



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Meccanica

Tesi di Laurea Magistrale

Industry 4.0 e Lean Management: differenze e complementarità

Relatore

Ch.mo Prof. Roberto Panizzolo

Laureando

Alberto Graizzaro

1130375

Anno Accademico 2016/2017

SOMMARIO

Con industria 4.0 si indica un insieme di cambiamenti, strettamente legati all'informatica, che si apprestano a rivoluzionare l'attività industriale nel mondo.

Le novità introdotte sono tali da porla come la quarta rivoluzione industriale, dopo l'introduzione della macchina a vapore, dell'elettricità e dei controlli elettronici. L'industria 4.0 è supportata da molti paesi, dai maggiori esponenti dell'industria e si propone come una importante leva competitiva per un futuro nei mercati sempre più competitivi.

Obiettivo è la creazione di una azienda smart, capace di alta flessibilità, bassi lead time, produzioni in batch ridotti e customizzazione avanzata del prodotto, il tutto per offrire più valore al cliente. Al centro della rivoluzione vi è la presenza ubiqua di strumenti IT, con l'assegnazione di una controparte virtuale ad ogni soggetto, oggetto o attività in un sistema ciberfisico.

Il lean management nasce col Toyota Production System e rappresenta oggi l'avanguardia per operare il sistema produttivo in modo snello, andando a finalizzare ogni attività alla creazione di valore nel prodotto, alla qualità e alla soddisfazione del cliente, contrastando nel mentre ogni fonte di spreco. Si instaura nell'azienda una cultura per il miglioramento continuo, con trasparenza nelle operazioni ed un rinnovato ruolo di responsabilità del personale.

Lo scopo di questo lavoro di tesi è individuare elementi comuni, complementari e differenze tra i metodi, ricercando se le due modalità metteranno le aziende ad un bivio o se sarà possibile eseguirne un'implementazione sinergica.

Sono state tracciate le caratteristiche dell'industria 4.0 e del Lean Management, come esposte in letteratura, con obiettivi, elementi caratterizzanti e strumenti impiegati.

Il confronto si è svolto trattando le diverse aree di interesse per l'attività aziendale quali il prodotto, i sistemi produttivi per realizzarlo, il personale impiegato, il rapporto con fornitori e clienti.

In conclusione si è definita una serie di elementi con cui l'industria 4.0 potrà rappresentare una solida base per operare il LM, a rinforzo dei punti deboli e come supporto nell'affrontare le sfide future.

Indice

INTRODUZIONE	1
CAPITOLO 1 - INDUSTRIA 4.0.....	3
1.1 ORIGINE	3
1.2 VALORE DELL'INDUSTRIA 4.0	4
1.3 OBIETTIVI	5
1.4 LA BASE DI PARTENZA: UNA FABBRICA SMART	6
1.5 ELEMENTI CARATTERIZZANTI	8
1.6 STRUMENTI PER L'ATTUAZIONE.....	9
1.7 ARCHITETTURA.....	11
1.7.1 STANDARDS.....	13
1.8 DEFINIRE IL CAMBIAMENTO: PER L'UOMO.....	14
1.8.1 APPRENDIMENTO E FORMAZIONE	14
1.8.2 ASSISTENZA ALL'ATTIVITÀ LAVORATIVA.....	15
1.8.3 INTERAZIONE UOMO – CPS	17
1.9 DEFINIRE IL CAMBIAMENTO: PER IL PRODOTTO	18
1.9.1 SVILUPPO.....	19
1.9.2 INTERAZIONE PRODOTTO – CPS	20
1.9.3 GESTIONE SCORTE	21
1.10 DEFINIRE IL CAMBIAMENTO: PER I MEZZI PRODUTTIVI.....	22
1.10.1 MACCHINE RICONFIGURABILI	22
1.10.2 SISTEMA PRODUTTIVO	23
1.10.3 MANUTENZIONE PHM.....	25
1.11 DEFINIRE IL CAMBIAMENTO: PER LA AZIENDA SMART.....	27
1.11.1 INTEGRAZIONE INTERNA	27
1.11.2 INTEGRAZIONE ESTERNA.....	28
1.11.3 EFFICIENZA ENERGETICA E SOSTENIBILITÀ.....	29
1.11.4 SICUREZZA	29
1.12 TECNOLOGIE ABILITANTI.....	30
1.12.1 SISTEMA CIBERFISICO – CPS	30
1.12.2 VISUAL COMPUTING	32
1.12.3 INTERNET OF THINGS E CONTROLLER EMBEDDED.....	33
1.12.4 RFID	34
1.12.5 RETI INDUSTRIALI DI DATI	35
1.12.6 CLOUD	36
1.12.7 BIG DATA	37
1.12.8 ROBOTICA.....	39
1.13 PROBLEMATICHE NELL'IMPLEMENTAZIONE	40
CAPITOLO 2 – LEAN MANAGEMENT	43
2.1 ORIGINE	43
2.2 PRINCIPI BASILARI	45
2.3 VANTAGGI.....	46
2.4 LO SPRECO	47
2.4.1 SOVRAPPRODUZIONE	48
2.4.2 PROCESSI E PROGETTAZIONE	48
2.4.3 TRASPORTI	49
2.4.4 TEMPI DI ATTESA E CODE	49
2.4.5 ERRORI E CORREZIONI.....	49
2.4.6 MOVIMENTI	50

2.4.7	GIACENZA	50
2.4.8	ULTERIORI SPRECHI	50
2.5	DEFINIRE IL VALORE	51
2.6	IDENTIFICARE IL FLUSSO DI VALORE	52
2.7	FAR SCORRERE IL FLUSSO	54
2.8	PRODURRE IN PULL	55
2.9	RICERCARE LA PERFEZIONE	56
2.10	STRUMENTI UTILIZZATI	57
2.10.1	KANBAN: METTERE IN PRATICA IL PULL	58
2.10.1.1	CARATTERISTICHE DEL KANBAN	60
2.10.2	OPERAZIONI IN JUST IN TIME	62
2.10.3	SMED	63
2.10.4	ALTRI SISTEMI DI SETUP	66
2.10.5	ELIMINARE GLI ERRORI	66
2.10.5.1	JIDOKA	68
2.10.5.2	POKA-YOKE	69
2.10.5.3	ANDON.....	69
2.10.6	TPM.....	70
2.10.7	HEIJUNKA, LIVELLAMENTO DELLA PRODUZIONE	72
2.10.8	OPERAZIONI STANDARD E TAKT IME	74
2.10.9	KAIKAKU INIZIALE.....	75
2.10.10	EVENTI KAIZEN	76
2.10.11	PROCEDURA 5 WHY	78
2.10.12	5S NELLA CULTURA DEL MIGLIORAMENTO	78
2.10.13	VALUE STREAM MAPPING	79
2.11	SVILUPPO DEL RAPPORTO CON I FORNITORI	81
2.12	GESTIONE DEL PROGETTO	82
2.13	CRITICITÀ NELLA LEAN PRODUCTION.....	84
CAPITOLO 3 – PRECEDENTI USI DELL’ICT NELLA LEAN PRODUCTION		85
3.1	CIM ED INDUSTRIA 4.0	85
3.2	L’INFORMATIZZAZIONE NEL TPS	86
3.3	SISTEMA DI CONTROLLO COMPUTERIZZATO DELLA PRODUZIONE TPS.....	87
3.4	OPERARE CON ERP	89
3.5	IMPIEGO DI UN MES	91
3.6	GESTIONE LEAN DELLE INFORMAZIONI	92
CAPITOLO 4 – CONFRONTO COMPARATIVO		95
4.1	PUNTO DI VISTA DELLE AZIENDE	95
4.2	PER IL PERSONALE	97
4.2.1	SOSTEGNO ALL’ATTIVITÀ LAVORATIVA	98
4.2.2	WORKSTATION NELL’INDUSTRIA 4.0.....	99
4.2.3	RUOLO DELL’OPERATORE.....	101
4.3	PER IL PRODOTTO	102
4.3.1	COINVOLGIMENTO DEL CLIENTE	102
4.3.2	ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE.....	103
4.3.3	SERVIZI CONNESSI	104
4.4	PER I FORNITORI	104
4.4.1	FEEDBACK PER LA QUALITÀ.....	105
4.4.2	COORDINAZIONE NELLE FORNITURE	106
4.4.3	PROBLEMATICHE NELLO SCAMBIO DI DATI	107
4.5	PER I MEZZI PRODUTTIVI.....	108
4.5.1	PRODUZIONE IN PULL.....	108

4.5.2	FLESSIBILITÀ DEL SISTEMA	110
4.5.3	MANTENIMENTO DEL FLUSSO.....	111
4.5.4	SETUP E MANUTENZIONE	111
4.6	PER L'AZIENDA NEL SUO COMPLESSO	113
4.6.1	TRASPARENZA NEL FUNZIONAMENTO.....	113
4.6.2	BASE TECNOLOGICA ALLA PRODUZIONE SNELLA	114
4.6.3	IMPLEMENTAZIONE	115
CONCLUSIONI		117
BIBLIOGRAFIA.....		121

Introduzione

Per anni i metodi del lean management si sono imposti come la migliore soluzione per il sistema produttivo. La comprovata efficacia ha spinto le aziende a porre grande impegno nell'adottare gli strumenti lean, riducendo gli sprechi e migliorando l'efficienza operativa. Se l'implementazione è stata per lo più positiva e la lean è ormai parte di molte realtà aziendali, alcuni dei suoi strumenti possono raggiungere dei limiti nell'affrontare le nuove sfide poste oggi dai mercati. Inoltre l'efficacia stessa dei metodi nel processo di continuo miglioramento fa sì che i risultati vadano ad essere marginali rispetto ai crescenti sforzi richiesti.

Il mercato globale è orientato verso la qualità, l'agilità e la flessibilità per offrire prodotti con forti personalizzazioni e con servizi integrati. Mantenere la competitività sul mercato richiede una crescente flessibilità alle richieste di customizzazione, il mantenimento di tempi ridotti di consegna ed una continua riduzione dei costi.

Nel contempo si profila all'orizzonte una nuova rivoluzione industriale, l'industria 4.0, che va ad introdurre una ubiqua presenza di sistemi informativi e nuove tecnologie in tutte le attività dell'azienda. Ad essere coinvolti saranno i sistemi produttivi, l'organizzazione delle attività ed il personale, andando a creare una nuova dimensione in cui ogni oggetto o soggetto avrà un corrispondente virtuale e potrà comunicare nella rete connessa. Con tali strumenti a disposizione, si ritiene di poter affrontare al meglio le nuove sfide competitive del mercato globale.

Il bivio cui sembrano trovarsi le aziende è se seguire la i4.0 o continuare con la produzione snella, ma gli obiettivi comuni e le modalità di implementazione suggeriscono altro.

I provati principi della lean, la riduzione dello spreco per mantenere le sole attività che portino valore al cliente resteranno sempre attuali. Le nuove tecnologie produttive e la spinta all'integrazione di sistemi informatici in ogni passaggio produttivo possono portare l'applicazione dei principi snelli ad un livello superiore, con nuovi mezzi di analisi e controllo. Di contro, nel realizzare un'azienda interamente gestita da sistemi informatici, è possibile che si vada a perdere la trasparenza e l'immediatezza nella comprensione dei processi, dovendo affidarsi a scelte che, seppur basate su modelli della realtà, potrebbero non essere sempre chiare e logiche ai dipendenti.

Nel primo capitolo dell'elaborato si è realizzata una esposizione dell'industria 4.0, ricercando gli elementi caratterizzanti, ritrovando quanto di comune nella molteplicità degli elaborati trattando una rivoluzione di cui si sono definite le fondamenta solo recentemente. Il cambiamento è stato affrontato dal punto di vista dell'operatore, del prodotto, dei mezzi produttivi e della industria nel suo complesso. Si sono considerati gli obiettivi, gli strumenti per realizzarli e le tecnologie per implementare concretamente tale rivoluzione.

Nel secondo capitolo si espone la produzione snella negli elementi che l'hanno resa da un sistema applicato in un contesto specifico allo standard mondiale della produzione. Si evidenziano gli obiettivi e quali siano i principi fondamentali. Gli strumenti per la sua attuazione in azienda sono evidenziati con attenzione agli aspetti che costituiscono punti di legame per l'industria 4.0.

Nel terzo capitolo sono esposti i rapporti della lean manufacturing con i mezzi IT più diffusi nel tempo, indagandone la possibile compatibilità con la gestione delle scorte, l'esecuzione ed il controllo della produzione. Si considerano inoltre il trattamento dei dati nei sistemi informativi presenti nelle aziende snelle e quali posano essere gli sviluppi futuri.

Nel quarto capitolo lean manufacturing ed industria 4.0 sono poste a confronto. Se ne valuta il rapporto negli ambiti dei rapporti con il cliente e con le forniture, nella gestione interna all'azienda, nello sviluppo della produzione e del prodotto. La disamina degli elementi volge al termine con le prospettive di conciliazione dei due modelli considerati.

Capitolo 1 - Industria 4.0

L'Industria 4.0 rappresenta il prossimo capitolo per l'industria manifatturiera. L'uso di una numerazione solitamente usata nel mondo IT indica da subito la forte spinta tecnologica che la caratterizza: si tratta di una rivoluzione basata sull'uso ubiquo di sensori, di comunicazioni mediante rete wireless, di macchine intelligenti ed alimentata dalla sempre maggiore potenza di calcolo a disposizione.

Nel presente capitolo si espone l'industria 4.0 partendo da come si sia originata (1.1), i vantaggi economici che comporta (1.2) e quali siano i suoi obiettivi (1.3).

Seguono poi l'esposizione degli elementi costitutivi di base che la caratterizzano (1.4-1.5) e come orientarsi nella sua adozione (1.6), ricercando in particolare quale sia il supporto degli enti promotori (1.7).

I cambiamenti che essa comporta sono tratti nei confronti dei soggetti coinvolti: dal punto di vista del personale impiegato (1.8), del prodotto (1.9), dei mezzi produttivi (1.10) fino ad arrivare all'intera attività aziendale (1.11).

Essendo l'i4.0 sostenuta dall'innovazione tecnologica, si vanno ad esporre (1.12.x) quali siano le principali tecnologie impiegate ed i possibili usi.

In conclusione sono esposti alcuni dubbi e considerazioni sull'implementazione (1.13).

1.1 Origine

Le fasi dello sviluppo industriale hanno tempistiche e connotazioni proprie dell'area geografica considerata ma possono essere identificate ad oggi tre vere rivoluzioni.

La 1° rivoluzione industriale è posta nella seconda metà del XVIII secolo con l'introduzione delle macchine a vapore e l'inizio dell'uso di strumenti produttivi meccanici. Al volgere del XX secolo si pone la 2° rivoluzione in cui si diffusero macchine operanti ad energia elettrica e la produzione di massa basa sulla divisione del lavoro. Negli anni 70 avviene la terza rivoluzione basata sull'uso dell'elettronica e di tecnologie dell'informazione come i PLC per automatizzare l'esecuzione di diverse attività.

Il termine "Industria 4.0" viene annunciato nel 2011 in occasione della Hannover Messe per iniziativa del gruppo di lavoro guidato da Siegfried Dais (Robert Bosh GmbH) e Henning Kagermanns (Acatech) su spinta del Governo federale tedesco. L'iniziativa

rientra nell'ambito "High-tech Strategy 2020", con il supporto di 6000 aziende per lo sviluppo industriale e la competitività del Paese nell'industria manifatturiera.

Essendo riconosciuto come il futuro dell'industria, i suoi concetti sono portati avanti anche da iniziative parallele da parte degli altri paesi, con simili finalità. Si possono citare i progetti con analoghi intenti denominati: Smart manufacturing Leadership Coalition e US Advanced Manufacturing Initiative negli USA, Cyber-Physical Systems Innovation Hub in India, e-F@ctory in Giappone ed il programma quadro Horizon 2020 comprendente l'intera Unione Europea.

