regola dei ranghi proposta da Wald definisce che un vettore di parametri θ di dimensioni $t \times 1$ è localmente identificato nel punto $\theta = \theta_1$ se e soltanto se il rango di $\partial\sigma(\theta)/\partial\theta$ valutata in θ_1 è pari a t , dove $\sigma(\theta)$ è un vettore che contiene gli elementi non ridondanti di $\Sigma(\theta)$.
2. Il secondo test proposto da Keesling (1972), Wiley (1973), Jöreskog e Sörbom (1986) è comunque strettamente collegato al test precedente e si basa sull'assunzione che la matrice di informazione sia pari a meno il valore atteso delle derivate parziali di secondo ordine della funzione di stima, calcolate rispetto a ciascun parametro contenuto in θ . Il vettore dei parametri θ è quindi localmente identificato in un dato punto θ_1 , se e soltanto se esiste l'inversa della matrice di informazione. Due forme di indeterminatezza permeano questo test (*Mc Donald e Krane, 1979*): la prima riguarda il calcolo della matrice inversa basato su metodi numerici (l'inversa di una matrice potrebbe non esistere a causa delle approssimazioni fatte); la seconda riguarda il fatto che l'obiettivo del test stesso è di valutare l'identificazione locale dei veri parametri della popolazione, mentre il test empirico fa riferimento alle stime.

4.2.4 – VALUTAZIONE DEL MODELLO

Prima di procedere con la presentazione dei risultati è opportuno affrontare il problema dell'adattamento del modello ai dati poiché già in fase di definizione dei *bundles* si ricorrerà ad alcuni indicatori per provare la non falsificabilità del modello di misura. Con tale passaggio si viene, inoltre, a chiudere un itinerario di ricerca circolare: da una matrice di covarianza (correlazione) delle variabili osservate, denominata \mathbf{S} , si costruisce un modello teorico che produce una seconda matrice di covarianza, definita Σ , per poi tornare nuovamente alla matrice \mathbf{S} in quanto è sullo scarto $\mathbf{S}-\Sigma$, definito residuo, che si fonderanno le valutazioni del modello stesso (sia esso di analisi fattoriale piuttosto che una rappresentazione più generale della classe dei modelli Lisrel). Se tale scarto è eccessivo allora il modello non può essere considerato compatibile con i dati; se lo scarto invece può essere addebitabile ad oscillazioni stocastiche, allora il modello non viene respinto, anche se tale evidenza non permette tuttavia di affermare di avere verificato la sua veridicità (un modello produce una ed una sola matrice di covarianza tra le osservate, ma non è vero il

contrario in quanto gli stessi dati potrebbero essere compatibili con molteplici modelli senza che necessariamente quello stimato sia effettivamente quello che ha generato i dati). Lo scarto $\mathbf{S}-\Sigma$ sta quindi alla base di tutte le misure di adattamento complessivo del modello e deve poter essere formulato nei termini di una distribuzione statistica nota in modo da poter prescindere, nel confronto tra i due valori di \mathbf{S} e di Σ , dalle oscillazioni stocastiche di campionamento. Nei sottoparagrafi precedenti si è brevemente accennato alla procedura di stima di massima verosimiglianza, basata sulla minimizzazione di un'opportuna funzione delle matrici \mathbf{S} e Σ , che d'ora in avanti sarà indicata con F_{ML} (per maggiori dettagli si rimanda al *Capitolo 5*). Tale funzione è di notevole importanza anche nella fase di valutazione del modello in quanto su di essa si basa la costruzione di un particolare test di valutazione complessiva dello stesso, qualora vi sia sovra-identificazione²². La distribuzione asintotica di $(N-1)F_{ML}$ è un χ^2 con $\frac{1}{2}p(p+1) - t$ gradi di libertà dove, riprendendo la notazione utilizzata in precedenza, p indica il numero di variabili osservate e t il numero di parametri liberi, mentre F_{ML} indica la funzione di stima valutata nel punto di minimo²³. L'ipotesi nulla sottoposta a verifica dal test Chi-quadro risulta essere $H_0 : \Sigma = \Sigma(\boldsymbol{\theta})$, ovvero il test presentato mira alla verifica della correttezza delle restrizioni di sovra-identificazione. A tale ipotesi se ne contrappone una alternativa così formulata:

$$H_1 : \Sigma \text{ è una matrice simmetrica definita positiva.}$$

In realtà il valore stimato della statistica Chi-quadro deve essere utilizzato con cautela poiché:

1. l'accuratezza dell'approssimazione di tale statistica dipende dalla distribuzione delle variabili osservate. Browne (1974, 1982) dimostra come la statistica $(N-1)F_{ML}$ possa essere indicata come statistica Chi-quadro soltanto se le variabili osservate non presentano eccessiva curtosi;
2. l'accuratezza dell'approssimazione può essere influenzata dalla scelta da parte del ricercatore di considerare come base per la stima del modello la matrice di correlazione piuttosto che di covarianza tra le variabili, in relazione a modelli che trattano simultaneamente diversi campioni indipendenti;

²² Nel caso di un modello esattamente identificato tale statistica, basata sui residui, non ha valenza esplicativa dato che la matrice di covarianza campionaria è esattamente riprodotta dal modello.

²³ Il numero di gradi di libertà è così definito in un contesto di analisi fattoriale.

3. la stessa approssimazione può essere influenzata dalla numerosità campionaria: gli studi di simulazione condotti da Boomsma (1983) suggeriscono che lo stimatore $(N-1)F_{ML}$ della statistica Chi-quadro non risulta accurato per campioni con numerosità inferiore a 50. Inoltre tutte le statistiche che fanno riferimento al χ^2 vedono aumentare il loro valore proporzionalmente all'aumentare del numero di casi (Blalock, 1961). Se il campione è molto grande un modello buono (prossimo cioè alla realtà) mostrerà dunque sempre uno scarto tra valori stimati e valori osservati piuttosto elevato, e quindi una statistica Chi-quadro significativa che indicherà al ricercatore di respingere l'ipotesi nulla e quindi il modello;
4. l'approssimazione assume inoltre che l'ipotesi nulla sia esattamente verificata. Nei casi reali però non sempre è possibile assumere che il modello formulato fornisca una rappresentazione accurata e completa della realtà, ma l'obiettivo cui si mira è decisamente più modesto: determinare un modello che incontri ragionevolmente quanto indicato dai dati. Un adattamento perfetto può quindi, in molti casi, essere uno standard non adeguato ed un valore elevato della statistica Chi-quadro può in realtà indicare che l'ipotesi nulla, per quel dato modello, non vale esattamente ma solo approssimativamente.

Per ovviare a questi limiti sono state proposte in letteratura diverse misure alternative di adattamento generale del modello. Questi indicatori della bontà di adattamento del modello ai dati spesso si presentano in forma normalizzata (cioè con campo di variazione [0, 1]) per facilitarne la lettura, ma non è dato conoscere la distribuzione probabilistica da essi seguita.

Jöreskog e Sörbom (1986) propongono un indice di bontà di adattamento definito **GFI** (*Goodness of Fit Index*) così definito:

$$GFI = 1 - F [S, \Sigma(\hat{\theta})] / F[S, \Sigma(0)]$$

dove il numeratore del rapporto è il minimo della funzione di adattamento del modello stimato, mentre il denominatore è la funzione di adattamento prima che qualunque modello sia stato stimato (ovvero il modello nel quale tutti i parametri sono fissati a zero). Questa misura assume valori compresi tra 0 (pessimo adattamento modello-dati) ed 1 (perfetto adattamento). Questo indice oltre ad essere facilmente interpretabile (la lettura dei risultati è molto simile a quanto avviene per l'indice R^2), offre la possibilità di confrontare modelli stimati su insiemi diversi di dati. Tale formulazione tuttavia non tiene conto dei gradi di

libertà, e quindi della parsimoniosità del modello ed è per questo motivo che i due autori ne hanno proposto una versione modificata, l'*Adjusted Goodness of Fit Index* (**AGFI**), così definito:

$$\text{AGFI} = 1 - [p(p+1) / d] (1 - \text{GFI})$$

dove d rappresenta il numero di gradi di libertà della statistica Chi-quadro, ovvero

$$d = [p(p+1) / 2] - t.$$

Anche in questo caso l'indice presenta un range di valori che varia tra 0 e 1. In riferimento all'influenza della numerosità campionaria si può dimostrare come il calcolo dei due indici proposti non sia influenzato da tale caratteristica del disegno di ricerca, anche se uno studio di simulazione condotto da Anderson e Gerbing (1984) suggerisce che la media della distribuzione campionaria di GFI e AGFI tende ad aumentare con il crescere della dimensione campionaria. Essi affermano inoltre che questi valori tendono a diminuire quando il numero di indicatori per fattore, o il numero di fattori stessi, cresce, specialmente in riferimento a campioni di piccole dimensioni.

Nella discussione sulle principali carenze dell'uso di $(N-1)F_{ML}$ come statistica Chi-quadro centrale si è evidenziato come essa, in grandi campioni, porti a rigettare sistematicamente modelli che valgono solo approssimativamente nella popolazione. Per ovviare a tale limite sono state proposte in letteratura alcune misure di adattamento che tengono specificatamente in considerazione l'errore di approssimazione nella popolazione e la precisione della misura stessa di adattamento. Queste misure si basano su di una stima della *population discrepancy function*, definita come

$$F_0 = \text{Max} \{F_{\min} - [d / (N - 1)], 0\}$$

dove F_{\min} è il valore della funzione di adattamento al minimo. La statistica F_0 considera quindi la parsimonia del modello (attraverso i gradi di libertà d) e la numerosità campionaria (attraverso N). Essa è massimizzata per evitare che la correzione per gradi di libertà e numerosità campionaria porti ad un valore negativo. Un indice sintetico di adattamento basato sulla quantità suddetta è il *Root Mean Square Error of Approximation* (**RMSEA**) definito come

$$\text{RMSEA} = \sqrt{F_0 / d}$$

che rappresenta una misura della discrepanza per grado di libertà.

Poiché nemmeno di tale indice è nota la distribuzione, sono stati proposti alcuni criteri operativi che ne aiutano l'interpretazione:

- un valore < 0.05 segnala quel che è detto un *close fit*, ovvero un buon adattamento del modello ai dati;
- valori fino allo 0.08 rappresentano ragionevoli errori di approssimazione nella popolazione.

Il software Lisrel, utilizzato per stimare tutti i modelli presentati nella trattazione, propone inoltre un intervallo di confidenza al 90% per RMSEA e un test per la verifica dell'ipotesi nulla $RMSEA < 0.05$, utili per valutare il grado di approssimazione del modello alla popolazione.

Mentre questi primi due indici si basano sui valori assunti dalla funzione di stima, l'indice che si andrà ora a presentare fa riferimento essenzialmente alla matrice dei residui stimati del modello, $\mathbf{S}-\Sigma(\hat{\boldsymbol{\theta}})$, il cui generico elemento è indicato con $(s_{ij} - \hat{\sigma}_{ij})$. Un indice sintetico basato su queste quantità è stato proposto da Jöreskog e Sörbom (1986) ed è conosciuto con il nome di *Root Mean-square Residual (RMR)*, calcolato come la radice quadrata della media dei residui al quadrato:

$$RMR = \sqrt{1/k \sum (s_i - \hat{\sigma}_{ij})^2}$$

dove $k = \frac{1}{2} p (p+1)$. Tale indice vale 0 qualora \mathbf{S} coincida con la matrice di covarianza stimata dal modello, ma non presenta un limite superiore. Esso deve essere inoltre interpretato in relazione alle dimensioni delle varianze e covarianze osservate in S . Per questo motivo gli autori hanno quindi proposto l'indice *Standardized RMR* che rappresenta l'analogo della statistica RMR calcolata però sui residui standardizzati (indipendenti cioè dall'unità di misura delle variabili).

Gli indici fin qui presentati rientrano nella grande classe delle misure assolute di *fitting*. Un'ulteriore categoria è rappresentata dai cosiddetti indici incrementali che misurano la proporzione di miglioramento confrontando il modello di interesse con uno più ristretto, solitamente conosciuto come modello base o nullo, nel quale tutte le variabili osservate non sono correlate tra loro. Tra questi indici i principali sono il *Non-Normed Fit Index (NNFI)* ed il *Comparative Fit Index (CFI)* (Bentler, 1990).

Un ultimo indice di adattamento spesso utilizzato per la valutazione del modello risulta essere la **stima della statistica Chi-quadro divisa per i corrispondenti gradi di libertà**. Non c'è in letteratura un sostanziale accordo su quali valori di tale indicatore rappresentino

un buon adattamento ai dati: gli autori raccomandano un valore del rapporto pari a 2 o a 3 (Carmines e McIver, 1981). Tale indicatore, essendo pari a $(N-1)F_{ML}/d$, presenta ancora i problemi legati alla statistica Chi-quadro soprattutto in relazione alla numerosità del campione di riferimento.

4.3 – SECONDO PASSO NELLA SELEZIONE DELLE TECNICHE LEAN

L'analisi della letteratura ha condotto alla selezione di 28 tecniche *lean* associate a svariate funzioni aziendali e a diversi metodi per il raggiungimento dell'obiettivo finale dell'eliminazione di ogni forma di *muda*. Avendo a disposizione ora una lista di pratiche è possibile iniziare a ragionare su come aggregare le stesse per formare i cosiddetti *bundles*. Come discusso nell'introduzione del presente capitolo, il concetto di *bundle* è associabile facilmente all'idea di variabile latente propria dei modelli di equazioni strutturali. L'indagine delle relazioni esistenti tra tali costrutti deve però necessariamente passare attraverso la definizione di un modello di misura degli stessi, ovvero attraverso la specificazione dei legami tra i fattori e ciascuna variabile osservata. Analizzando le trattazioni in riferimento alle tecniche selezionate è stato possibile ottenere delle prime indicazioni di massima su come, almeno dal punto di vista teorico, si andranno a comporre tali fattori. In particolare:

- tecniche quali la rimozione dei colli di bottiglia, consegne JIT, JIT con i fornitori, *kanban*, lotto unitario, layout dei macchinari, livellamento della produzione e riduzione dei tempi di set up sono tutte focalizzate verso l'obiettivo della riduzione degli sprechi all'interno della produzione, così da permettere un sistema di tipo *pull* ed un incontro con la domanda nelle tempistiche e nelle modalità richieste. Di conseguenza queste tecniche sottostanno alla logica della filosofia del *just in time* (JIT);
- tecniche quali le CinqueS, macchinari proprietari, *poka yoke*, QFD, controllo statistico di processo, il *Total Productive Maintenance* (TPM) e l'enunciazione chiara delle politiche sono incentrate sulla riduzione degli errori attraverso una pulizia del posto di lavoro, una manutenzione adeguata dei macchinari, una progettazione a "prova di errore" della strumentazione, il tutto associato ad un

costante controllo delle prestazioni del sistema e al coinvolgimento di tutto lo staff. Attraverso la riduzione della probabilità di commettere errori, lo stabilimento che adotterà congiuntamente questa tipologia di pratiche vedrà migliorare la qualità dei propri prodotti: tali tecniche sottendono quindi la filosofia generale del *Total Quality Management* (TQM);

- la ricerca di un rapporto collaborativo con i fornitori e con i clienti, unitamente ad una progettazione adeguata della catena di fornitura portano all'allargamento della logica snella al di fuori del confine dello stabilimento per coinvolgere clienti e fornitori. Tali tecniche sono quindi da associarsi ad uno sviluppo ulteriore ed esteso della filosofia *lean*;
- tecniche quali la ricerca della cooperazione dei dipendenti, la formazione su più mansioni degli stessi, la riduzione dei livelli gerarchici, l'incentivo ai lavoratori di proporre suggerimenti e la disposizione degli uffici di produzione nelle vicinanze dei reparti aiutano a gestire nel migliore dei modi, naturalmente secondo una logica snella, le risorse umane a disposizione dell'azienda. Attraverso queste pratiche è infatti possibile ottenere suggerimenti atti al miglioramento continuo, un costante impegno nello svolgersi delle attività e una più trasparente condivisione delle informazioni tra i diversi livelli gerarchici. Tali pratiche appartengono quindi alla logica dello *Human Resource Management* (HRM);
- la tecnica facente riferimento alla costituzione di gruppi di miglioramento ha in letteratura diverse interpretazioni: da un lato alcuni autori affermano come essa sia parte integrante del programma TQM in quanto propone un incentivo alla risoluzione dei problemi autogestita dal personale stesso (ad esempio *Mohrmar, Tenkasi, Lawler e Ledford, 1995*), dall'altro altre pubblicazioni incentrano la loro attenzione sul rapporto esistente tra tale pratica e l'HRM, in quanto la formazione dei team di miglioramento coinvolge un determinato modo di concepire la gestione dei lavoratori stessi (ad esempio *Shah e Ward, 2003*);
- anche la pratica relativa al miglioramento continuo non è così facilmente associabile ad una logica ben precisa in quanto va a toccare svariati aspetti della vita aziendale: il miglioramento continuo può interessare la logica TQM in quanto propone una continua risoluzione e prevenzione di varie problematiche produttive e

non (ad esempio *Easton e Jarrel, 1998*), allo stesso tempo essa coinvolge necessariamente aspetti legati alla gestione del personale (ad esempio *Khatri, 2000*).

A fronte delle indicazioni teoriche dedotte da studi sull'argomento, risulta ora indispensabile verificare se le indicazioni che possono invece essere dedotte dai dati siano in linea con quanto finora dimostrato in campo empirico da molti autori. Le informazioni insite nelle variabili a disposizione, in relazione alla formazione dei *lean bundles*, possono facilmente essere visibili attraverso l'applicazione di un'analisi fattoriale esplorativa secondo le modalità descritte nel paragrafo precedente. Attraverso questo primo approccio esplorativo ai dati è innanzitutto possibile capire quanti fattori sono da considerarsi nella definizione del complesso sistema snello e, successivamente, come le pratiche tendano a disporsi nello spazio fattoriale così creato.

Il primo passo per l'implementazione di tale tecnica di analisi è la costruzione della matrice di correlazione delle variabili osservate. Poiché nei modelli che si andranno a considerare nel *Capitolo 5* non si ha l'obiettivo di modellare la media della popolazione, l'analisi della matrice di correlazione o covarianza porta esattamente alle medesime conclusioni sia inferenziali che sostanziali ed interpretative. Per quanto concerne l'analisi fattoriale esplorativa e confermativa relativa alla costruzione dei *bundles* per le tecniche snelle, la numerosità campionaria di riferimento è pari all'intero campione di rispondenti (ovvero $N = 238$) data la trattazione dei tre casi mancanti vista al paragrafo precedente. Trattando ora solamente gli item relativi alla misurazione del grado di implementazione delle diverse tecniche *lean* è opportuno infatti utilizzare l'intera informazione campionaria a disposizione. Le 23 unità statistiche presentanti *missing value* in relazione alla sezione dedicata alla misurazione delle performance saranno eliminate (seguendo la logica *listwise*) solamente in fase di stima del modello di misura complessivo, includente cioè anche il fattore delle performance operative.

I parametri del modello sono stati quindi stimati attraverso il metodo della massima verosimiglianza.

La *Tabella 4.2* presenta sinteticamente alcuni indici di adattamento (statistiche Chi-quadro e RMSEA) in relazione a modelli rappresentati da un diverso numero di fattori.

Fattori	Chi-quadro	df	p-value	RMSEA
0	1759.34	325	0.000	0.136
1	606.67	299	0.000	0.066
2	486.23	274	0.000	0.057
3	385.18	250	0.000	0.048
4	321.38	227	0.000	0.042
5	264.00	205	0.003	0.035
6	213.26	184	0.069	0.026
7	178.07	164	0.214	0.019
8	149.52	145	0.381	0.011

Tabella 4.2: Risultati in termini di indici di adattamento di modelli di analisi fattoriale esplorativa contenenti un diverso numero di fattori (primo round).

I risultati ottenuti mostrano innanzitutto come sia supportabile l'ipotesi che le tecniche considerate non costituiscano ciascuna dei fattori a sé stanti, ma ben si prestino ad essere agglomerate all'interno di variabili latenti in quanto già con l'inserimento di sei fattori nella specificazione del modello si ottiene una statistica Chi-quadro significativa ad un livello di confidenza del 5% ($p\text{-value} = 0.069$). Questa prima considerazione è quindi pienamente in linea con i più recenti studi sulla *lean production*, vista come compenetrazione sinergica di più tecniche piuttosto che come affiancamento di pratiche distinte. La stima di questa serie di modelli evidenzia, inoltre, come l'inclusione di tre fattori conduca già ad un valore dell'indice RMSEA inferiore a 0.5, ovvero inferiore alla soglia indicante un *close fit*.

L'analisi delle stime dei *factor loadings*, opportunamente ruotate per agevolarne l'interpretazione, per modelli comprendenti un diverso numero di fattori ha condotto alla scelta di una specificazione a tre fattori in quanto, oltre a presentare un valore accettabile dell'indice di adattamento RMSEA, porta ad una struttura fattoriale che molto si avvicina a quanto ipotizzato a livello teorico sulla base della letteratura disponibile. La scelta del numero di fattori può essere strutturata in svariati modi: attraverso la guida di convinzioni a priori oppure attraverso criteri statistico-matematici quali il criterio di Kaiser (o *eigenvalue criterion*²⁴). Nel contesto della presente ricerca analisi confermativa ed esplorativa entrano all'interno di un circuito dove la definizione dei confini tra l'una e l'altra tecnica non sono ben definiti: si esplorano i dati sempre però in funzione delle convinzioni a priori date dalle assunzioni teoriche disponibili sull'argomento.

²⁴ Secondo questa procedura si assume un numero di fattori pari al numero di componenti (determinati tramite l'applicazione preliminare di un'analisi delle componenti principali) con autovalore maggiore di 1.

Il primo passo è stato la stima di un modello di analisi fattoriale avente come base l'intero set di variabili, supponendo l'esistenza di tre fattori latenti sottostanti. Per motivi di sintesi non si riportano i risultati in forma estesa (ovvero non si riporta qui la tabella contenente le stime dei *factor loadings* ottenute tramite opportune rotazioni degli assi fattoriali). Le implicazioni derivate dall'analisi delle stime ottenute fanno riferimento alla significatività dei coefficienti che legano ciascuna osservata ai tre fattori: qualora una data variabile X presenti un solo coefficiente significativo (a seguito di un'opportuna rotazione) allora è possibile affermare che esiste un'evidenza empirica tale per cui la variabile di interesse può essere inserita all'interno del rispettivo *bundle* (fattore). In altre parole nella definizione successiva di un modello di misura è lecito restringere a zero i restanti coefficienti in quanto essi non risultano significativi anche in un contesto esplorativo.

I principali risultati emersi da questo primo step sono così riassumibili:

- le tecniche consegne JIT, JIT con i fornitori, *kanban*, lotto unitario, layout dei macchinari, livellamento della produzione e riduzione dei tempi di set up “caricano” (ovvero presentano coefficienti significativi) un unico fattore che potrebbe essere definito *Just in Time* (JIT), data la discussione teorica presentata all'inizio del presente paragrafo;
- le tecniche cooperazione dei dipendenti, formazione su più mansioni, riduzione dei livelli gerarchici, suggerimenti, e uffici di produzione sembrano essere influenzate da un secondo fattore, diverso dal primo, facente riferimento alla gestione delle risorse umane. Una denominazione per tale fattore coerente con quanto da esso rappresentato potrebbe essere *Human Resource Management* (HRM);
- le tecniche controllo statistico di processo, TPM e *poka yoke* spingono verso il terzo e ultimo fattore. Esso sembra quindi far riferimento ad una serie di tecniche per il controllo degli errori, ed una sua possibile denominazione potrebbe essere *Total Quality Management* (TQM);
- le tecniche cinqueS e macchinari proprietari sembrano non essere relazionate in modo significativo con nessuno dei tre fattori ipotizzati. Pratiche di questo tipo qualora inserite in un contesto confermativo non generano particolari problematiche poiché tale operazione corrisponde all'inserimento di variabili che non presentano un impatto significativo e quindi tale operazione non crea problemi in fase di stima. Data l'importanza a livello teorico delle stesse si è quindi deciso di non eliminarle dal gruppo di pratiche di interesse;

- la tecnica dei gruppi di miglioramento, che secondo la letteratura poteva appartenere alla logica TQM piuttosto che HRM, secondo i dati a disposizione sembra appartenere decisamente al *bundle* HRM (ovvero al secondo dei fattori appena discussi);
- la tecnica del miglioramento continuo, il cui posizionamento teorico non sembrava così chiaro, presenta anche empiricamente una duplice collocazione: i coefficienti che legano infatti tale variabile ai fattori sono significativi sia nel caso del secondo fattore (TQM) sia in relazione al terzo (JIT).
- alcune variabili mostrano risultati inaspettati, ovvero sembrano appartenere ad un determinato *bundle* che differisce da quanto specificato in letteratura. E' questo il caso di tecniche quali la rimozione dei colli di bottiglia (che carica il fattore definito TQM e non il JIT), QFD (HRM in contrapposizione a TQM) e enunciazione delle politiche (HRM in contrapposizione a TQM). Poiché esse comporterebbero dei problemi di interpretazione dei *bundles*, la decisione è stata di eliminarle dal set di variabili di diretto interesse;
- le variabili collaborazione con i fornitori, collaborazione con i clienti e *supplier lead time* sono tutte concettualmente collegate ai rapporti di uno stabilimento con l'ambiente esterno. Tale evidenza teorica spinge il coinvolgimento di tutte e tre le suddette variabili nella determinazione di un unico fattore. La stima di un modello di analisi fattoriale esplorativa non conferma tale ipotesi: le prime due variabili caricano due fattori diversi, mentre l'ultima presenta un coefficiente significativo sia in relazione al secondo che al terzo costruito. Anche la stima di un modello a quattro fattori non ha portato ad una soluzione chiara per queste tre variabili relative al coinvolgimento di attori esterni allo stabilimento. Per questi motivi esse sono state escluse dalle successive analisi permettendo quindi una focalizzazione dei risultati sulle sole tecniche "interne".

Poiché ora il set di variabili di interesse è ridotto rispetto alla situazione iniziale, il secondo step coinvolge la stima di un modello di analisi fattoriale esplorativa avendo come base il nuovo gruppo di variabili osservate composto da 19 item. La *Tabella 4.3* presenta sinteticamente alcuni indici di adattamento (statistiche Chi-quadro e RMSEA) in relazione a modelli rappresentati da un diverso numero di fattori.

Fattori	Chi-quadro	df	p-value	RMSEA
0	996.53	171	0.000	0.143
1	337.29	152	0.000	0.072
2	229.50	134	0.000	0.055
3	153.38	117	0.014	0.036
4	109.39	101	0.267	0.019
5	88.72	86	0.399	0.012
6	63.20	72	0.761	0.000
7	49.42	59	0.809	0.000
8	35.19	47	0.898	0.000

Tabella 4.3: Risultati in termini di indici di adattamento di modelli di analisi fattoriale esplorativa contenenti un diverso numero di fattori (secondo round).