La visione per la nuova rivoluzione industriale è di un futuro in cui le attività di business realizzeranno una rete globale che collega i macchinari produttivi, i sistemi di stoccaggio e le attività degli stabilimenti produttivi sotto un unico sistema ciberfisico che congiunge mondo reale e virtuale. Il CPS, Cyber-Physical System, andrà ad estendersi in ogni parte del sistema produttivo, rendendo capace di attuare decisioni decentralizzate, di scambiare informazioni in autonomia e di attuare un reciproco controllo tra sistemi. Queste innovazioni permettono fondamentali miglioramenti nei processi industriali per quanto riguarda la produzione, l'ingegnerizzazione, l'uso dei materiali, la supply chain ed in generale la gestione della vita del prodotto. I vantaggi spaziano dall'incremento di flessibilità, alla personalizzazione di massa fino alla qualità del prodotto e la velocità di consegna.

I primi stabilimenti realizzati come Smart Factories si stanno affacciando nel mondo dell'industria adottando un approccio completamente nuovo alla produzione: il prodotto realizzato è smart, univocamente identificabile e connesso con il sistema produttivo; i mezzi produttivi stessi sono smart, modulari e riconfigurabili; il sistema informatico supporta le scelte strategiche ed una rete mantiene un collegamento continuo con le sedi produttive, le unità di management e di progettazione.

Si crea così una rete realizzata che apporta valore al prodotto, con un'ingegnerizzazione end-to end, capace di una gestione in tempo reale dall'ordinazione fino alla consegna. (Hermann, Pentek, & Otto, 2015)

1.2 Valore dell'industria 4.0

L'intero mondo delle attività manifatturiere sta cambiando e l'i4.0 dovrà essere parte delle strategie del futuro. Sarà necessario fare affidamento sul concetto di piattaforma come unione di servizi, prodotti ed informazioni. Si rafforzeranno nuovi modelli di

business come il sistema del pagamento secondo l'uso e di pagamento degli strumenti, sia fisici che digitali, come servizi. Un business di successo saprà come monetizzare anche i dati raccolti ed i servizi associati alla vendita o all'uso del prodotto.

Molte delle tecnologie considerate per l'i4.0 sono in fase di sviluppo da tempo, alcune non sono ancora pronte all'uso su ampia scala mentre altre trovano già impiego in diversi settori. Ad oggi l'affidabilità ed i costi consentono applicazioni industriali per molte di queste soluzioni.

Sondaggi condotti sulla preparazione aziendale indicano che, nel 2015, su 300 produttori, il 48% si considera pronto per l'industria 4.0 e lo è anche il 78% dei loro fornitori. L'integrazione richiederà un cambiamento o un aggiornamento del 40 - 50% dei mezzi produttivi, con un'adozione frenata dalla volontà di contenere gli investimenti di capitali. (Baur & Wee, 2015)

I guadagni annuali di efficienza attesi si attesteranno tra il 6% e 8% con un contributo dell'1% all'anno per 10 anni al PIL, in riferimento alla Germania, maggiore promotrice. Globalmente gli investimenti potranno raggiungere i \$500 miliardi nel 2020 quando nel 2012 l'investimento per sistemi di internet industriale erano di \$20 miliardi.

I soli dispositivi connessi nella rete IoT, internet of things, potranno avere un potenziale impatto economico mondiale di almeno \$ 1.2 Trilioni nel settore industriale entro il 2025, oltre agli effetti nel settore dei prodotti di consumi e nei trasporti. (Ron, 2015)

Il potenziale dell'IoT ad oggi non sfruttato fa capire l'ordine di grandezza della creazione di valore possibile con l'i4.0. Solamente l'1% viene impiegato nelle scelte decisionali e solitamente si tratta di operazioni di controllo dei processi sul momento o segnalazione guasti. Con l'uso delle analisi big data la maggior parte dei dati potrà essere analizzata e se ne ricaveranno informazioni utili per l'intera gestione della vita del prodotto e per l'efficienza del sistema produttivo. (Manyika, et al., 2015)

1.3 Obiettivi

Dall'adozione della i4.0 l'azienda può trovare competitività grazie ai prodotti ed al suo sistema produttivo. La produttività complessivamente può essere migliorata fino al 30%, mediante i miglioramenti nei singoli parametri riguardanti:

- **Migliore flessibilità:** I processi organizzativi del business sono più dinamici grazie alla rete. Le procedure della produzione possono reagire dinamicamente in seguito a cambiamenti o intoppi nella catena del valore. La creazione di linee

produttive in grado di operare con scelte autonome facilita la gestione della domanda e la riorganizzazione.

- **Riduzione del Lead time:** la raccolta dati e la connessione senza soluzione di continuità abilitano la presa di decisioni importanti a breve termine indipendentemente dalla posizione. L'innovazione sviluppata dall'azienda può arrivare sul mercato in tempi più ristretti.
- Richieste del cliente con **piccoli batch:** i criteri di produzione vengono basati sulle necessità del cliente che può specificare design, configurazione, modalità di ordine e produzione anche con brevi preavvisi. L'obiettivo di lavorare con batch unitario è raggiungibile grazie alle tecnologie d'avanguardia.
- **Luogo di lavoro:** in un mercato del lavoro in cambiamento, disporre di un ambiente di lavoro attraente per il personale è una leva importante. L'attenzione va a lavoratori con particolari capacità interdisciplinari e alla ricerca del personale di maggior talento.
- **Efficienza economica della produzione:** un uso ottimizzato dei capitali disponibili, con una supervisione continua alla catena di valore dell'azienda. L'attenzione è rivolta in particolare al costo dei capitali, ai costi energetici e al costo per il personale. (Heng, 2014)

1.4 La base di partenza: una fabbrica smart

L'industria 4.0 ha alla sua base una fabbrica smart, termine quest'ultimo che definisce la capacità di operare in modo intelligente, rapido ed astuto tramite l'integrazione profonda dei sistemi informatici nelle attività svolte (Figura 1.1).

Se la concezione di i4.0 varia a seconda del punto di vista e degli interessi dei soggetti considerati, la definizione comprensiva a cui si può far riferimento è la seguente:

“Una fabbrica intelligente è una soluzione produttiva che impiega processi produttivi così flessibili e adattivi da essere in grado di risolvere in modo dinamico e rapido i problemi che si possano presentare, andando a modificare le condizioni al contorno, in un mondo a complessità crescente. Questo particolare sistema è basato da una parte sull'automatizzazione, intesa come una combinazione di hardware, software e/o meccanica, che porta all'ottimizzazione della produzione nella forma della riduzione del lavoro necessario e dello spreco di risorse. D'altra parte, si vede nella prospettiva

di collaborazione tra diversi partner industriali e non, dove l'intelligenza proviene dal realizzare un'organizzazione dinamica” (Radziwon, Bilberg, Bogers, & Madsen, 2014)

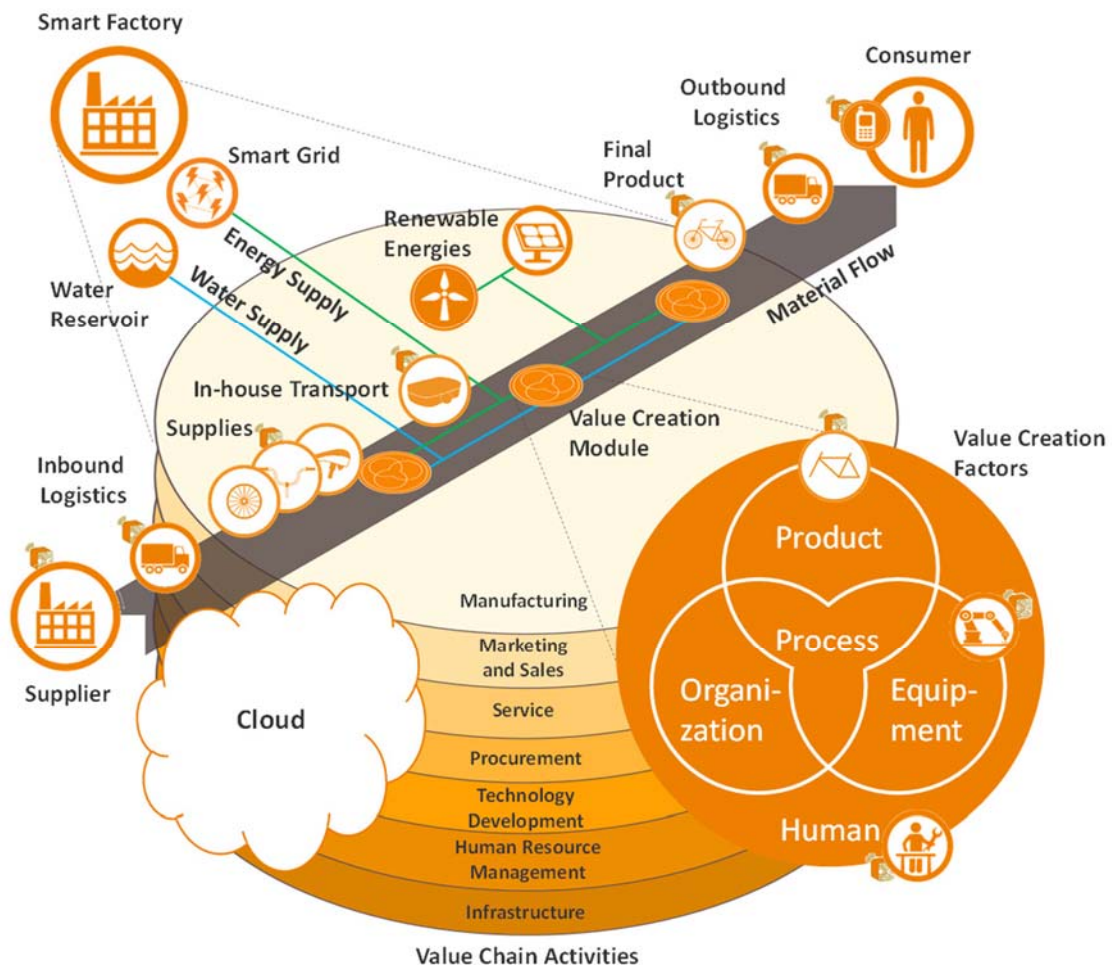


Figura 1.1 - Prospetto della smart factory (Stock & G., 2016)

La visione per il futuro è quindi quella di un'industria manifatturiera che sappia adattarsi agli eventi che possono accadere al suo interno in modo imprevisto, alle richieste del mercato e ai fornitori. La sua capacità di adattarsi ad una produzione variabile permette di realizzare un prodotto con una forte personalizzazione per il cliente.

L'uso di tecnologie informatiche è l'elemento motore che abilita queste caratteristiche: l'integrazione della tecnologia nelle attività aziendali va in ogni punto della catena del valore, dal punto iniziale a quello finale. Il prodotto stesso è oggetto connesso, capace di scambiare dati nella sua catena di valore ed indirizzarla.

Il sistema si compone di una rete di oggetti, ognuno con un proprio potere decisionale decentralizzato, per mettere in atto la produzione. Il tutto porta vantaggi per l'azienda: si vogliono ottenere tempi ridotti di sviluppo, un prodotto individualizzato secondo le richieste del cliente, consegnato in tempi relativamente contenuti e una maggiore

attenzione all'utilizzo efficiente delle risorse, il tutto con una forte spinta all'innovazione tecnologica.

1.5 Elementi caratterizzanti

Dalla revisione degli elementi che vanno a costituire la dell'i4.0 emerge come alcuni termini prevalgano e vengano identificati come punti chiave:

Interpolabilità: indica la capacità di dispositivi eterogenei di comunicare e scambiare informazioni in un'unica rete, risultando compatibili anche se di diversi produttori e acquisiti in tempi diversi. Rappresenta una condizione abilitante per la i4.0 dato che i singoli oggetti dell'IoT, gli utenti ed il sistema cibernetico devono sempre operare in sinergia. Si richiede quindi la definizione di standard hardware e software per facilitare l'integrazione dei diversi elementi ed assicurarne la compatibilità.

Virtualizzazione: il CPS controllo dei processi fisici, i dati raccolti ed elaborati nell'attività di controllo sfruttano modelli virtuali della realtà fisica. Oltre quindi alla capacità di comunicare con il sistema fisico, serve la necessità di ricreare dei modelli virtuali della realtà, basandosi sulle loro elaborazioni per attuare scelte che hanno ripercussioni sui reali processi.

Decentralizzazione: un controllo centralizzato di tutte le attività si presenta difficile con il grande numero di variabili ed attività diverse ed è debole per l'operatività continua. La presenza di computer integrati fornisce capacità di calcolo locale e la rete permette lo scambio di informazioni in modo tale che il sistema CPS funzioni nel suo complesso con decisioni prese localmente. Tag a radiofrequenza permettono ai prodotti di trasferire le richieste direttamente alla fase della lavorazione.

Capacità di operare in tempo reale: l'ampio uso di sensori e controlli fornisce un elevato numero di dati che deve essere elaborato in tempo reale al fine di prendere decisioni. Una problematica, una variazione dei programmi o la necessità di avvertire qualche soggetto esterno deve essere affrontata nel minor tempo possibile. Sistemi di programmazione giornalieri o settimanali non sono più adeguati.

Orientamento ai servizi: il CPS costituisce un sistema in grado di fornire servizi alle attività aziendali. I servizi vengono inoltre offerti assieme al prodotto, con personalizzazioni, assistenza e un legame tra produttore e cliente che va oltre lo scambio di beni, come può essere un servizio associato. Nei confronti dei fornitori si possono delineare analoghi rapporti di fornitura di servizi oltre che delle materie prime.

Modularità: la capacità di adattarsi in modo flessibile ai requisiti delle attività mediante la sostituzione o espansione di parti del sistema. Le fluttuazioni nella domanda, come quelle stagionali, ovvero le modifiche alla produzione possono essere affrontate senza difficoltà. Il principio di modularità richiede sistemi Plug-n-play basati su standard comuni. (Hermann, Pentek, & Otto, 2015)

1.6 Strumenti per l'attuazione

Gli strumenti dell'i4.0 non sono sempre chiari o semplici, spesso perché rappresentati da tecnologie nuove, alcune non ancora pronte all'uso intensivo industriale. L'interesse maggiore sarà per le tecnologie che diano garanzie di vantaggi economici e competitivi, ma l'individuazione tra l'ampia disponibilità di dati e strumenti di quello più adatto può creare confusione ed inefficienze.



1.2 – Elementi che apportano valore nell'azienda e gli associati strumenti dell'i4.0 (Baur & Wee, 2015)

Si possono identificare 8 settori in cui l'i4.0 porta valore (figura 1.2), nei quali si possono classificare i diversi strumenti da impiegare: risorse del processo produttivo, utilizzo dei mezzi produttivi, lavoro, magazzini, qualità, bilanciamento domanda/forniture, tempo di arrivo sul mercato ed assistenza post vendita. (Baur & Wee, 2015)

I principi base di questa rivoluzione sono l'interconnessione tra le parti, con un grande numero di oggetti in grado di scambiare informazioni. Segue poi la necessità di avere informazioni trasparenti sullo stato del sistema che diventa molto più complesso ma non per questo deve essere una scatola chiusa. La capacità decisionale si fa decentralizzata, avendo a disposizione diverse unità di calcolo indipendenti ed in grado di operare scelte autonome. L'assistenza ai lavoratori da parte del sistema cibernetico completa l'implementazione, la figura dell'operatore non è superata, anzi vengono richieste nuove e specifiche competenze interdisciplinari. (Hermann, Pentek, & Otto, 2016)

Lo sviluppo del prodotto, come tutte le attività viene interessato dalla i4.0. Il punto di partenza è la forte personalizzazione che può essere gestita grazie alla flessibilità e alle nuove possibilità di gestione. Per il futuro si attende uno spostamento verso il mondo dei servizi collegati al prodotto, proponendo soluzioni non solo connesse ma che offrano un valore aggiunto ben oltre quello materiale dell'oggetto.