Il secondo modello stimato presenta risultati migliori in termini di adattamento ai dati rispetto a quanto emerso al punto precedente. Si può notare infatti che già inserendo quattro fattori la statistica Chi-quadro risulta altamente significativa agli usuali livelli di confidenza. Inoltre, come nel caso precedente, la statistica RMSEA mostra valori inferiori allo 0.05 a partire dall’inserimento di tre fattori nella specificazione del modello.

Anche in questo caso l’analisi delle soluzioni, in termini di coefficienti stimati, ha portato alla scelta di un numero di fattori pari a tre, sia per la buona adattabilità ai dati mostrata dal modello sia per chiarezza interpretativa. Di seguito sono riportate le stime dei coefficienti di Λ_x opportunamente trasformati, secondo le tre tipologie di rotazione descritte nel *Paragrafo 4.2.2*, al fine di agevolarne l’interpretazione.

In *Tabella 4.4* sono evidenziate tre diverse variabili, in quanto esse rappresentano le tecniche che più sono relazionate con ciascuno dei tre fattori. Tali variabili rappresentano quindi il punto di forza della misurazione di ciascun fattore e sono state poste in evidenza attraverso la rotazione definita *Reference variables*. La variabile denominata “*poka yoke*”, oltre a possedere la proprietà suddetta, crea un problema nella stima del modello. In alcune situazioni è possibile che il programma arrivi a convergenza pervenendo tuttavia ad una soluzione che presenta parametri problematici, quali varianze negative, correlazioni maggiori di 1, matrici di correlazione o covarianza non definite positive o parametri con standard error molto elevati. Nella letteratura dell’analisi fattoriale questi casi, non infrequenti, vanno sotto il nome di *Heywood case* (dal nome dell’autore che per primo li evidenziò, cfr. *Harman, 1967*).

Variabile	Varimax			Promax			Reference Variables		
	Fattore1	Fattore2	Fattore3	Fattore1	Fattore2	Fattore3	Fattore1	Fattore2	Fattore3
CinqueS	0.32	0.24	0.13	0.25	0.01	0.25	0.23	0.04	0.27
Macchinari proprietari	0.19	0.13	0.17	0.13	0.12	0.10	1.66	0.21	2.06
SPC	0.45	0.11	0.24	0.39	0.15	0.07	0.12	0.13	0.12
TPM	0.37	0.22	0.28	0.27	0.18	0.19	0.84	0.74	0.91
Poka yoke	0.99	-0.02	0.14	0.39	0.15	0.07	0.36	0.17	0.11
Gruppi di miglioramento	0.24	0.22	0.52	0.06	0.51	0.12	2.48	1.08	0.90
Cooperazione dei dipendenti	0.14	0.17	0.53	-0.04	0.56	0.06	0.25	0.20	0.22
Formazione su più mansioni	0.18	0.07	0.59	0.27	0.18	0.19	1.82	1.22	1.74
Riduzione livelli gerarchici	0.13	-0.07	0.51	1.06	-0.09	-0.06	1.00	0.00	0.00
Suggerimenti	0.19	0.13	0.50	0.06	0.51	0.12	0.05	0.50	0.17
Uffici di produzione	0.04	0.19	0.57	0.06	0.51	0.12	0.34	2.72	1.22
Miglioramento continuo	0.08	0.34	0.35	-0.04	0.56	0.06	-0.04	0.53	0.11
Consegne JIT	-0.04	0.44	0.04	-0.28	2.74	0.75	-0.28	2.74	0.75
JIT con fornitori	0.15	0.41	0.21	0.00	0.65	-0.06	0.00	0.62	0.00
Kanban	0.13	0.42	0.07	0.01	0.60	-0.21	0.02	0.57	-0.15
Lotto unitario	0.02	0.39	-0.02	0.01	0.60	-0.21	0.10	2.74	-0.95
Layout	0.23	0.66	0.18	0.02	0.52	0.03	0.02	0.50	0.08
Livellamento produzione	0.31	0.46	0.28	-0.18	0.63	0.08	-0.17	0.59	0.12
Riduzione tempi di set up	0.18	0.55	0.28	-0.10	0.31	0.31	-1.02	2.78	0.80
				-0.1	0.31	0.31	-0.10	0.29	0.33
				-0.17	-0.06	0.50	-0.72	1.65	2.38
				-0.17	-0.06	0.50	-0.18	-0.07	0.48
				-0.01	0.10	0.43	-1.20	-0.38	3.27
				0.01	-0.07	0.47	-0.02	0.10	0.44
				0.01	-0.07	0.47	-0.14	0.61	3.18
				0.01	-0.07	0.47	0.00	-0.06	0.47
				-0.07	-0.14	0.46	-0.01	-0.31	3.29
				-0.07	-0.14	0.46	-0.08	-0.13	0.44
				0.02	-0.01	0.72	-0.56	-0.72	3.00
				0.02	-0.01	0.72	0.00	0.00	0.72
				0.14	0.14	0.46	0.12	0.15	0.48
				0.14	0.14	0.46	0.87	0.92	3.70
				-0.03	0.14	0.56	-0.04	0.14	0.58
				-0.03	0.14	0.56	-0.29	0.83	4.12

Tabella 4.4: Coefficienti di A_X opportunamente trasformati secondo tre diverse tipologie di rotazione (secondo step)²⁵.

²⁵ L'ultima colonna della presente tabella mostra i coefficienti ottenuti al seguito della rotazione *Reference Variables* e le rispettive statistiche t per la verifica della significatività degli stessi.

Nel caso in esame quello che succede è che molto probabilmente il primo fattore (riconducibile alla logica TQM come si vedrà tra breve) risulta confuso e non ben definito, tanto da creare una situazione problematica di questo tipo. Nelle applicazioni pratiche molto spesso si procede con l'eliminazione della variabile problematica, ma nel caso in esame tale variabile risulta essere una *reference variable* e quindi una determinante fondamentale del primo fattore. La strategia adottata sarà di eliminare dal set una variabile possibile causa della confusione creata attorno a tale fattore.

I risultati ottenuti da questo secondo round di stima possono così essere sintetizzati:

1. il fattore JIT sembra essere ben definito anche dopo l'eliminazione delle variabili di non diretto interesse. In particolare le tecniche che sembrano appartenere fortemente a tale *bundle* rimangono invariate dalla stima effettuata al punto precedente;
2. considerazioni analoghe possono essere espresse in funzione del secondo fattore, denominato HRM;
3. anche in questo secondo modello si presenta un'indeterminatezza legata alla variabile "miglioramento continuo" in quanto essa presenta coefficienti significativi ad un livello di confidenza pari a 10% sia in relazione al secondo che al terzo fattore;
4. come accennato precedentemente, il primo fattore (associato alla logica TQM) non presenta una struttura solida come i rimanenti: la tecnica delle CinqueS sembra essere coinvolta sia nella definizione del primo che del terzo fattore, la pratica collegata al possesso dei macchinari sembra invece non giocare alcun ruolo nella definizione di tali costrutti mentre il TPM mostra coefficienti significativi in relazione al primo e al terzo fattore latente. Molto probabilmente è proprio una struttura di questo tipo che fa sorgere un *Heywood case*. Poiché la presenza di variabili che "caricano" più fattori può rendere difficile l'interpretazione degli stessi, per tentare di ovviare alle problematiche emerse si è deciso di considerare un terzo set di variabili osservate non comprendente la pratica delle CinqueS;
5. le variabili che rappresentano i punti di riferimento per ciascun fattore sono "*poka yoke*" per TQM, "formazione su più mansioni" per HRM e "layout dei macchinari" per JIT.

Si analizza ora il terzo step di analisi fattoriale esplorativa, basato sul medesimo set di variabili osservate considerato al passaggio precedente a cui si è sottratta la variabile corrispondente alla misurazione dell'implementazione della pratica delle CinqueS. La *Tabella 4.5* presenta sinteticamente alcuni indici di adattamento (statistiche Chi-quadro e RMSEA) in relazione a modelli rappresentati da un diverso numero di fattori.

Fattori	Chi-quadro	df	p-value	RMSEA
0	933.19	153	0.000	0.147
1	304.74	135	0.000	0.073
2	197.73	118	0.000	0.053
3	130.52	102	0.030	0.034
4	86.93	87	0.482	0.003
5	65.20	73	0.731	0.000
6	48.93	60	0.846	0.000
7	35.26	48	0.914	0.000
8	24.11	37	0.949	0.000

Tabella 4.5: Risultati in termini di indici di adattamento di modelli di analisi fattoriale esplorativa contenenti un diverso numero di fattori (terzo round).

Gli indici di adattamento portano a conclusioni analoghe a quanto visto al precedente round di stima: la statistica Chi-quadro risulta significativa ad un livello di confidenza del 5% già con l'introduzione di soli quattro fattori, così come la statistica RMSEA scende al di sotto della soglia dello 0.05 con l'introduzione di tre fattori.

I risultati in termini di *factor loadings* ruotati sono presentati in *Tabella 4.6*.

Variabile	Varimax			Promax			Reference Variables		
	Fattore1	Fattore2	Fattore3	Fattore1	Fattore2	Fattore3	Fattore1	Fattore2	Fattore3
Macchinari proprietari	0.25	0.12	0.13	0.23	0.05	0.08	0.21 1.31	0.06 0.33	0.11 0.79
SPC	0.60	0.08	0.15	0.63	-0.02	0.01	0.59 3.10	0.01 0.06	0.06 0.44
TPM	0.51	0.19	0.20	0.48	0.05	0.13	0.45 2.74	0.07 0.39	0.18 1.39
Poka yoke	0.73	0.03	0.16	0.79	-0.04	-0.07	0.75	0.00	0.00
Gruppi di miglioramento	0.37	0.18	0.46	0.25	0.39	0.09	0.21 1.33	0.41 2.34	0.13 0.98
Cooperazione dei dipendenti	0.15	0.19	0.53	-0.03	0.55	0.10	-0.07 -0.38	0.55 2.75	0.13 0.85
Formazione su più mansioni	0.21	0.08	0.59	0.04	0.63	-0.04	0.00	0.63	0.00
Riduzione livelli gerarchici	0.10	-0.04	0.54	-0.04	0.62	-0.16	-0.07 -0.39	0.63 2.80	-0.13 -0.82
Suggerimenti	0.22	0.13	0.48	0.08	0.48	0.03	0.04 0.27	0.49 2.56	0.06 0.44
Uffici di produzione	0.07	0.20	0.57	-0.14	0.61	0.11	-0.17 -0.92	0.61 2.82	0.13 0.86
Miglioramento continuo	0.19	0.32	0.29	0.05	0.22	0.29	0.03 0.19	0.22 1.27	0.31 2.33
Consegne JIT	0.00	0.43	0.01	-0.11	-0.08	0.49	-0.11 -0.63	-0.09 -0.48	0.48 3.23
JIT con fornitori	0.18	0.42	0.18	0.05	0.08	0.42	0.03 0.21	0.07 0.42	0.44 3.17
Kanban	0.17	0.42	0.04	0.08	-0.10	0.46	0.08 0.48	-0.10 -0.55	0.46 3.23
Lotto unitario	-0.05	0.41	0.01	-0.17	-0.06	0.47	-0.16 -0.93	-0.07 -0.40	0.46 3.10
Layout	0.20	0.68	0.18	0.01	0.01	0.72	0.00	0.00	0.73
Livellamento produzione	0.31	0.46	0.28	0.16	0.14	0.44	0.14 0.91	0.14 0.82	0.47 3.56
Riduzione tempi di set up	0.21	0.55	0.25	0.04	0.11	0.56	0.02 0.15	0.10 0.61	0.58 4.13

Tabella 4.6: Coefficienti di A_X opportunamente trasformati secondo tre diverse tipologie di rotazione.

Dall'analisi della tabella sopra riportata si evince che:

1. l'eliminazione della variabile "cinqueS" dal set di interesse porta alla risoluzione delle problematiche relative al *bundle* denominato TQM: l'*Heywood case* non si verifica durante la procedura di stima e la variabile "TPM" ora presenta un coefficiente significativo solamente in relazione al primo fattore (denominato TQM);
2. la variabile "macchinari proprietari" presenta ancora *factor loadings* non significativi, ma essa non verrà eliminata dal set di variabili di interesse poiché l'inserimento di una variabile con tale caratteristiche non crea comunque problemi in fase di interpretazione e costruzione dei modelli successivi;
3. la variabile "miglioramento continuo" dimostra ancora una tendenza ambigua. Da un lato la rotazione a variabili di riferimento evidenzia un coefficiente significativo, ad un livello di confidenza del 5%, in relazione al secondo fattore, dall'altro la rotazione promax porta ad una stima dei coefficienti che legano tale variabile al secondo e al terzo fattore molto simili (rispettivamente pari a 0.22 e 0.29);
4. per le rimanenti variabili sono confermate le asserzioni effettuate al precedente round di stima.

A seguito di tale procedura di miglioramento del modello, che ha coinvolto contemporaneamente aspetti esplorativi e confermativi, si è quindi arrivati ad un insieme definitivo di tecniche da utilizzare successivamente come base per la costruzione del modello di misura e dei modelli di equazioni strutturali presentati nel capitolo successivo. L'insieme di interesse è quindi composto dalle seguenti pratiche *lean*: ricerca della cooperazione dei dipendenti; formazione su più mansioni; gruppi di miglioramento; consegne JIT; JIT con i fornitori; *kanban*; produzione a lotto unitario; layout dei macchinari; livellamento della produzione; miglioramento continuo; macchinari proprietari; *poka yoke*; riduzione dei livelli gerarchici; riduzione dei tempi di set up; controllo statistico di processo; suggerimenti; TPM e posizione degli uffici di produzione. Attraverso le analisi fin qui effettuate inoltre è stato possibile ottenere indicazioni di massima su come si andranno a costituire i *lean bundles*, coerentemente anche con quanto proposto in letteratura. Tali indicazioni sono quindi le fondamenta su cui si andrà a costruire nel paragrafo successivo il modello di misura vero e proprio, e quindi a stimare un modello di analisi fattoriale confermativa.

4.4 – CONVALIDA DEL MODELLO DI MISURA

A seguito dell'applicazione esplorativa dell'analisi fattoriale, è ora possibile ipotizzare un modello di misura, ovvero una struttura per i *lean bundles*, da un lato coerente con quanto affermato in letteratura, dall'altro con quanto evidenziato dai dati. Il modello di misura ipotizzato comprende indicatori multipli di tipo congenerico per ciascun fattore latente. Un insieme di indicatori è definito congenerico se composto da variabili misuranti tutte lo stesso fattore senza tuttavia essere coinvolte nella misurazione delle restanti latenti (Jöreskog, 1971). Il modello di misura oggetto di convalida è rappresentato, attraverso la simbologia della *path analysis*, nel *Grafico 4.1*.

Uno studio è valido se gli indicatori coinvolti realmente misurano quanto loro richiesto e se non si traggono conclusioni logicamente e statisticamente errate da quanto proposto dai dati. I diversi tipi di validità furono codificati nel 1954 dall'American Psychological Association, che identificò quattro categorie: validità di contenuto; validità di costrutto; validità concomitante e validità predittiva (APA, 1954). Ciascuna tipologia corrisponde quindi a diversi obiettivi di ricerca: la validità di contenuto ha a che fare con gli argomenti testati, la validità di costrutto con misurazioni di concetti astratti quali ad esempio l'IQ, la validità concomitante con l'ideazione di nuove scale o test per rimpiazzarne altri già esistenti e la validità predittiva con l'ideazione di indicatori delle performance future. Nel 1966 un aggiornamento riguardante tale classificazione ha condotto alla fusione delle ultime due tipologie nella cosiddetta "*criterion-related validity*". Dalla metà del secolo precedente il concetto di validazione si sta evolvendo verso una sempre maggiore attenzione dedicata alla validazione di scale, test e strumenti di misura. Tale verifica deve essere inoltre condotta attraverso molteplici metodologie che sinergicamente comprovano la validità degli stessi.

Ai fini della presente ricerca, la validità che deve essere dimostrata, per permettere di convalidare il modello di misura utilizzato nelle successive analisi, fa riferimento ai costrutti teorici ipotizzati, ovvero alla definizione dei *lean bundles* ricavata dalla letteratura esistente e da quanto emerso dai dati. Un'analisi della validità di contenuto, oltre a non essere possibile date le informazioni a disposizione, non risulta comunque necessaria, in quanto essa è già stata assicurata dai ricercatori del progetto *High Performance Manufacturing*. Essi infatti, nella costruzione del questionario e delle misure da esso ricavabili, hanno considerato ampiamente il problema della validazione del contenuto,

tanto che il questionario è stato rivisto per ben tre volte (i tre diversi round d'indagine) prima di arrivare alla versione definitiva utilizzata in questo contesto.

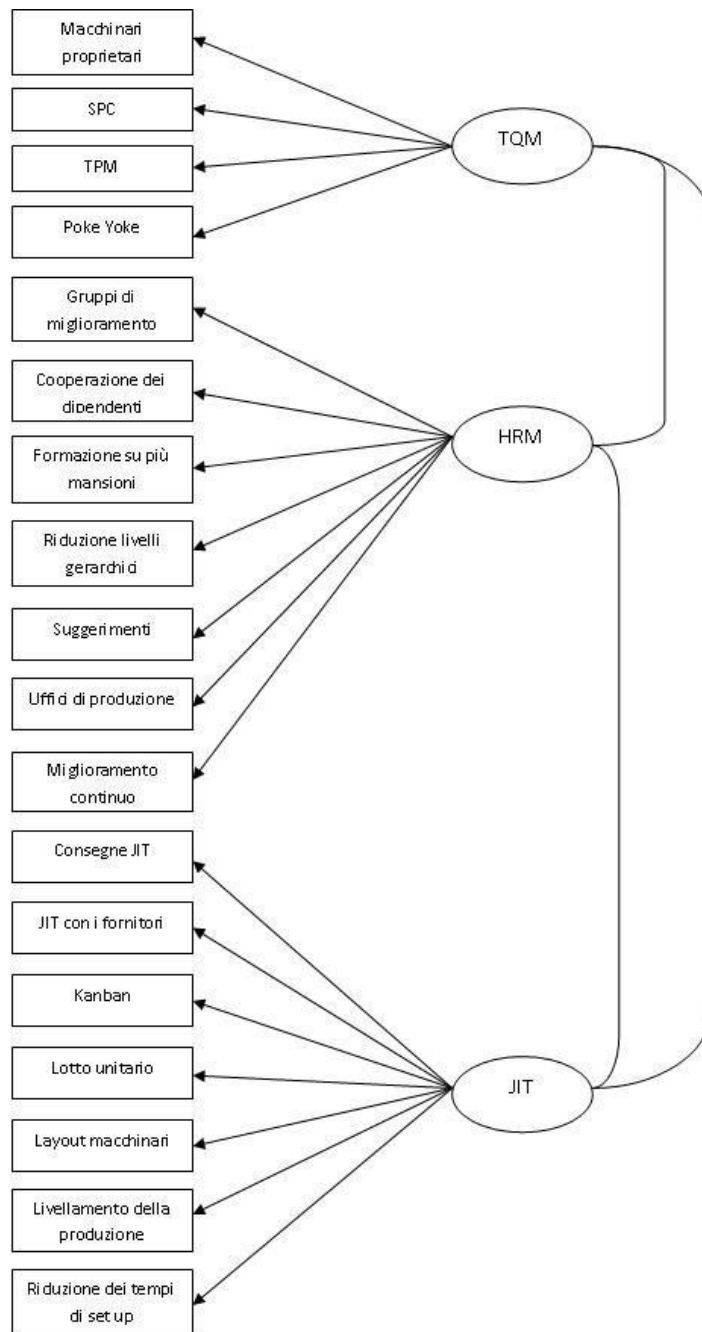


Grafico 4.1: Rappresentazione tramite la simbologia della path analysis del modello di misura di interesse²⁶.

²⁶ Affinché il grafico rappresenti un *path diagram* di un modello di analisi fattoriale confermativa è necessario aggiungere gli errori di misura.

La validità di costrutto, spesso indicata anche come *factorial validity*, fa quindi riferimento alla logica tramite la quale diversi item misurano un determinato costrutto teorico (ovvero latente). Un buon costrutto poggia su solide basi teoriche che vengono poi tradotte in termini operativi attraverso la definizione di una serie di indicatori. Al contrario un costrutto debole non è associato ad un sostanziale accordo teorico in riferimento ai contenuti ed alle modalità di misurazione ad esso associabili. Per questi motivi, tanto più un costrutto è usato da diversi ricercatori in diversi contesti, ottenendo comunque risultati in linea con le teorie sottostanti, maggiore sarà la validità del costrutto stesso. All'interno di tale categoria sono riconosciute due tipologie di analisi: verifica della validità convergente e divergente. La prima tipologia di analisi è associata alla correlazione esistente tra items relativi alla misurazione di uno stesso costrutto. Affinché un costrutto possa essere definito internamente consistente è necessario che gli indicatori ad esso associati dimostrino di possedere una correlazione significativa. La validità divergente fa riferimento al principio secondo il quale differenti fattori non devono essere troppo correlati tra di loro, in caso contrario essi infatti misurerebbero lo stesso costrutto teorico. Entrambe le logiche di analisi possono essere affrontate secondo due direzioni: la prima prevede l'utilizzo di indicatori di cui non è nota la distribuzione ma di cui sono disponibili delle indicazioni di massima sul range di valori richiesto; la seconda prevede la stima di un modello di analisi fattoriale confermativa e la successiva discussione dei risultati ottenuti. Un primo indice, utilizzato spesso nell'ambito delle ricerche sociali per la verifica della validità interna dei costrutti, è il cosiddetto **α di Cronbach**.

$$\text{Cronbach's alpha} = \left[\frac{q}{q-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^q \text{VAR}(x_i)}{\text{VAR}(H)} \right]$$

dove q è il numero di indicatori per il fattore considerato e $H = \sum x_i$ con $i = 1, \dots, q$. Il calcolo del coefficiente α si basa su due assunzioni fondamentali: ipotesi di additività e linearità (ovvero il costrutto è collegato agli indicatori tramite relazioni lineari ed additive) ed ipotesi di indicatori tau-equivalenti (ovvero i *factor loadings* relativi ad un insieme di indicatori congenerici sono tra loro uguali). Alcuni studi presentano soglie di accettazione dell'ipotesi di consistenza interna del costrutto in relazione al suddetto indicatore, di cui non è nota la distribuzione probabilistica: un valore pari almeno a 0.6 è accettabile in un contesto esplicativo, mentre 0.7 è considerato un valore accettabile a fini confermativi.

Un secondo indice proposto in letteratura è definito come *composite reliability*:

$$\rho_C = \frac{\left[\sum_i \lambda_i \right]^2 \text{VAR}(\xi)}{\left[\left[\sum_i \lambda_i \right]^2 \text{VAR}(\xi) + \sum_i \theta_{ii} \right]}$$

Il terzo e ultimo indice qui proposto denominato *Average Variance Extracted* (AVE) (proposto da *Fornell e Larcker* nel 1981) è così formulato:

$$\text{AVE} = \frac{\left[\sum_i \lambda_i^2 \right] \text{VAR}(\xi)}{\left[\sum_i \lambda_i^2 \right] \text{VAR}(\xi) + \sum_i \theta_{ii}}$$

Le soglie proposte per questi due indici sono rispettivamente lo 0.6 per la *composite reliability* e lo 0.5 per l'AVE. L'ultimo coefficiente proposto richiede, per affermare la validità interna di un determinato fattore, che la varianza spiegata da ciascun costrutto sia maggiore dell'errore di misura. I valori assunti dai tre indici in riferimento ai *lean bundles* precedentemente definiti sono riportati nella tabella sottostante.

	TQM	HRM	JIT
Cronbach's Alpha	0.619	0.737	0.694
Compositive reliability	0.648	0.750	0.718
AVE	0.329	0.303	0.280

Tabella 4.6: Valore degli indici α di Cronbach, *compositive reliability* e AVE per i tre *lean bundles* di interesse.

Com'è possibile osservare dalla *Tabella 4.6* il bundle HRM mostra un valore dell'indice α maggiore dello 0.7, mentre il fattore JIT presenta una soluzione al limite della soglia consigliata a fini confermativi. L'unico fattore che sembra presentare una validità interna leggermente più debole, in funzione del primo indice, risulta essere il TQM. Tale evidenza era comunque già stata focalizzata durante la fase esplorativa della costruzione dei *bundles*, durante la quale era più volte emerso come la definizione del fattore TQM non fosse nitida e ben definita come nei restanti due casi. L'indice della *compositive reliability* mostra valori completamente in linea con quanto richiesto per la convalida della validità interna. Al contrario AVE mostra valori ben al di sotto del limite consigliato. Data la

modalità di costruzione di tale indicatore, la ragione della presenza di valori così bassi risiede nel fatto che in realtà, benché il modello si presenti buono si osservano comunque alcune variabili osservate la cui variabilità non è ben spiegata.

Il secondo approccio all'analisi della validità di una serie di costrutti, sia essa convergente piuttosto che divergente, consiste nella stima di un modello di analisi fattoriale confermativa. Tale metodo, basandosi su solide metodologie statistiche, è inoltre considerato più rigoroso e preferibile all'uso degli indicatori visti in precedenza.

In *Tabella 4.7* sono riassunti i principali indici di adattamento del modello ai dati, corredati dalle rispettive soglie di *close fit*.

Misure statistiche	Valore per il modello	Valore di close fit
χ^2 -statistica test (df)	198.80 (132) <i>p-value</i> = 0.00015	NA
RMSEA, stima puntuale	0.045	≤ 0.08
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.031 ; 0.058)	(0.00 ; 0.08)
<i>p-value</i> H_0 : close fit (RMSEA ≤ 0.5)	0.72	≥ 0.05
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.06	≤ 0.1
Goodness of fit index (GFI)	0.92	≥ 0.9
Non-normed fit index (NNFI)	0.96	≥ 0.9
Comparative fit index (CFI)	0.96	≥ 0.9
Incremental fit index (IFI)	0.96	≥ 0.9
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.48	≤ 3
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.77	≥ 0.7

Tabella 4.7: *Indici di adattamento ai dati in riferimento al modello di analisi fattoriale confermativa delle sole tecniche snelle.*

Come è possibile evincere dalla tabella sovrastante, tutti gli indici indicano un buon adattamento del modello ai dati. L'unica misura di adattamento che non rientra nei limiti richiesti risulta essere il test Chi-quadro, in quanto, con un *p-value* pari a 0.00015, porta al rifiuto dell'ipotesi nulla di buon adattamento del modello ai dati. Tale evidenza può derivare però da alcuni limiti propri della stima di tale statistica ed evidenziati nel *Paragrafo 4.2.4*.

Dimostrato il buon adattamento del modello ai dati è possibile ora procedere con l'ispezione delle stime del modello presentato nel *Grafico 4.1*.