La risultante è quindi di una rivoluzione multidisciplinare che coinvolge oltre alle tradizionali figure professionali del settore manifatturiero anche nuove figure dal mondo ICT. L'accettazione della tecnologia e l'apprendimento sono due punti che devono essere affrontati per realizzare un sistema i4.0, andando ad insegnare una nuova cultura al personale, non potendo limitarsi ad installare le nuove tecnologie. (Lasi, Fettke, Kemper, Feld, & Hoffmann, 2014)

1.7 Architettura

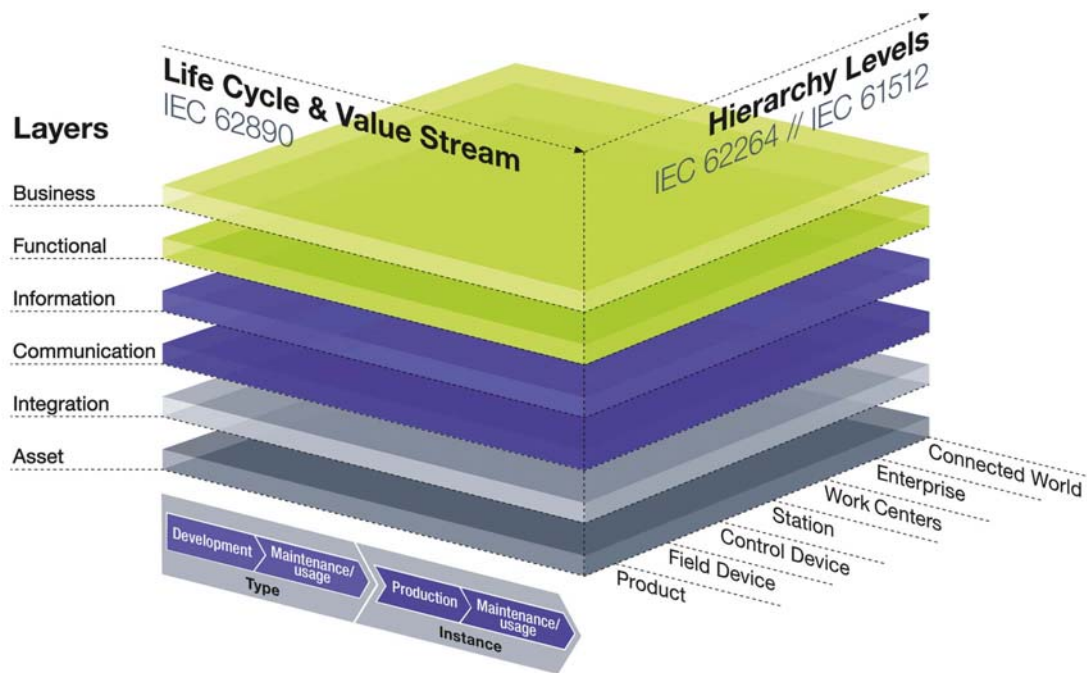


Figura 1.3 - Piattaforma RAMI (Reference Architectural Model Industrie 4.0 (Federal Ministry 2017))

L'architettura di riferimento per la i4.0 è stata definita dal Reference Architectural Model Industrie 4.0, RAMI 4.0.

Il modello, come definito nella normativa DIN SPEC 91345:2015-07, si compone di tre assi con una struttura a più livelli funzionali. Secondo lo schema dell'industria oggi in uso, che può essere indicato come industria 3.0, la gerarchia pone come base per le attività manifatturiera il prodotto, su tale fondamento si succedono le diverse aree: dai servizi di base, fino ai sistemi produttivi realizzati dai singoli macchinari e sulla cima è posta l'azienda. L'industria 4.0 rivoluziona in parte questa visione, mantenendo il prodotto come punto di partenza, ma ponendolo ora in connessione al resto delle attività, rendendolo parte integrante della rete. Nell'asse gerarchico si mostra come la connessione parta dal prodotto, portandolo ad interfacciarsi con i servizi sul piano produttivo, i sistemi di controllo della produzione ed aziendali fino ad arrivare ad interfacciarsi con il mondo esterno.

Nell'asse verticale si trovano i livelli su cui avviene lo scambio delle informazioni: partendo dal basso i mezzi produttivi, i macchinari ed i componenti sono integrati con sistemi in grado di abilitare la comunicazione dal mondo fisico a quello virtuale.

La comunicazione permette l'accesso alle informazioni con cui si completano i dati necessari all'attività. Le funzioni aziendali, le attività gestionali ed organizzative possono così accedere alle informazioni richieste.

L'asse della vita del prodotto in cui avviene l'aggiunta di valore completa l'architettura. Si inizia dal piano di costruzione: sviluppo simulazione e costruzione del prototipo. Segue l'insieme delle parti che mantengono il prodotto nel suo ciclo vitale come aggiornamenti software e definizione della manutenzione. La fase successiva si occupa di definire la produzione e la gestione degli impianti produttivi.

Lo sviluppo dell'industria 4.0 secondo questa architettura viene portato avanti in gruppi di lavoro tematici che hanno il compito di definire nel settore di competenza quali cambiamenti apporterà la nuova fase dell'industria.

- **Il gruppo per la ricerca del processo dell'architettura, di standard e norme:** processi di standardizzazione mediante il consenso degli operatori del settore. Il lavoro è sia di integrazione di normative esistenti che di cooperazione con organi esterni per le nuove.
- **Il gruppo per la ricerca e l'innovazione:** valuta i correnti casi di studio per identificare quali siano i requisiti della ricerca a vantaggio dell'industria. I risultati sono presentati come raccomandazioni scientifiche per l'implementazione.
- **Il gruppo per la sicurezza dei sistemi di rete:** ricerca nel campo di sicurezza delle comunicazioni su rete dati e dell'identità dei soggetti parte della rete. Definisce i requisiti per l'implementazione della sicurezza nell'industria 4.0 e per la formazione del personale.
- **Il gruppo per le basi legali:** valutare le opportunità ed i rischi legali che l'applicazione del framework comporta. Agisce da soggetto abilitante al lavoro di ricerca degli altri gruppi. La problematica principale riguarda l'adattamento della legislazione corrente, pensata per gli umani, nei sistemi informativi controllati da macchine, con un ampliamento delle libertà decisionali.
- **Il gruppo per il lavoro, l'educazione e l'addestramento:** gestisce la diffusione e l'insegnamento dei principi dell'industria 4.0 ai soggetti interessati per assicurare il successo dell'iniziativa. I campi di interesse sono: l'interfaccia uomo-macchina per l'integrazione dei sistemi a favore degli interessi del personale e dell'impresa; le basi di implementazione per le reti a valore

aggiunto; definire programmi di qualifica per lo sviluppo delle nuove capacità interdisciplinari richieste.

Ulteriori gruppi di lavoro per lo studio dell'efficienza delle attività produttive, per l'impatto sull'occupazione e per la modellazione dei sistemi produttivi complessi sono attualmente al vaglio. (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2017)

1.7.1 Standards

La standardizzazione dell'architettura, dei formati di scambio dati, semantica, vocabolari, tassonomia ed interfacce è alla base dell'Interpolabilità tra le diverse tecnologie nel complesso ed eterogeneo campo dell'industria 4.0. Il gruppo di lavoro sulla standardizzazione ha il compito di includere ed integrare gli standard nel RAMI 4.0, mantenendo un'architettura neutrale ed in accordo con le normative preesistenti. Solo con standard adottati da un'ampia base si può creare un sistema interpolabile e flessibile.

Ponendo gli standard in un'architettura comune, gli scenari comuni saranno gestibili con un singolo e comune approccio dalle reti di valore della i4.0 che vedono coinvolti molteplici soggetti. Si vuole dare una prospettiva comune per:

- Processo produttivo e all'elaborazione o trasporto delle informazioni in esso.
- Relazioni tra sistemi di rete proprietari, sistemi di automazione, controller, dispositivi mobili, server e stazioni di lavoro.
- Applicazioni software per l'acquisizione dati, l'elaborazione e la comunicazione
- L'uso di software e linguaggi compatibili tra diverse società
- Il rapporto tra l'internet delle cose ed il mondo dei servizi internet
- Strumenti comuni per l'opera ingegneristica di definire il prodotto ed il processo.

(Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013)

Allo stato attuale non esiste una strada unica alla quarta rivoluzione industriale sebbene ci sia un riconoscimento da più parti della necessità di standards. Le due aree di maggior attenzione sono l'Interpolabilità tra le interfacce delle soluzioni commerciali dei diversi produttori sul mercato e la definizione di standard aperti. Il rischio cui si va in contro in mancanza di standard è che soluzioni proprietarie emergano e si instaurino come standard de facto portando ad un lock-in tecnologico. Gli standard aperti possono essere stabiliti ed adottati rapidamente, ma trovano minor sostegno in quanto difficili da sfruttare per un guadagno commerciale. In passato il mercato del settore ICT ha visto più

volte l'effetto della rete in cui il numero di utenti che utilizzano una piattaforma software la rendono uno standard di fatto.

Il numero elevato di soggetti parte dell'iniziativa di standardizzazione fa comprendere come si vada a delineare un panorama complesso e con molteplici standard, sia altamente specializzati che generici. L'attenzione sarà rivolta sia al settore delle soluzioni business to consumer (B2C) che business to business (B2B).

Si possono individuare dei player fondamentali a cui riferirsi: Industrial Internet Consortium (IIC), Object Management Group, World Wide Web Consortium (W3C). (Kagermann, Anderl, Jürgen, Günther, & Wolfgang, 2016)

1.8 Definire il cambiamento: per l'uomo

L'introduzione della i4.0 comporta notevoli cambiamenti per l'attività lavorativa dell'operatore ed il suo ruolo nel sistema. L'operatore deve quindi comprendere quali siano i cambiamenti e cosa comportino per lo svolgimento del lavoro. I nuovi strumenti adottati agevolano lo svolgimento delle attività ma richiedono un periodo di apprendimento e familiarizzazione.

A subire una variazione non è solamente il piano delle attività produttive, anche le attività di progettazione, pianificazione e gestione vengono coinvolte: solo con un programma di formazione e con la comprensione della nuova cultura aziendale si possono raggiungere gli obiettivi prefissati con un pieno sfruttamento degli strumenti a disposizione.

La prima necessità sono quindi le strategie di qualificazione per le nuove capacità interdisciplinari: si richiede la comprensione del funzionamento del CPS, l'elaborazione delle informazioni fornite e lo svolgimento attività a maggior sforzo mentale ma anche con maggior produzione di valore. Dovendo comunicare in una rete interconnessa di persone ed oggetti si pone molta enfasi sulle interfacce ed i metodi di interazione: il rapporto dell'uomo con il sistema produttivo decentralizzato e connesso deve restare trasparente e comprensibile. (Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zühlke, 2014)

1.8.1 Apprendimento e formazione

La presenza di figure professionali adeguate è un forte dubbio, si vuole quindi supportare il processo di apprendimento, aumentare la motivazione nell'apprendere e ridurre la complessità, offrendo anche di svolgere la formazione in autonomia.

L'apprendimento delle attività lavorative richieste viene agevolato dagli strumenti della i4.0. Le informazioni di cui si può necessitare sono resi disponibili con un linguaggio ed una interfaccia ottimizzata per la formazione, anche mediante l'integrazione nei mezzi produttivi. L'apprendimento è reso disponibile in più forme e modalità: dalle istruzioni visive e sonore di base a software immersivi di simulazione dell'attività.

In studi condotti sull'operare l'attività formativa con sistemi multimediali interattivi emerge che la forza lavoro è ben disposta al loro uso: sono apprezzati per facilità di impiego, utilità ed adeguatezza all'attività da svolgere. Per l'azienda, potendo utilizzare mezzi simulativi virtuali, l'impiego delle risorse migliora e si riducono i tempi dedicati ad attività non lavorative: l'operatore non occupa i mezzi produttivi e non corre rischi durante la formazione. Un ulteriore vantaggio è la possibilità di fornire informazioni secondo la necessità dell'operatore in modo interattivo e nel momento esatto della richiesta, anche in autonomia o da remoto. La formazione portata avanti con tali mezzi è consistente per tutti i soggetti, eliminando variazioni soggettive. In fine i costi ed i tempi di apprendimento si riducono rendendo l'implementazione di tali strumenti economicamente convenienti per l'azienda. (Tjahjono, 2009)

1.8.2 Assistenza all'attività lavorativa

L'assistenza allo svolgimento delle attività, siano esse produttive, di manutenzione, di setup o supervisione avviene in forma multimodale con gli strumenti della i4.0.

Nello svolgere attività produttive con macchinari automatizzati, il ruolo dell'operatore è di supervisione, manutenzione e setup della linea assegnata. Data la complessità accresciuta del macchinario, il ruolo di supervisione risulta più complesso: una interfaccia classica risulta inadeguata alle nuove informazioni disponibili e alle possibilità di comunicazione di rete. Le segnalazioni di intervento verso l'operatore richiedono un ripensamento in quanto, essendo le produzioni incentrate sul flusso di pezzi singoli o piccole produzioni, l'interruzione delle attività in una stazione va a compromettere l'intero flusso produttivo. Le segnalazioni di intervento e richiesta di attenzione al supervisore o agli addetti alla manutenzione devono quindi essere immediate e dirette all'interessato. L'uso degli strumenti mobili, come palmari, tablet o visori AR così diffusi nella vita quotidiana, viene quindi sostenuto in queste attività produttive per la celerità della segnalazione, per le informazioni che si possono fornire e per le possibilità di localizzazione.

Oltre alla segnalazione, l'assistenza può essere fornita nello svolgimento dell'attività (Figura 1.4): un dispositivo può caricare le informazioni per eseguire la manutenzione, la videocamera può fornire una visione a realtà aumentata, aggiornata con informazioni dal conteso, e la conoscenza mnemonica di tutte le operazioni non è più necessaria Figura 1.. La manutenzione di una macchina non conosciuta diventa alla portata di un numero maggiore di operatori con le informazioni a schermo o con una guida all'assistenza da remoto. Mantenendo una connessione dispositivo-macchina inoltre i menù ad oggetti attivi possono interagire con l'impianto, comunicando azioni da eseguire e valori sullo stato del processo. (Wittenberg, 2016)



*Figura 1.4 - Diverse tipologie di dispositivo personale a realtà aumentata
(Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zühlke, 2014)*

Le stazioni di lavoro manuale sono ancora presenti nella i4.0 ma l'operatore viene abilitato dalle tecnologie a svolgere attività assistite dal sistema CPS: si definisce il ruolo dell'“augmented operator”. La stazione di lavoro può operare in modo flessibile e modulare, ricevendo informazioni sulle operazioni in automatico dagli oggetti lavorati mediante RFID, aggiornando poi le funzionalità e le informazioni di conseguenza. Nella stazione di lavoro stessa sono poi integrati sensori e telecamere per il controllo dello svolgimento delle attività. Come per gli interventi sui macchinari, gli strumenti mobili

sono centrali nel supporto al lavoro manuale presentando informazioni contestualizzate, come specifiche liste di componenti da utilizzare, e permettendo interazioni con il prodotto, come il controllo del funzionamento o l'inserimento di parametri. (Weyer, Schmitt, Ohmer, & Gorecky, 2015)

Da test condotti sul campo ed ambienti dimostrativi, risulta che l'attività di apprendimento è agevolata dal sistema che presenta i passaggi specifici per il lavoro corrente, riducendo la difficoltà di ricordare ogni particolare personalizzazione operando con prodotti altamente personalizzati per il cliente. Le istruzioni vengono presentate direttamente secondo necessità mediante le informazioni fornite dal tracciamento di tutte le attività. Grazie all'assistenza multimodale ricevuta dagli strumenti emerge che la complessità delle operazioni e la conseguente fase di apprendimento richiesta declinano. Ogni lavoro può quindi divenire più specifico con l'individuazione di varianti e di passaggi particolari svolta in automatico. Il numero delle azioni per accedere ai dati da parte dell'assemblatore viene mantenuto al minimo. Illustrazioni animate dei singoli passaggi sono ben accettate e non sono registrate significative riduzioni della motivazione nell'apprendimento rispetto ai metodi tradizionali. I costi connessi alla realizzazione degli strumenti di formazioni, come animazioni e schemi di assemblaggio, sono ripagati dalla riduzione nei tempi di svolgimento dell'attività. (Günther, Gartzten, Rodenhauser, & Marks, 2015)

1.8.3 Interazione uomo – CPS

L'implementazione di un CPS richiede che gli operatori siano preparati al suo uso e a gestirne al meglio le sue funzionalità. Il CPS prende conoscenza in tempo reale del contesto, degli eventi che vi accadono ed è in grado di tracciare ogni componente o prodotto nel sistema: l'insieme delle attività condotte nel sistema è complesso e le informazioni che può fornire ben oltre quelle necessarie.