Bundle	Descrizione dell'item	Coeff.	St. error	T value	Squared Multiple Correlations
TQM	Macchinari proprietari	0.31	0.07	4.18	0.10
	SPC	0.63	0.07	8.97	0.39
	TPM	0.60	0.07	8.47	0.36
	<i>Poka Yoke</i>	0.68	0.07	9.80	0.47
HRM	Gruppi di miglioramento	0.64	0.07	9.76	0.41
	Cooperazione dei dipendenti	0.57	0.07	8.56	0.33
	Formazione su più mansioni	0.60	0.07	9.00	0.35
	Riduzione livelli gerarchici	0.45	0.07	6.58	0.21
	Suggerimenti	0.55	0.07	8.18	0.30
	Uffici di produzione	0.56	0.07	8.31	0.31
	Miglioramento continuo	0.46	0.07	6.64	0.21
JIT	Consegne JIT	0.36	0.07	5.09	0.13
	JIT con i fornitori	0.49	0.07	7.07	0.24
	<i>Kanban</i>	0.42	0.07	6.07	0.18
	Lotto unitario	0.34	0.07	4.74	0.11
	Layout dei macchinari	0.70	0.06	10.95	0.50
	Livellamento della produzione	0.63	0.07	9.62	0.40
	Riduzione dei tempi di set up	0.64	0.07	9.78	0.41

Tabella 4.8: Matrice A_X stimata tramite il metodo della massima verosimiglianza e squared multiple correlations.

Osservando le stime così ottenute e le rispettive statistiche t per la verifica della significatività delle stesse, si può notare come tutti i coefficienti rifiutino largamente l'ipotesi nulla di uguaglianza a zero ad un livello di confidenza del 5%. Un'osservazione interessante riguarda la variabile "macchinari proprietari": benché la stima del modello di analisi fattoriale esplorativa avesse condotto per tale variabile a coefficienti non significativi in relazione a tutti e tre i fattori considerati, il suo coinvolgimento nella definizione del *bundle* HRM ha comunque portato ad una stima significativa.

L'analisi della matrice dei *factor loadings* può essere vista come un test di validità convergente: Hair (1998) suggerisce come tale proprietà sia soddisfatta da tutti quei costrutti che presentano stime dei coefficienti maggiori di 0.3. Nel caso in esame la condizione risulta soddisfatta per tutti e tre i fattori latenti analizzati (le uniche variabili cui

è associata una stima inferiore allo 0.4 sono “macchinari proprietari”, “consegne JIT” e “lotto unitario”). La *Tabella 4.8* vede inoltre riportate le comunalità per ciascuna variabile osservata, rappresentanti ognuna il grado di varianza spiegata dal modello. Come già anticipato, si osservano alcuni valori di comunalità non troppo elevati (“macchinari proprietari”, “consegne JIT”, “kanban” e “lotto unitario”).

Un approccio rigoroso (e largamente accettato in letteratura) per la verifica della validità divergente fa riferimento al confronto tra statistiche Chi-quadro di modelli annidati. Questa tipologia di test viene svolta stimando il modello di analisi fattoriale confermativa dapprima lasciando liberi gli elementi al di fuori della diagonale principale della matrice Φ e successivamente restringendo il coefficiente di correlazione (nel caso in esame gli elementi esterni alla diagonale principale di Φ rappresentano correlazioni in quanto l’unità di misura delle latenti è stata fissata ponendo pari a uno le rispettive varianze) ad 1 per ciascuna coppia di fattori. Se i due modelli così costruiti non mostrano una differenza significativa in termini di statistica Chi-quadro, allora non è possibile affermare che i costrutti differiscono tra di loro (*Bagozzi et al., 1991*).

	χ^2 stimato	df	Differenza con modello unconstraint	P-VALUE DIFFERENZA
Modello unconstraint	195.57	132	NA	NA
$\Phi_{TQM-HRM} = 1$	242.76	133	47.19	0.00
$\Phi_{TQM-JIT} = 1$	272.84	133	77.27	0.00
$\Phi_{HRM-JIT} = 1$	310.96	133	115.39	0.00

Tabella 4.9: Test della differenza tra statistiche Chi-quadro per la verifica della validità divergente dei lean bundles.

L’applicazione del test tra i diversi modelli annidati (considerando le tre possibili coppie di fattori) ha condotto a differenze in termini di statistiche Chi-quadro nettamente significative in tutti i casi considerati. Questo porta a concludere che i *bundles* così strutturati misurano elementi diversi della filosofia *lean*.

Dati i risultati fin qui discussi è quindi possibile affermare che il modello di misura ipotizzato per i *lean bundles* risulta essere soddisfacente, sia in termini di adattamento ai dati sia in termini di rappresentatività di ciascun fattore (ponendo però attenzione a quelle variabili precedentemente evidenziate la cui variabilità non è ben spiegata).

L'ultimo tassello mancante, prima dell'applicazione dei più complessi modelli di equazioni strutturali, risulta essere la convalida dell'intero modello di misura, ovvero del sistema di fattori comprendente anche le performance operative. L'analisi della validità del modello di misura completo non fa più riferimento ad una numerosità campionaria pari a 238 poiché gli item relativi alle performance operative presentano alcuni dati mancanti (in particolare il 10% del campione non ha risposto parzialmente o totalmente a tale sezione del questionario). Per tali variabili è sembrato opportuno (anche in funzione della bassa incidenza dei dati mancanti) non adottare alcuna tecnica di imputazione degli stessi per motivazioni legate alla non presenza di gruppi omogenei (cfr. *Capitolo 3*). Le analisi effettuate per il contesto delle sole tecniche snelle vengono qui brevemente riprodotte, al fine di verificare la validità dell'intero sistema.

	TQM	HRM	JIT	PERFORMANCE
Cronbach's Alpha	0.619	0.737	0.694	0.715
Compositive reliability	0.661	0.758	0.720	0.730
AVE	0.340	0.313	0.283	0.363

Tabella 4.10 : Valore degli indici α di Cronbach, *compositive reliability* e AVE per i lean bundles e il fattore PERFORMANCE.

I risultati espressi dai tre indici utilizzati per una prima analisi di validità interna rispecchiano quanto visto per le tecniche snelle: l' α di Cronbach osservato supera la soglia consigliata, così come la *compositive reliability*, mentre l'AVE presenta un valore inferiore a quanto atteso (il problema ricade ancora una volta sulla bassa variabilità spiegata delle osservate) in relazione a tutti e quattro i fattori considerati.

La stima di un modello di analisi fattoriale confermativa ha condotto ad un modello che ben si adatta ai dati a disposizione visti i valori assunti dagli indici di bontà di adattamento. La maggior parte di essi presenta infatti valori in linea con il modello inerente le sole pratiche snelle. Gli unici indici che si discostano dal range consigliato risultano essere GFI e la statistica Chi-quadro.

Misure statistiche	Valore per il modello	Valore di close fit
χ^2 -statistica test (df)	327.06 (224) p-value = 0.00	NA
RMSEA, stima puntuale	0.043	≤ 0.08
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.031 ; 0.054)	(0.00 ; 0.08)
p-value H_0 : close fit (RMSEA ≤ 0.5)	0.84	≥ 0.05
Standardized root mean square residulas (RMR)	0.065	≤ 0.1
Goodness of fit index (GFI)	0.89	≥ 0.9
Non-normed fit index (NNFI)	0.96	≥ 0.9
Comparative fit index (CFI)	0.96	≥ 0.9
Incremental fit index (IFI)	0.96	≥ 0.9
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.46	≤ 3.0
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.79	≥ 0.7

Tabella 4.11: Indici di adattamento ai dati in riferimento al modello di analisi fattoriale confermativa per l'intero modello di misura.

Comparando i coefficienti stimati che legano le variabili osservate con i *lean bundles* non si osservano forti cambiamenti nei valori da essi assunti (cfr. *Tabella 4.12*). In relazione al fattore PERFORMANCE si può osservare come tutti i coefficienti risultino significativi ad un livello di confidenza del 5%. Inoltre i valori stimati, in relazione a tale costrutto, risultano essere maggiori dello 0.4. Tale evidenza porta alla dimostrazione di una buona validità interna per il modello di misura complessivo.

La *Tabella 4.13* mostra il test condotto su modelli annidati in riferimento al modello di misura completo. Ancora una volta la validità discriminante risulta essere verificata dal modello ipotizzato e stimato.

Bundle	Descrizione dell'item	Coeff.	St. error	T value	Squared Multiple Correlations
TQM	Macchinari proprietari	0.36	0.08	4.72	0.13
	SPC	0.62	0.07	8.50	0.38
	TPM	0.57	0.07	7.83	0.33
	Poka Yoke	0.72	0.07	10.00	0.52
HRM	Gruppi di miglioramento	0.64	0.07	9.36	0.40
	Cooperazione dei dipendenti	0.61	0.07	8.89	0.37
	Formazione su più mansioni	0.62	0.07	9.06	0.38
	Riduzione livelli gerarchici	0.47	0.07	6.58	0.22
	Suggerimenti	0.54	0.07	7.74	0.29
	Uffici di produzione	0.57	0.07	8.15	0.32
	Miglioramento continuo	0.44	0.07	6.15	0.20
JIT	Consegne JIT	0.34	0.07	4.62	0.12
	JIT con i fornitori	0.50	0.07	7.05	0.25
	Kanban	0.40	0.07	5.39	0.16
	Lotto unitario	0.35	0.07	4.68	0.12
	Layout dei macchinari	0.71	0.07	10.59	0.50
	Livellamento della produzione	0.65	0.07	9.55	0.42
	Riduzione dei tempi di set up	0.64	0.07	9.43	0.41
PERFORMANCE	Costi unitari di produzione	0.41	0.07	5.68	0.17
	Qualità dei prodotti (conformità)	0.46	0.07	6.38	0.21
	Puntualità delle consegne	0.79	0.07	12.04	0.62
	Velocità di consegna	0.69	0.07	10.32	0.48
	Flessibilità al cambiamento di volume produttivo	0.58	0.07	8.36	0.34

Tabella 4.12: Matrice A_X stimata tramite il metodo della massima verosimiglianza e squared multiple correlations.

	χ^2 stimato	df	Differenza con modello unconstraint	P-VALUE DIFFERENZA
Modello unconstraint	313.13	224	NA	NA
$\Phi_{TQM - HRM}$	356.06	225	42.93	0.00
$\Phi_{TQM - JIT}$	367.21	225	54.08	0.00
$\Phi_{TQM - PERFORMANCE}$	377.95	225	64.82	0.00
$\Phi_{HRM - JIT}$	347.47	225	34.34	0.00
$\Phi_{HRM - PERFORMANCE}$	352.99	225	39.86	0.00
$\Phi_{JIT - PERFORMANCE}$	423.59	225	110.46	0.00

Tabella 4.13: Test della differenza tra statistiche Chi-quadro per la verifica della validità divergente dei costrutti.

Per concludere è interessante osservare la matrice stimata di correlazione tra i quattro fattori, ovvero tra i tre *lean bundles* e le performance operative.

MATRICE Φ					
		TQM	HRM	JIT	PERFORMANCE
TQM		1.00			
HRM	<i>Stima</i>	0.62	1.00		
	<i>St.error</i>	(0.07)			
	<i>Statistica t</i>	8.83			
JIT	<i>Stima</i>	0.55	0.66	1.00	
	<i>St.error</i>	(0.07)	(0.06)		
	<i>Statistica t</i>	7.33	10.63		
PERFORMANCE	<i>Stima</i>	0.49	0.56	0.54	1.00
	<i>St.error</i>	(0.08)	(0.07)	(0.07)	
	<i>Statistica t</i>	6.38	8.27	7.78	

Tabella 4.14: Stime, standard error e statistiche t della matrice Φ riferita al modello di misura complessivo.

Come si può facilmente osservare in *Tabella 4.14*, le correlazioni esistenti tra i tre *lean bundles* stimate risultano significativamente diverse da zero rispetto agli usuali livelli di confidenza. La stima degli standard error di ciascun elemento della matrice Φ permette un'ulteriore verifica della validità divergente: l'ipotesi nulla di uguaglianza a 1 di ciascuna correlazione tra *bundles* è infatti nettamente rifiutata per tutti e tre gli elementi di interesse²⁷.

E' possibile inoltre osservare come la correlazione esistente tra ciascun gruppo di pratiche ed il fattore inerente le performance operative sia sempre significativamente diversa da zero. Questo significa che esiste una forma di relazione tra i livelli di performance raggiunti da un dato stabilimento e il grado di implementazione dei diversi gruppi di pratiche. Si osservi inoltre come i costrutti HRM e JIT sembrano essere legati con un'intensità simile al fattore relativo alle performance mentre il fattore TQM presenta una stima della correlazione con il costrutto PERFORMANCE inferiore.

²⁷ Le statistiche t in particolare assumono i seguenti valori:

$$\begin{aligned}
 t_{\Phi\text{HRM-TQM}} &= - 5.43 \\
 t_{\Phi\text{JIT-TQM}} &= - 6.43 \\
 t_{\Phi\text{JIT-HRM}} &= - 5.67
 \end{aligned}$$

CAPITOLO 5

LEAN BUNDLES E PERFORMANCE

Il *Capitolo 4* ha condotto alla definizione dei *lean bundles* attraverso l'applicazione congiunta di modelli di analisi fattoriale esplorativa e confermativa, terminando con la convalida del modello di misura sia in relazione alle tecniche snelle che alle performance operative. A questo punto l'interesse della presente ricerca si sposta sulle relazioni che esistono tra gruppi di pratiche e performance, ponendo attenzione alle diverse soluzioni create da tali legami.

I ricercatori si sono da sempre interessati al legame intercorrente tra pratiche *lean* e performance. Molto spesso però gli articoli sull'argomento, come visto nel *Capitolo 2*, studiano separatamente le diverse pratiche del pensiero snello. Soltanto recentemente si è sviluppato un interesse verso dapprima singoli gruppi di pratiche sottostanti una logica comune e, successivamente, verso l'analisi congiunta del rapporto esistente tra diversi gruppi di tecniche (i cosiddetti *bundles*) e le performance. Questo nuovo modo di affrontare la ricerca empirica si fonda sulla convinzione che le tecniche in questione non debbano essere implementate singolarmente all'interno di uno stabilimento in quanto è proprio l'applicazione congiunta di diversi aspetti del *lean thinking* che porta a ritorni superiori, al raggiungimento e al mantenimento di vantaggio competitivo.

Un'azienda, dal momento in cui decide di trasformare la logica produttiva manageriale tradizionale in pensiero snello, ha come obiettivo principale quello di vedere migliorare le proprie performance in termini di quota di mercato, costi (efficienza), soddisfazione del cliente, flessibilità, aspetti finanziari e quant'altro. Per ciascuna tipologia di performance è quindi possibile andare a studiare l'impatto delle tecniche snelle sulle stesse. L'interesse della presente ricerca si basa sulle performance definite operative, ovvero sui risultati riguardanti i costi unitari di produzione, la conformità del prodotto alle richieste del mercato, la puntualità di consegna, la velocità di consegna e la flessibilità al cambiamento di volume produttivo.

Avendo a disposizione un modello di misura, la metodologia statistica utilizzata per l'indagine di tali relazioni appartiene alla classe dei modelli di equazioni strutturali. Il presente capitolo prende quindi avvio da una presentazione teorica e metodologica di tali

modelli, a partire da una breve digressione storica fino ad arrivare alla formulazione matematica degli stessi. Poiché le relazioni tra *lean bundles* e performance saranno studiate secondo la scomposizione in effetti diretti-indiretti, un breve paragrafo sarà dedicato alla definizione di cosa si intende per legame causale e le forme che esso può assumere. Dopo aver quindi creato il quadro teorico di riferimento, si passerà alla presentazione dei risultati ottenuti e ad una discussione degli stessi. L'ultimo paragrafo conterrà ulteriori approfondimenti al fine di dimostrare la robustezza dei risultati ottenuti a leggeri scostamenti dalle ipotesi distributive dimostrate nel *Capitolo 3* e da diverse metodologie di trattazione dei dati mancanti.

5.1 – MODELLI DI EQUAZIONI STRUTTURALI

Nell'espressione modelli strutturali sono sintetizzati due concetti: in primo luogo l'esistenza di un modello, cioè dell'espressione formalizzata di una teoria; in secondo luogo la formulazione della struttura di tale modello mediante un sistema di equazioni che ne rappresentano i nessi causali. Il modello, come tale, appartiene all'ambito teorico in quanto altro non è che l'espressione semplificata e formalizzata di una teoria. Nell'ambito dei modelli di equazioni strutturali tale formalizzazione avviene mediante un sistema di equazioni, da cui deriva la stessa definizione. Poiché la modellizzazione di una teoria mediante un insieme di equazioni causali può avvenire in tutte le discipline, la tecnica qui presentata offre un'amplissima possibilità di applicazioni empiriche.

5.1.1 – HISTORICAL BACKGROUND

Il termine Lisrel è l'acronimo di *Linear Structural Relationship* ed è nato inizialmente come nome di un software messo a punto dallo statistico-psicometrico svedese Karl Jöreskog e dai suoi collaboratori nei primi anni Settanta per stimare, con il metodo della massima verosimiglianza, i coefficienti strutturali dell'analisi fattoriale (*Jöreskog e Van Thillo, 1973*). Esso faceva seguito ad una serie di contributi teorici dello stesso Jöreskog sul tema dell'applicabilità delle stime di massima verosimiglianza a modelli con variabili latenti, apparsi pochi anni prima (cfr. fra gli altri *Jöreskog, 1967* e *1969*). Rapidamente tuttavia l'iniziale approccio è andato oltre l'obiettivo per il quale era stato inizialmente concepito: la sua applicazione ha superato i confini dell'analisi fattoriale diventando una

procedura generale per i modelli basati su sistemi di equazioni strutturali, mantenendo tuttavia la distinzione tra variabili latenti e osservate. L'iniziale concettualizzazione finalizzata alla costruzione di un software per il calcolo della stima di massima verosimiglianza è diventata l'intelaiatura teorica nella quale collocare metodi quali l'analisi fattoriale, i modelli di misurazione, la *path analysis*, i modelli non ricorsivi, i sistemi di equazioni simultanee, i modelli per l'analisi dei panel, l'analisi delle strutture di covarianza, etc. Ed infine Lisrel da nome di un software è diventato il termine più utilizzato per intendere l'approccio teorico generale nel quale possono essere iscritti tutti i modelli precedenti.

Sinteticamente è possibile affermare che Lisrel si colloca alla convergenza di una duplice tradizione scientifica, come visto nell'introduzione del presente paragrafo: psicometrica ed econometrica. Il problema affrontato dalla prima scienza ha a che fare con la misurazione e nasce dal fatto che nelle scienze sociali le variabili di maggior rilievo raramente possono essere soddisfacentemente misurate, per il duplice motivo che o rappresentano concetti teorici non osservabili direttamente, oppure per il fatto che non esistono adeguati strumenti di misura. Da qui nascono fondamentali interrogativi sui legami esistenti tra gli indicatori utilizzati e le variabili latenti sottostanti, cioè sulla validità ed attendibilità delle misure, intendendo con ciò la loro capacità di esprimere effettivamente quei concetti teorici e di saperli esprimere con stabilità anche in rilavorazioni ripetute nel tempo. La seconda tradizione scientifica si concentra invece sul problema della causalità che deriva dal fatto che ogni teoria scientifica si basa sull'elaborazione di nessi causali fra le variabili, per cui il ricercatore si trova nella necessità di disporre di strumenti e metodi per poter saggiare empiricamente l'esistenza dei nessi ipoteticamente formulati in sede teorica. A ciò va aggiunta la necessità di instaurare legami causali fra variabili latenti poiché sono queste assai spesso le variabili di rilevanza teorica. Proprio per rispondere a quest'ultima esigenza è nato l'approccio Lisrel, il quale, a testimonianza di questa sua duplice natura, è costituito da due parti: il modello di misurazione e il modello causale. Il primo "specifica come le variabili latenti [...] sono misurate tramite le variabili osservate e serve per determinare i caratteri di tale misurazione (validità ed attendibilità) [...] [Il secondo] specifica le relazioni causali fra le variabili latenti e serve per determinare gli effetti causali e l'ammontare della varianza non spiegata" (*Jöreskog e Sörbom, 1988*).

Si è detto che Lisrel si pone a convergenza di ricerche e metodi elaborati dalla psicometria e dall'econometria a cui è però necessario aggiungere i contributi dati dalla biometria e dalla sociologia. La psicometria si è posta fin dall'inizio il problema delle variabili latenti e

l'analisi fattoriale non è altro che il tentativo di scoprire se le correlazioni esistenti tra un certo numero di variabili osservate possono essere spiegate da un numero inferiore di variabili latenti, o fattori. I primi lavori in questo campo risalgono all'inizio del secolo passato, e fanno riferimento ai tentativi pionieristici di Karl Spearman di definire e misurare l'intelligenza umana articolandola in una componente "comune" (o fattore generale) presente in tutte le misurazioni ed in componenti "uniche", associate allo specifico tipo di misurazione adottato oppure dovute ad errori di misurazione (*Spearman, 1904*). I successivi sviluppi dell'analisi fattoriale, sia in campo psicometrico (dove va ricordato il contributo di *Thurstone, 1947*) che nelle applicazioni in altre discipline, hanno sempre lasciato scettici gli statistici per gli ampi margini di arbitrarietà inerenti il metodo.

Contemporaneamente all'analisi fattoriale, la psicomетria portava avanti la ricerca sul versante della misurazione, elaborando i concetti di validità e di attendibilità e mettendo a punto varie tecniche finalizzate alla misurazione di variabili psicologiche (scale unidimensionali e multidimensionali).

Parallelamente a queste ricerche, l'econometria veniva affrontando il problema delle relazioni di causalità tra variabili in campo economico con i cosiddetti modelli di equazioni simultanee (fra i pionieri di questo settore si ricorda *Henry Schultz con The Theory and Measurement of Demand, 1938*). Da tale approccio restava tuttavia esclusa la nozione di variabile latente ed anche all'errore di misura veniva spesso dedicata scarsa attenzione, "con la motivazione ufficiale che nei dati economici gli errori di misura sono trascurabili, se non altro in confronto alle scienze di comportamento" (*Goldberger, 1972*).

A questi sviluppi della psicomетria e dell'econometria vanno aggiunte le elaborazioni che negli stessi anni (anni Trenta) ed in maniera ancora una volta indipendente, portava avanti la biometria, in particolare con i lavori del genetista Sewall Wright che si poneva non solo il problema di definire le connessioni causali esistenti fra un certo insieme di variabili, ma anche quello di quantificare l'impatto di ogni variabile su ognuna di quelle da questa casualmente influenzate, mediante quelli che egli chiamò *path coefficient*, da cui successivamente il nome di *path analysis* (*Wright, 1934*).

I lavori di Wright rimasero per anni pressoché sconosciuti alle scienze sociali, fino a quando vennero diffusi fra i sociologi da un famoso articolo scritto da Duncan, pubblicato nel 1966, all'interno del quale tali metodologie furono applicate ad una ricerca sulla stratificazione sociale.

E' con l'inizio degli anni Settanta che queste separate e distinte tradizioni convergono. Goldberger in econometria, Duncan in sociologia e Jöreskog in psicomетria furono gli

esponenti più impegnati in questo processo di avvicinamento, che si concretizzò in un seminario organizzato da Golberger nel novembre del 1970 presso l'università statunitense di Madison, nel quale Jöreskog presentò una formulazione generale del suo modello, non più limitata al campo dell'analisi fattoriale ma applicabile ai più generali modelli di equazioni strutturali.

Tali modelli hanno poi conosciuto negli ultimi venti anni un costante sviluppo. Ne fanno fede la nascita nel 1994 di una rivista trimestrale specificatamente riferita a questa prospettiva (*Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*); la fondazione negli stessi anni (Febbraio 1993) di una rete e di un bollettino elettronici finalizzati a scambio scientifico tra studiosi (SEMNET); ed infine al fiorire di nuovi software dedicati ai modelli di equazioni strutturali che, più di altri indicatori, segnalano l'esistenza di una domanda crescente e variegata di applicazione della tecnica: fin dagli anni '80 al primo ed originale software di Jöreskog e Sörbom (LISREL prodotto nei primi anni Settanta) si era affiancato EQS; successivamente si devono annoverare, oltre alla versione semplificata ed *user friendly* di LISREL denominata SIMPLIS (ovvero *Simple Lisrel*), AMOS (associato a SPSS), CALIS (associato a SAS), LISCOMP, MX e SEPATH.

5.1.2 – FORMULAZIONE DEL MODELLO

Molti modelli statistici ragionano in termini di osservazioni individuali, come accade ad esempio nel modello di regressione semplice o multipla. I modelli SEM prevedono, invece, un diverso punto di partenza: le procedure mirano a valorizzare le covarianze tra le variabili piuttosto che i singoli casi. Invece di minimizzare una funzione dei valori individuali osservati e predetti, questi modelli minimizzano la differenza tra le covarianze campionarie e le covarianze predette. La differenza tra le covarianze predette ed osservate formerà poi i cosiddetti residui. L'ipotesi fondamentale per questo tipo di procedura è che la matrice di covarianza delle variabili osservate sia funzione di un certo numero di parametri. La formalizzazione di tale concetto può essere così formulata:

$$\Sigma = \Sigma(\theta) \quad (5.1)$$

In (5.1) Σ rappresenta la matrice di covarianza delle variabili osservate, θ rappresenta un vettore che contiene i parametri del modello e $\Sigma(\theta)$ rappresenta la matrice di covarianza scritta in funzione di θ . Questa equazione permette di rappresentare sinteticamente molti

dei modelli più diffusi nelle scienze sociali: analisi di regressione, sistemi di equazioni simultanee, analisi fattoriale confermativa, analisi di dati di panel e molto altro ancora.

La notazione qui di seguito utilizzata e le principali implicazioni teoriche e pratiche dei modelli SEM (da *Structural Equation Modeling*), detti anche modelli LISREL (da *Linear Structural Relationship*) sono da associare al lavoro di ricerca svolto da Jöreskog, Keesing e Wiley (1973).

Il modello completo consiste di un sistema di equazioni strutturali, come indica la stessa denominazione. Le equazioni contengono variabili casuali, parametri strutturali e a volte anche variabili non casuali. Le quattro tipologie di variabili casuali che è possibile incontrare sono latenti, osservate, di disturbo ed errori di misura. Le variabili non casuali sono variabili esplicative i cui valori rimangono costanti al ripetersi del campionamento casuale. Le variabili incluse nel modello possono essere classificate, seguendo una terminologia propria dell'econometria, in esogene ed endogene dove le prime sono "esterne" al modello, nel senso che in esso intervengono sempre e solo come variabili indipendenti; mentre le endogene sono le variabili "interne" al modello che alternativamente nelle varie equazioni possono comparire come dipendenti o indipendenti. Le relazioni esistenti tra le variabili sono riassunte dai parametri strutturali. Tali parametri possono descrivere i legami esistenti tra variabili non osservate, tra variabili osservate e tra variabili osservate e non.

In termini matriciali la formulazione del modello Lisrel generale può essere così rappresentata:

$$\boldsymbol{\eta} = \mathbf{B}\boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\Gamma}\boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\zeta} \quad (5.2)$$

$$\mathbf{Y} = \boldsymbol{\Lambda}_Y \boldsymbol{\eta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (5.3)$$

$$\mathbf{X} = \boldsymbol{\Lambda}_X \boldsymbol{\xi} + \boldsymbol{\delta} \quad (5.4)$$

cui si aggiungono le matrici di covarianza implicate, ovvero $\boldsymbol{\Theta}_\delta$, $\boldsymbol{\Theta}_\varepsilon$, $\boldsymbol{\Phi}$ e $\boldsymbol{\Psi}$.