La comunicazione con il CPS avviene mediante interfacce, ne consegue che la loro attenta progettazione sia fondamentale per fornire solo i dati rilevanti e le possibilità di interazione corrette, filtrando gli eccessi di opzioni e la sovrabbondanza di dati. Una interfaccia capace di adattarsi alla situazione risulta più facile all'uso, fornendo solo le informazioni ed i controlli necessari. Il sistema si presenta quindi come cosciente del contesto in cui si opera, registrando le attività, tracciando il posizionamento di operatori, mezzi e macchinari per fornire un avviso direttamente a chi interessato.

I metodi di interazione possono essere rivisti per un controllo più immediato ed intuitivo: tastiera e mouse non sono strumenti adeguati a tutte le attività. Schermi sensibili al tocco, comandi vocali, feedback aptico, occhiali a realtà aumentata possono guidare durante l'attività. Le informazioni nel campo visivo permettono di non distogliere lo sguardo dal lavoro principale, anzi si vanno a porre le informazioni direttamente sull'area di lavoro e sugli oggetti riconosciuti.

Gli strumenti visuali utilizzati devono essere realizzati con interfacce orientate all'utente ed armonizzate tra i diversi sistemi, aspetto quest'ultimo difficile da realizzare dato che gli impianti sono spesso realizzati su misura da fornitori diversi ed acquistati ponendo l'attenzione sui costi. (Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zühlke, 2014)

1.9 Definire il cambiamento: per il prodotto

Il prodotto ha ruolo centrale nella i4.0, l'intera struttura organizzativa è finalizzata a realizzare ciò che il cliente necessita, spingendosi a soddisfare richieste univoche. Solo grazie agli strumenti unici introdotti, un alto livello di personalizzazione è possibile, garantendo al contempo qualità ed il contenimento dei costi rispetto la concorrenza. Le innovazioni introdotte consentono la comunicazione con il sistema, rendendo anch'esso parte della rete, abilitando una sua identificazione univoca e di svolgere attività focalizzate. Lo sviluppo del prodotto deve tener conto sin dalle prime fasi di come sarà gestito l'intero ciclo vitale nella catena di valore per sfruttare le potenzialità delle risorse disponibili.

Per aggiungere valore al prodotto, si va a proporre sempre più spesso un servizio associato ad esso, come assistenza post-vendita, aggiornamenti software e licenze delle funzionalità. Molte aziende vedono la possibilità di realizzare nuovi modelli di business incentrati sull'IoT ed i servizi connessi del prodotto smart. Mediante comunicazione nel cloud, il prodotto resta in comunicazione diretta con il produttore che ne può trarre informazioni sull'uso e continuare la conoscenza del cliente. Saltando gli intermediari della catena di valore, i dati raccolti sono di maggior qualità e sono di grande importanza per lo sviluppo dei prodotti futuri. Il modello di vendita può quindi essere rivisto e modificato, andando oltre la formula della vendita del bene: si propongono nuove tipologie di contratto come il pagamento secondo l'uso (pay-per-use) o la fornitura in comodato previa la sottoscrizione di un servizio. (Chui, et al., 2013)

1.9.1 Sviluppo

La realizzazione del prodotto tiene conto della centralità del cliente: è colui che assegna un valore, valuta se le caratteristiche soddisfino i suoi requisiti ed accorda una preferenza rispetto ad un competitor. La soddisfazione e l'esperienza fornita dall'uso sono quindi fondamentali.

I guadagni di tempo e di profitto nello processo di sviluppo del prodotto derivano da:

- Metodologie iterative di sviluppo, con maggiore libertà nel progetto, con un processo maggiormente produttivo ed efficiente rispetto pianificazioni deterministiche.
- Innovare con nuove strategie di sviluppo, instaurando estese collaborazioni e mantenendo contenuti i costi
- Miglioramento del time to market competendo in mercato micro-segmentato e con breve vita dei prodotti
- Prototipazione rapida, riduzione dei costi di test sui prototipi fisici ed adattamento alle esigenze del cliente in tempi ridotti
- La qualità delle scelte di pianificazione è aumentata dal rapido sviluppo della completa catena del valore in modo virtuale
- L'incremento del numero di simulazioni di diversi scenari migliora la capacità decisionale grazie alla miglior comprensione e disamina delle situazioni. (Günther, Reuter, Hauptvogel, & Dölle, 2015)

L'i4.0 permette al cliente di specificare più nel dettaglio le caratteristiche cercate nel prodotto e abilita una forte personalizzazione. I mezzi del CPS adottato consentono di tracciare la lavorazione di pezzi unici su specifica all'interno dell'intero sistema. Le informazioni, ricavate mediante tecniche big data sui dati di vendita, sulle ricerche di mercato e dalla comunicazione con i consumatori, hanno maggiore importanza rispetto alle scelte dell'esecutivo aziendale e dei gruppi che portano avanti lo sviluppo. (Gilchrist, 2016)

Dall'impiego di soluzioni big data si stanno profilando nuove possibilità di selezionare gli attributi del prodotto con l'uso di algoritmi genetici. Il programma va ad attuare in modo automatico i medesimi processi di selezione manuale, dopo una fase di addestramento, andando verso l'implementazione della personalizzazione di massa.

Le decisioni del produttore si fanno così più facili, grazie al feedback in loop delle informazioni del mercato fornite dalla catena di valore della i4.0, e la loro attuazione è immediata grazie all'IoT.

Tali metodologie stanno già trovando impiego nel seguire al meglio le richieste del cliente nelle aziende del settore automobilistico. (Saldivar, Goh, Li, Chen, & Hongnian, 2016)

1.9.2 Interazione prodotto – CPS

La possibilità dello scambio automatizzato di informazioni con un sistema CPS parte dal prodotto stesso e ne permette una personalizzazione operando anche con batch di piccole dimensioni, fino ad arrivare al lotto unitario. Il prodotto racchiude elementi che ne permettono la tracciabilità in tutte le sue fasi, sia nel mondo fisico che virtuale.

Nel campo fisico si impiegano sistemi come codici di riconoscimento e chip identificativi a radiofrequenza RFID integrati. Il sistema è in grado di comunicare con i componenti, i carrelli di trasporto e fissaggio, i macchinari, le postazioni di lavoro ed i vettori di trasporto per la completa tracciabilità. Alla parte fisica corrisponde un modello digitale in tutte le fasi della vita del prodotto, si può così gestire nel mondo virtuale ogni attività: dalla progettazione alla gestione della produzione e il controllo dell'utilizzo. Si attua così la creazione di un sistema ciberfisico in cui mondo virtuale e reale del prodotto si incontrano per la gestione della vita del prodotto.

La catena di valore gestita dal CPS permette di introdurre soluzioni specifiche per il cliente e per il prodotto all'interno delle linee produttive: si attuano variazioni coordinate di design, configurazione, ordinazione, pianificazione, produzione e logistica. Se quindi ad oggi l'uso dei sistemi MES, Manufacturing Execution Systems, avviene con regole fisse e linee di produzione statiche, il passaggio permetterà di seguire una organizzazione più dinamica, basata sul sistema ciberfisico e gestibile in modo decentralizzato. La linea produttiva reagisce ai colli di bottiglia e a problemi logistici: alterna la sequenza per uniformare i tempi di lavoro o trova percorsi alternativi. Ciò va a vantaggio del cliente che può richiedere un prodotto individualizzato con variazioni che richiederebbero una riconfigurazione o di operare fuori dalle linee di montaggio. Adottare variazioni dell'ultimo minuto diventa possibile senza grandi sconvolgimenti. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013)

1.9.3 Gestione scorte

Dovendo operare la produzione sempre più secondo schemi Make-to-order, Configure-to-order o engineer-to-order, la filiera di fornitura, la gestione degli stock e la logistica in generale sono sempre più importanti. Nella realizzazione della rete aziendale vengono dotati di connettività i magazzini ed i mezzi per la movimentazione oltre che alle risorse produttive presenti nello stabilimento. L'uso della i4.0 permette l'ottimizzazione delle scorte con l'integrazione dell'IoT nei magazzini e l'identificazione univoca dei componenti in inventario mediante RFID.

L'impiego dei big data consente di operare scelte nel momento del trasporto: tracciamento flotta di veicoli, riorganizzazione dei percorsi di consegna, registrazione delle condizioni di trasporto, segnalazione di anomalie quali colpi, vibrazioni, temperatura. Nel magazzino il tracciamento dei beni conservati è completato da rotazioni programmate delle scorte, posizionamento dinamico dei colli, attenzione a particolari esigenze di alcuni stock. (NAED Foundation, 2015)

Grazie al controllo in tempo reale delle scorte, all'analisi dei pattern di prelievo e dalla rapida connessione con i fornitori è possibile minimizzare i capitali immobilizzati nel magazzino mantenendo ugualmente un livello di stock sufficiente a non interrompere le operazioni. Il prelievo viene supervisionato e registrato mediante lettori a radiofrequenza, sensori di peso, telecamere e identificativi della posizione. Anche le scorte in attesa di lavorazione nelle celle produttive ed i singoli contenitori nelle stazioni di assemblaggio possono essere monitorate e rifornite con ordini eseguiti in autonomia dal sistema. La conoscenza delle modalità di prelievo aiuta inoltre nell'aumentare la produttività dei dipendenti potendo realizzare procedure e liste di prelievo più adatte al contesto.

Il trasporto interno di materiale da e per le macchine avviene già ad oggi con carrelli capaci di guida autonoma, tale attività viene rivista ed ottimizzata secondo le esigenze affrontate in produzione in tempo reale. Le istruzioni sui tragitti da percorrere sono incluse nelle componenti e lette nei chip identificativi. Le code di ogni macchinario sono rese note al sistema che può quindi decidere le priorità nei trasporti. Le comunicazioni si estendono ai fornitori esterni affinché le consegne possano avvenire secondo i ritmi della catena produttiva: l'informazione di un ritardo in produzione avvisa di ritardare la successiva consegna o viceversa una difficoltà nel rispettare le tempistiche di fornitura viene affrontata variando il programma produttivo. (Manyika, et al., 2015)

1.10 Definire il cambiamento: per i mezzi produttivi

1.10.1 Macchine riconfigurabili

Nell'industria 3.0 un macchinario viene impostato per eseguire una lavorazione a seguito di ordini di produzione. La lavorazione continua per il numero di pezzi definito e seguono operazioni di setup per preparare la lavorazione successiva. Nella fabbrica smart avvengono comunicazioni tra le macchine, comunicazioni M2M (machine to machine), e comunicazioni con il prodotto. La macchina non si limita a ricevere un ordine ma comunica e collabora nella rete. (Gilchrist, 2016)

L'incertezza e la variabilità del mercato spinge verso l'utilizzo di tecniche produttive che utilizzino macchinari adattabili e riconfigurabili. Poter rispondere i tempi brevi alle necessità del cliente è fondamentale nei mercati altamente competitivi. L'utilizzo di tecniche CAD e CAE facilita la definizione delle attività in fase progettuale. L'uso di algoritmi in grado di definire in autonomia la migliore lavorazione o i parametri d'uso di una macchina sono campi di ricerca per definire sistemi in grado di adattarsi alle richieste.

Sono utilizzati sistemi RMS, Reconfigurable Manufacturing System, in grado di comunicare con l'ambiente e procedere nella configurazione seguendo le indicazioni ricevute. La riconfigurazione è efficiente per i costi e permette di procedere a lavorazioni su piccoli lotti. Si punta alla possibilità di personalizzare delegando il controllo al livello produttivo, ciò è abilitato dal sistema CPS. Il sistema produttivo può quindi auto-ottimizzarsi secondo le informazioni raccolte. Al contrario un sistema centralizzato può perdere di vista lo stato complessivo della produzione e puntare alla standardizzazione. (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014)

La modularità è una caratteristica richiesta a tutti i mezzi della linea produttiva, siano esse macchine o stazioni con un operatore. Ad oggi la presenza di molte soluzioni proprietarie dei singoli produttori rende difficile questo obiettivo. Il sistema produttivo modulare va nella direzione di utilizzare standard definiti tra i produttori. La linea così realizzata può essere riconfigurata sostituendo parti o interi macchinari secondo le lavorazioni da eseguire. La prima richiesta è una comune interfaccia di comunicazione e di connessione agli impianti di servizio elettromeccanici. Partendo dalla

comunicazione del prodotto con il sistema per comprendere quali siano i cambiamenti da attuare sulla linea. (Weyer, Schmitt, Ohmer, & Gorecky, 2015)

I macchinari impiegati sono quindi in grado di rispondere alle esigenze della i4.0 se presentano le funzionalità di:

- **Auto configurazione:** Definite delle regole di alto livello, la macchina esegue senza discontinuità ed automaticamente le operazioni di basso livello per configurarsi all'attività richiesta
- **Auto manutenzione:** la capacità di comprendere lo stato di funzionamento e salute permette la diagnostica automatica e di intraprendere azioni correttive anche senza richiamare un intervento fisico
- **Auto ottimizzazione:** si ricerca dai dati raccolti un miglioramento autonomo delle prestazioni, trovando un assetto migliore di quello impostato senza richiedere aggiustamenti esterni
- **Protezione autonoma:** in seguito a problemi esterni in cascata, specifici della macchina o cause esterne malevole, vengono intraprese le azioni di arresto per prevenire l'estendersi della problematica. (Lee J. , 2010)

1.10.2 Sistema produttivo

L'insieme delle attrezzature e delle risorse utilizzate nello svolgere l'attività manifatturiera di trasformazione in prodotti finiti. Le distinzioni da compiere sono per: numero di operazioni, numero di centri di lavoro, livello di automazione, flessibilità del sistema e layout dei macchinari.

L'industria 4.0 è stata concepita con nuovi concetti per il sistema produttivo improntato alla forte personalizzazione del singolo prodotto e alla riconfigurazione durante la produzione. Le tipologie di sistema produttivo recente che possono adattarsi alla i4.0 sono: la stazione singola automatica a cella, il sistema di assemblaggio automatico, il sistema flessibile di produzione automatica, il sistema di produzione integrato dal computer ed i sistemi riconfigurabili. Allo stato attuale tali sistemi presentano comunque una certa distanza dai requisiti della industria 4.0 dato che anche i sistemi flessibili non possono operare complete riconfigurazioni in tempo reale al variare della produzione richiesta. Il sistema automatico richiesto deve essere in grado di apprendere dai sensori utilizzati, fornire dati che siano poi alla base delle scelte future nel sistema produttivo. (Qin, Liu, & Grosvenor, 2016)

Nell'ipotesi esemplificativa in Figura 1.5 si evidenziano le differenze tra una linea di produzione operante secondo i metodi tradizionali e secondo l'IIoT. Generalmente i prodotti seguono una sequenza predeterminata, all'arrivo in una stazione viene eseguita la lavorazione e non ci sono in genere mezzi ridondanti, seguendo una specializzazione della linea ad uno o pochi prodotti. Nella linea di macchine smart le operazioni da eseguire sono decise con la comunicazione tra il prodotto e la rete del sistema produttivo: avviene una riconfigurazione della linea per adattarsi alle diverse tipologie

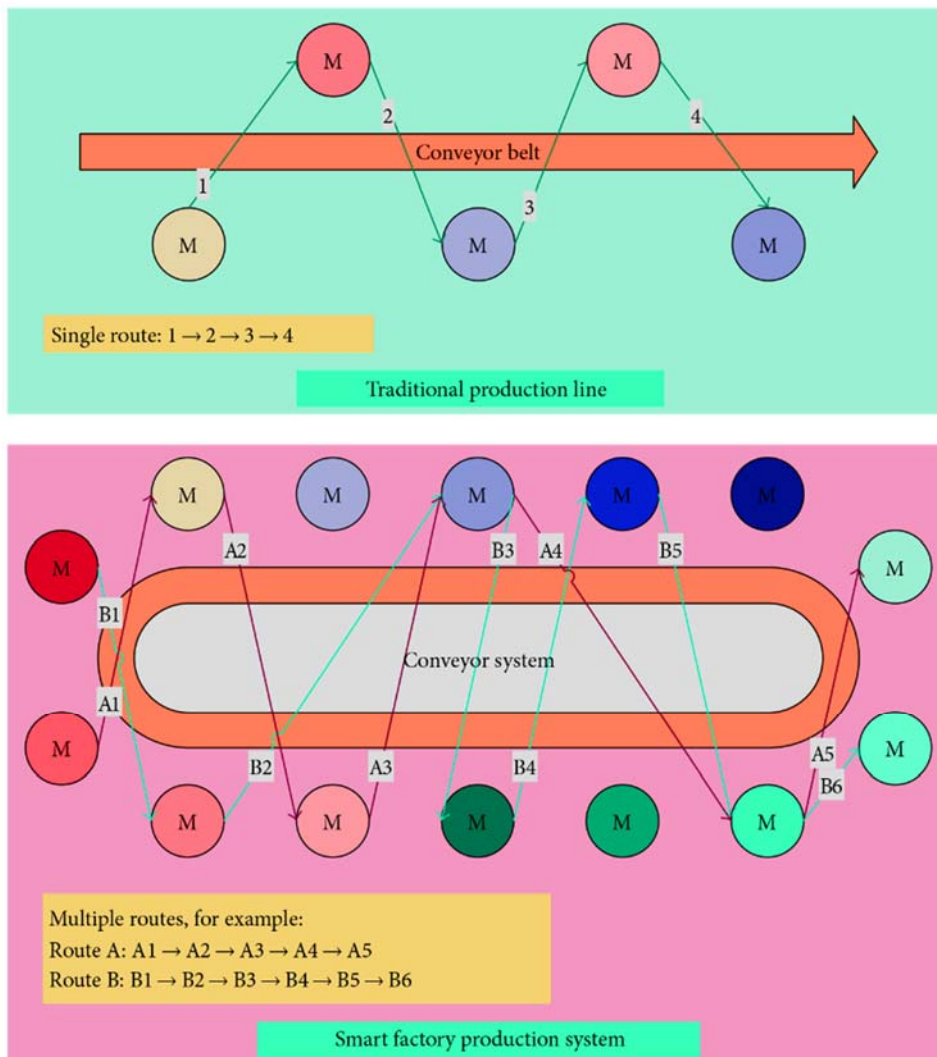


Figura 1.5 - Sistema produttivo di linea nell'industria 3.0 e nella smart factory (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016)

di prodotto, anche per lotti unitari gestiti in contemporanea. Sono in questo caso presenti più macchinari, funzionali e sensori ridondanti, non essendo utilizzati in tutte le varianti prodotte. (Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016)

L'uso di ID univoci nei prodotti permette di tenere traccia delle condizioni operative di tutta la filiera produttiva. Il componente trasportato prende il posto delle documentazioni cartacee e permette un collegamento unico con un record nel database.

Le macchine utilizzate, le stazioni manuali, i percorsi di trasporto sono così identificabili ed è agevole registrare lo stato generale dei mezzi produttivi. Qualora si verifici una problematica, l'attività di identificazione del problema e di risalire alla causa risulta semplificata. Le condizioni di lavoro possono quindi essere monitorate e viene fornita una mappa in tempo reale delle operazioni eseguite in modo trasparente. (Wank, et al., 2016)

1.10.3 Manutenzione PHM

Il supporto manutentivo viene definito come l'insieme delle risorse, servizi e sistemi di gestione necessari per eseguire scelte di intervento in modo proattivo. Le tecnologie informatiche sono alla base sia del processo di controllo che nella fase decisionale e di esecuzione della manutenzione.

Nell'industria 4.0 il termine a cui fare riferimento è prognostic health management, PHM: si indicano così le tecniche di autodiagnosi, di comprensione dello stato operativo del sistema e di intervento in anticipo sul guasto. L'obiettivo ultimo da raggiungere è l'adozione di macchinari in grado di eseguire in autonomia la manutenzione prima di richiedere interventi manuali: dai controlli sulla capacità di operare del macchinario, durante l'uso, vengono decise autonomamente contromisure per mantenere l'operatività. Gli interventi eseguiti, potendo monitorare in tempo reale il funzionamento, sono quanto più possibile proattivi andando a risolvere le problematiche prima che si presentino o comprendendo la necessità di intervento nelle fasi iniziali della rottura.

Le iniziative ad oggi intraprese di manutenzione preventiva si basano sulle ore d'uso o su un intervallo di tempo tra gli interventi. La PM ha quindi gli svantaggi di essere una metodologia costosa, specialmente se per evitare guasti si mantengono gli intervalli manutentivi il più possibile ridotti, e di non portare alla comprensione di come avvengano le rotture o quali ne siano le cause, andando a sostituire parti funzionanti di cui raramente si effettuano analisi sulle condizioni. La manutenzione preventiva che si vuole attuare è al contrario basata sui dati e sulle reali condizioni degli impianti: CBM, condition based maintenance. (Lee, Lapira, Yang, & Kao, 2013)

I dati scambiati dall'IoT e dai sensori integrati vengono raccolti ed elaborati nella rete CPS: una procedura big data esegue l'analisi basandosi sullo storico degli interventi eseguiti ed i modelli virtuali, anche generati in autonomia. Riconosciute le situazioni

che richiedono attenzione, il flusso dati nella rete istruisce sulle operazioni da intraprendere non solo per il macchinario, ma anche per l'intera filiera produttiva con la regolazione del ritmo di lavoro, la compensazione di effetti sistematici e deviando il carico di lavoro nell'attesa dell'intervento di un tecnico. Sempre più si assisterà ad un passaggio dall'uso del valore MTBF (mean time between failure) al MTBD (mean time between degradation), cioè dall'attesa della rottura all'attesa della degradazione per intervenire. (Lee J. , 2010)

Un ulteriore risvolto dell'industria 4.0 è la manutenzione accessoria dedicata all'IT: essendo i sistemi informativi elemento vitale dell'intero sistema e alla base di tutte le altre attività, in questo è di aiuto la decentralizzazione del sistema, evitando interventi che vadano a rendere indisponibile l'intero CPS.

Nella manutenzione i macchinari impiegati negli impianti produttivi 4.0 si distingueranno per le seguenti nuove capacità:

- **Manutenzione remota:** basandosi sulle informazioni raccolte e la rete di comunicazione, tutti gli utenti della rete possono accedere ai database, controllare lo stato e suggerire interventi. Queste attività vengono svolte anche come servizio da parte del produttore o gestore del macchinario senza dover intervenire in sede del cliente grazie ai servizi cloud.
- **Manutenzione cooperativa:** le diverse aree aziendali e diversi soggetti possono comunicare per prendere decisioni sulla manutenzione di comune accordo. Possono instaurarsi rapporti di collaborazione tra i servizi locali ed i fornitori in modo da concordare interventi basandosi sulla condivisione dei dati. La collaborazione tra reparti permette di scegliere il miglior momento per eseguire le attività o definire parametri di funzionamento alternativi.
- **Immediatezza e attività in tempo reale:** le macchine equipaggiate con sistema di controllo continuo avvisano della necessità di intervento. I manutentori disponibili vengono avvisati, andando anche a selezionare il personale più adeguato.
- **Diagnostica avanzata:** L'analisi dati permette la comprensione delle cause delle rotture e l'utilizzo di registrazioni in digitale evita che siano perse delle informazioni sugli interventi eseguiti. La possibilità di elaborare grandi quantità di dati permette una efficace diagnosi delle problematiche, delle cause a monte e le soluzioni risolutive economicamente più efficaci. (Cheng & Bateman, 2008)

1.11 Definire il cambiamento: per la azienda smart

Dall'i4.0 si può ottenere una riduzione di costi, diventando una opportunità sia per le grandi società che la piccola media impresa. Le possibilità di risparmio provengono da:

- **Costi dei capitali:** l'ottimizzazione della catena di valore e l'aumento dell'automazione manifatturiera portano ad un contenimento dei capitali in uso
- **Costi energetici:** i consumi possono essere ridimensionati con un uso efficiente ed intelligente delle risorse, controllando ciò che avviene in produzione.
- **Costi del personale:** l'automazione va a ridurre il numero di dipendenti con bassa qualifica, optando invece per un numero ridotto ma più qualificato di operatori.

Oltre a ciò si aggiungono la flessibilità, la riduzione dei tempi di lead time e la capacità di lavorare in batch produttivi di piccole dimensioni. (Heng, 2014)

Per l'implementazione della smart factory si deve mantenere il focus sulla gestione del personale, dei processi e delle risorse: le funzioni di base dell'impresa sono tutte ancora presenti. Con l'aggiunta di una rete estesa e capillare, si possono però utilizzare modelli complessi di modellazione, simulazione ed auto-regolazione. La capacità di elaborazione disponibile permette operazioni prima impossibili potendo disporre di informazioni sullo stato dell'intero sistema in tempo reale, ma tali possibilità devono essere sfruttate con un'integrazione sia interna che esterna.

1.11.1 Integrazione interna

Il CPS e la rete delle cose vengono visti come portatori di valore nelle operazioni, valore che va poi al prodotto. Il lavoro richiesto nella produzione può essere variato in modo dinamico secondo le necessità che vengono valutate con una presa di decisione decentralizzata ed in tempo reale. Di conseguenza: gli aspetti normativi ed economici delle attività aziendali dovranno essere adeguati al nuovo sistema; nuove soluzioni legali e modelli di contratto dovranno nascere per includere le nuove capacità aziendali; la competitività aziendale e le possibilità di cooperazione saranno rivisitate; si potranno affrontare più facilmente molteplici mercati molto diversi tra loro. (Industrie 4.0 Platform, 2014)

Per ottenere la creazione di valore in ogni attività, l'integrazione degli strumenti della i4.0 deve essere sia verticale che orizzontale.

Con integrazione orizzontale si intende una integrazione dei sistemi IT, della rete dati e delle risorse aziendali nelle diverse fasi della produzione e della pianificazione economica lungo l'intera catena di valore. L'integrazione avviene nell'esecuzione di scambio dati e materiali sia internamente nella società che verso altri soggetti esterni, con l'intento di realizzare una continua cooperazione in tempo reale tra tutte le parti coinvolte a beneficio del prodotto.

Il processo di integrazione verticale è riferito all'integrazione nei diversi livelli gerarchici dell'IT all'interno della fabbrica intelligente: dai sensori ed attuatori, tramite il controllo e la gestione della produzione, fino alle attività esecutive e di pianificazione, realizzando la definizione di un completo CPS.

Così facendo si fornisce una soluzione end-to-end della catena di valore: basandosi sulla modellizzazione digitale si possono coprire tutti i requisiti del cliente nell'architettura del prodotto e realizzarla in un prodotto finito personalizzato. L'obiettivo è eliminare la separazione esistente tra produzione, cliente e sviluppo, con un approccio olistico dell'ingegneria del prodotto. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013) (Zhou, Liu, & Zhou, 2015)

1.11.2 Integrazione esterna

Il CPS va ad estendere il suo modello al mondo esterno, valutando le relazioni e abilitando nuove forme di interazione con soggetti partner esterni.

Una organizzazione smart delle attività abilita nuove possibilità di cooperazione che vanno oltre l'outsourcing di un componente. Si introduce il concetto di fabbrica virtuale in quanto la progettazione in più fasi è portata avanti condividendo le informazioni tra l'acquirente e le terze parti che si occuperanno della produzione. Condividendo da subito i dati le operazioni sono più rapide ed efficienti. La rete viene quindi estesa ai fornitori. Il fornitore può fornire la sua avanguardia tecnologica settoriale ed aumentare la fiducia contrattuale, cambiando il rapporto dal semplice venditore di parti ad un partner strategico per lo sviluppo del prodotto. Tali posizioni sono attualmente supportate dalle parti, con l'intento di spostare sempre più responsabilità verso i fornitori riconoscendone però un maggior valore aggiunto nel loro operato. (Tepeš, Krajnik, Kopač, & Semolič, 2015)

Operando una continua analisi sull'operato dei fornitori, al presentarsi di problematiche di fornitura, la gestione degli imprevisti è semplificata. Dalla valutazione dei consumi,

dai tempi di produzione e fornitura, si possono valutare molteplici alternative con i rispettivi costi e margini. La valutazione di ogni fornitore è eseguita in tempo reale, andando a segnalare problemi o prendendo contatti con nuove parti mediante una rete cloud delle forniture.

1.11.3 Efficienza energetica e sostenibilità

Le richieste del mercato vanno anche nel verso di una riduzione dei consumi e di un aumento dell'efficienza energetica delle attività migliorando l'immagine aziendale. L'i4.0 dispone per concezione di tutti i sistemi di controllo ed elaborazione dei dati per massimizzare il risparmio di risorse energetiche, acqua e materiali. L'IoT si estende ai misuratori di consumi e le tecniche big data possono trovare le politiche di gestione della produzione più parsimoniose. Il controllo dei consumi è verificato in remoto avendo sotto controllo l'intera fabbrica. Compreso il sistema ed il suo funzionamento dalla raccolta dati, si definiscono delle politiche per operare riducendo i consumi.

Gli interventi sono molteplici: controllo delle temperature localizzato, riduzione dei tempi di idle in cui i macchinari sono accesi ma non utilizzati, sequenziamento della produzione in modo da concentrare le attività in specifici intervalli, manutenzione programmata per evitare l'uso di macchine non perfettamente operative. Grazie alla i4.0 e all'IoT il raggiungimento di una produzione sostenibile e più efficiente anche dal punto di vista energetico diventa più facile da perseguire. (Shrouf, Ordieres, & Miragliotta, 2014)

1.11.4 Sicurezza

Dall'implementazione di sistemi informativi in cui sono racchiusi dati che portano valore all'azienda, deriva la necessità di mantenere la sicurezza su tali informazioni, al pari dei beni fisici di proprietà. Si devono distinguere diverse categorie di dati e gestirle con politiche diverse: dati personali provenienti dall'utenza e protetti a norma di legge, dati societari dell'azienda che è interesse mantenere privati e dati pubblici perché rilasciati volontariamente o perché di interesse pubblico.

Le soluzioni per la sicurezza vengono concepite e messe in atto sin dalla realizzazione del sistema e devono essere mantenute funzionanti per tutta la sua vita con periodici aggiornamenti. Da un lato va garantita la ridondanza dei dati e la loro ubicazione sicura

in protezione dai danni fisici, ma ancora di maggior interesse è la sicurezza verso accessi dall'esterno che vogliono compromettere la rete aziendale.