Il sistema di equazioni strutturali è dunque composto di due sottosistemi: il modello strutturale e il modello di misura.

MODELLO STRUTTURALE

Il primo sottomodello è rappresentato dall'equazione (5.2) e tratta delle relazioni causali esistenti tra variabili latenti. In esso compaiono:

- i tre vettori delle variabili endogene, esogene e degli errori, rappresentati rispettivamente da $\boldsymbol{\eta}$, $\boldsymbol{\xi}$ e $\boldsymbol{\zeta}$. I vettori $\boldsymbol{\eta}$ e $\boldsymbol{\zeta}$ contengono m elementi (dove m corrisponde al numero di variabili endogene η); il vettore $\boldsymbol{\xi}$ contiene n elementi (dove n indica il numero di variabili esogene ξ);
- le due matrici dei coefficienti strutturali coinvolgenti le variabili latenti, rappresentate da \mathbf{B} e $\mathbf{\Gamma}$. La prima matrice contiene mxm elementi, cioè è una matrice quadrata di dimensione pari al numero delle variabili endogene η . La diagonale di \mathbf{B} è inoltre sempre costituita da tutti 0, in quanto ad essi corrispondono i coefficienti di regressione di ogni variabile con se stessa. Il modello, inoltre, per rendere possibile la scrittura in forma ridotta, assume che $(\mathbf{I} - \mathbf{B})$ sia non singolare, ovvero che esista $(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}$. La matrice $\mathbf{\Gamma}$ è invece di ordine mxn .
- questa parte del modello per essere completamente specificata necessita di altre due matrici. Una è la matrice $\mathbf{\Phi}$ che contiene le covarianze tra le variabili esogene ξ ; la seconda è $\mathbf{\Psi}$ che contiene le covarianze tra gli errori ζ . Entrambe, trattandosi di matrici di covarianza, sono matrici quadrate e simmetriche di ordine pari, rispettivamente, a nxn e mxm .

L'inclusione nella specificazione del modello delle correlazioni esistenti tra le variabili esogene ξ deriva dall'esigenza di considerare le relazioni esistenti tra le variabili presenti in modo esplicito nel modello. Meno intuitiva può essere la funzione della matrice $\mathbf{\Psi}$, che permette di includere nel modello l'effetto di variabili da questo escluse ma invece operanti nella realtà dei dati osservati. Nel caso di un modello esattamente specificato, cioè includente tutte le variabili effettivamente operanti nella realtà e le loro dinamiche, la componente errore stocastico di ogni equazione strutturale rappresenta effettivamente una piccola e trascurabile entità. Nella pratica della ricerca, tuttavia, in questa componente saranno incluse anche tutte le variabili sconosciute che in realtà agiscono sulla dipendente ma che non sono presenti nel modello in quanto non note o non misurabili. Se una di queste variabili sconosciute agisce contemporaneamente su due variabili endogene e non si è a conoscenza di questo effetto, che quindi non viene incluso esplicitamente nel modello, il risultato sarà quello di ottenere una correlazione tra due endogene che in realtà non esiste, ovvero una correlazione spuria.

MODELLO DI MISURA

Come si è visto, la prima equazione di base del modello Lisrel si riferisce ai legami esistenti tra le sole variabili latenti. Le due restanti equazioni sono invece relative ai legami esistenti tra le variabili latenti ed i loro indicatori, cioè le corrispondenti variabili osservate. Esse affrontano quindi non il problema della causazione, ma quello della misurazione. Questo problema in realtà viene trattato statisticamente in modo non dissimile da quello causale, in quanto il legame tra variabile latente e variabile osservata è trattato nei termini di un nesso causale che va dalla prima alla seconda.

Il sottomodulo di misura è composto a sua volta da due parti, la prima indicante le relazioni tra indicatori e fattori endogeni (equazione (5.3)), la seconda indicante invece la relazione tra variabili osservate e variabili latenti esogene (equazione (5.4)). La discussione qui presentata si basa sulla formulazione (5.4) in quanto essa, per analogia, può essere riferita completamente al caso di variabili endogene modificando opportunamente la notazione.

Nell'equazione (5.4) sono presenti le seguenti matrici e vettori:

- i tre vettori delle variabili esogene osservate, esogene latenti e degli errori. I vettori \mathbf{X} e $\boldsymbol{\delta}$ contengono q elementi (dove q indica il numero di variabili osservate \mathbf{X}); il vettore $\boldsymbol{\xi}$ contiene invece n elementi;
- la matrice dei coefficienti strutturali tra le variabili osservate e le variabili latenti, rappresentata con il simbolo $\Lambda_{\mathbf{X}}$, di dimensioni $qx n$;
- la matrice di covarianza tra gli errori $\boldsymbol{\delta}$, indicata con il simbolo $\Theta_{\boldsymbol{\delta}}$. Tale matrice risulta essere quadrata e simmetrica di ordine qxq .

Per un commento esaustivo ai modelli di misura si rimanda al *Capitolo 4*.

Le assunzioni su cui poggiano le equazioni appena presentate possono essere così riassunte:

1. le variabili sono misurate in termini di scarti dalla loro medie, cioè:

$$E(\boldsymbol{\eta}) = E(\boldsymbol{\zeta}) = E(\boldsymbol{\xi}) = \mathbf{0}$$

$$E(\mathbf{Y}) = E(\boldsymbol{\epsilon}) = \mathbf{0}$$

$$E(\mathbf{X}) = E(\boldsymbol{\delta}) = \mathbf{0}$$

2. le variabili indipendenti e gli errori sono tra loro incorrelati, nelle stesse equazioni:

$$E(\xi\xi') = \mathbf{0}$$

$$E(\eta\varepsilon') = \mathbf{0}$$

$$E(\xi\delta') = \mathbf{0}$$

e tra equazioni diverse:

$$E(\eta\delta') = \mathbf{0}$$

$$E(\xi\varepsilon') = \mathbf{0}$$

3. gli errori nelle diverse equazioni sono tra loro incorrelati:

$$E(\zeta\varepsilon') = E(\zeta\delta') = E(\varepsilon\delta') = \mathbf{0}$$

4. nessuna delle equazioni strutturali deve essere ridondante, cioè \mathbf{B} è non singolare. In altre parole le equazioni del modello che esprimono le varie η devono essere equazioni tra loro indipendenti, il che significa che nessuna variabile endogena η può essere combinazione lineare di altre variabili endogene.

5.1.3 – IDENTIFICAZIONE DEL MODELLO

Il primo problema da affrontare in fase di verifica dell'identificazione del modello, come già accennato nel *Capitolo 4*, fa riferimento alla parametrizzazione delle variabili latenti. Esse, in quanto non osservate, sono prive di unità di misura e quindi è necessario fissarne la metrica. I due criteri maggiormente utilizzati sono i seguenti:

1. il primo consiste nell'assegnare alle variabili latenti una varianza pari ad 1, così da renderle standardizzate. Questo criterio è applicabile solamente alle variabili ξ , in quanto la varianza delle latenti endogene non fa parte dei parametri primari del modello. Poiché la varianza del vettore η è esprimibile come funzione di Φ e di Ψ , per applicare il suddetto criterio è sufficiente uguagliare ad 1 le varianze del termine di errore nelle equazioni, ovvero porre la diagonale principale di Ψ uguale al vettore unitario;
2. il secondo criterio, applicabile allo stesso modo ad entrambe le tipologie di latenti, consiste nell'attribuire al fattore latente la stessa metrica di una delle variabili osservate da essa dipendenti. Ciò si realizza assegnando il valore 1 al parametro λ che lega la variabile osservata prescelta e la latente.

L'analisi dello stato di identificazione del modello consiste in pratica nella verifica che il modello costruito porti ad un'unica soluzione, ovvero che i parametri da esso implicati siano univocamente determinati.

In generale il modo concettualmente più semplice per dimostrare che il modello è identificato è quello di esprimere tutti i parametri incogniti in funzione delle varianze-covarianze tra le osservate, dimostrando che tutte le equazioni sono risolubili (**regola algebrica**). Se tutti i parametri sono esprimibili in funzione delle varianze e covarianze tra le variabili osservate in modo univoco, allora il modello è identificato. Spesso però tale sistema non è lineare e viene ulteriormente a complicarsi con l'aumentare della complessità del modello.

Per ovviare a tali problematiche si dispone di una condizione necessaria ma non sufficiente, nota come **regola t**. Tale regola richiede al modello di non presentare più incognite che equazioni, cioè di non avere più parametri da stimare che coefficienti di varianza-covarianza tra le variabili osservate. Definito con t il numero di parametri incogniti, con p il numero di variabili Y e con q il numero di variabili X, la regola può essere così rappresentata:

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

in quanto gli elementi non ridondanti della matrice Σ sono esattamente pari a $\frac{1}{2} (p + q) (p + q + 1)$.

Una seconda metodologia consiste nell'**analisi dello stato di identificazione in due passi**. Essa, come il nome stesso suggerisce, è composta da due parti. Al primo passo si procede all'identificazione del sotto-modello di misura (come se si operasse con un modello di analisi fattoriale confermativa) attraverso le regole enunciate nel *Capitolo 4*. Se, e soltanto se, il modello di misura risulta identificato è possibile passare al secondo passaggio nel quale si procede con l'identificazione del sotto-modello strutturale (come se si operasse con un SEM con sole variabili osservate). La *Tabella 5.1* riassume le regole di identificazione disponibili per i modelli strutturali. La regola t, la regola di nullità della matrice **B** e la regola ricorsiva sono condizioni utili per vagliare il grado di identificazione del modello strutturale nel suo complesso. La prima è solo una condizione necessaria, ma la seconda e la terza sono invece condizioni sufficienti. La **regola t** risulta essere la più generale e può essere applicata indistintamente a qualsiasi tipologia di modello strutturale. La **regola di nullità della matrice B** è appropriata nel momento in cui **B=0**,

indipendentemente dalla forma della matrice Ψ . La **regola ricorsiva** è invece applicabile solamente nei casi in cui \mathbf{B} risulta essere triangolare inferiore e Ψ diagonale.

Infine, le condizioni di rango e di ordine stabiliscono lo stato di identificazione di ciascuna equazione del sistema strutturale. Se ciascuna equazione soddisfa la condizione di rango, allora il modello è complessivamente identificato. Entrambe le condizioni assumono la non singolarità della matrice $(\mathbf{I} - \mathbf{B})$ e non impongono alcuna restrizione alla matrice Ψ . Sono inoltre disponibili altre regole di identificazione per diverse tipologie di modelli qui non comprese (quali ad esempio i modelli a blocchi ricorsivi).

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 \mathbf{B}	Modello	$\mathbf{B} = \mathbf{0}$	NO	SI'
Regola Ricorsiva	Modello	\mathbf{B} triangolare inferiore Ψ diagonale	NO	SI'
Condizione di ordine	Equazione	restrizioni $\geq p - 1$ Ψ libera	SI'	NO
Condizione di rango	Equazione	rango $(\mathbf{C}_i) = p - 1$ ²⁸ Ψ libera	SI'	SI'

Tabella 5.1: Sommario delle regole di identificazione per la parte strutturale dei modelli Lisrel.

Se il primo step mostra che i parametri di misura sono identificati e il secondo step mostra che i parametri del modello latente sono anch'essi identificati, allora ciò è sufficiente per affermare che l'intero modello è identificato.

Esiste un ulteriore approccio, già nominato nel capitolo precedente, i cui autorevoli proponenti sono Jöreskog e Sörbom, i quali sostengono che il controllo sull'identificazione può essere affidato al computer. "In pratica [...] il programma LISREL controlla l'identificazione del modello nel modo seguente. Il programma controlla se l'*information*

²⁸ La condizione di rango prende avvio dal calcolo della matrice $\mathbf{C} = [(\mathbf{I} - \mathbf{B}) | -\mathbf{\Gamma}]$. Per testare l'identificazione dell'*i*-esima equazione si procede con l'eliminazione di tutte le colonne di \mathbf{C} che non presentano zeri nell'*i*-esima riga di \mathbf{C} stessa. Le rimanenti colonne sono utilizzate per costruire una nuova matrice, definita \mathbf{C}_i .

matrix è positiva definita. Se il modello è identificato, l'*information matrix* è quasi certamente definita positiva. Se l'*information matrix* è singolare, allora il modello non è identificato ed il rango dell'*information matrix* indica quanti parametri sono identificati [...] Occorre essere consapevoli tuttavia che questo controllo non è affidabile al 100%, anche se l'esperienza dimostra che lo è quasi." (Jöreskog e Sörbom, 1988).

5.1.4 – STIMA DEI PARAMETRI DEL MODELLO TRAMITE IL METODO DELLA MASSIMA VEROSIMIGLIANZA

Dopo avere analizzato lo stato di identificazione del modello è possibile procedere con la stima dei parametri strutturali incogniti. L'interesse alla stima dei parametri può essere suddiviso in due problematiche:

- Esiste un legame algebrico fra il modello teorico (e cioè le 8 matrici di parametri strutturali da esso implicate) e la matrice di covarianza tra le variabili X e Y?
- Dato questo legame algebrico e noti i dati, com'è possibile arrivare ad una stima dei parametri strutturali?

Il primo punto richiede che la matrice di covarianza tra le osservate possa essere espressa in funzione delle otto matrici che caratterizzano il modello teorico. La formula (5.1), ovvero $\Sigma = \Sigma(\theta)$, indica appunto come sviluppare tale legame algebrico. In altre parole sviluppando tale equazione, si è in grado di calcolare la cosiddetta matrice attesa, ovvero la matrice di varianza-covarianza delle osservate implicata dal modello stesso (*Figura 5.1*).

A questo punto è opportuno osservare come la matrice Σ sia la matrice attesa²⁹ implicata dal modello, che è diversa dalla matrice osservata dai dati (indicata con **S**). Σ ed **S** non potranno mai coincidere (salvo nei casi di esatta identificazione) per una causa inevitabile (variabilità campionaria) e per una causa possibile (modello sbagliato). Sarà proprio questa discrepanza la base per l'analisi dell'adattamento del modello ai dati, come già discusso nel *Capitolo 4*.

²⁹ Per essere rigorosi, sarebbe necessario distinguere tra la matrice di covarianza attesa teorica, cioè la matrice di covarianza tra le X e le Y implicata dal modello teorico noti i parametri, e la matrice di covarianza attesa stimata prodotta dal modello a partire dalla stima dei parametri. Di fatto non si ha quasi mai a che fare con la matrice attesa teorica in quanto difficilmente saranno noti i veri valori dei parametri. Nel seguito si userà comunque la notazione Σ per indicare la matrice attesa, sapendo però che molto spesso essa fa riferimento a quella stimata.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \text{Covarianze tra le Y} \\ \text{implicate dal modello} & \text{Covarianze tra le Y e le X} \\ \text{(trasposta del quadrante} \\ \text{inferiore sinistro) implicate} \\ \text{dal modello} & \\ \\ \text{Covarianze tra le Y e le X} & \text{Covarianze tra le X} \\ \text{implicate dal modello} & \text{implicate dal modello} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Lambda_Y [(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} (\mathbf{\Gamma}\mathbf{\Phi}\mathbf{\Gamma}' + \mathbf{\Psi}) (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}] \Lambda_Y' + \mathbf{\Theta}_\varepsilon & \Lambda_Y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \mathbf{\Gamma}\mathbf{\Phi}\Lambda_X' \\ \Lambda_X \mathbf{\Phi}\mathbf{\Gamma}' (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \Lambda_Y' & \Lambda_X \mathbf{\Phi}\Lambda_X' + \mathbf{\Theta}_\delta \end{bmatrix} = \Sigma(\boldsymbol{\theta})$$

Figura 5.1: Sviluppo del legame algebrico tra la matrice di covarianza tra le osservate e le 8 matrici parametriche implicate dal modello.

Il punto di partenza della procedura di stima è costituito dalle otto matrici derivate dal modello teorico. Esse contengono dei parametri fissi, cioè aventi valori assegnati immutabili, e dei parametri liberi, cioè incogniti da stimare. Assegnando immaginariamente ai parametri liberi dei valori arbitrari, sulla base della specificazione del legame matriciale $\Sigma = \Sigma(\boldsymbol{\theta})$, è possibile calcolare la matrice di covarianza Σ tra le variabili X e Y generata dal modello. A questo punto è possibile confrontare questa matrice attesa con l'analoga matrice **S** osservata nei dati. Se le matrici sono sufficientemente prossime è possibile terminare l'analisi e concludere che il modello non è falsificato dai dati. Questo naturalmente non si verifica mai al primo stadio del processo. Si tratterà a questo punto di migliorare Σ apportando delle modifiche ai valori numerici dei parametri, finché qualsiasi cambiamento non porterà solo a peggioramenti della prossimità tra Σ e **S**. E' questo un processo cosiddetto iterativo, che avviene cioè per stadi e per successive approssimazioni alla stima ottimale. Rimangono però ancora due punti da chiarire:

1. il criterio con cui si giudica la prossimità tra Σ e **S**;
2. il criterio con cui si migliorano le stime dei parametri strutturali nelle iterazioni successive alla prima.

Entrambi gli interrogativi trovano una risposta nel cosiddetto criterio della massima verosimiglianza. Esso è un criterio generale che permette di stimare i parametri incogniti della popolazione individuando quei parametri che generano la più elevata probabilità per i dati campionari di essere osservati. Nel caso specifico esso permette di individuare fra tutti i possibili valori dei parametri liberi quelli che generano un Σ più prossimo possibile ad \mathbf{S} , tali cioè che sia massima la probabilità che \mathbf{S} osservata derivi da Σ teorica. Come calcolare la probabilità di ottenere una certa matrice \mathbf{S} osservata data Σ ? Questo è possibile attraverso l'ipotesi che la matrice \mathbf{S} segua la cosiddetta distribuzione di Wishart (dal nome dello statistico che nel 1928 la calcolò). Passando a notazioni algebriche, la scelta dei valori che massimizzano la probabilità che \mathbf{S} derivi da Σ , data la distribuzione di \mathbf{S} e delle variabili osservate (distribuzione multi normale), avviene attraverso la minimizzazione di una funzione di stima $F(\mathbf{S}, \Sigma(\boldsymbol{\theta}))$ che presenta le seguenti proprietà:

- $F(\mathbf{S}, \Sigma(\boldsymbol{\theta}))$ è uno scalare;
- $F(\mathbf{S}, \Sigma(\boldsymbol{\theta})) \geq 0$;
- $F(\mathbf{S}, \Sigma(\boldsymbol{\theta})) = 0$ se e soltanto se $\mathbf{S} = \Sigma(\boldsymbol{\theta})$;
- $F(\mathbf{S}, \Sigma(\boldsymbol{\theta}))$ è continua in \mathbf{S} e in $\Sigma(\boldsymbol{\theta})$.

Il metodo di stima utilizzato nella stima dei modelli qui presentati fa riferimento alla teoria della verosimiglianza. Il logaritmo della funzione di verosimiglianza, essendo la distribuzione delle osservate multi normale con vettore delle medie non soggetto a restrizione, ed essendo \mathbf{S} distribuita secondo una Wishard, è (cfr. *Anderson, 1958*)

$$\log L [\Sigma(\boldsymbol{\theta})] = - [(N - 1)/2] [\log |\Sigma| + \text{tr} (\mathbf{S}\Sigma^{-1})]$$

La funzione di adattamento (ovvero nel caso in esame di perdita) usata è

$$F_{ML} = - [2/(N - 1)] \log L - [\log |\mathbf{S}| + (p + q)]$$

dove $[\log |\mathbf{S}| + (p + q)]$ è funzione delle sole osservazioni. Combinando le due formule si ottiene che

$$F_{ML} = \log |\Sigma| + \text{tr} (\mathbf{S}\Sigma^{-1}) - \log |\mathbf{S}| - (p + q).$$

A questo punto attraverso una procedura di derivazione è possibile calcolare il vettore $\boldsymbol{\theta}$ stimato in modo da minimizzare la funzione di perdita F_{ML} . Il calcolo però non è così semplice in quanto i parametri liberi implicati dal modello sono molti e tra loro

interdipendenti, da cui deriva che l'intera procedura deve trovare quella combinazione di valori che minimizza complessivamente la funzione di stima. Il processo di stima è quindi iterativo ed avviene per successive approssimazioni, fino ad arrivare alla cosiddetta convergenza (*metodo iterativo di Fletcher e Powell (1963), con variante di Gruvaeus e Jöreskog (1970)*).

5.1.5 - RELAZIONI CAUSALI

Il concetto di causalità è la base su cui si fonda il pensare scientifico, anche se spesso oggetto di fraintendimenti e messa in discussione da filosofi e pensatori a causa del divario esistente tra linguaggio della teoria e della ricerca. Prima di iniziare una trattazione delle relazioni di causalità è bene definire la differenza esistente tra covariazione e causazione. Si ha una covariazione quando due variabili presentano variazioni concomitanti, ovvero quando al variare dell'una varia anche l'altra. Si ha invece causazione quando è implicato anche il concetto di "produzione". "Se X è una causa di Y – scrive Blalock (1961) – pensiamo che una trasformazione in X produca una trasformazione in Y, e non semplicemente che una trasformazione in X sia seguita da, o associata a, una trasformazione in Y".

La *path analysis*, dalla quale i modelli di equazioni strutturali attingono la loro logica di base, permette di distinguere tre tipologie di effetti causali: effetti diretti, indiretti e totali. L'effetto diretto corrisponde all'influenza che una data variabile ha su un'altra, non essendo questa mediata da alcun'altra variabile. In termini generali le stime degli effetti diretti sono contenute nelle matrici \mathbf{B} , $\mathbf{\Gamma}$, $\mathbf{\Lambda}_X$ e $\mathbf{\Lambda}_Y$ (ad esempio gli effetti diretti delle variabili ξ su η sono contenuti in $\mathbf{\Gamma}$). Di conseguenza due variabili sono legate da una relazione causale diretta quando un mutamento della variabile "causa" produce un mutamento della variabile "effetto". Si osserva invece una relazione causale indiretta (definita anche effetto indiretto) tra due variabili X e Y quando il loro legame è mediato da una terza variabile Z. La somma degli effetti diretti ed indiretti dà il cosiddetto effetto totale:

$$\text{Effetti totali} = \text{Effetti diretti} + \text{Effetti indiretti}$$

Gli effetti totali ed indiretti possono aiutare a rispondere ad importanti domande che non possono essere esaustivamente risolte tramite lo studio dei soli effetti diretti.

La *Tabella 5.2* sintetizza la decomposizione degli effetti per il modello generale ad equazioni strutturali con variabili latenti. Questa decomposizione può essere declinata anche per modelli con sole variabili osservate, modificando opportunamente le notazioni.

	Effetti su:		
	η	y	x
Effetti di ξ :			
Effetto diretto	Γ	$\mathbf{0}$	Λ_X
Effetto indiretto	$(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \Gamma - \Gamma$	$\Lambda_Y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \Gamma$	$\mathbf{0}$
Effetto totale	$(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \Gamma$	$\Lambda_Y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} \Gamma$	Λ_X
Effetti di η :			
Effetto diretto	\mathbf{B}	Λ_Y	$\mathbf{0}$
Effetto indiretto	$(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} - \mathbf{I} - \mathbf{B}$	$\Lambda_Y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} - \Lambda_Y$	$\mathbf{0}$
Effetto totale	$(\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1} - \mathbf{I}$	$\Lambda_Y (\mathbf{I} - \mathbf{B})^{-1}$	$\mathbf{0}$

Tabella 5.2: Effetti diretti, Indiretti e Totali di ξ e η su η , y e x .

5.2 – STUDIO DELLE RELAZIONI DI CAUSALITA' TRA LEAN BUNDLES E PERFORMANCE

Avendo a disposizione un modello di misura convalidato, è possibile ora procedere con lo studio delle relazioni causali che legano i diversi fattori latenti ipotizzati. La scomposizione del modello in due sottofasi (modello di misura e modello di equazioni strutturali) segue la logica proposta da Herting e Costner nel 1985. I due autori, infatti, suggeriscono di procedere nella costruzione del modello in due fasi successive e separate: la prima fase è dedicata alla definizione del modello di misura, la seconda è invece destinata alla messa a punto della parte strutturale (o causale). Nella prima fase si ipotizzano tra le variabili latenti solamente legami adirezionali di correlazione (analisi fattoriale confermativa): in questo modo non ci possono essere errori di specificazione nelle relazioni tra le variabili latenti, e tutti i residui sono dovuti ad errori nella specificazione della parte di misurazione del modello. Questa viene migliorata fin che è possibile, per passare poi alla seconda fase, e cioè il modello viene sottoposto ad una

seconda verifica formulando questa volta i nessi causali tra le variabili latenti ed intervenendo nel processo di miglioramento solo su di essi, lasciando invariata la parte di misurazione così come definita nella prima fase.

Terminata la fase di convalida del modello di misura, esplicitata nel *Capitolo 4*, si procede ora con la formulazione di un modello causale tra i fattori costruiti, avendo come base le cinque ipotesi di ricerca già esplicitate nel corso della presente trattazione (cfr. *Capitoli 2 e 4*).

5.2.1 – FORMULAZIONE E STIMA DEL MODELLO

A seguito della costruzione della matrice di correlazione osservata è possibile procedere con la seconda fase ovvero con la formulazione del modello teorico. Si tratta dunque di tradurre le ipotesi teoriche specificate nel *Capitolo 2* in un sistema di equazioni strutturali, definendo le variabili osservate, ipotizzando i fattori latenti, stabilendo i legami causali tra le variabili e costruendo il modello complessivo in modo tale che esso possa essere matematicamente risolubile, ovvero identificato. Il processo di costruzione del modello, come suggerito da molti autori tra i quali Corbetta (2002), deve possibilmente partire da modelli il più possibile semplici, da far crescere poco a poco, man mano che i vari pezzi si mostrano identificati, teoricamente ragionevoli e con un buon adattamento ai dati. Il criterio opposto di partire da modelli complessi e di procedere alla loro semplificazione non è corretto e raramente porta a risultati accettabili proprio per l'impossibilità da parte del ricercatore di tenere sotto controllo, dal punto di vista della comprensione di cosa sta avvenendo in termini di effetti tra le variabili, un modello troppo complesso. La ricerca di specificazione, discussa nel presente paragrafo, per il raggiungimento di una formulazione coerente con la teoria sottostante e con un buon adattamento ai dati prende avvio dalla stima di modelli il più semplici possibili, fino ad arrivare ad una rappresentazione complessiva dei rapporti tra *lean bundles* e performance. Tale approccio è coerente con lo sviluppo che la letteratura ha mostrato nel corso degli anni: i primi studi in merito alla produzione snella si sono infatti concentrati sull'analisi dell'impatto complessivo di tali tecniche su diverse tipologie di performance (dapprima considerando singoli gruppi di pratiche, per poi arrivare alla formulazione di modelli più articolati); successivamente l'attenzione dei ricercatori si è spostata sui rapporti esistenti tra costrutti snelli nella determinazione di un vantaggio competitivo sostenibile.