La sicurezza del sistema 4.0 si realizza nel limitare l'accesso dall'esterno del sistema, proteggendo i dati sensibili da alterazioni o prelievi non autorizzati, implementando politiche e procedure standardizzate per il controllo degli accessi dall'interno e dall'esterno.

I criteri di creazione della architettura devono inoltre considerare che i dati vengono regolarmente forniti all'esterno a soggetti terzi o anche a soggetti legati all'organizzazione ma operanti al di fuori della rete locale. (Industrie 4.0 Platform, 2014)

1.12 Tecnologie abilitanti

Per tecnologie abilitanti si fa riferimento ad una serie di soluzioni ampia e multidisciplinari che permettono di mettere in atto la strategia della i4.0. Le attività intelligenti ed il CPS possono funzionare solamente se trovano dei giusti mezzi di supporto.

Sono tralasciate le tecnologie che per quanto importanti nel settore industriale non caratterizzano unicamente l'industria 4.0 o sono già affermate nell'uso quali: il campo dei sensori integrati, sistemi di movimentazione automatica, le tecnologie additive manufacturing e le specifiche soluzioni software settoriali.

1.12.1 Sistema ciberfisico – CPS

Con CPS, sistema cyber fisico, si definisce l'insieme delle tecnologie in grado di portare ad una convergenza tra mondo fisico e reale, stabilendo una rete estesa a tutte le attività di business dell'azienda, incorporando i macchinari produttivi, i magazzini e gli stabilimenti della produzione. Esso è basato su un insieme di computer, in molteplici forme, in grado di comunicare e collaborare tra loro e con l'ambiente esterno circostante, controllando le attività, raccogliendo o fornendo dati in tempo reale e mettendo a disposizione servizi tramite Internet. (Lu, 2017)

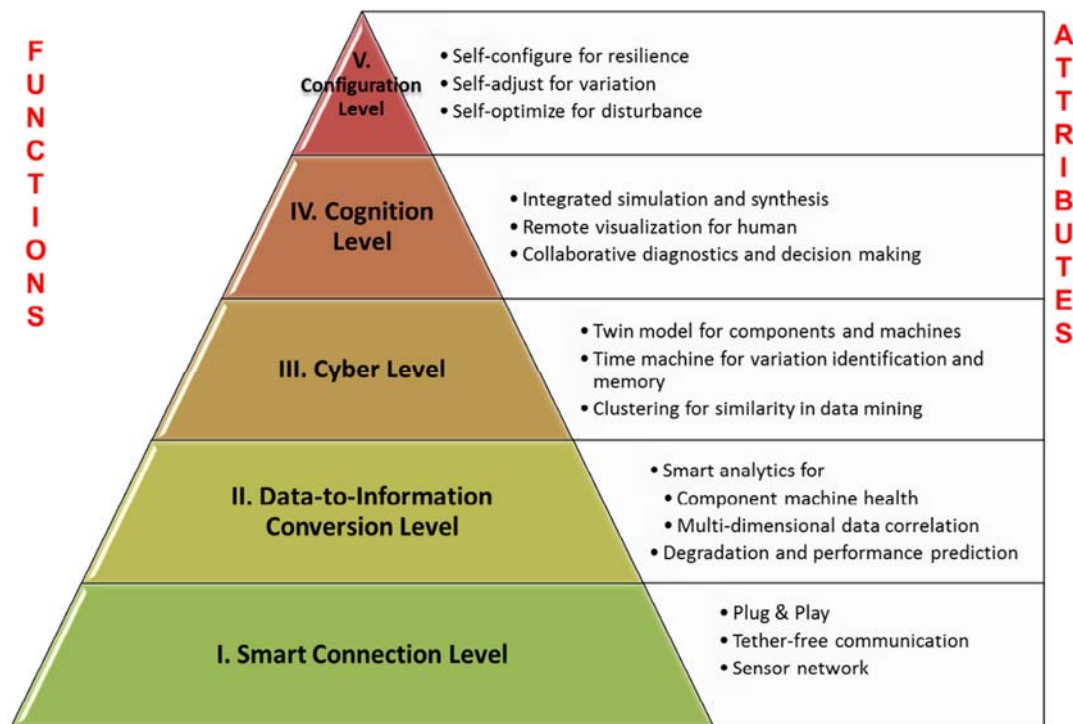


Figura 1.6 – Struttura gerarchica a 5 livelli del CPS (Lee, Bagheri, & Kao, 2015)

Nella i4.0 esso si presenta come la spina dorsale che permette di rendere realtà questa rivoluzione. Volendo definire il CPS nelle parti di cui si compone è indicato seguire la classificazione a 5 livelli dell'architettura Figura (Lee, Bagheri, & Kao, 2015)

- I. **Smart connection:** Qui si trovano connessioni dati, la schiera dei sensori posizionati nell'ambiente produttivo, oltre che il collegamento ai dati di sviluppo assistito, al sistema gestionale e ai database.
- II. **Data-to-Information conversion:** I dati raccolti devono divenire informazioni elaborabili. Il livello di conversione usa algoritmi per comprendere ciò che viene raccolto. Ad esempio stabilire la vita di un componente basandosi sulle letture storiche di un sensore.
- III. **Cyber level:** il sistema cibernetico agisce coordinando i dispositivi mediante la comunicazione. Vengono realizzati i modelli virtuali delle controparti nel mondo reale. Qui l'insieme delle informazioni permette di comprendere lo stato complessivo del sistema. Confronti e comparazioni permettono di estrarre ulteriori informazioni (data mining).
- IV. **Cognition level:** si trova qui la capacità cognitiva del sistema che compresa la situazione globale può suggerire come agire, interagire con gli utenti e prendere decisioni. Le interfacce uomo-macchina sono importanti in questo livello essendo alla base di scelte sull'intera infrastruttura.

- V. **Configuration level:** avviene la configurazione del mondo reale sulla base delle scelte provenienti dal mondo ciberfisico, un controllo a feedback che le azioni intraprese conducano ai risultati. Le scelte grazie ai sistemi all'avanguardia sono sia correttive che preventive. Le decisioni prese sono poi monitorate e fungono da base per le scelte future essendo sistema in grado di apprendere.

Il funzionamento del CPS deve essere costante ed affidabile: gli imprevisti possono sempre accadere ed il sistema deve far fronte a condizioni non attese come un guasto di un sottosistema senza andare completamente in blocco. (Lee E. A., 2008)

L'implementazione del sistema CPS richiede una divisione IT adeguata, capace di sopportare un maggiore utilizzo di servizi ed il carico dell'infrastruttura di rete. Ciò si traduce con una maggiore richiesta di spazio, qualità tecnica ed affidabilità dei sistemi nonché di personale qualificato. L'infrastruttura di rete dovrà essere capace di supportare l'elevato numero di dispositivo collegati con una maggiore capacità di elaborazione, senza presentare rallentamenti o interruzioni dei servizi connessi.

La flessibilità dell'implementazione passerà dai software utilizzati, con una progressiva dismissione delle risorse più vecchie o il loro aggiornamento, abbandonando i sistemi chiusi e rigidi dei software utilizzati in precedenza. (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013)

1.12.2 Visual Computing

L'implementazione dell'industria 4.0 coinvolge un passaggio alla gestione visuale dei processi produttivi e del prodotto. Si impiegano Ambienti virtuali abilitati da mezzi di simulazione 3D per pianificare la produzione, permettendo variazioni rapide e di testare molte soluzioni in modo dinamico. Si ricorre alla rappresentazione in tempo reale della produzione: dalla visualizzazione dei flussi materiali alle informazioni, comprendendo anche il flusso di conoscenza nello stabilimento. Tecniche di scansione e di ricostruzione 3D degli ambienti produttivi permettono di pianificare la conversione ancora prima di iniziare i lavori per l'implementazione della i4.0 ed avere chiare indicazioni sui risultati ottenibili. (Posada, et al., 2015)

Il processo ingegneristico viene sviluppato end-to-end mediante sistemi digitali PLM (Product lifecycle management). Moduli software di assistenza al calcolatore CAx, come CAD, CAM e CAE, permettono di lavorare su un modello virtuale del prodotto e del processo produttivo. Tutte le tecnologie possono essere prese in considerazione sin

dalle fasi iniziali del progetto senza acquisire i macchinari, i modelli virtuali consentono di non lasciare strade inesplorate contenendo i costi e valutando tutti i nuovi paradigmi della produzione.

L'accesso a tecnologie visuali può avvenire con diverse modalità: dagli schermi individuali o di segnalazione, ai dispositivi mobili personali e ai visori AR/VR. Una particolare esigenza che si rende necessaria è l'impiego di tecniche in grado di adeguare e semplificare i modelli a seconda delle tecnologie visuali impiegate.

La realtà aumentata permette un approccio visuale che agevola diversi aspetti della vita aziendale: consente di svolgere spiegazioni ai clienti ed ai fornitori basandosi sui servizi ancora prima che sui reali prodotti; è impiegata per agevolare diverse fasi dello sviluppo in laboratorio e di sviluppo dell'area produttiva; nel territorio della produzione aiuta da prima nella formazione e poi nella guida delle attività lavorative.

1.12.3 Internet of things e controller Embedded

Nel realizzare la rete dei dispositivi connessi della smart factory, ogni attrezzatura deve essere abilitata alla comunicazione poter dialogare ed offrire il suo contributo alle attività. Si definiscono controller embedded i sistemi di controllo integrati nei macchinari che eseguono lavorazioni, spostamenti, nei sistemi di trasporto o in generale nei sistemi produttivi. Tali controllori sono fondamentali per il funzionamento regolando lo svolgersi delle attività e per l'integrazione con il CPS andando ad abilitare la comunicazione del macchinario con l'intera rete.

Un dispositivo embedded fornisce capacità di calcolo, connessione di rete, collegamenti alla sensoristica e agli attuatori. L'introduzione di sistemi PLC, controllori a logica programmabile, in grado di controllare l'attività, è stata la caratteristica distintiva della terza rivoluzione. Il passaggio successivo che qui si compie è l'impiego di soluzioni in grado di comunicare con l'intero sistema ed in grado di concordare azioni con esso.

L'insieme dei dispositivi interconnessi dà vita all'IoT, Internet delle cose: si tratta di una tecnologia ingegnerizzata per fornire funzionalità e servizi dall'interazione tra molteplici oggetti ed utenti. Rispetto ai sistemi embedded del passato si identificano diversi livelli applicativi. Si identifica un livello in cui in tempo reale avviene l'interazione dei dispositivi in un social network delle cose in cui si scambiano ed acquisiscono dati, ma è presente anche un livello di elaborazione ed analisi degli stessi.

Requisiti per la realizzazione dell'IoT sono la compatibilità, modularità e scalabilità delle soluzioni. (Wan, Cai, & Zhou, 2015)

Diviene possibile quindi effettuare il controllo remoto dei mezzi, dei sistemi e anche del personale, con decisioni personali supportate da valori oggettivi. Le prestazioni sono raccolte in tempo reale ed i dati forniti consentono scelte che aumentino la produttività, l'efficienza e portino all'ottimizzazione complessiva del sistema, indipendentemente da quanto possa essere complesso. (Chui, et al., 2013)

Implementare negli stabilimenti sistemi basati sull'IoT richiede sia un'integrazione sugli apparati produttivi sia una rete ed un sistema di supervisione. L'implementazione sul parco macchine esistente può essere facilitata se i macchinari presentano già controlli embedded e sensori installati in modo nativo verso cui interfacciarsi. Solitamente infatti le implementazioni partono da uno stadio di aggiornamento di stabilimenti esistenti, mentre è più rara la realizzazione ex novo del sistema dati gli investimenti necessari. (Manyika, et al., 2015)

È atteso che numero delle soluzioni IoT vada verso una crescita esponenziale: le stime più conservative sono di 50 miliardi di dispositivi connessi nella prossima decade con i compiti più vari: dalla gestione della supply chain ai controlli in campo medico. Il 15% delle compagnie adotta una di queste soluzioni ed il 67% ha intenzione di farlo nei prossimi 5 anni. La spinta all'adozione viene per i riconosciuti meriti di questi dispositivi e dai costi ridotti dei processori richiesti, capaci di comunicare in modo wireless e con alimentazione ridotta. (Chui, et al., 2013)

1.12.4 RFID

I chip per l'identificazione a radiofrequenza, RFID, sono ampiamente utilizzati in diversi settori dove sia richiesta un'identificazione univoca grazie alla capacità di conservare informazioni al loro interno e di comunicare mediante onde radio. Il costo è particolarmente ridotto e le dimensioni contenute (Es. 0.05mm x 0.05mm) permettono un impiego quasi in ogni componente, il campo entro cui si può effettuare una lettura è ampio e centinaia di chip possono comunicare con il lettore allo stesso tempo. Tramite i dati trasportati al suo interno si rende l'oggetto smart, esso può trasportare la sua storia, i suoi futuri parametri di processo ed il percorso a cui è destinato. (Gilchrist, 2016)

Il sistema a chip di identificazione è integrato nelle materie prime, semilavorati, componenti di assemblaggio e prodotti finiti. I lettori devono essere posti sulle macchine e distribuiti agli operatori per sfruttare a pieno le possibilità offerte.

Le seguenti informazioni diventano disponibili in tempo reale all'intero sistema produttivo:

- Operazioni del processo produttivo
- Stato delle code di lavorazione
- Stato delle consegne
- Stato delle scorte
- Condizioni specifiche del componente
- Sequenziamento delle lavorazioni
- Individuazione errori di assemblaggio
- Individuazione dei ritardi e sotto utilizzo linea
- Livello di sincronizzazione tra le stazioni

(Hameed, Durr, & Rothermel, 2011)

Nei mezzi produttivi, la lettura delle informazioni abilita la configurazione di setup ed il caricamento dei programmi di lavorazione. Per l'operatore è possibile accedere ad informazioni dettagliate dal CPS a partire dalla sua lettura. I flussi delle parti all'interno del ciclo produttivo, nei viaggi di trasporto verso i clienti e dai fornitori sono noti all'intero sistema, permettendo così l'aggiornamento dei modelli e delle statistiche in tempo reale. (Zhang, Jiang, Huang, Qu, & Zhou, 2012)

Della stessa categoria ma meno adatto agli scopi sopra detti si trovano i chip NFC, versione evoluta degli RFID. Le possibilità di scambio dati e di comunicazione sono maggiori ma il raggio di operatività per la lettura è ridotto a pochi centimetri ed i tempi di lettura superiori. Sono utili solo in limitate applicazioni, come lo scambio di password, dove la quantità di dati e la sicurezza hanno priorità su velocità e praticità.

1.12.5 Reti industriali di dati

Le reti Wireless industriali sono un componente fondamentale: le comunicazioni avvengono tra dispositivi mobili. La rete può funzionare solamente se ogni sua parte comunica in ogni momento con le altre. Mentre i macchinari e le workstation sono fisse, molti dispositivi sono ricollocabili, vengono spostati durante l'uso o sono personali per ogni operatore. Il requisito è la connessione di ogni dispositivo IoT senza l'uso di cavi,

con operatività continua 24/7, senza interruzioni o problematiche di accesso alla rete. (Wan, Cai, & Zhou, 2015)

I dispositivi connessi possono essere utenti, carrelli mobili, macchine e sensori, il collegamento avviene a dei nodi che a loro volta comunicano con altri nodi nella rete. La connessione passa poi per centri principali che gestiscono la connessione verso il resto dell'infrastruttura e con il mondo esterno.

Le caratteristiche peculiari di una tecnologia per le reti wireless industriali sono:

- Supporto a topologie dinamiche dove i nodi possono gestire la configurazione della rete, risolvere interferenze e reindirizzare i dispositivi mobili che cambiano di posizione, gestendo i passaggi tra i nodi
- Capacità di supportare interferenze quali i macchinari attivi e capacità di gestire la perdita di un nodo ribilanciando autonomamente la rete.
- Possibilità di tracciare i dispositivi collegati e identificarne le posizioni
- Necessità di operare entro i limiti imposti per le frequenze radio, aspettandosi conflitti con reti adiacenti.

Diversi standard sono proposti a seconda delle esigenze essendo diverse tecnologie di trasmissione pensate per impieghi diversi (tabella 1.1).

	Standards	Max. throughput	Radio band	Max. transmission range
Wi-Fi	IEEE 802.11	54 Mbps	2.4/5 GHz	150 m
ZigBee	IEEE 802.15.4	20/40/250 Kbps	868/915 MHz/2.4 GHz	300 m
Bluetooth	IEEE 802.15.1	1/24 Mbps	2.4/5 GHz	150 m
RFID	ISO/IEC 24791	5/26.48/640 Kbps	125 kHz/13.56 MHz/433 Hz	10 cm/1 m/20 m/100 m

Tabella 1.1 - Principali standard utilizzati nel campo delle connessioni senza fili (Li, et al., 2017)

La scelta delle tecnologie adatte avviene secondo criteri di valutazione quali l'affidabilità (tolleranza agli errori, controllo dei locali e protocolli), la validità nel tempo (numero di nodi, longevità del protocollo, efficienza energetica), possibilità operare in tempo reale (gestione dati da più fonti diverse, gestire le transizioni dei dispositivi, non perdere dati nelle comunicazioni) e sicurezza (essere protetta autonomamente, salvaguardare gli utenti, protocolli di sicurezza). (Li, et al., 2017)

1.12.6 Cloud

Per cloud si fa riferimento ad una serie di servizi offerti mediante connessione alla rete internet, beni immateriali disponibili a consumo per aziende che vogliono mantenere contenuti gli investimenti materiali nel campo IT ed utilizzare il software come un

servizio. La rete Internet fornisce l'accesso a nuove risorse volatili che l'azienda può acquisire nella quantità e tempi strettamente necessari secondo modelli di pagamento a consumo. Sono offerti in remoto sistemi di calcolo ad alte prestazioni, banche dati, servizi di backup e sistemi di comunicazione, mantenendo livelli di qualità resilienza ed affidabilità difficilmente raggiungibili con mezzi propri. (Chui, et al., 2013)

Si possono differenziare i servizi cloud in:

- **IaaS** (Infrastructure as a Service) nei quali una infrastruttura remota è messa a disposizione come un servizio, al pari di un affitto di beni fisici, in cui l'azienda può eseguire i propri software;
- **PaaS** (Platform as a Service) per i servizi che mettono a disposizione insieme all'infrastruttura una piattaforma software di base per lo sviluppo di applicazioni;
- **SaaS** (Software as a Service) dove il servizio comprende l'intera parte software su cui l'azienda svolge le proprie attività. (Gilchrist, 2016)

Il cloud oltre ad essere un servizio acquisito può essere offerto ai dipendenti, clienti e fornitori. Si abilita l'accesso remoto ai dati della rete aziendale ed il prodotto può comunicare con la casa madre. Le sedi dislocate della società sono inoltre unite mediante una unica rete in modo da eliminare barriere comunicative tra le diverse funzioni aziendali. I servizi cloud sono in continuo sviluppo e la complessità del software impiegato sempre maggiore. (Wan, Cai, & Zhou, 2015)

L'insieme dei servizi cloud abilita il modello di business dell'IoS, Internet Of services, nel quale una infrastruttura mette a disposizione, mediante la rete, un'offerta di servizi. Si aprono così nuove possibilità di ampliamento dell'offerta e di vendita abbinata per i prodotti. L'IoS potrà essere anche un servizio verso le aziende come una tecnologia produttiva abilitata mediante cloud, grazie alla rete dell'azienda orientata ai servizi. (Hermann, Pentek, & Otto, 2015)

1.12.7 Big data

Per big data si intendono procedure in cui grandi quantità di dati, con molteplici unità di calcolo dedicate, vengono elaborate in breve tempo, con attenzione ad ottenere dei risultati affidabili, rinunciando in parte all'alta precisione. Si tratta di un servizio aziendale sempre più fondamentale nel PLM e capace di interfacciarsi alle restanti parti del CPS. Le operazioni sui dati sono definite "data mining" ed hanno lo scopo di trarre

informazioni utili per l'efficienza, per la produzione, la progettazione, il rapporto con i fornitori e per soddisfare le necessità del cliente. (Wan, Cai, & Zhou, 2015)

Il proliferare di sensori e dispositivi connessi permette di raccogliere una quantità di dati in continuo aumento: si stima un raddoppio annuale con il ritmo di crescita corrente.

Il raddoppio della capacità di calcolo è invece solito raddoppiare ogni 18 mesi stando alla legge di Moore. (Chui, et al., 2013)

I big data sono soluzioni adatte all'industria 4.0 in quanto si adattano ai diversi scenari d'uso con la loro capacità di calcolo: elaborazioni di grandi quantità di dati in archivi storici o aggiornati in tempo reale, effettuare un grande numero accessi ai record su di un database in modo casuale, realizzare elaborazioni avanzate mediante reti neurali. (Gölzer, Cato, & Amberg, 2015)

Le aree più promettenti per l'impiego dei big data sono:

- **Gestione dati e schedulazione basata sui dati:** creazione di algoritmi per gestionali con la possibilità di scambio in modo verticale di dati ai diversi livelli di gestione, nel modo più ovunque siano dislocate le sedi.
- **Politiche di manutenzione:** registrazione dei tracciati dei sensori e delle cause della rottura, individuare cause e tempistiche per gli interventi agendo con la diagnostica preventiva
- **Gestione della catena dei fornitori** oltre i tradizionali problemi logistici, la rete di aziende in collaborazione per le forniture è posta in comunicazione mediante reti sociali per rafforzare i rapporti e cooperare alla comune realizzazione di valore. Le analisi permettono di predire spostamenti e gestione dei trasferimenti, con meno sprechi e rispettando la domanda in tempo reale.
- **Applicazione alla personalizzazione di massa:** possibilità di aumentare la competizione fornendo ad ogni cliente la personalizzazione richiesta. La flessibilità e l'integrazione dei sistemi permettono analisi avanzate e di andare oltre la produzione di massa coprendo il mercato in modo micro-segmentato. (Li, Tao, Cheng, Zhao, & Liangjin, 2015)
- **Scelte di business:** l'analisi delle prestazioni aziendali e delle transizioni registrate permettono una base più solida per le scelte strategiche future. L'opportunità di creare nuovi prodotti e servizi viene proposta dal sistema sulla base dei dati esistenti provenienti anche dall'utenza.

- **Automazione a catena chiusa:** applicazione di decisioni cui dal controllo delle conseguenze devono essere riviste le decisioni iniziali. Il lavoro è autonomo potendo operare scelte senza interventi esterni aggiuntivi.
- **Lavori di ricerca ripetitivi:** Nei casi in cui si debbano compiere ricerche conoscitive ed analisi su grandi quantità di dati applicando pattern ricorrenti, il sistema può comprendere la procedura in una fase di apprendimento e condurre poi in autonomia il lavoro. (Chui, et al., 2013)

1.12.8 Robotica

I maggiori produttori di sistemi per l'i4.0 pongono come obiettivi da un lato la diffusione di sistemi automatici di produzione con minima supervisione e dall'altro l'introduzione di soluzioni in cui gli operatori sono affiancati dal sistema robotico in configurazioni di sistemi produttivi ibridi.

Le innovazioni viste nella i4.0 si vedono applicate anche nel campo della robotica: mentre sistemi quali gli AGV sono ad oggi impiegati con successo, le precedenti iniziative di sostituire la forza lavoro con sistemi totalmente automatizzati, come il CIM, non avevano prodotto i risultati sperati per l'eccessiva rigidità e specializzazione. La piena automatizzazione dell'impianto non è più un obiettivo. Lo scopo è la creazione una macchina smart in grado di comprendere ed adattarsi in tempo reale per supportare l'operatore nelle attività per lui più problematiche. L'operatore viene affiancato nella linea o cella produttiva da robot smart in grado di compiere lavoro di squadra, realizzando un team ibrido. L'ergonomia del luogo di lavoro viene aumentata così come la produttività: nel team di lavoro ibrido le caratteristiche del personale e del sistema robotico vengono valutate come un unico gruppo, combinando la flessibilità dell'operatore alla precisione delle macchine.

La conoscenza acquisita nella gestione dei team di lavoro di soli umani può essere trasferita, realizzando un sistema robotico in grado di compiere azioni di sostegno all'operatore apprendendo quanto necessario. (Richert, Shehadeh, Müller, Schröder, & Jeschke, 2016)

Nello stato attuale la ricerca per l'i4.0 dovrà concentrarsi nel definire i requisiti chiave per una unità robotica affinché sia in grado di collaborare con l'operatore nel compiere l'attività lavorativa. I requisiti ricercati sono flessibilità, affidabilità e sicurezza piuttosto che l'elevata velocità di esecuzione delle attività.

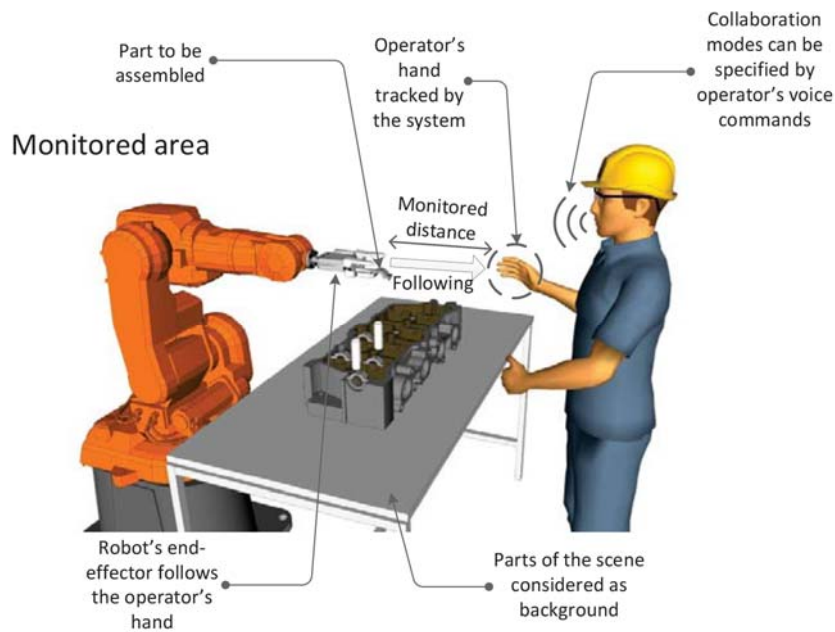


Figura 1.7 - Interazione simbiotica operatore e braccio antropomorfo (Wang, Törngren, & Onori, 2015)

Lo sviluppo delle interfacce di interazione gestuale e vocale (figura 1.7) viene portato avanti per agevolare la collaborazione ed i dati raccolti utilizzati per il miglioramento delle future applicazioni (Wang, Törngren, & Onori, 2015). Nei robot collaborativi gli standard di sicurezza da rispettare diventano più elevati essendo posizionati a stretto contatto con gli operatori in ambienti senza barriere di separazione. Solo l'uso di un CPS capace di comprendere le posizioni, il contesto e la situazione operativa dei macchinari può permettere tale sicurezza per l'individuo (Thoben, Wiesner, & Wuest, 2017).

1.13 Problematiche nell'Implementazione

L'introduzione dell'i4.0 è una scelta aziendale, non parte dal livello produttivo e deve essere decisa. I cambiamenti avvengono alle basi, sia tecnologiche che organizzative, coinvolgendo l'hardware ed il software della società dando vita ad una integrazione tra le attività umane e le nuove tecnologie. (Lee, Kao, & Yang, 2014)

È atteso che il dinamismo e il tasso di sviluppo delle tecnologie dell'industria 4.0 sarà pari a quello visto nella diffusione della rete Internet, i modelli di business per la produzione ed i servizi dovranno quindi essere in grado di sostenere il ritmo. L'industria che si occupa dello sviluppo dei sistemi ICT dovrà collaborare con i fornitori di attrezzature industriali e con le aziende manifatturiere in modo tale che la tecnologia

segua le reali esigenze dei loro clienti. L'adattabilità dell'architettura deve prevalere sulle soluzioni hardware-software-servizi rigidamente legati tra loro.

Nella scelta dei sistemi software e dei servizi rappresenta un passo importante quanto la scelta dell'hardware nel realizzare le operazioni. I modelli realizzati con sistemi incompatibili sono ostacoli alla pianificazione.

L'insieme degli strumenti della i4.0 adottati devono assicurare di poter mantenere il sistema costantemente sotto controllo. Dalle comunicazioni di rete ai possibili errori di acquisizione dei dati di feedback: il sistema non può permettersi un blocco completo o di optare per scelte negative per l'azienda.

Il personale infine deve essere interpellato e coinvolto sin dalle fasi iniziali della transizione. Il sistema utilizzato non deve essere inteso come un sostituto dell'uomo o richiedere maggior lavoro del personale per il suo mantenimento, deve invece affiancare ed aiutare nelle attività. La componente umana dell'implementazione deve capire i benefici che l'i4.0 può portare e come mantenerli durante l'uso.

Le raccomandazioni che si ritrovano nella letteratura (Zuehlke, 2009) puntano a prevenire gli errori del passato nell'implementare propriamente le tecnologie ICT che si fanno in breve tempo disponibili.

I punti da seguire saranno:

- Riduzione della complessità, mantenendo modulari e snelle le tecnologie
- Evitare strutture centralizzate in favore di sistemi decentralizzati ed autonomi, con moduli capaci di integrarsi in autonomia
- Permettere l'organizzazione automatica a livello del sistema
- Permettere un reale concurrent engineering, disaccoppiando i processi di sviluppo secondo modelli semantici
- Creare e applicare standard a tutti i livelli possibili per ridurre le difficoltà di pianificazione e rendere riutilizzabili i mezzi acquisiti
- Rafforzare le sinergie interdisciplinari dei team di lavoro
- Sviluppare tecnologie che non perdano di vista l'uomo.

Capitolo 2 – Lean management

Viene di seguito trattato il metodo del Lean Management nei suoi principi e negli strumenti cui viene applicato, in modo da averne una definizione completa per il proseguo dell'confronto con l'Industria 4.0.

Individuate le origini nel Toyota Production System (2.1), si trattano i principi del metodo lean (2.2) ed i vantaggi che esso comporta (2.3). Seguono l'individuazione di cosa costituisca lo spreco (2.4) che il metodo si impegna a combattere e sono tracciate le tappe concettuali che portano un'azienda verso la produzione snella (2.5-2.9).

Gli strumenti applicati sul campo sono individuati come un insieme omogeneo (2.10) e approfonditi nei loro dettagli (2.10.1-2.10.13).

Per la completa implementazione, si rivedono i rapporti dell'azienda con i partner commerciali fornitori (2.11) e si considerano i cambiamenti alle procedure di gestione della vita del prodotto (2.12). In fine sono riportate alcune delle criticità presenti (2.13) nel lean management.

2.1 Origine

All'origine della lean production si pone il Toyota Production System, TPS, sviluppato per far fronte alle esigenze interne della Toyota Motor Company. La situazione del Giappone nel periodo seguente la seconda guerra mondiale poneva diverse sfide ai produttori di automobili. La crescita economica era rapida, con una forte competitività interna e un isolamento dai mercati esteri; la produzione di massa di stampo occidentale era la strada favorita dalle aziende ma la richiesta era di una grande varietà di veicoli, con bassi volumi produttivi per il mercato interno. La possibilità di investire in grandi impianti con sistemi produttivi come quelli visti all'estero era limitata dalla mancanza di capitali. Il costo della manodopera era sostanzialmente fisso, con dipendenti non disposti a cambiare occupazione per fattori culturali e con anni di esperienza.