Nella trattazione dei modelli di seguito proposti non si metterà in discussione il modello di misura di base in quanto esso è già stato oggetto di convalida nel *Capitolo 4*. L'attenzione sarà ora posta sul modello strutturale, sviluppando un processo di specificazione e miglioramento dello stesso che condurrà ad una sua formulazione coerente con le teorie sottostanti i rapporti tra *lean bundles* e performance operative. Per questo motivo le rappresentazioni grafiche, ovvero i *path diagram*, di seguito presentate non conterranno la specificazione del modello di misura ma avranno come obiettivo l'illustrazione del solo modello strutturale, ovvero delle relazioni causali tra le latenti.

La formulazione più semplice del modello fa riferimento alle ipotesi 1, 2^A e 3^A, ovvero alle assunzioni inerenti l'esistenza di un effetto causale complessivo di ciascun fattore sul costruito PERFORMANCE. Il primo modello ipotizzato prevede dunque che i costrutti JIT, TQM e HRM presentino un effetto positivo e significativo sul raggiungimento di alcune performance di tipo operativo. La rappresentazione grafica della formulazione del modello in esame è rappresentata nel *Grafico 5.1*.

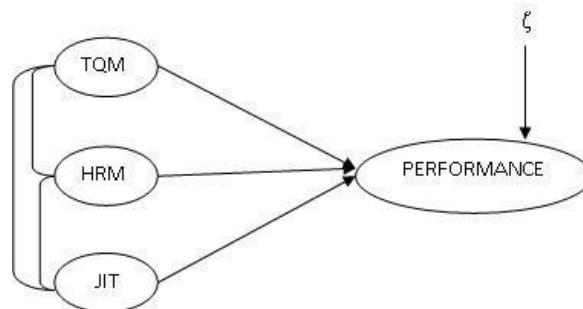


Grafico 5.1: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis del modello relativo agli effetti complessivi dei lean bundles sulle performance (Modello 1).

La formulazione del modello secondo tale rappresentazione grafica non è completa senza la specificazione della matrice di covarianza tra le variabili latenti esogene. In particolare per questo modello si ha che la matrice Φ presenta nella diagonale principale tutti elementi pari a 1 (tale restrizione è utilizzata per la fissazione dell'unità di misura delle latenti esogene), mentre i restanti risultano *unconstrained*. Per ottenere infatti un modello il più generale possibile è necessario non imporre a priori alcuna forzatura alle correlazioni tra variabili latenti. La matrice Ψ contiene invece un unico elemento fissato pari a 1 per ovviare al problema della fissazione dell'unità di misura per il costrutto PERFORMANCE.

Poiché il modello strutturale ipotizzato corrisponde ad un modello di regressione lineare multipla, esso risulta esattamente identificato in quanto non impone restrizioni al meccanismo generatore dei dati. Le differenze che si riscontrano tra correlazioni stimate e predette derivano quindi esclusivamente dalla formalizzazione del modello di misura. Per questo motivo gli indici di adattamento ai dati del *Modello 1* coincidono con quanto emerso nella stima del modello di analisi fattoriale confermativa inerente i *lean bundles* e il fattore PERFORMANCE. Riprendendo brevemente quanto emerso dall'analisi della *Tabella 4.11* si ha che gli indici di adattamento del modello ai dati presentano quasi tutti valori superiori alle soglie consigliate. In particolare si osserva che l'indice RMSEA risulta inferiore allo 0.05 come confermato anche dal test di verifica dell'ipotesi nulla di *close fit*. Gli indici che non rientrano all'interno del range consigliato sono la statistica Chi-quadro (per gli inconvenienti da essa implicati già discussi nel corso della presente trattazione) e l'indice GFI.

L'analisi dei residui standardizzati mostra come essi presentino valori appartenenti all'intervallo [-3.14 ; 3.81]. Pur osservando uno scostamento (anche se non eccessivo) dal range tipico di una normale standardizzata (pari approssimativamente a [-2 ; 2]), i residui standardizzati mostrano un andamento soddisfacente in termini di simmetria e di posizionamento della mediana (essendo essa esattamente pari a 0).

Avvalorato il modello è ora possibile esaminare puntualmente le stime dei parametri strutturali da esso implicate, tralasciando quelle riferite al modello di misura che presenta *factor loadings* esattamente uguali (al netto della riparametrizzazione effettuata) a quanto emerso in fase di convalida del modello di misura complessivo.

MATRICE Γ			
PERFORMANCE	TQM	HRM	JIT
Stima	0.23	0.36	0.33
St. error	(0.15)	(0.17)	(0.16)
Statistica t	1.47	2.08	2.10

Tabella 5.3: Stime, standard error e statistiche t della matrice Γ riferita al modello ad effetti complessivi (Modello 1).

La *Tabella 5.3* mostra le stime dei coefficienti della matrice Γ corredate dai rispettivi standard error e statistiche t per la verifica della significatività degli stessi. Questo primo modello indica chiaramente come gli effetti complessivi di HRM e JIT siano significativi e di segno positivo (entrambi risultano significativi ad un livello di confidenza del 5%).

Questi due risultati sembrerebbero essere in linea con quanto ipotizzato nelle assunzioni 1 e 2^A. La seconda importante evidenza risiede nel fatto che, pur presentando un segno positivo, il coefficiente di causalità che lega TQM e performance non risulta essere significativo nemmeno ad un livello di confidenza del 10%. I parametri contenuti nella matrice Γ rappresentano le correlazioni stimate tra i tre *bundles* e le performance operative. Mentre il modello di analisi fattoriale confermativa aveva condotto ad una stima del coefficiente di correlazione tra il costrutto TQM e il fattore legato alle performance operative significativo (anche se inferiore alle correlazioni stimate in relazione ai rimanenti *bundles*), la specificazione di un modello di regressione tra le variabili latenti, proposta con il *Modello 1*, ha evidenziato una relazione non significativa tra i due.

Le ipotesi di ricerca oltre a comprendere tali effetti complessivi, seguendo la letteratura in questione, approfondiscono le relazioni causali scomponendole in effetti diretti ed indiretti. La correlazione tra fattori latenti può indicare la presenza di un legame di causalità tra gli stessi, creando così dei percorsi alternativi (legami indiretti) tra i *lean bundles* e le performance. Si ha infatti che, mentre la ricerca empirica può al massimo constatare la variazione simultanea di due fenomeni, il concetto di causalità appartiene all'ambito teorico e deve quindi essere ipotizzato e sottoposto al criterio di falsificabilità (*Popper, 1934*) tramite l'applicazione di opportune metodologie statistiche. La seconda parte del presente paragrafo è dedicata alla ricerca di specificazione di un modello comprendente tali tipologie di effetti. Ancora una volta la formulazione del modello parte dalla sua specificazione più semplice facente riferimento agli effetti complessivi. Il primo modello che si andrà a specificare, e a stimare, è quindi una variante del modello precedentemente presentato. Dato che la scomposizione dei legami tra HRM, JIT, TQM e PERFORMANCE avverrà tramite la specificazione di un modello di tipo ricorsivo, le pratiche TQM e JIT da variabili propriamente esogene si "trasformano" (ovvero vengono riclassificate) come variabili endogene (i motivi di tale cambiamento saranno chiari in seguito). In questo modo non si andranno più a stimare le correlazioni tra *lean bundles*. Da questa ultima considerazione deriva che il nuovo modello non rappresenta soltanto una riparametrizzazione del precedente ma comprende anche alcune importanti modifiche. La statistica Chi-quadro e il numero di parametri stimati (e di conseguenza il numero di gradi di libertà) non saranno quindi gli stessi tra i due modelli. La formulazione di questa seconda specificazione è rappresentata nel *Grafico 5.2*.

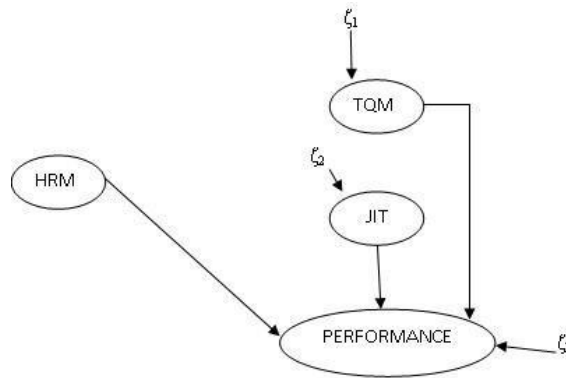


Grafico 5.2: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis del modello relativo agli effetti complessivi dei lean bundles sulle performance (Modello 2).

A completamento della specificazione del modello è necessario definire la struttura delle matrici Φ e Ψ . Per la prima matrice l'unica restrizione imposta risulta essere l'uguaglianza ad 1 della varianza del fattore latente HRM per permetterne la definizione dell'unità di misura. La matrice Ψ è invece, in questo caso, diagonale con elementi tutti pari ad 1. La restrizione a zero delle correlazioni tra gli errori deriva dal fatto che, a partire da questo modello, si vuole andare a studiare la scomposizione in effetti diretti ed indiretti del rapporto causale esistente tra HRM, JIT e TQM. Gli effetti indiretti, implicando percorsi alternativi all'impatto diretto tra due costrutti, portano necessariamente alla definizione di legami causali tra i tre *bundles* e non più a legami adirezionali di correlazione, come avveniva nel primo modello qui presentato.

In questo caso gli indici di adattamento del modello ai dati non risultano essere soddisfacenti in quanto molti di essi non presentano valori all'interno delle soglie consigliate. Si ha infatti che l'indice RMSEA porta al rifiuto dell'ipotesi di *close fit*, RMR supera la soglia dello 0.1 e la statistica Chi-quadro non permette l'accettazione del modello. Anche i rimanenti indici non presentano comunque valori molto soddisfacenti. Osservando inoltre i residui standardizzati stimati si osserva come essi presentino valori positivi molto grandi (il valore massimo è pari a 10.88) mentre i valori negativi non superano, in valore assoluto, la soglia del 2.6. Non sembra quindi opportuno assumere l'ipotesi di normalità per i termini di errore standardizzati visto l'ampio range di valori assunti, l'asimmetria presentata e dato il discostamento della mediana dallo 0 (mediana pari a 1.65).

Misure statistiche	Valore per il modello	Valore di close fit
χ^2 -statistica test (df)	444.34 (227) p-value = 0.00	NA
RMSEA, stima puntuale	0.067	≤ 0.08
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.058 ; 0.076)	0.00 ; 0.08
p-value H_0 : close fit (RMSEA ≤ 0.5)	0.0017	≥ 0.05
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.15	≤ 0.1
Goodness of fit index (GFI)	0.85	≥ 0.9
Non-normed fit index (NNFI)	0.91	≥ 0.9
Comparative fit index (CFI)	0.92	≥ 0.9
Incremental fit index (IFI)	0.92	≥ 0.9
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.96	≤ 3
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.76	≥ 0.7

Tabella 5.6: Indici di adattamento ai dati in relazione al modello rappresentante gli effetti complessivi dei lean bundles sulle performance (Modello 2).

Poiché l'adattamento del modello ai dati non è soddisfacente si procede ora con la ricerca di una migliore specificazione. Il cattivo adattamento dei modelli ai dati deriva dal fatto che si sono eliminati tutti i legami esistenti tra i tre *lean bundles* che nel modello precedente si erano visti essere significativi. Analizzando i *modification index* il quadro che emerge è esattamente in linea con l'ipotesi 2^B della presente ricerca, ovvero con la scomposizione in effetto diretto ed indiretto del legame tra HRM e PERFORMANCE, il tutto mediato dai due rimanenti costrutti latenti.

	MI PER LA MATRICE B			MI PER LA MATRICE Γ
	TQM	JIT	PERFORMANCE	HRM
TQM	--	30.58	70.73	40.23
JIT	30.58	--	79.62	50.13
PERFORMANCE	--	--	--	--

Tabella 5.5: Modification index per le matrici B e Γ in relazione al modello rappresentante gli effetti complessivi dei lean bundles sulle performance (Modello 2).

La procedura di utilizzazione degli indici di modificazione consiste nell'individuare i parametri con valori più elevati e nello stimare di nuovo il modello avendo liberato tali parametri. La liberazione va effettuata un parametro alla volta in quanto tale inserimento comporta una variazione degli indici di modifica di tutti gli altri. Tale modo di procedere

però è tuttavia meccanico e poco consigliato se utilizzato in maniera impropria. La scelta dei parametri da liberare deve infatti essere fondata più su basi teoriche che puramente matematiche, per cui l'entità degli indici di modifica costituisce solamente una prima provocazione per il ricercatore a partire dalla quale, ma non basandosi solamente su quella, egli assume decisioni sui parametri da liberare.

In linea con quanto appena discusso si ha che alcuni indici di modifica non sono analizzati poiché poco coerenti con la teoria sottostante. In particolare non esiste alcuna teoria alla base di un possibile rapporto reciproco tra *lean bundles* e performance: gli indici che spingono quindi a liberare frecce causali che dal fattore PERFORMANCE partono verso i costrutti TQM e JIT non sembrano avere alcun fondamento, pur risultando significativi (si ricorda che gli indici di modifica sotto H_0 si distribuiscono secondo un χ^2 con un grado di libertà) e con valori molto alti. I rimanenti *modification index* sono invece coerenti con le ipotesi proposte nella presente ricerca: la liberazione dei parametri contenuti nella matrice Γ che permettono il legame causale tra HRM, TQM e JIT sono in linea con la scomposizione dell'effetto complessivo di HRM sulle performance, mentre la liberazione del coefficiente che lega TQM e JIT corrisponde all'ipotesi di scomposizione del legame tra TQM e performance.

Tra i valori coerenti con la teoria sottostante il modello, l'indice più elevato è presentato dal parametro che regola la causazione di HRM su JIT. Liberando quindi tale parametro si perviene alla seguente formulazione:

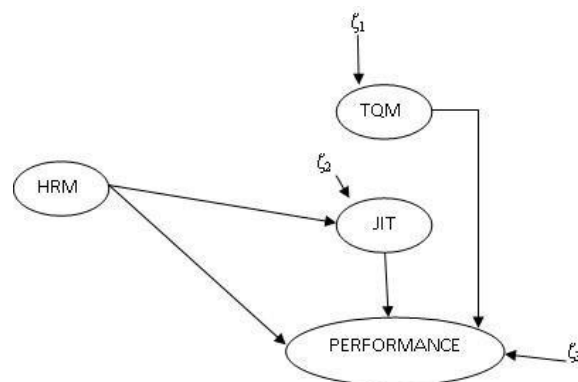


Grafico 5.3: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis (Modello 3).

Attraverso l'inserimento di tale rapporto causale, teoricamente supportato da molti autori che caratterizzano le pratiche inerenti all'HRM come prerequisito per l'implementazione efficace delle tecniche JIT, si procede alla scomposizione della relazione tra HRM e PERFORMANCE, anche se ancora si suppone che l'effetto indiretto sia mediato dal solo

costrutto JIT. L'inserimento di una relazione tra i *lean bundles* comporta un notevole miglioramento degli indici di adattamento ai dati.

Misure statistiche	Valore per il modello	Valore di close fit
χ^2 -statistica test (df)	385.05 (226) p-value = 0.00	NA
RMSEA, stima puntuale	0.054	≤ 0.08
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.044 ; 0.064)	0.00 ; 0.08
p-value H_0 : close fit (RMSEA ≤ 0.5)	0.23	≥ 0.05
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.11	≤ 0.1
Goodness of fit index (GFI)	0.87	≥ 0.9
Non-normed fit index (NNFI)	0.93	≥ 0.9
Comparative fit index (CFI)	0.94	≥ 0.9
Incremental fit index (IFI)	0.94	≥ 0.9
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.70	≤ 3
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.78	≥ 0.7

Tabella 5.6: Indici di adattamento ai dati (Modello 3).

La liberazione di un parametro è accettata, in fase di ricerca di specificazione, se essa comporta una riduzione significativa della statistica Chi-quadro. L'ipotesi nulla di uguaglianza a zero della differenza tra Chi-quadro di due modelli annidati è testata tramite la statistica calcolata come differenza dei due indicatori relativi ai rispettivi modelli. Essa, sotto H_0 , si distribuisce secondo una distribuzione χ^2 con gradi di libertà pari alla differenza tra i gradi di libertà nei due modelli. Nel caso in esame la statistica test, definite con c_0 e c_1 le statistiche riferite rispettivamente al modello più semplice ed al modello più complesso, è pari a

$$c_0 - c_1 = 444.34 - 385.05 = 59.29$$

Il *p-value* per tale verifica di ipotesi è uguale a zero (essendo tale statistica distribuita secondo un χ^2 con un grado di libertà), da cui deriva un netto rifiuto dell'ipotesi di nullità di tale differenza e quindi un'accettazione del modello più complesso appena stimato. Il test qui effettuato rientra nella classe dei test del rapporto di verosimiglianza. Il risultato qui emerso è perfettamente in linea con quanto trovato tramite l'applicazione di un test dei moltiplicatori di Lagrange rappresentato dal calcolo dei *modification index* in *Tabella 5.5*.

Anche i rimanenti indici di adattamento presentano un miglioramento: per l'indice RMSEA si accetta ora l'ipotesi nulla di *close fit*; GFI, IFI e altri indici incrementali presentano valori superiori alla specificazione precedente. Soltanto la statistica RMR presenta valori ancora esterni al range consigliato. Analizzando la distribuzione dei residui standardizzati si osserva un netto miglioramento rispetto al modello di partenza, anche se permangono comunque ancora alcuni problemi. L'intervallo di valori assunti dai residui standardizzati si è ristretto ([-2.71 ; 6.97]) rimanendo tuttavia ancora distante dai valori tipici di una distribuzione normale standardizzata. La distribuzione dei residui si discosta dall'assunzione di normalità data l'asimmetria presentata e lo spostamento della mediana dallo 0 (valore pari a 0.77), il tutto confermato da una discostamento dalla retta di riferimento del diagramma quantile-quantile.

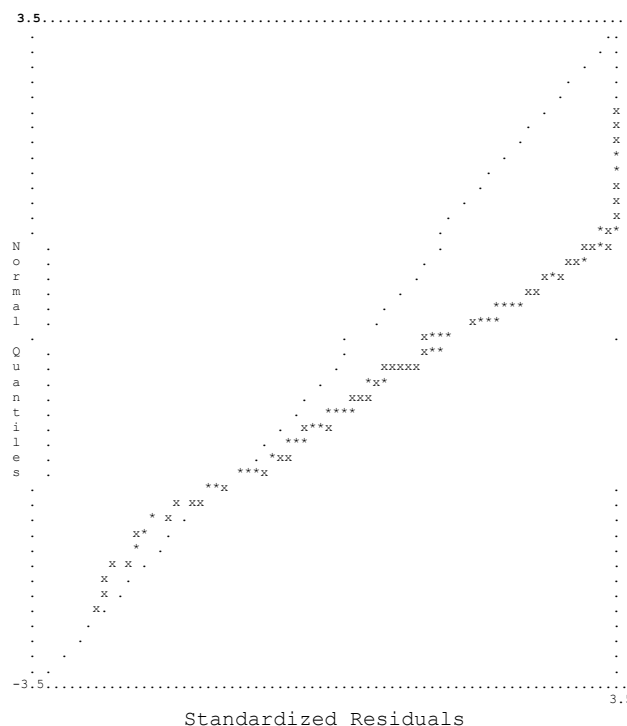


Grafico 5.4: Diagramma quantile-quantile dei residui standardizzati (Modello 3).

Un test alternativo, ma asintoticamente equivalente ai due test precedentemente implementati, per l'accettazione della nuova formulazione del modello che prevede la liberazione del parametro γ_{21} consiste nella verifica della significatività della stima del parametro in questione (test di Wald). Il valore puntuale di tale stima risulta essere pari a 0.86 con rispettivo standard error pari a 0.14. La statistica t ad esso associato (pari a 6.04) porta ad un netto rifiuto dell'ipotesi nulla di nullità per tutti gli usuali livelli di confidenza.

Un'analisi dei *modification index* implicati dal suddetto modello porta chiare indicazioni in direzione della liberazione del parametro che collega causalmente i *bundles* HRM e TQM. In questo modo la scomposizione del rapporto tra HRM e performance operative è completamente scomposto in effetti diretti ed indiretti in quanto tutti i possibili percorsi di causalità sono inseriti nel modello (al netto dell'effetto indiretto implicante una relazione di causalità tra TQM e JIT).

	MI PER LA MATRICE B			MI PER LA MATRICE Γ
	TQM	JIT	PERFORMANCE	HRM
TQM	--	39.63	48.61	45.96
JIT	8.17	--	8.17	--
PERFORMANCE	--	--	--	--

Tabella 5.7: Modification index per le matrici B e Γ (Modello 3).

Si procede quindi con la stima del modello che prevede un impatto causale del fattore HRM su tutti e tre i rimanenti costrutti. Tale modello sarà di seguito nominato *Modello 4*. La formulazione in termini grafici è rappresentata nel *Grafico 5.5*.

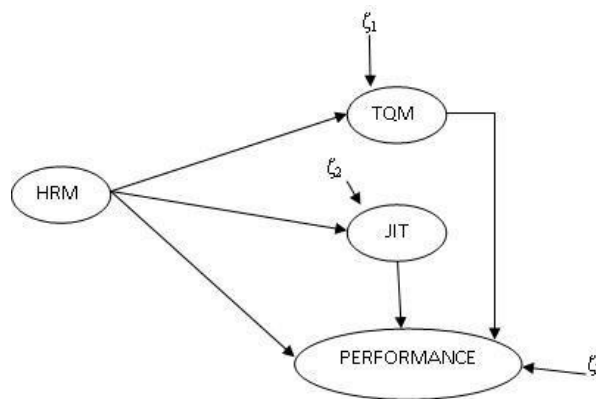


Grafico 5.5: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis (Modello 4).

La specificazione del *Modello 4* contiene al suo interno la formalizzazione di quattro ipotesi di ricerca poste come obiettivo del presente studio: essa permette di stimare l'effetto complessivo che i *bundles* TQM e JIT hanno sulle performance operative, cui si aggiunge l'impatto diretto ed indiretto (mediato da JIT e TQM) di HRM sulle stesse. La somma di questi due ultimi effetti genera, per quanto discusso nel corso del presente capitolo, l'effetto complessivo che le pratiche legate alla gestione delle risorse umane hanno sulle tipologie di performance considerate.

Misure statistiche	Valore per il modello	Valore di close fit
χ^2 -statistica test (df)	330.75 (225) p-value = 0.00	NA
RMSEA, stima puntuale	0.043	≤ 0.08
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.031 ; 0.054)	0.00 ; 0.08
p-value H_0 : close fit (RMSEA ≤ 0.5)	0.84	≥ 0.05
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.066	≤ 0.10
Goodness of fit index (GFI)	0.89	≥ 0.90
Non-normed fit index (NNFI)	0.96	≥ 0.90
Comparative fit index (CFI)	0.96	≥ 0.90
Incremental fit index (IFI)	0.96	≥ 0.90
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.47	≤ 3.00
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.79	≥ 0.70

Tabella 5.8: Indici di adattamento ai dati (*Modello 4*).

Il test del rapporto di verosimiglianza, basato sulla differenza tra statistiche Chi-quadro, per l'accettazione del modello più complesso (*Modello 4*) porta all'accettazione dell'ipotesi nulla anche ad un livello di confidenza del 10%. La statistica test per il confronto degli ultimi due modelli stimati è infatti pari a

$$c_0 - c_1 = 385.05 - 330.75 = 54.30 \quad (p\text{-value} = 0.00).$$

Il *Modello 4* presenta, al contrario dei due modelli precedentemente stimati, un buon adattamento ai dati confermato da un indice RMSEA inferiore allo 0.05 e dai valori assunti dai rimanenti indicatori superiori alle soglie consigliate ed ai valori osservati nei precedenti modelli *nested* stimati. Anche l'indice GFI, pur presentando ancora un valore inferiore allo 0.9, mostra un miglioramento rispetto ai modelli precedenti. L'analisi dei residui stimati standardizzati porta in questo caso a conclusioni positive in relazione all'assunzione di normalità degli stessi. La loro distribuzione sembra essere infatti compatibile con una normale standardizzata data la sostanziale simmetria, la presenza di pochi residui standardizzati al di fuori del classico range di riferimento e la mediana posta molto prossima allo zero (mediana pari a 0.14). Anche il diagramma quantile-quantile sembra in questo caso mostrare un andamento soddisfacente.

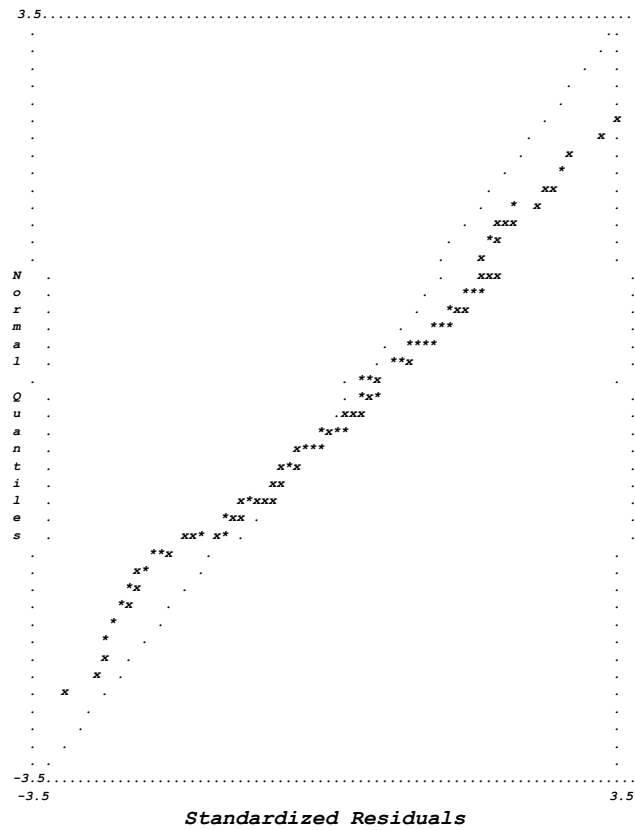


Grafico 5.6: Diagramma quantile-quantile dei residui standardizzati (Modello 4).

Dopo aver dimostrato il buon adattamento del modello ai dati, e quindi la sua non falsificazione, è opportuno osservare da vicino le stime dei coefficienti delle matrici **B** e **Γ** (le stime dei *factor loadings* continuano ad essere altamente significative e di segno positivo).

		MATRICE BETA			MATRICE GAMMA
		TQM	JIT	PERFORMANCE	HRM
TQM	<i>Stima</i>	--	--	--	0.85
	<i>St. error</i>				0.15
	<i>Statistica t</i>				5.70
JIT	<i>Stima</i>	--	--	--	0.93
	<i>St. error</i>				0.15
	<i>Statistica t</i>				6.24
PERFORMANCE	<i>Stima</i>	0.17	0.25	--	0.35
	<i>St. error</i>	0.12	0.12		0.21
	<i>Statistica t</i>	1.44	2.07		1.72

Tabella 5.9: Stime, standard error e statistiche t delle matrici **B** e **Γ** (Modello 4).

La matrice **B** contiene le stime dei parametri che rappresentano gli effetti complessivi dei costrutti TQM e JIT sulle performance operative. Il modello ipotizzato porta ad una stima

significativa, ad livello di confidenza del 5%, dell'effetto complessivo del *bundle* JIT mentre il parametro (unitamente al rispettivo standard error stimato) relativo a TQM non permette di rifiutare l'ipotesi nulla di uguaglianza a zero dello stesso. La matrice Γ propone invece le stime dei parametri strutturali che legano causalmente il gruppo di pratiche denominato HRM ai rimanenti fattori. Tale costrutto, oltre a mostrare un effetto diretto significativo sulle performance aziendali (la statistica t presenta un valore superiore alla soglia di rifiuto dell'ipotesi nulla ad un livello di confidenza del 10%), mostra un rapporto di causazione altamente significativo nei confronti dei costrutti JIT e TQM. Tale risultato conferma le considerazioni proposte da molti autori in merito al fatto che una corretta gestione delle risorse umane all'interno di un dato stabilimento crea l'ambiente ideale e la base per lo sviluppo di ulteriori pratiche snelle legate alla gestione e prevenzione degli errori (TQM) e alla gestione del processo produttivo (JIT). I valori dei parametri strutturali appena discussi permettono di stimare, attraverso opportune combinazioni degli stessi già discusse nel *Paragrafo 5.1.6*, gli effetti diretti, indiretti e complessivi implicati dal modello.

	EFFETTI COMPLESSIVI DI ξ SU η	EFFETTI INDIRETTI DI ξ SU η	EFFETTI COMPLESSIVI DI η SU η		
	HRM	HRM	TQM	JIT	PERFORMANCE
TQM	0.85 (0.15) 5.70	--	--	--	--
JIT	0.93 (0.15) 6.24	--	--	--	--
PERFORMANCE	0.73 (0.12) 5.94	0.38 (0.16) 2.32	0.17 (0.12) 1.44	0.25 (0.12) 2.07	--

Tabella 5.10 : Effetti complessivi ed indiretti stimati (Modello 4).

La prima sezione della *Tabella 5.10* mostra gli effetti complessivi delle variabile esogene sulle endogene, ovvero, qualora sia presente tale distinzione, la somma degli effetti diretti ed indiretti. Gli effetti complessivi di HRM su TQM e JIT sono esattamente pari alla stima dei coefficienti γ_{11} e γ_{21} in quanto non si è ipotizzata alcuna relazione indiretta tra i presenti costrutti. L'effetto complessivo di HRM su PERFORMANCE è invece calcolato come somma dei due effetti base della scomposizione. Il modello stimato supporta quindi

l'ipotesi di ricerca 2^A all'interno della quale si supponeva un legame complessivo positivo tra i due costrutti. Tale legame complessivo inoltre può essere scomposto in un legame diretto (significativo ad un livello di confidenza del 10% e rappresentato dalla stima del parametro γ_{31}) e in un legame indiretto, presentato nella seconda sezione della tabella sovrastante. La stima dell'effetto indiretto è ottenuta sommando i coefficienti rappresentanti tutti i possibili percorsi congiungenti i due costrutti:

$$\text{Effetto indiretto stimato di HRM su PERFORMANCE} = \widehat{\gamma}_{11}\widehat{\beta}_{31} + \widehat{\gamma}_{21}\widehat{\beta}_{32}$$

L'ipotesi 2^B inerente la scomposizione dell'effetto di HRM sulle performance operative è quindi supportata dal modello specificato. La terza sezione della tabella corrisponde agli effetti complessivi delle variabili endogene sulle variabili endogene stesse e corrisponde esattamente alla stima della matrice **B**.

Il modello appena discusso permette di testare le ipotesi 1, 2^A, 2^B e 3^A ma non consente di testare l'ipotesi teorica di un effetto del *bundle* TQM sul costrutto JIT, ovvero l'esistenza di un impatto indiretto di TQM sulle performance operative. Analizzando i *modification index* calcolati in relazione al *Modello 4* si osserva un valore significativo ad un livello di confidenza del 10% in relazione al suddetto legame.

	MI PER LA MATRICE B		
	TQM	JIT	PERFORMANCE
TQM	--	3.66	3.66
JIT	3.66	--	3.66
PERFORMANCE	--	--	--

Tabella 5.11: *Modification index per le matrici B (Modello 4).*

Ricordando che gli indici di modifica altro non sono che test dei moltiplicatori di Lagrange e quindi che la relativa statistica test si distribuisce sotto H_0 secondo una distribuzione χ^2 con un grado di libertà, si può osservare come essi presentino un valore significativo ad un livello di confidenza del 10% in relazione al parametro che lega i costrutti TQM e JIT. Si osservi come la direzione della causalità non viene distinta dal modello e deve necessariamente essere ipotizzata dal ricercatore. Per questo motivo, dati gli studi presenti in letteratura, si è deciso di procedere con la stima di un modello che preveda un nesso causale che parte dal costrutto TQM per arrivare a JIT. La scelta di questa precisa direzione del legame deriva dal fatto che il costrutto JIT fa riferimento ad una serie di

tecniche che riguardano propriamente la sezione produttiva aziendale (riduzione tempi di set up, livellamento della produzione, layout, etc.) mentre le tecniche incluse nel *bundle* TQM sono più organizzative e mirate alla prevenzione degli errori (controllo statistico di processo, TPM, etc.). E' intuitivo pensare quindi che queste ultime permettano di creare un ambiente idoneo alla migliore applicazione di pratiche più strettamente a carattere produttivo.

La specificazione grafica del modello con la nuova formulazione è presentata nel *Grafico 5.7*.

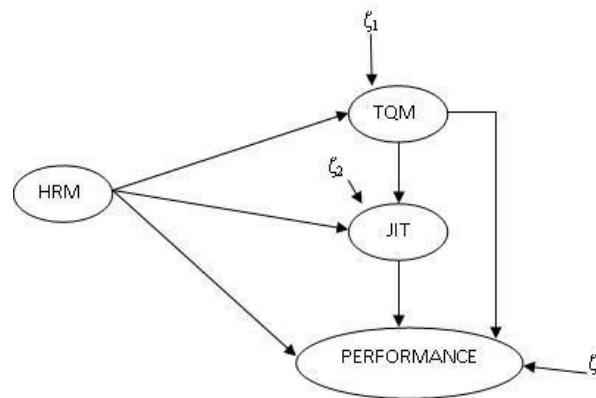


Grafico 5.7: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis (Modello 5).

Il modello sopra presentato è definito, secondo la terminologia dei modelli di equazione strutturale, come ricorsivo. Due sono le principali caratteristiche di un modello di questo tipo: la matrice \mathbf{B} è sub diagonale mentre la matrice Ψ è diagonale. La prima condizione richiede alla matrice \mathbf{B} di presentare coefficienti diversi da zero solamente nel triangolo inferiore (che deve essere pieno). Questo comporta l'esistenza di una sequenza gerarchica tra le variabili endogene per la quale sono possibili nessi causali a partire dalle variabili che precedono verso quelle che seguono, ma non viceversa (se ciò si verificasse comparirebbero dei β diversi da zero anche nel triangolo superiore della matrice \mathbf{B}). La seconda condizione, ovvero che Ψ sia diagonale, sta ad indicare la presenza di errori nelle equazioni (ζ) incorrelati. Se viene meno solo la seconda condizione si rientra nella classe dei modelli definiti parzialmente ricorsivi (Bollen, 1989) o gerarchici non ricorsivi (Hanushek e Jackson, 1977) che sono abbastanza frequenti nei modelli basati su dati di panel. Se invece viene meno la prima condizione si ricade nella grande classe dei modelli non ricorsivi che prevedono l'esistenza di causazione reciproca (retroazione o ciclo) tra le variabili.

La specificazione del *Modello 5* corrisponde ad un modello ricorsivo completo in quanto la matrice \mathbf{B} è sub diagonale non presentando alcuna restrizione al di sotto della diagonale principale, $\mathbf{\Gamma}$ è piena e $\mathbf{\Psi}$ diagonale. Un modello strutturale di questo tipo è esattamente identificato e di conseguenza le differenze tra correlazioni osservate ed attese dipende completamente dalla specificazione del modello di misura (similmente a quanto era accaduto nella specificazione del *Modello 1*). Anche in questo caso quindi gli indici di adattamento ai dati per il *Modello 5* sono esattamente gli stessi calcolati a seguito della stima del modello di analisi fattoriale complessiva in relazione ai tre *bundles* e alle performance operative (e di conseguenza analoghi a quanto emerso per il *Modello 1*).

La differenza tra i valori della statistica Chi-quadro stimata per il *Modello 4* e il *Modello 5* risulta essere pari a

$$c_0 - c_1 = 330.75 - 327.06 = 3.69 \quad (p\text{-value} = 0.055).$$

Il test del rapporto di verosimiglianza (equivalentemente a quanto emerso attraverso l'analisi dei *modification index*) porta al rifiuto, ad un livello di confidenza del 10%, dell'ipotesi nulla di uguaglianza a zero della differenza tra le due statistiche Chi-quadro (il *p-value* risulta essere inoltre molto vicino alla soglia di rifiuto ad un livello di confidenza del 5%). Tale evidenza sta a significare che la liberazione del parametro β_{21} ha condotto alla specificazione di un modello che presenta un adattamento complessivo ai dati statisticamente migliore rispetto al modello nel quale lo stesso parametro era ristretto a zero.

Accettata la formulazione del modello è ora possibile analizzare più da vicino le stime dei parametri strutturali (anche in questo caso i *factor loadings* risultano tutti altamente significativi).

		MATRICE BETA			MATRICE GAMMA
		TQM	JIT	PERFORMANCE	HRM
TQM	Stima	--	--	--	0.78
	St. error				(0.14)
	Statistica t				5.47
JIT	Stima	0.25	--	--	0.70
	St. error	(0.13)			(0.17)
	Statistica t	1.94			4.07
PERFORMANCE	Stima	0.18	0.24	--	0.36
	St. error	(0.12)	(0.12)		(0.17)
	Statistica t	1.46	2.08		2.08

Tabella 5.11: Stime, standard error e statistiche t delle matrici **B** e **Γ** (Modello 5).

Come è possibile osservare dalla tabella sovrastante la stima del parametro liberato risulta significativa ad un livello di confidenza del 10%. L'unico parametro che non risulta essere significativo ad un livello del 10% risulta essere β_{31} . Tale coefficiente indica il rapporto diretto esistente tra il *bundle* TQM e le performance operative. L'indicazione portata dai dati è chiara: l'applicazione delle tecniche connesse alla gestione della qualità totale (e quindi alla prevenzione degli errori) non consente all'azienda adottante un miglioramento diretto delle performance operative. Tale evidenza sembra quindi seguire quel filone di ricerca incentrato sullo studio degli effetti indiretti e complementari di tale costrutto piuttosto che sulle implicazioni dirette.

Prima di procedere con un'analisi approfondita dei risultati in vista delle ipotesi di ricerca presentate nel *Capitolo 2* si stima ora un modello caratterizzato dalla restrizione a zero del parametro β_{31} .

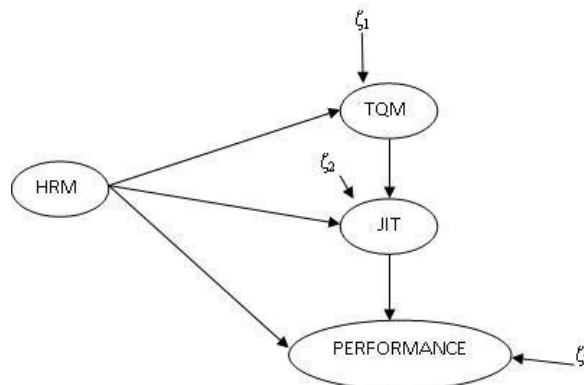


Grafico 5.8: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis (Modello 6).

I valori assunti dagli indicatori di adattamento (*Tabella 5.12*) del modello ai dati non subiscono variazioni di rilievo rispetto alla specificazione denominata *Modello 5*.

Misure statistiche	Valore per il modello	Valore di close fit
χ^2 -statistica test (df)	329.13 (225) p-value = 0.00	NA
RMSEA, stima puntuale	0.043	≤ 0.08
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.031 ; 0.054)	0.00 ; 0.08
p-value H_0 : close fit (RMSEA ≤ 0.5)	0.86	≥ 0.05
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.066	≤ 0.1
Goodness of fit index (GFI)	0.89	≥ 0.9
Non-normed fit index (NNFI)	0.96	≥ 0.9
Comparative fit index (CFI)	0.96	≥ 0.9
Incremental fit index (IFI)	0.96	≥ 0.9
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.46	≤ 3
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.79	≥ 0.7

Tabella 5.12: Indici di adattamento ai dati (Modello 6).

La differenza tra i valori della statistica Chi-quadro stimata per il *Modello 5* ed il *Modello 6* risulta essere pari a

$$c_0 - c_1 = 329.13 - 327.06 = 2.07 \quad (p\text{-value} = 0.15).$$

Il test del rapporto di verosimiglianza non permette di rifiutare, anche ad un livello di confidenza del 10%, l'ipotesi nulla di uguaglianza a zero della differenza tra le due statistiche Chi-quadro. Il risultato del test (in linea con quanto emerso dal precedente test di Wald) permette di accettare il modello più semplice (*Modello 6*) in quanto esso non comporta un aumento significativo della statistica Chi-quadro.

E' possibile quindi affermare che la ricerca di specificazione condotta ha portato alla formulazione di un modello che ben si adatta ai dati e che risulta in linea con la teoria sottostante i rapporti tra *lean bundles* e performance operative. Il modello conclusivo di interesse ed oggetto di un'analisi più approfondita nel corso del successivo paragrafo fa quindi riferimento alla formulazione denominata *Modello 6* e rappresentata nel *Grafico 5.8*.

Per concludere si presentano qui brevemente le stime dei parametri in relazione alla specificazione del *Modello 6*.

		MATRICE BETA			MATRICE GAMMA
		TQM	JIT	PERFORMANCE	HRM
TQM	<i>Stima</i>	--	--	--	0.80
	<i>St. error</i>				(0.14)
	<i>Statistica t</i>				5.56
JIT	<i>Stima</i>	0.25	--	--	0.69
	<i>St. error</i>	(0.13)			(0.17)
	<i>Statistica t</i>	1.96			3.98
PERFORMANCE	<i>Stima</i>	--	0.28	--	0.48
	<i>St. error</i>		(0.11)		(0.16)
	<i>Statistica t</i>		2.44		3.04

Tabella 5.13: *Stime, standard error e statistiche t delle matrici B e Γ (Modello 6).*

Tale specificazione porta ad una stima altamente significativa in relazione a ciascun legame ipotizzato tra il *bundle* HRM ed i restanti costrutti. Anche la stima dell'impatto complessivo del costrutto JIT sulle performance operative porta a risultati coerenti con il rifiuto dell'ipotesi nulla di nullità del parametro in esame. Il parametro β_{21} presenta inoltre una stima ed uno standard error associato che permettono il rifiuto di nullità dello stesso al limite della soglia implicata da un livello di confidenza pari a 0.05.

5.2.2 – VERIFICA DELLE IPOTESI DI RICERCA: IMPLICAZIONI MANAGERIALI

Per concludere si discutono ora i risultati di stima derivati dalla specificazione del *Modello 6*, il tutto affiancato dalle ipotesi di ricerca iniziali.

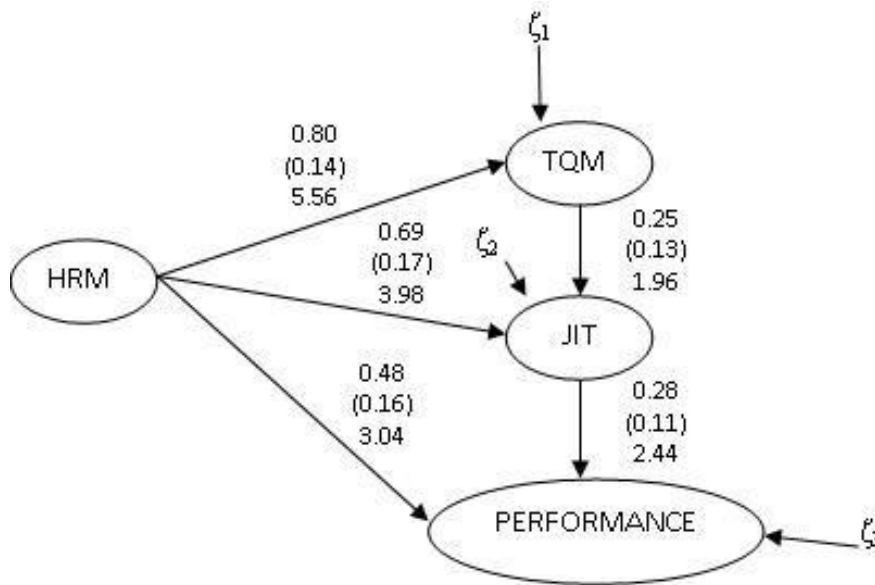


Grafico 5.9: Rappresentazione mediante la simbologia della path analysis della formulazione denominata *Modello 6*, corredata delle stime dei parametri strutturali con rispettivi standard error (tra parentesi) e statistiche *t*.

La matrice Γ permette di definire i rapporti esistenti tra il *bundle* HRM e i rimanenti fattori, mentre le stime dei parametri contenute all'interno delle matrici \mathbf{B} permettono di definire:

- l'impatto complessivo che il *bundle* JIT ha sul costrutto PERFORMANCE;
- l'effetto diretto ed indiretto (mediato da JIT) che il *bundle* TQM ha sul costrutto PERFORMANCE.

La prima ipotesi della presente ricerca, a seguito della definizione dei *lean bundles*, risulta essere

IPOTESI 1 : Il *bundle* denominato JIT ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

Il parametro β_{32} corrisponde esattamente alla definizione del legame implicato nell'ipotesi 1. La specificazione del modello selezionato porta quindi ad una conferma

della prima ipotesi di ricerca, in quanto il parametro che spiega la relazione di causalità complessiva tra JIT e performance operative presenta una stima positiva (il cui valore è 0.28) e significativa ad un livello di confidenza del 5%. Di conseguenza l'implementazione delle tecniche convogliate all'interno di tale *bundle* comporta all'azienda un miglioramento significativo delle performance in termini di costi unitari, qualità, velocità, affidabilità e flessibilità. Il miglioramento di questo tipo di performance è da collegarsi principalmente allo scorrere del flusso di prodotti e di informazioni garantito dall'implementazione di tali tecniche.

Il costrutto JIT rappresenta un insieme di pratiche propriamente operative che per essere efficacemente ed efficientemente applicate debbono necessariamente essere inserite all'interno di un pensiero snello di ampia portata. Per questo motivo molti autori affermano che requisiti essenziali per l'applicazione del JIT stesso risultano essere una corretta gestione del personale e un'attenzione sempre maggiore alla qualità dei prodotti. Queste due ipotesi si traducono in termini modellistici tramite l'assunzione di nessi causali che, partendo dal costrutto HRM e TQM, terminano la loro corsa nel fattore JIT (parametri γ_{21} e β_{21}). Il modello stimato supporta nettamente la prima delle ipotesi suddette: il coefficiente che lega causalmente HRM e JIT presenta un valore di stima puntuale pari a 0.69 con rispettiva statistica *t* uguale a 3.98. Tale valore porta ad un deciso rifiuto dell'ipotesi nulla di nullità di tale parametro. Il rapporto di causazione che lega tra di loro i costrutti TQM e JIT è anch'esso supportato dai dati ad un livello di confidenza del 5%: la statistica test *t* relativa al parametro β_{21} è infatti pari a 1.96, valore posizionato esattamente sulla soglia di rifiuto di H_0 ad un livello del 5%. L'evidenza a favore dell'esistenza di tale legame è meno forte rispetto a quanto emerso per il costrutto HRM dato il valore assunto dalla statistica test. Questi risultati evidenziano come l'applicazione delle tecniche collegate alla logica del JIT richiede un ambiente di base idoneo alle stesse. L'implementazione completa di queste ultime potrà avvenire quindi solamente a seguito di una corretta gestione del personale, grazie alla quale si otterrà il coinvolgimento dei dipendenti, uno scambio continuo di opinioni tra diversi livelli gerarchici e un atteggiamento volto al miglioramento continuo (necessario per una sempre migliore gestione del flusso), e a seguito di un'attenta prevenzione degli errori che garantirà sempre minori inceppamenti e permetterà il raggiungimento di una completa gestione *pull* della produzione.

Alcuni autori ipotizzano inoltre una relazione analoga a quanto appena visto anche tra i costrutti HRM e TQM: affinché le pratiche di gestione della qualità siano pienamente applicate in ambito aziendale è necessario predisporre di un ambiente idoneo, in termini di

risorse umane, al fine dell'efficacia delle stesse. Tale rapporto, secondo la terminologia del modello di equazioni strutturali formulato, è rappresentato dal parametro γ_{11} . La stima di tale parametro ha condotto ad un valore pari a 0.80 con una statistica *t* uguale a 5.56 ed indicante un netto rifiuto dell'ipotesi nulla di non significatività.

Le rimanenti quattro ipotesi sono state nel corso della presente trattazione così formulate:

IPOTESI 2^A : Il *bundle* denominato HRM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 2^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato HRM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* HRM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto TQM;
3. il *bundle* HRM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

IPOTESI 3^A : Il *bundle* denominato TQM ha un effetto complessivo positivo sulle performance operative aziendali.

IPOTESI 3^B : La relazione positiva tra il *bundle* denominato TQM e le performance operative è scomponibile in tre effetti distinti:

1. il *bundle* TQM ha un impatto diretto sulle performance operative;
2. il *bundle* TQM ha un impatto indiretto sulle performance operative, mediato dal costrutto JIT.

Le matrici dei parametri strutturali contengono al loro interno le stime dei legami diretti ipotizzati tra i costrutti HRM, TQM e le performance. L'impatto causale diretto di una corretta gestione del personale è stimato tramite il parametro γ_{31} la cui stima puntuale risulta essere pari a 0.48. Il test per la verifica della significatività del parametro stesso porta ad un rifiuto dell'ipotesi nulla anche ad un livello di confidenza del 5% (statistica *t* = 3.04). L'interpretazione in chiave manageriale di tale risultato risiede nel fatto che l'implementazione di tecniche quali la formazione multi-funzione del personale, la creazione di gruppi per il miglioramento e la ricerca di un rapporto collaborativo con i dipendenti porta con sé un miglioramento di performance legate al costo unitario, alla qualità, all'affidabilità, alla velocità e alla flessibilità. La stima di un legame diretto significativo sta in ultima analisi a significare che un dato stabilimento aderente alle

logiche HRM, al netto dell'applicazione di qualsiasi altra tecnica snella, può raggiungere performance operative superiori rispetto a stabilimenti non interessati a tale metodologia gestionale.

Anche in relazione al fattore TQM il modello permette di stimare l'impatto diretto dello stesso sulle performance operative. La formulazione denominata nel paragrafo precedente *Modello 5* comprendeva infatti anche il parametro β_{31} corrispondente a tale rapporto diretto. La stima di tale modello ha condotto all'accettazione dell'ipotesi nulla di uguaglianza a zero di tale parametro, così che si è giunti alla specificazione del *Modello 6* comprendente una restrizione a zero per lo stesso. Queste considerazioni evidenziano come i dati portino una chiara indicazione verso la non esistenza di un legame diretto tra il costrutto TQM e le performance operative oggetto di studio. In termini manageriali si ha quindi che l'applicazione di tecniche quali il *poka yoke*, il controllo statistico di processo, il TPM e la gestione di macchinari proprietari non porta direttamente ad un miglioramento delle performance operative aziendali. In altre parole l'applicazione di tali tecniche non aiuta la riduzione dei costi unitari di produzione (molti autori hanno evidenziato come, almeno nei primi tempi di applicazione, queste tecniche possano invece implicare costi elevati), l'aumento della velocità e dell'affidabilità (inizialmente la gestione attenta di qualsiasi tipologia di errore, corredata con la ricerca di soluzioni per gli stessi, può comportare una dilatazione del *lead time* e quindi un ritardo rispetto ai tempi di consegna accordati).

Le ipotesi inerenti la scomposizione degli effetti causali complessivi dei tre *lean bundles* sulle performance operative portano in gioco il cosiddetto rapporto di mediazione tra due costrutti. Si parla di rapporto di mediazione (o, alternativamente, di legame indiretto) quando il legame causale tra due variabili è costruito a partire dai legami esistenti tra di esse ed una terza variabile mediatrice.

L'analisi delle matrici **B** e **Γ** stimate ha quindi permesso di validare le ipotesi teoriche in merito all'esistenza di un effetto complessivo del *bundle* JIT sulle performance operative, e di iniziare ad analizzare in dettaglio le rimanenti relazioni causali, permettendo di confermare l'esistenza di legami tra HRM, TQM e JIT (a supporto delle ipotesi teoriche che idealizzano i primi due gruppi di pratiche come fondamenta e condizione necessaria per l'implementazione di tutte le logiche collegate al JIT e al TQM). Si è inoltre evidenziata l'esistenza di un rapporto di causazione diretta tra la gestione delle risorse umane e i risultati aziendali in esame. Gli obiettivi della presente ricerca vanno oltre questi

primi risultati, fino ad arrivare ad una scomposizione completa dei legami di interesse manageriale. Al fine di rispondere a tutti gli interrogativi posti a livello teorico tramite un'attenta analisi della letteratura, si analizzano ora le stime degli effetti complessivi ed indiretti implicati dal modello (Tabella 5.14).

	EFFETTI COMPLESSIVI DI ξ SU η			EFFETTI INDIRETTI DI ξ SU η		
	HRM			HRM		
TQM	0.80 (0.14) 5.56			--		
JIT	0.90 (0.15) 6.16			0.20 (0.10) 1.98		
PERFORMANCE	0.73 (0.12) 5.93			0.25 (0.10) 2.42		
	EFFETTI COMPLESSIVI DI η SU η			EFFETTI INDIRETTI DI η SU η		
	TQM	JIT	PERFORMANCE	TQM	JIT	PERFORMANCE
TQM	--	--	--	--	--	--
JIT	0.25 (0.13) 1.96	--	--	--	--	--
PERFORMANCE	0.07 (0.05) 1.50	0.28 (0.11) 2.44	--	0.07 (0.05) 1.50	--	--

Tabella 5.14: Effetti complessivi ed indiretti stimati (Modello 6).

Accanto ad un legame diretto tra pratiche inerenti la logica della gestione delle risorse umane e le performance, esistono anche dei percorsi causali alternativi che collegano i due costrutti e che chiamano in gioco i *bundles* TQM e JIT nel ruolo di mediatori. Si è infatti visto come i dati supportino il fatto che una corretta gestione delle risorse umane permetta una più facile applicazione delle restanti tecniche snelle oggetto di studio, così come un'intensa attenzione rivolta alla prevenzione degli errori possa facilitare il corretto funzionamento, in un'ottica *lean*, delle fasi produttive. Questi effetti "di contorno" (ovvero aspetti che non direttamente impattano le relazioni tra *lean bundles* e performance), combinandosi con i legami diretti analizzati precedentemente, portano alla definizione degli effetti indiretti e complessivi di HRM su PERFORMANCE.

In termini grafici, per giungere al fattore PERFORMANCE partendo dal costrutto HRM si possono seguire i seguenti percorsi alternativi:

- legame diretto tra i due costrutti (rappresentato dal coefficiente γ_{31});
- legame indiretto mediato dal solo costrutto TQM (calcolato, secondo le formule presentate in *Tabella 5.2*, come $\gamma_{11}\beta_{31}$);
- legame indiretto mediato dal solo costrutto JIT (calcolato come $\gamma_{21}\beta_{32}$);
- legame indiretto mediato da entrambi i rimanenti costrutti, dato il legame di causazione ipotizzato tra TQM e JIT (calcolato come $\gamma_{11}\beta_{21}\beta_{32}$).

La somma degli ultimi tre legami forma complessivamente quello che in *Tabella 5.14* è denominato Effetto Indiretto. E' opportuno osservare come in realtà il secondo percorso possibile porti ad una quantificazione dello stesso pari a zero data la restrizione del parametro β_{31} per le ragioni sopra discusse. La stima complessiva del legame indiretto che collega HRM e performance operative è pari a 0.25 e risulta significativa ad un livello di confidenza del 5%. Sommando effetto diretto ed indiretto si ottiene quanto, nella terminologia dei modelli di equazioni strutturali, è detto effetto complessivo. In questo caso la stima di quest'ultimo risulta pari a 0.73 e porta ad un netto rifiuto dell'ipotesi di nullità. A questo punto è possibile concludere che anche le ipotesi 2^A e 2^B risultano essere supportate dai dati. Uno stabilimento, dal momento in cui deciderà di adottare le tecniche HRM vedrà aumentare le proprie performance operative grazie ad una gestione più efficace delle risorse umane a disposizione. L'applicazione di tali tecniche contribuirà inoltre alla costruzione di un ambiente idoneo all'adozione di ulteriori pratiche snelle collegate a diversi aspetti gestionali e produttivi. I due effetti distinti, combinandosi, contribuiranno quindi ad un effetto complessivo positivo in relazione a tale scelta gestionale.

In relazione al costrutto TQM si ha invece che la relazione esistente tra lo stesso e il fattore PERFORMANCE può essere composta in:

- legame diretto tra i due costrutti (rappresentato dal coefficiente β_{31});
- legame indiretto mediato dal costrutto JIT (calcolato come $\beta_{21}\beta_{32}$).

L'effetto indiretto esistente tra i due costrutti è stimato essere pari a 0.07 con una statistica test t collegata uguale a 1.50. Tale risultato porta al non rifiuto dell'ipotesi nulla di uguaglianza a zero di tale valore anche ad un livello di confidenza del 10%. Precedentemente si era visto come l'effetto che il TQM esercitava sul JIT risultava essere

significativo (con un valore della statistica t sulla soglia della regione di rifiuto ad un livello di confidenza del 5%). Si ha quindi che, benché le tecniche connesse alla logica TQM sembrano essere un prerequisito necessario all'implementazione delle pratiche JIT, tale rapporto di causazione non è comunque così forte da implicare una stima significativa di un impatto indiretto delle prime sulle performance operative. Data inoltre la restrizione a zero del parametro β_{31} tale legame indiretto rappresenta l'unico percorso causale formulato tra i due costrutti e coincide dunque con l'effetto complessivo di TQM su PERFORMANCE. In questo caso i dati non sembrano quindi convalidare l'ipotesi 3^B indicante l'esistenza di entrambi i rapporti causali appena discussi. Tali evidenze sembrano essere in linea con gli studi proposti da Flynn, Sakakibara e Schroeder (1995) e Powell (1995). L'adozione delle pratiche TQM quindi, pur non presentando una qualche forma di impatto sulle performance operative, risulta comunque indispensabile per l'implementazione delle tecniche JIT.

Le relazioni che esistono invece tra TQM, performance operative e JIT, almeno dal punto di vista teorico, sembrano in realtà essere più complesse rispetto a quanto previsto dal modello formulato. Molti autori (tra i quali *Flynn, Schroeder e Sakakibara, 1995*) hanno proposto una relazione reciproca (detta nella terminologia dei modelli non ricorsivi *feedback*) tra i due costrutti: non esisterebbe infatti una direzione precisa di causalità tra i due *bundles* in quanto una corretta implementazione delle pratiche TQM comporta la creazione di un ambiente atto all'applicazione delle pratiche JIT; contemporaneamente l'applicazione in profondità di tecniche collegate alla gestione del flusso produttivo (quali livellamento della produzione, riduzione dei tempi di set up, etc.) porta ad un più efficace controllo e gestione degli errori, il tutto all'interno di un circolo virtuoso. Altri autori (ad esempio *Cua, McKone, Schroeder, 2001*) più che di effetto di moderazione tra i due costrutti parlano di effetto di mediazione: tali studi dimostrano che il TQM sembra impattare non tanto sulle tecniche collegate al JIT stesso (effetto di mediazione) quanto piuttosto sul rapporto che esse stesse hanno con le performance aziendali (teoria della complementarità). In altre parole l'adozione di tecniche di prevenzione e gestione degli errori permette di consolidare l'effetto positivo che le pratiche JIT hanno sulle performance aziendali.

Tutti questi studi, compresa la presente ricerca, inerenti il ruolo giocato da ciascun *bundle* nella definizione delle prestazioni di un dato stabilimento, risultano in linea con l'ormai consolidata ipotesi sull'esistenza di una sinergia tra le diverse tecniche *lean* tale per cui

l'implementazione congiunta di più tecniche porta ad ottenere ritorni marginali superiori rispetto all'applicazione isolata di ciascuna di esse.

5.3 – APPROFONDIMENTI

Nel corso dell'intera trattazione si sono evidenziate alcune problematiche strettamente statistiche emerse nella formulazione dei modelli di equazioni strutturali. Tali problematiche hanno riguardato dapprima la scelta di considerare, per facilità di interpretazione, la matrice di correlazione piuttosto che la matrice di covarianza. La costruzione di tale matrice ha poi direttamente indotto ad una scelta tra le diverse modalità di trattazione dei dati mancanti. L'intera struttura modellistica si basa inoltre su una serie di assunzioni tra le quali si annovera la multi normalità delle variabili osservate. Le variabili a disposizione presentano una distribuzione che corrisponde a quanto richiesto per la robustezza delle stime di massima verosimiglianza (tali condizioni sono state tratte da alcuni studi di simulazione condotti da diversi autori). Il presente paragrafo ha come obiettivo quello di chiarire ulteriormente queste tematiche, specificando soluzioni alternative e dimostrando la robustezza del metodo utilizzato.

5.3.1 – MATRICE DI VARIANZA-COVARIANZA E MATRICE DI CORRELAZIONE

La procedura di stima di massima verosimiglianza, per i modelli di equazioni strutturali non comprendenti restrizioni sulle medie e riferiti ad un singolo campione, accettano come dati di input sia la matrice di covarianza che la matrice di correlazione tra le variabili osservate. In letteratura esistono opinioni differenti in merito all'impatto che l'utilizzo di una matrice piuttosto che l'altra può avere nella stima della statistica Chi-quadro. Jöreskog e Sörbom (1986) sostengono che la stima della statistica Chi-quadro non risulta essere accurata quando viene analizzata la matrice di correlazione. Basandosi sui lavori di simulazione, al contrario, Boomsma (1983) afferma che "Sotto condizioni di invarianza, standardizzando le variabili osservate, imponendo alla varianza delle stesse di essere pari ad 1, l'uso della matrice di correlazione non impatta sull'accuratezza della stima della statistica Chi-quadro utilizzata come indicatore di bontà di adattamento del modello ai dati". Le condizioni di invarianza sono violate quando, ad esempio, i *factor loadings* o le

varianze dei termini di errore sono imposti essere uguali. L'analisi della matrice di correlazione, piuttosto che della matrice di covarianza, rispetto a modelli invarianti porta, in un dato campione, alla stima della stessa statistica Chi-quadro. Il problema emerge invece se la matrice di correlazione viene utilizzata come base di stima in modelli inerenti campioni casuali indipendenti.

Poiché nel caso in esame le condizioni di invarianza sono soddisfatte, sia in termini di analisi fattoriale esplorativa che di modello più generale, la stima dei parametri strutturali avrà come base la matrice di correlazione, data l'immediatezza di interpretazione dei valori in essa contenuti.

A conclusione del processo di ricerca si è quindi deciso di stimare il modello conclusivo (denominato al paragrafo precedente *Modello 6*) a partire dalla matrice di covarianza dei dati. Il risultato ottenuto risulta pienamente in linea con la teoria proposta da Boomsma. Mettendo infatti a confronto i valori dei vari indici di adattamento nei due modelli si può osservare come essi siano esattamente gli stessi ad eccezione della statistica Chi-quadro che presenta un valore leggermente inferiore nel modello basato sulla matrice di covarianza, senza per questo inficiare le conclusioni fatte e i risultati ottenuti.

Misure statistiche	Correlazione	Covarianza
χ^2 -statistica test (df)	329.13 (225)	328.85 (225)
RMSEA, stima puntuale	0.043	0.043
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.031 ; 0.054)	(0.031 ; 0.054)
p-value H_0 : close fit (RMSEA \leq 0.5)	0.86	0.86
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.066	0.066
Goodness of fit index (GFI)	0.89	0.89
Non-normed fit index (NNFI)	0.96	0.96
Comparative fit index (CFI)	0.96	0.96
Incremental fit index (IFI)	0.96	0.96
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.46	1.46
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.79	0.79

Tabella 5.15: Indici di adattamento ai dati per il Modello 6 stimato a partire dalla matrice di correlazione e di covarianza delle variabili osservate.

I valori stimati per i parametri strutturali sono esattamente gli stessi, così come i rispettivi standard error. Gli unici parametri per cui si osservano leggere modifiche in relazione alle

stime puntuali risultano essere i *factor loadings* che tuttavia rimangono tutti ancora altamente significativi.

5.3.2 – TRATTAZIONE DATI MANCANTI

Il calcolo della matrice di correlazione ha messo in luce un secondo problema inerente ai numerosi dati mancanti presenti nelle due variabili di controllo (poi escluse dal modello finale per la non significatività dei parametri da esse coinvolti) e negli item misuranti le performance operative. Mentre nel primo caso è apparso opportuno, anche in relazione alla distribuzione delle stesse variabili all'interno del campione in funzione del Paese di appartenenza dello stabilimento, forzare i dati mancanti con le medie condizionate al Paese stesso, nel caso degli item collegati alle performance non è stato possibile seguire una simile strategia poiché non erano riscontrabili nel campione gruppi omogenei in funzione di una qualche variabile osservata. Le modalità di trattazione di dati mancanti di questo tipo sono principalmente due: eliminazione *listwise* e *pairwise*. I modelli sin qui presentati sono stati stimati avendo come base la matrice di correlazione tra le variabili osservate calcolata tramite il metodo di eliminazione *listwise*. Tale scelta deriva dal fatto che alcuni autori sostengono la robustezza del metodo di stima (in termini di consistenza asintotica) a tale tipologia di trattazione dei dati mancanti, non garantita invece se si utilizza un'esclusione di tipo *pairwise* (data la variabilità della numerosità campionaria utilizzata per il calcolo di ciascun elemento della matrice).

Tutti i modelli sin qui presentati sono stati ristimati utilizzando come dato di input la matrice di correlazione delle osservate calcolata tramite eliminazione *pairwise*. Tali stime sono state inoltre condotte utilizzando due diverse numerosità campionarie (ovvero i modelli stimati presentano due diversi valori di N in input al programma LISREL pur presentando la matrice di correlazione calcolata tramite eliminazione *pairwise* come base di stima): dapprima si è fissato N pari alla numerosità complessiva del campione dei rispondenti, ovvero alla numerosità massima ottenibile a seguito dei confronti *pairwise* (N = 238); successivamente le stime sono state calcolate imponendo N pari alla numerosità minima ottenibile da tali confronti a coppie (pari a 215). Le conclusioni tratte a ciascun passo della ricerca di specificazione condotta al paragrafo precedente risultano analoghe a quanto ottenuto tramite eliminazione *listwise*. A scopo illustrativo si presentano qui i risultati inerenti al modello finale.

		Listwise	Pairwise N=215	Pairwise N=238
		HRM	HRM	HRM
TQM	<i>Stima</i>	0.80	0.84	0.84
	<i>St.error</i>	(0.14)	(0.15)	(0.15)
	<i>Statistica t</i>	5.56	5.46	5.75
JIT	<i>Stima</i>	0.69	0.63	0.63
	<i>St.error</i>	(0.17)	(0.18)	(0.17)
	<i>Statistica t</i>	3.98	3.60	3.79
PERFORMANCE	<i>Stima</i>	0.48	0.50	0.50
	<i>St.error</i>	(0.16)	(0.15)	(0.15)
	<i>Statistica t</i>	3.04	3.26	3.44

Tabella 5.16: Confronto tra le stime dei parametri strutturali contenuti all'interno della matrice Γ in relazione al calcolo della matrice di correlazione e della numerosità campionaria tramite tre diverse metodologie.

Le stime puntuali, in relazione alla matrice Γ , rimangono invariate qualora la numerosità campionaria sia fissata pari a 215 o 238, avendo come base la matrice di correlazione ottenuta tramite il metodo di eliminazione *pairwise*. Quello che si osserva è una riduzione degli standard error di ciascuna stima all'aumentare della numerosità campionaria considerata. Tale situazione deriva dal fatto che, imponendo N pari alla numerosità massima ottenibile dai confronti a coppie, si attua un sovradimensionamento di alcune correlazioni calcolate in realtà su un numero inferiore di unità statistiche. Si può inoltre osservare come le conclusioni inferenziali rimangano comunque le stesse in tutti e tre i casi: i parametri che legano il *bundle* HRM ai rimanenti fattori sono tutti altamente significativi.

	Listwise			Pairwise N=215			Pairwise N=238		
	TQM	JIT	PERFORMANCE	TQM	JIT	PERFORMANCE	TQM	JIT	PERFORMANCE
TQM	--	--	--	--	--	--	--	--	--
JIT	0.25	--	--	0.24	--	--	0.24	--	--
	(0.13)			(0.13)			(0.13)		
PERFORMANCE	1.96			1.84			1.94		
		0.28	--		0.28	--		0.28	--
		(0.11)			(0.11)			(0.11)	
		2.44			2.44			2.57	

Tabella 5.17: Confronto tra le stime dei parametri strutturali contenuti all'interno della matrice B in relazione al calcolo della matrice di correlazione e della numerosità campionaria tramite tre diverse metodologie.

Per quanto concerne la stima dei parametri strutturali contenuti all'interno della matrice **B**, non si osservano particolari differenze nei tre approcci al trattamento dei dati mancanti, sia in relazione ai valori puntuali delle stime sia per quanto riguarda i rispettivi standard error.

Misure statistiche	Listwise	Pairwise N=215	Pairwise N=238
χ^2 -statistica test (df)	329.13 (225)	306.44 (225)	339.37 (225)
RMSEA, stima puntuale	0.043	0.038	0.044
RMSEA, intervallo di confidenza a livello del 90%	(0.031 ; 0.054)	(0.025 ; 0.050)	(0.033 ; 0.054)
p-value H_0 : close fit (RMSEA \leq 0.5)	0.86	0.96	0.85
Standardized root mean square residuals (RMR)	0.066	0.065	0.065
Goodness of fit index (GFI)	0.89	0.89	0.89
Non-normed fit index (NNFI)	0.96	0.96	0.95
Comparative fit index (CFI)	0.96	0.97	0.96
Incremental fit index (IFI)	0.96	0.97	0.96
Normed χ^2 (χ^2 / df)	1.46	1.36	1.51
Parsimony normed fit index (PNFI)	0.79	0.79	0.79

Tabella 5.18: Confronto tra i valori degli indici di adattamento ai dati in relazione al calcolo della matrice di correlazione e della numerosità campionaria tramite tre diverse metodologie.

Osservando gli indici di adattamento del modello ai dati si osserva come molti di essi mantengano costanti i valori assunti al variare della metodologia di trattazione dei dati mancanti (GFI, RMR, NNFI, CFI, IFI e PNFI). Le statistiche Chi-quadro e RMSEA presentano invece valori differenti a seconda della metodologia selezionata. Per entrambi gli indici si ha che il miglior adattamento del modello ai dati si riscontra nel momento in cui la matrice di correlazione utilizzata come input considera tutte le informazioni a disposizione (metodo *pairwise*) e la numerosità campionaria è posta uguale a 215. Si osserva inoltre come la metodologia *listwise* presenta valori intermedi per tali indici rispetto ai due estremi derivati dall'eliminazione *pairwise*. In tutti e tre i casi tali indici permettono comunque di non falsificare il modello e quindi di affermare un buon adattamento ai dati dello stesso.

Benché quindi le diverse metodologie di trattazione dei *missing value* portino a stime puntuali e a valori di alcuni indici di adattamento diversi, le conclusioni inferenziali che ne derivano sono le medesime in tutti e tre i casi.

5.3.3 – APPLICAZIONE A VARIABILI ORDINALI

I modelli di equazioni strutturali sono nati originariamente per essere applicati a variabili propriamente metriche, intendo con metrica una variabile caratterizzata dalla presenza di un'unità di misura. Mentre non è in discussione l'inapplicabilità di tali metodi alle variabili di tipo categoriale, la discussione rimane tuttora ancora aperta in relazione al gruppo di variabili definite da Stevens come ordinali. Dalla seconda metà degli anni Sessanta il dissenso sui prerequisiti per l'applicabilità di tali tecniche, quali ad esempio l'analisi fattoriale, a variabili di tipo ordinale è stato costante tra gli studiosi. Tutti sostenevano che teoricamente tali tecniche, fondamentalmente derivate dalla regressione multipla, potevano essere applicate solo a variabili metriche, ma nella pratica il campo si divideva in due grandi fronti: da un lato gli "empiristi" nel contesto applicativo utilizzavano tali tecniche anche a variabili ordinali, dall'altro i "metodologi" criticavano i ricercatori stessi per le licenze concesse in merito ai livelli di misurazione delle variabili. Tale polemica arrivò a risultati concreti solamente alla fine degli anni Settanta grazie ai contributi di Browne (1982, 1984).

Una variabile osservata ordinale Z può essere considerata come una misura grezza di una sottostante variabile latente continua Z^* . Fissando delle soglie per la latente, è possibile supporre che l'ordinale osservata assume determinati valori solo quando la sottostante latente è all'interno di queste soglie, ad esempio l'ordinale assume valore 1 se la sottostante latente si trova all'interno delle soglie α_1 e α_2 . Tale definizione lascia comunque aperto il problema della determinazione delle soglie che sono stimate sotto l'ipotesi che la sottostante latente sia distribuita come una normale standardizzata. Nel caso di due variabili ordinali, si può supporre che le due latenti sottostanti siano distribuite secondo una normale bivariata e stimare il coefficiente di correlazione compatibile con questa ipotesi di distribuzione. Il coefficiente di correlazione così ottenuto è denominato coefficiente di correlazione policorica; se invece la correlazione prende in considerazione una variabile continua e una ordinale allora viene denominata correlazione poliseriale ed infine nel caso di variabili binarie, correlazione tetracorica. Per quanto detto quindi questi tipi di correlazione assumono valori diversi rispetto al coefficiente di Pearson: in generale, benché non costituisca regola universale, il coefficiente di Pearson applicato a variabili ordinali tende a sottostimare la correlazione e quindi a fornire risultati empirici meno soddisfacenti rispetto all'uso delle correlazioni policoriche.

Il procedimento di stima di un modello inerente ad un insieme di variabili osservate ordinali avviene in due stadi:

1. la fase preliminare ha lo scopo, a partire dai dati grezzi, di produrre la matrice delle correlazioni policoriche. Questa prima fase è solitamente condotta tramite l'ausilio del programma PRELIS. Sarà quindi necessario segnalare al programma, per ogni tipo di variabile in input, se si tratta di una variabile metrica o ordinale. A questo punto il programma calcolerà automaticamente, per tutte le coppie, il coefficiente di correlazione di Pearson se le variabili sono entrambe metriche, il coefficiente di correlazione policorica se sono entrambe ordinali e quello di correlazione poliseriale se una è ordinale e l'altra è metrica. PRELIS calcolerà poi una seconda matrice di covarianza asintotica, che servirà a LISREL come matrice di ponderazione per il calcolo dei minimi quadrati ponderati (WLS);
2. il secondo stadio consiste in una classica applicazione dei modelli di equazioni strutturali, dove l'unica differenza consisterà nel segnalare a LISREL che la matrice di input corrisponde ad una matrice di correlazione policorica e che esiste una matrice di correlazione asintotica. La stima del modello non avverrà più tramite il metodo della massima verosimiglianza, ma tramite l'applicazione dei minimi quadrati ponderati (WLS ovvero *Weighted Least Squares*).

La funzione di stima WLS può essere così definita:

$$F_{WLS} = [\mathbf{s} - \boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{\theta})]' \mathbf{W}^{-1} [\mathbf{s} - \boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{\theta})] \quad (5.5)$$

dove \mathbf{s} è un vettore di contenente $\frac{1}{2} (p + q) (p + q + 1)$ elementi ottenuto ponendo gli elementi non ridondanti di \mathbf{S} in un vettore, $\boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{\theta})$ è il corrispondente vettore di $\Sigma(\boldsymbol{\theta})$ e $\boldsymbol{\theta}$ è un vettore di ordine $t \times 1$ di parametri liberi. La matrice \mathbf{W}^{-1} è la matrice di ponderazione. I valori di $\boldsymbol{\theta}$ sono scelti minimizzando la somma delle deviazioni pesate di \mathbf{s} da $\boldsymbol{\sigma}(\boldsymbol{\theta})$. Lo stimatore WLS risulta essere consistente sotto condizioni abbastanza generali. Esso inoltre risulta essere efficiente, all'interno della classe degli stimatori basati sulla funzione di stima (5.5), se \mathbf{W} è una stima consistente della matrice di covarianza asintotica del vettore \mathbf{s} con se stesso. In questo caso gli standard error calcolati sono corretti, così come la stima della statistica Chi-quadro.

Le variabili a disposizione della presente trattazione risultano essere medie di misurazioni su scala di Likert a sette o cinque modalità. Tutte le matrici di correlazione considerate fanno riferimento ai coefficienti di Pearson poiché si è dimostrato come in realtà tali

variabili soddisfino le condizioni che permettono di affermare la robustezza delle stime di massima verosimiglianza (cfr. *Capitolo 3*). In questo caso non è stato possibile calcolare la matrice di correlazione policorica poiché le variabili, essendo medie di osservazioni ordinali, presentavano un numero troppo elevato di categorie se classificate come ordinali. Il programma PRELIS osservando un così elevato numero di modalità assume le variabili come continue e ne calcola le correlazioni di Pearson. Un possibile sviluppo della presente ricerca risiede nella possibilità di disporre del data base contenente le risposte dei singoli Responsabili di stabilimento, costruire le mediane per ciascun item in relazione a ciascuna unità statistica e calcolare su questo nuovo insieme di dati le correlazioni policoriche (le nuove variabili prevedono ora, infatti, un massimo di sette modalità di risposta ciascuna).

APPENDICE A

ANALISI DEI MISSING VALUES IN RELAZIONE AGLI ITEM MISURANTI LE PERFORMANCE OPERATIVE DI STABILIMENTO

Lo scopo del presente capitolo è di discutere brevemente la distribuzione dei dati mancanti in relazione ai cinque item misuranti le performance operative di interesse. Di seguito saranno presentati alcuni grafici illustranti le percentuali di dati mancanti condizionate al Paese di ubicazione dello stabilimento, al settore di appartenenza, all'età e alla dimensione dello stesso. Gli item relativi alla qualità dei prodotti, alla velocità di consegna, alla puntualità e alla flessibilità al cambiamento di volume produttivo presentano valori mancanti per le stesse unità statistiche.

COSTI UNITARI DI PRODUZIONE

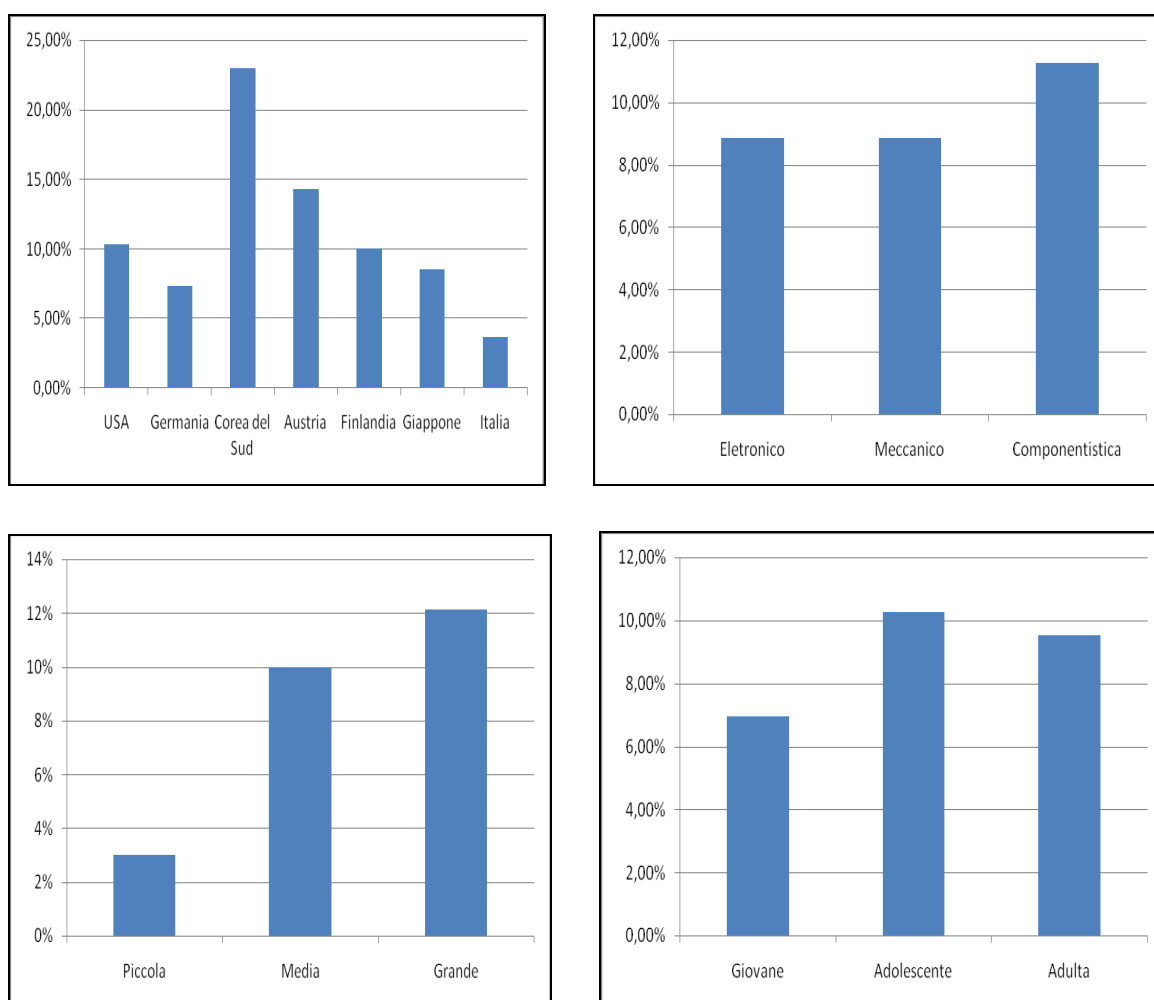


Tabella A.1: Distribuzione dei valori mancanti in relazione all'item GRCPN01.

QUALITA' DEI PRODOTTI, VELOCITA' DI CONSEGNA, FLESSIBILITA' AL VOLUME E PUNTUALITA' DI CONSEGNA

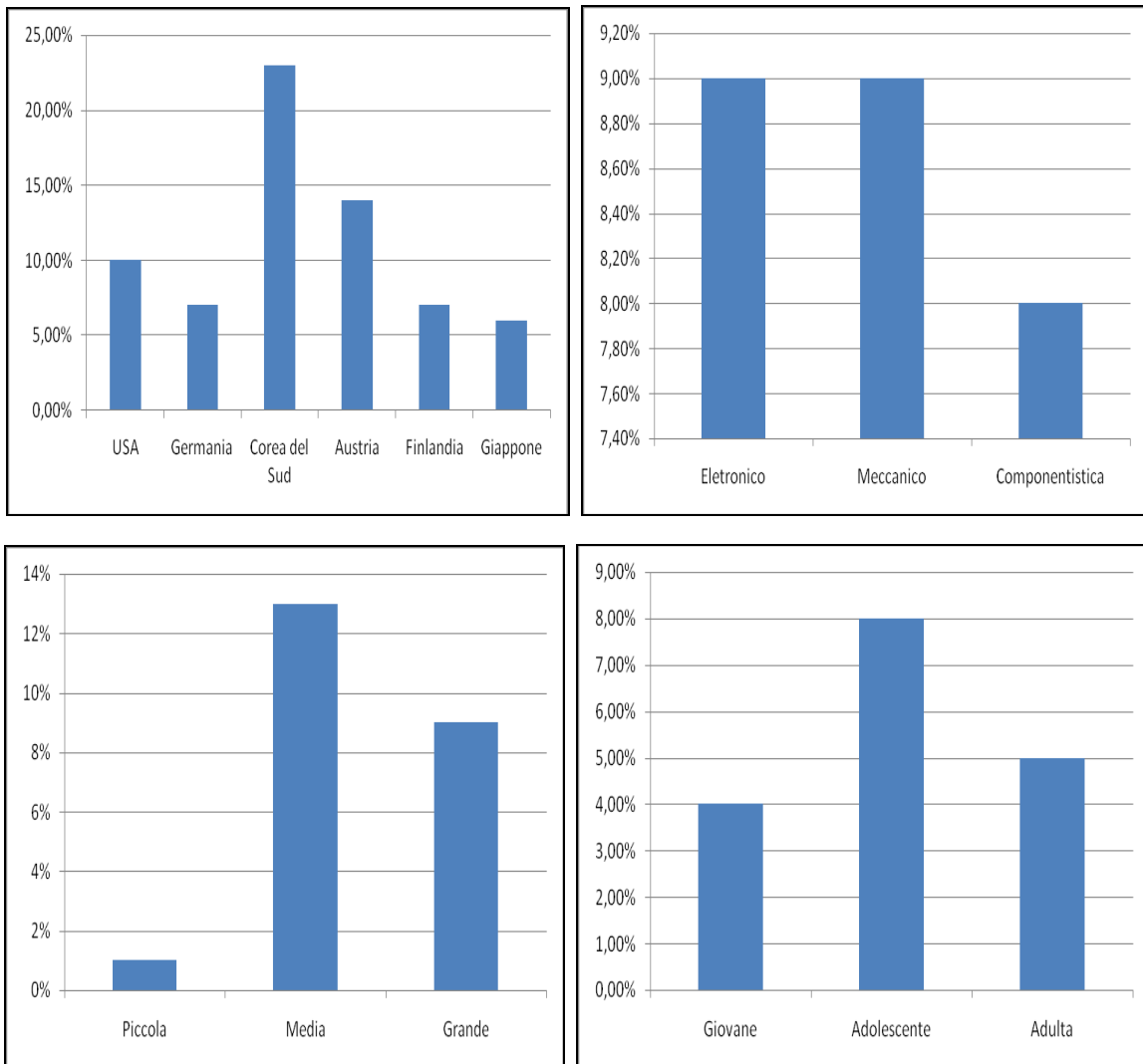


Tabella A.2: Distribuzione dei valori mancanti in relazione all'item GRCPN02, GRCPN03, GRCPN04 e GRCPN06.

Osservando i grafici sopra riportati è possibile osservare come la Corea del Sud sembri essere il Paese che presenta una maggiore percentuale di dati mancanti, mentre per i restanti tali valori si distribuiscono omogeneamente. Il settore di appartenenza degli stabilimenti mostra una distribuzione completamente casuale dei dati mancanti in analisi, così come l'età dello stabilimento. In relazione alla dimensione si ha che nel primo caso la categoria con una percentuale maggiore di dati mancanti comprende le aziende di grandi dimensioni, mentre nel secondo caso sono gli stabilimenti di medie dimensioni a rispondere meno frequentemente agli item di interesse. Nemmeno in questo caso sembra quindi evidenziarsi un andamento sistematico della distribuzione dei dati mancanti, sintomo di un processo di selezione endogena.

APPENDICE B

MATRICE DELLE CORRELAZIONI DI SPEARMAN TRA PRATICHE SNELLE E PERFORMANCE OPERATIVE³⁰

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	--	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10	0.01	0.13	0.03	0.00	0.02	0.97	0.01	0.03	0.15	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.22	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.06	0.03	0.03	0.31	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.17	0.13
3	0.17	0.31	--	0.00	0.00	0.01	0.00	0.21	0.00	0.02	0.01	0.99	0.00	0.01	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.23	0.50	0.41	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.57	0.00	0.03	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
5	0.20	0.31	0.38	0.30	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.01	0.68	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
6	0.11	0.21	0.19	0.23	0.39	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.00	0.05	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.17	0.18	0.26	0.26	0.37	0.41	--	0.00	0.00	0.00	0.02	0.98	0.00	0.18	0.07	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
8	0.10	0.17	0.09	0.20	0.27	0.30	0.33	--	0.00	0.00	0.01	0.78	0.20	0.07	0.48	0.09	0.01	0.06	0.10	0.00	0.15	0.17	0.00
9	0.15	0.15	0.24	0.26	0.37	0.23	0.38	0.32	--	0.00	0.00	0.30	0.09	0.14	0.50	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.19	0.27	0.00
10	0.21	0.20	0.16	0.13	0.28	0.41	0.35	0.33	0.33	--	0.00	0.31	0.00	0.50	0.98	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.03	0.04
11	0.16	0.31	0.17	0.16	0.34	0.16	0.16	0.19	0.26	0.32	--	0.06	0.00	0.00	0.71	0.00	0.00	0.00	0.09	0.33	0.01	0.01	0.01
12	0.00	0.13	0.00	0.04	0.11	0.11	0.00	0.02	0.07	0.07	0.13	--	0.00	0.07	0.09	0.00	0.00	0.00	0.02	0.22	0.01	0.06	0.06
13	0.17	0.15	0.30	0.19	0.27	0.27	0.23	0.09	0.12	0.21	0.20	0.20	--	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
14	0.15	0.15	0.18	0.15	0.17	0.13	0.09	0.12	0.10	0.05	0.25	0.13	0.16	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.54	0.06	0.12	0.22
15	0.10	0.07	0.09	0.02	0.03	0.14	0.12	0.05	0.05	0.00	0.03	0.12	0.17	0.21	--	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.11	0.23	0.11
16	0.22	0.14	0.25	0.25	0.26	0.27	0.19	0.12	0.24	0.29	0.33	0.22	0.36	0.32	0.33	--	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
17	0.15	0.25	0.25	0.36	0.28	0.35	0.40	0.18	0.25	0.22	0.20	0.27	0.24	0.27	0.24	0.46	--	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
18	0.16	0.22	0.29	0.23	0.31	0.31	0.24	0.13	0.31	0.25	0.34	0.27	0.35	0.22	0.20	0.46	0.38	--	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
19	0.17	0.17	0.31	0.23	0.18	0.22	0.16	0.11	0.15	0.14	0.11	0.15	0.25	0.08	0.16	0.23	0.23	0.21	--	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.21	0.19	0.22	0.24	0.18	0.28	0.25	0.21	0.19	0.17	0.07	0.08	0.16	0.04	0.13	0.19	0.27	0.22	0.28	--	0.00	0.00	0.01
21	0.25	0.21	0.20	0.20	0.26	0.34	0.32	0.10	0.09	0.23	0.17	0.18	0.31	0.13	0.11	0.28	0.31	0.24	0.29	0.38	--	0.00	0.00
22	0.21	0.09	0.26	0.16	0.26	0.21	0.27	0.09	0.08	0.15	0.17	0.13	0.21	0.11	0.08	0.16	0.18	0.15	0.22	0.25	0.60	--	0.00
23	0.23	0.10	0.21	0.28	0.31	0.30	0.30	0.20	0.20	0.14	0.17	0.13	0.27	0.08	0.11	0.28	0.18	0.24	0.27	0.18	0.42	0.45	--

(1) Macchinari proprietari, (2) Controllo statistico di processo, (3) Total Productive Maintenance, (4) Poka Yoke, (5) Gruppi di miglioramento, (6) Cooperazione dei dipendenti, (7) Formazione su più mansioni, (8) Riduzione dei livelli gerarchici, (9) Suggerimenti, (10) Uffici di produzione, (11) Miglioramento continuo, (12) Consegne JIT, (13) JIT con i fornitori, (14) Kanban, (15) Lotto unitario, (16) Layout dei macchinari, (17) Livellamento della produzione, (18) Riduzione dei tempi di set up, (19) Costi unitari di produzione, (20) Qualità dei prodotti, (21) Puntualità delle consegne, (22) Velocità di consegna, (23) Flessibilità al cambiamento di volume produttivo.

³⁰ I valori al di sotto della diagonale principale rappresentano i coefficienti di correlazione di Spearman, mentre i valori sopra la diagonale rappresentano i p-value collegati al test di significatività degli stessi.

BIBLIOGRAFIA

- Adam, E.E., (1994). *Alternative quality improvement practices and organization performance*. Journal of Operations Management, Vol. 12, pp. 27–44.
- Adler, P. S., 1993. *The new “learning bureaucracy”: new United Motor Manufacturing, Inc, in Staw, B. M., Cummings, L. L. (Eds.)*. Research in Organizational Behavior, Vol. 15, pp. 111-194.
- Arthur, J.B., 1992. *The Link between Business Strategy and Industrial Relations Systems in American Steel Minimills*. Industrial and Labor Relations Review, Vol. 45, pp. 488–506.
- Babson, S., 1993. *Lean or mean: The MIT model and lean production at Mazda*. Labor Studies Journal, Vol. 18 (2), pp. 3-25.
- Balakrishnan, B., Linsmeier, T.J., Venkatachalam, M., 1996. *Financial Benefits from JIT Adoption: Effects of Customer Concentration and Cost Structure*. The Accounting Review, Vol. 71 (2), pp. 183-205.
- Barker, J. R., 1993. *Tightening the iron cage: concertive control in self-managing teams*. Administrative Science Quarterly, Vol. 38, pp. 408-437.
- Becker, B., Gerhart, B., 1996. *The impact of human resource management on organizational performance: Progress and prospects*. Academy of Management Journal, Vol. 39 (4), pp. 779–801.
- Belohlav, J.A., 1993. *Developing the quality organization*. Quality Progress (October), pp. 119–122.
- Billesbach, T.J., 1991. *A study of the implementation of just-in-time in the United States Production and Inventory*. Management Journal, Vol. 3, pp. 1–4.
- Billesbach, T.J., Hayen, R., 1994. *Long-term impact of just-in-time on inventory performance measures*. L. Production and Inventory Management Journal, Vol. 1, pp. 62–67.
- Boje, D.M., Winsor, R.D., 1993. *The resurrection of Taylorism: Total quality management’s hidden agenda*. Journal of Organizational Change Management, Vol. 6 (4), pp. 57–70.
- Bollen, K. A., 1993. *Structural Equations with Latent Variables*. John Wiley & Sons, New York.
- Bowen, D. E., Lawler, E. E., 1992. *Total quality-oriented human resource management*. Organizational Dynamics, Vol. 20 (4), pp. 29-41.
- Briggs, S., Keogh, W., 1999. *Integrating human resource strategy and strategic planning to achieve business excellence*. Total Quality Management, Vol. 10 (4/5), pp. S447–S453.
- Brox, J.A., Fader, C., 1997. *Assessing the impact of JIT using economic theory*. Journal of Operations Management, Vol. 15, pp. 371-388.
- Choi, T.Y., Eboch, K., 1998. *The TQM Paradox: Relations among TQM practices, plant performance, and customer satisfaction*. Journal of Operations Management, Volume 17, pp. 59–75.
- Corbetta, P., 1992. *Metodi di analisi multivariata per le scienze sociali. I modelli di equazioni strutturali*. Il Mulino, Bologna.
- Crawford, K.M., Cox, J.F., 1990. *Designing performance measurement systems for just-in-time operations*. International Journal of Production Research, Vol. 28 (11), pp. 2025–2036.
- Cua, K.O., McKone, K.E., Schroeder, R.G., 2001. *Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance*. Journal of Operations Management, Vol. 19, pp. 675–694.
- Davy, J.A., White, R.E., Merritt, N.J., Gritzmacher, K., 1992. *A Derivation of the Underlying Constructs of Just-in-Time Management Systems*. The Academy of Management Journal, Vol. 35 (3), pp. 653-670.
- De Treville, S., Antonakis, J., 2006. *Could lean production job design be intrinsically motivating? Contextual, configurational, and levels-of-analysis issues*. Journal of Operations Management, Vol. 20, pp. 99-123.
- De Treville, S., Antonakis, J., Edelson, N. M., 2005. *Can standard operating procedures be motivating? Reconciling process variability issues and behavioral outcomes*. Total Quality Management and Business Process, Vol. 16 (2), pp. 231-241.
- Dean, J.W., Bowen, D.E., 1994. *Management theory and total quality: improving research and practice through theory development*. Academy Management Journal, Vol. 19, pp. 392–418.
- Dean Jr., J.W., Snell, S.A., 1996. *The strategic use of integrated manufacturing: an empirical examination*. Strategic Management Journal, Vol. 17, pp. 459–480.
- Delaney, J.T., Lewin, D., Ichniowski, C., 1989. *Human Resource Policies and Practices in American Firms*. Washington, DC: US Government Printing Of. Coe.

- Delery, J.E. and Doty, D.H., 1996. *Modes of Theorizing in Strategic Human Resource Management: Tests of Universalistic, Contingency, and Configurational Performance Predictions*. *Academy of Management Journal*, Vol. 39, pp. 802–35.
- Dew, J.R., 1994. *Measuring Total Quality Management*. *Tapping Network Journal*, Vol. 5, pp. 6–9.
- Droge, C., Germain, R., 1998. *The just-in-time inventory effect: does it hold under different contextual, environmental, and organizational conditions*. *Journal of Business Logistics*, Vol. 19 (2).
- Easton, G.S., Jarrell, S.L., 1998. *The effects of total quality management on corporate performance: An empirical investigation*. *Journal of Business*, Vol. 71 (2), pp. 253–307.
- Edelson, N. M., Bennett, C. L., 1998. *Process Discipline: How to Maximize Profitability and Quality Through Manufacturing Consistency*. Quality Resources, New York.
- Fey, C. F., Björkman, I., Pavlovskaya, A., 2000. *The effect of human resource management practices on firm performance in Russia*. *The International Journal of Human Resource Management*, Vol. 11 (1), pp. 1 – 18.
- Flynn, B.B., Sakakibara, S., Schroeder, R.G., Bates, K.A., Flynn, E.J., 1990. *Empirical research methods in operations management*. *Journal of Operations Management*, Vol. 9 (2), pp. 250–284.
- Flynn, B.B., Sakakibara, S., Schroeder, R.G., 1995. *Relationship between JIT and TQM: practices and performance*. *Academy of Management Journal*, Vol. 38 (5), pp. 1325–1360.
- Flynn, B.B., Schroeder, R.G., Sakakibara, S., 1994. *A framework for quality management research and an associated measurement instrument*. *Journal of Operations Management*, Vol. 11 (4), pp. 339–366.
- Flynn, B.B., Schroeder, R.G., Sakakibara, S., 1995. *The impact of quality management practices on performance and competitive advantage*. *Decision Sciences*, Vol. 26 (5), pp. 659–691.
- Fujimoto, T., 1999. *The Evolution of a Manufacturing System at Toyota*. New York, Oxford University Press.
- Fullerton, R.R., McWatters, C.S., 2001. *The production performance benefits from JIT implementation*. *Journal of Operations Management*, Vol. 19, pp. 81–96.
- Gilbert, J.P., 1990. *The state of JIT implementation and development in the USA*. *International Journal of Production Research*, Vol. 28 (6), pp. 1099–1109.
- Ghorpade, J., Chen, M.M., 1995. *Creating Quality-Driven Performance Appraisal Systems*. *Academy of Management Executive*, Vol. 9(1), pp. 32–41.
- Graham, L., 1995. *On the Line at Subaru-Isuzu: the Japanese Model and the American Worker*. ILR Press, Ithaca, NY.
- Goetsch, D.L., Davis, S., 1994. *Introduction to Total Quality: Quality, Productivity, and Competitiveness*. Merrill, New York.
- Hackman, J.R., Wageman, R., 1995. *Total quality management: empirical, conceptual, and practical issues*. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 40 (2), pp. 309–342.
- Hart, C., Schlesinger, L., 1991. *Total quality management and the human resource professional: Applying the Baldrige framework to human resources*. *Human Resource Management*, Vol. 30, pp. 433–454.
- Hay, E.J., 1988. *The Just-In-Time Breakthrough: Implementing the New Manufacturing Basics*. Wiley, NY.
- Hendricks, K.B., Singhal, V.R., 2001. *Firm characteristics, total quality management and financial performance*. *Journal of Operations Management*, Vol. 19, pp. 269–85.
- Hill, S., Wilkinson, A., 1995. *In search of TQM*. *Employee Relations*, Vol. 17 (3), pp. 8–25.
- Hiltrop, J.M., 1996. *A Framework for Diagnosing Human Resources Management Practices*. *European Management Journal*, Vol. 14(3), pp. 243–54.
- Hopp, W.J., Spearman, M.L., 2004. *To pull or not to pull: what is the question?*. *Manufacturing and Service Operations Management*, Vol. 6 (2), pp. 133–148.
- Huselid, M.A., 1995. *The impact of human resource management practices on turnover, productivity, and corporate financial performance*. *Academy of Management Journal*, Vol. 38 (3), pp. 635–672.
- Huson, M., Nanda, D., 1995. *The impact of Just-In-Time manufacturing on firm performance in the US*. *Journal of Operations Management*, Vol. 12, pp. 297–310.
- Ichniowski, C., Kochan, T.A., Levine, D., Olson, C. and Strauss, G., 1996. *What Works at Work: Overview and Assessment*. *Industrial Relations*, Vol. 35(3), pp. 299–333.
- Ichniowski, C., Shaw, K., Prennushi, G., 1997. *The Effects of Human Resource Management Practices on Productivity: A Study of Steel Finishing Lines*. *The American Economic Review*, Vol. 87 (3), pp. 291–313

- Im, J.H., Lee, S.M., 1989. *Implementation of just-in-time systems in US manufacturing firms*. International Journal of Operations and Production Management, Vol. 9 (1), pp. 5–14.
- Kaynak, H., 2003. *The relationship between total quality management practices and their effects on firm performance*. Journal of Operations Management, Vol. 21, pp. 405–435.
- Kenney, M., Florida, R., 1993. *Beyond Mass Production*. Oxford University Press, New York.
- Khatri, N., 2000. *Managing Human Resources for Competitive Advantage: A Study of Companies in Singapore*. International Journal of Human Resource Management, Vol.11, pp. 336–65.
- Koch, M.J., McGrath, R.G., 1996. *Improving Labor Productivity: Human Resource Policies Do Matter*. Strategic Management Journal, Vol. 17, pp. 335–54.
- Kravetz, D., 1988. *The Human Resources Revolution*. San Francisco, Jossey-Bass.
- Lado, A.A., Wilson, M.C., 1994. *Human resource systems and sustained competitive advantage: a competency-based perspective*. Academy of Management Journal, Vol. 19 (4), pp. 699–727
- Lahteenmaki, S., Storey, J., Vanhala, S., 1998. *HRM and Company Performance: The Use of Measurement and the Influence of Economic Cycles*. Human Resource Management Journal, Vol. 8(2), pp. 51–65.
- Lawrence, J.J., Hottenstein, M.P., 1995. *The relationship between JIT manufacturing and performance in Mexican plants affiliated with U.S. companies*. Journal of Operations Management, Vol. 13, pp. 3-18.
- Lieberman, M.B., Montgomery, D.B., 1998. *First-mover (dis)advantages: Retrospective and link with the resource based view*. Strategic Management Journal, Vol. 19, pp. 1111–1125.
- Lubke, G. H., Muthén, B. O., *Applying Multigroup Confirmatory Factor Models for Continuous Outcomes to Likert Scale Data Complicates Meaningful Group Comparisons*. Structural Equation Modelling, Vol. 11 (4), pp. 514-534.
- Macduffie, J.P., 1995. *Human Resource Bundles and Manufacturing Performance: Organizational Logic and Flexible Production Systems in the World Auto Industry*. Industrial and Labor Relations Review, Vol. 48 (2), pp. 197-221.
- Mohrman, S.A., Tenkasi, R.V., Lawler III, E.E., Ledford Jr., G.G., 1995. *Total quality management: practice and outcomes in the largest US firms*. Employee Relations, Vol. 17 (3), pp. 26–41.
- Monden, Y., 1981. *Adaptable Kanban system helps Toyota maintain just-in-time production*. Industrial Engineering, Vol. 13 (5), pp. 29–46.
- Myers, M.S., 1987. Don't let JIT become a North American quick fix. Business Quarterly, Vol. 51 (4), pp. 28-38.
- Nakamura, M., Sakakibara, S., Schroeder, R.G., 1998. *Adoption of Just-in-Time Manufacturing Methods at U.S.- and Japanese-Owned Plants: Some Empirical Evidence*. Ieee Transactions On Engineering Management, Vol. 45 (3).
- Norris, D.M., Swanson, R.D., Chu, Y., 1994. *Just-in-time production systems: a survey of managers*. Production and Inventory Management Journal, Vol. 2, pp. 63–66.
- Ockree, K.A., 1993. *A just-in-time production philosophy: empirical analyses and field study*. Unpublished Doctoral Dissertation, School of Business, University of Kansas.
- Ohno, T., 1988. *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Productivity Press, Cambridge, MA.
- Paul, A.K., Anantharaman, R.N., 2003. *Impact of people management practices on organizational performance: analysis of a causal model*. The International Journal of Human Resource Management, Vol. 14 (7), pp. 1246 - 1266
- Pegels, C.C., 1995. *Total Quality Management: A Survey of Its Important Aspects*. Boyd and Fraser, Boston, MA.
- Pfeffer, J., 1994. *Competitive Advantage Through People*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- Powell, T.C., 1995. *Total quality management as competitive advantage: a review and empirical study*. Strategic Management Journal, Vol. 16(1), pp. 15–37.
- Rahman, S., Bullock, P., 2005. *Soft TQM, hard TQM, and organisational performance relationships: an empirical investigation*. Omega 33, pp. 73 – 83.
- Rinehart, J., Huxley, C., Robertson, D., 1997. *Just Another Car Factory?.* Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Roberts, K., 1995. *The Proof of HR is in the Profits*. People Management, pp. 42–43.
- Ross, J.E., 1993. *Total Quality Management: Text, Cases and Readings*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- Sakakibara, S., Flynn, B.B., Schroeder, R.G., Morris, W.T., 1997. *The Impact of Just-in-Time Manufacturing and Its Infrastructure on Manufacturing Performance*. Management Science, Vol. 43 (9), pp. 1246-1257.
- Sakakibara, S., Flynn, B.B., 1993. *A Framework And Measurement Instrument For Just-In-Time Manufacturing*. Production And Operations Management, Vol. 2 (3).

- Samson, D., Terziovski, M., 1999. *The relationship between total quality management practices and operational performance*. Journal of Operations Management, Vol. 17, pp. 393–409.
- Schonberger, R.J., 1994. *Human resource management lessons from a decade of total quality management and reengineering*. California Management Review, Vol. 36 (4), pp. 109–123.
- Schroeder, R.G., Flynn, B.B. (Eds.), 2001. *High Performance Manufacturing: Global Perspectives*. Wiley, New York.
- Shah, R., 2002. *A configurational view of lean manufacturing and its theoretical implications*. Unpublished Dissertation, The Ohio State University, Columbus, OH.
- 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.
- Sitkin, S., Sutcliffe, K.M., Schroeder, R.G., 1994. *Distinguishing control from learning in TQM: a contingency perspective*. Academy of Management Review, Vol. 19 (3), pp. 537–564.
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R., 2007. *Operations Management*, Pitman, London.
- Spector, B., Beer, M., 1994. *Beyond TQM Programmes*. Journal of Organizational Change Management, Vol. 7 (2), pp. 63–70.
- Sriparavastu, L., Gupta, T., 1997. *An empirical study of just-in-time and total quality management principles implementation in manufacturing firms in the USA*. International Journal of Operations & Production Management, Vol. 17 (12), pp. 1215–1232.
- Sugimori, Y., Kusunoki, F., Cho, F., Uchikawa, S., 1977. *Toyota production systems and kanban system: materialization of just-in-time and respect for human systems*. International Journal of Production Research, Vol. 15 (6), pp. 553–564.
- Taylor, W.A., Wright, G.H., 2003. *A longitudinal study of TQM implementation: factors influencing success and failure*. Omega 31, pp. 97 – 111.
- Tarì, J.J., Molina, J.F., Castejon, J.L., 2007. *The relationship between quality management practices and their effects on quality outcomes*. European Journal of Operational Research, Vol. 183, pp. 483–501.
- Terpstra, D.E., 1994. *HRM: A Key to Competitiveness*. Management Decision, Vol. 32(9), pp. 10–14.
- Terpstra, D.E., Rozell, E.J., 1993. *The Relationship of Staffing Practices to Organizational Level Measures of Performance*. Personnel Psychology, Vol. 46, pp. 27–48.
- Ulrich, D., Lake, D., 1990. *Organizational Capability: Competing from the Inside/out*. Wiley, Nueva York.
- Womack, J.P., Jones, D.T., Roos, D., 1990. *The Machine That Changed the World*. Harper Perennial, New York.
- Womack, J. P., Ross, D., 1997. *Lean thinking: come creare valore e bandire gli sprechi*. Guerini, Milano.
- Wright, P.M., McMahan, G.C., 1992. *Theoretical Perspectives for Strategic Human Resource Management*. Journal of Management, Vol.18, pp. 295–320.