Gli elementi del contesto spinsero a progettare un sistema che per essere economicamente vantaggioso non necessitasse dei grandi numeri della produzione di massa, evitando grandi produzioni di serie, ed impianti di impronta occidentale.

Sotto la guida di Taiichi Ōno, inizialmente ingegnere capo della produzione, avvenne lo sviluppo ed il perfezionamento del Toyota production System. Il sistema fu creato attorno all'eliminazione dello spreco e alla prevenzione degli errori andando ad "automatizzare con un tocco umano" i processi produttivi. Le tecniche sviluppate furono

dapprima applicate alla produzione dei motori a combustione, portandole poi all'assemblaggio finale ed andando a coinvolgere l'intera supply chain.

Tra le prime innovazioni apportate vi furono le consegne just-in-time, il kanban per il controllo della produzione in pull, la riduzione dei tempi di setup ed il riconoscimento dell'importanza dei lavoratori per la soluzione delle problematiche che si potessero verificare. La qualità della produzione era di primaria importanza: producendo solo quello di cui c'è necessità in piccoli lotti e senza scorte, ogni difetto causava una ripercussione in tutte le seguenti fasi della produzione. L'individuazione e la correzione dei problemi, affinché una volta risolti non potessero più ripresentarsi, era quindi vitale per il mantenimento del TPS ed inoltre rendeva il sistema capace di un continuo miglioramento.

Il sistema creato si adattava bene alle variabili richieste del mercato, consentendo di offrire una ampia gamma di prodotti ed allo stesso tempo mantenere i costi contenuti, era così possibile soddisfare le variabili esigenze del cliente andando a produrre i mezzi secondo le personali richieste in tempi ridotti rispetto ogni concorrente. Negli anni 60, all'approdo in occidente, la produzione di massa si ritrovò inadeguata contro la produzione snella degli stabilimenti giapponesi. Il vantaggio era tale da permettere per un ventennio di aumentare le quote di mercato con i produttori di massa occidentali incapaci di competere. Le potenzialità del TPS si fecero chiare a seguito della crisi petrolifera del 1973: nonostante l'arrestarsi della crescita anche in Giappone, Toyota continuò ad essere il produttore con i migliori risultati, grazie alla capacità interna di rimuovere ogni spreco dalle sue attività e di ricavare un profitto grazie alla riduzione dei costi.

Se la pubblicazione del libro *Toyota Production System: Beyond large-scale production* di Taiichi Ōno risale all'anno 1978 (in Giappone), la realizzazione dell'importanza del metodo in occidente avvenne solo in tempi successivi. I primi articoli accademici sul TPS e sugli strumenti come Just-in-time e sull'uso del kanban furono pubblicati ad inizio anni 70, senza suscitare grande interesse e con difficoltà nella distinzione degli elementi del metodo. La diffusione della lean production iniziò concretamente in occidente negli anni 80, spinta dall'evidenti vantaggi competitivi del metodo, mantenendo però diverse incomprensioni sui diversi elementi costitutivi. (Shaha & Ward, 2007)

La metodologia del TPS, sebbene già presentata e nota, trovò sostenitori in occidente non prima di aver formalmente dimostrato l'efficacia del metodo oltre ai fattori specifici

regionali del Paese di origine. La TPS poté essere messa alla prova nel territorio USA nello stabilimento NUMMI quando la gestione fu affidata alla joint venture tra Toyota e General Motor. I risultati dello studio comparativo, che coinvolse stabilimenti GM votati alla produzione di massa, stabilimenti Toyota in Giappone e lo stabilimento NUMMI, provarono come anche con una forza lavoro occidentale il sistema potesse arrivare a risultati comparabili al TPS, indipendentemente dalla posizione geografica (tabella 2.1). (Krafcik, 1988)

Confronto stabilimenti si assemblaggio automobili, 1987			
	GM Framingham	Toyota Takaoka	NUMMI Fremont
Automobili assemblate per ora	31	16	19
Difetti di assemblaggio per 100 automobili	135	45	45
Spazio di assemblaggio per automobile	8.1	4.8	7.0
Magazzino di parti (media)	2 settimane	2 ore	2 giorni

Tabella 2.1 - Prestazioni degli impianti soggetti allo studio comparativo (Womack, Jones, & Roos, 1990)

Il termine lean production si diffuse in seguito alla pubblicazione di *The Machine that Changed the World* nell'anno 1990. Libro che inoltre definisce chiaramente gli elementi del lessico e descrive il sistema in tutte le sue parti.

La comprovata efficacia spinse l'adozione in diversi campi della produzione manifatturiera oltre al settore automobilistico. I risultati ottenuti spinsero i concetti della produzione snella come una base applicabile nei più diversi settori: partendo dalla progettazione per arrivare all'economia, agli ambiti organizzativi ed al settore dei servizi.

2.2 Principi basilari

La nascita in un contesto di un'azienda specifica, il trasferimento verso un altro paese dilatato nel tempo hanno portato a creare una molteplicità di termini e definizioni per definire le misure costitutive della lean production. L'adattamento di alcuni concetti al contesto aziendale o l'introduzione di solo parte delle soluzioni non ha poi contribuito a realizzare un univoco insieme di elementi costitutivi. I primi libri giapponesi sull'argomento arrivarono in occidente quando già i concetti erano applicati, adattati e

definiti dai manager, generando ulteriori fraintendimenti sulla lean production. (Shaha & Ward, 2007)

Il primo concetto verso cui puntò il sistema Toyota era la riduzione dei costi: essendo il profitto la differenza tra il prezzo di vendita ed il costo sostenuto, contrariamente alla comune formula di definire un prezzo aggiungendo un margine ai costi sostenuti.

Linea di base stabilita da Taiichi Ōno è la riduzione del tempo dall'arrivo dell'ordine del cliente a quando avviene la consegna e viene effettuato il pagamento. Nel mezzo tutte le attività che non portano valore sono rimosse perché spreco.

E proprio la lotta allo spreco diventa quindi un principio per il raggiungimento della produzione snella. I requisiti base per raggiungere tale obiettivo sono la produzione just-in-time e l'automazione sotto il controllo umano: il primo si adempie realizzando un processo con un flusso continuo, in grado di portare quanto richiesto, dove richiesto e nel momento richiesto; il secondo si ottiene dotando ogni operatore e ogni processo produttivo dei mezzi per l'individuazione e la correzione dei difetti del prodotto o del sistema.

La maggiore efficienza ottenuta non deve essere tradotta nell'aumento della produzione al pari uso dei mezzi produttivi. Il maggior guadagno avviene nella riduzione dei costi: dalla capacità di eseguire le operazioni come in precedenza, ma al netto degli sprechi eliminati, con una spesa minore per il processo produttivo. La riduzione dei costi porta all'aumento del margine sul prezzo di vendita del prodotto, mantenendo tutte le caratteristiche cui il cliente attribuisce valore e per le quali è disposto a pagare.

2.3 Vantaggi

La lean production è scelta per mantenere un vantaggio competitivo sul mercato e sostenerlo nel tempo. L'introduzione della lean manufacturing non può risolversi con l'introduzione di qualche procedura o variazioni nelle attività industriali, ma richiede una comprensione da parte di tutta la forza lavoro dagli addetti alla produzione al management. Gli strumenti impiegati non sono un insieme di cui l'azienda può servirsi secondo bisogno, ma un pacchetto unico di elementi operanti in sinergia tra loro.

Dall'introduzione si sono osservati, con consistenza, i seguenti risultati per le aziende:

- Riduzione delle merci inventariate a magazzino (materie prime, semilavorati, prodotti finiti) con gli associati costi delle scorte;

- Diminuzione dell'uso di beni consumabili per la produzione (materie prime, energia, etc.) riducendo la necessità di componenti e riducendo gli sprechi nella produzione;
- Ottimizzazione dell'equipaggiamento, sia attrezzature direttamente coinvolte che di supporto utilizzando minori capitali e puntando sul ridurre le macchine complesse con grandi costi di capitale;
- Riduzione degli spazi necessari. L'infrastruttura fisica è ridotta al necessario, sia per quanto riguarda lo spazio per la produzione che per i magazzini, grazie alla riduzione dei requisiti nelle scorte materiali ed ai layout riprogettati;
- Incremento della velocità di produzione (il tempo necessario per la lavorazione di un pezzo dall'inizio delle operazioni al prodotto finito consegnato) eliminando passi delle lavorazioni, movimentazioni, tempi di attesa e downtime;
- Miglioramento della flessibilità della produzione (la possibilità di alterare o riconfigurare il prodotto e seguire le personalizzazioni richieste dal cliente e dal variare del mercato) grazie all'utilizzo di una produzione in pull, consegne secondo il just-in-time con ridotti capitali investiti in materie di inventario;
- Riduzione della complessità (prodotti complessi e processi complessi aumentano la possibilità di errori) mediante la riduzione delle parti, del tipo di lavorazioni e materiali nella progettazione ed eliminando i passaggi non necessari o funzioni non richieste. (Dave & Dixit, 2015)

2.4 Lo spreco

Il grande ostacolo da superare per ottenere una produzione snella è lo spreco, detto muda in giapponese. Tutte le attività che consumano risorse senza produrre un valore rappresentano sprechi per il sistema. Il principio seguito è che il sistema produttivo si può dire tanto più efficiente quanto minore è il consumo di risorse necessario per eseguire la produzione. Gli elementi, siano essi personale, attrezzatura, materiali o prodotto, che portino solo ad un aumento dei costi senza portare alcun altro contributo sono considerati non necessari e dovranno essere intraprese delle azioni per minimizzarli. Definiti quali siano gli sprechi, la teoria snella nel tempo ha sviluppato e perfezionato gli strumenti per combattere le forme di spreco e prevenirne l'ulteriore comparsa.

Ogni forma di spreco è legata alle altre: la sovrapproduzione richiede mezzi e lavoro in eccesso, porta ad un aumento delle scorte ed al consumo di spazio, grandi scorte rendono difficile risalire alle problematiche di produzione.

Nell'attività di tracciare ed eliminare lo spreco non si deve tralasciare alcun aspetto, miglioramenti possono provenire da aree dell'azienda di cui si presume l'efficienza. Spesso inoltre esistono aree in cui lo spreco è comunemente accettato come parte dell'attività lavorativa e non ci si presta attenzione: è da queste situazioni, più difficili da individuare, che si possono avere grandi guadagni di efficienza dopo la prima riduzione degli sprechi più evidenti.

2.4.1 Sovrapproduzione

La sovrapproduzione viene riconosciuta come il problema principale da affrontare nei sistemi produttivi, problematica a cui anche tutte le altre forme di spreco contribuiscono. L'eccessiva produzione viene dalla volontà di utilizzare quanto più possibile i mezzi produttivi, andando a produrre più di quanto sia effettivamente richiesto dal mercato.

La produzione eccessiva porta ad aumentare l'inventario di prodotti e componenti a magazzino senza acquirente, andando così ad immobilizzare capitale con i connessi costi per interessi ed opportunità mancate. Si vanno ad occupare risorse produttive che potrebbero essere destinate ad altro, oltre che impiegare spazi, personale e tempo.

La sovrapproduzione può essere di tipo quantitativo se le unità prodotte sono in numero superiore al necessario o di tipo temporale se sono prodotte con troppo anticipo rispetto l'uso previsto.

2.4.2 Processi e progettazione

La scelta di utilizzare per un dato prodotto processi eccessivamente complicati o costosi rappresenta uno spreco. Frequentemente è la volontà di innovare che porta a forzare l'utilizzo di processi tecnologici complessi e problematici da utilizzare oppure che richiedano di sostenere spese maggiori rispetto a tecnologie concorrenti.

Accade di conseguenza che il costo con cui opera il sistema non sia corrisposto nel valore attribuito al prodotto dal cliente. La qualità raggiunta può essere maggiore ma non percepita nel prodotto, potendo ottenere risultati commerciali uguali, o migliori, anche con processi produttivi più semplici ed economici.

Essendo il prodotto ed i sistemi produttivi sempre più legati, la riduzione di tali sprechi parte dalla fase progettuale, tenendo conto delle specifiche e dei mezzi per ottenerle.

2.4.3 Trasporti

I trasporti sono una fonte spreco: difficilmente apportano valore, ma hanno un costo per i mezzi utilizzati, per i tempi di attesa necessari e per la possibilità causare danni al prodotto nello spostamento. Alcuni trasporti sono indispensabili altri possono essere eliminati, in ogni caso il loro peso sul costo del prodotto va minimizzato.

Rientrano nella categoria l'insieme delle attività di movimentazione necessarie per andare dalle materie prime al prodotto consegnato al cliente. Lo spreco può riguardare sia le movimentazioni interne che le supply chain complesse che vengono a stabilirsi con fornitori e stabilimenti dislocati nei luoghi più vari.

La movimentazione viene stimata come un valore aggiunto dal consumatore solo nel caso in cui porti un vantaggio nella posizione o nelle tempistiche di consegna.

La revisione coinvolge la logistica, il layout degli stabilimenti ed i mezzi impiegati. Caso tipico è la creazione di celle produttive che consentano il passaggio dei componenti tra operatori vicini quando precedentemente lo spostamento avveniva tra reparti.

2.4.4 Tempi di attesa e code

Non è raro che nelle attività svolte la maggior parte del tempo sia spesa ad attendere, piuttosto che nell'effettuare la lavorazione vera e propria. Il completamento di un'operazione, il raffreddamento o asciugatura dei componenti, l'arrivo di un trasporto, la disponibilità della macchina impiegata in un'altra lavorazione, o per operazioni di setup e manutenzione: sono tutte fasi in cui il tempo non è utilizzato per attività a valore aggiunto. La revisione di tutte le attività può portare ad ampi margini di miglioramento nel lead time del prodotto.

2.4.5 Errori e correzioni

Il costo legato ad un difetto riscontrato può andare oltre al valore materiale del componente. Si devono considerare i costi sostenuti per la sua realizzazione nelle stazioni precedenti, comprendendo il consumo di risorse per le operazioni successive eseguite su un componente non conforme. Vanno poi ad aggiungersi le spese della eventuale rilavorazione, con risorse ed operatori dedicati, fuori linea.

Nel caso che in cui difetto sia riscontrato sul prodotto venduto, si includono anche i costi di assistenza ed il danno d'immagine.

Parte dello spreco legato alla qualità è anche l'identificazione errata di componenti senza difetti, riscontrando problematiche non realmente presenti.

2.4.6 Movimenti

Sono le azioni di movimento dei componenti e degli operatori non necessarie per il funzionamento del sistema produttivo. L'operatore e il prodotto possono ritrovarsi a dover compiere movimenti in eccesso o sbagliati a causa di procedure definite in modo errato, di layout mal progettati o di errori di comunicazione. Sono azioni di tale genere: dover riorientare un componente, eseguire più spostamenti per acquisire gli attrezzi necessari o ripetere un movimento perché non eseguito correttamente la prima volta.

Solo gli spostamenti indispensabili devono essere mantenuti, andando ad inserire le indicazioni nelle guide procedurali ed introducendo strumentazioni apposite per agevolare l'attività lavorativa. Attenzione va inoltre riposta all'ergonomia delle operazioni che l'operatore è chiamato a svolgere.

2.4.7 Giacenza

Le scorte ferme in inventario rappresentano uno spreco sia per il valore immobilizzato della merce e per i costi del capitale investito che per motivazioni di spazio, deperimento, deprezzamento e mancato uso che ne possono conseguire. Sono considerati giacenze non necessarie sia i prodotti finiti realizzati senza avere una destinazione già definita sia le scorte di materie prime e semilavorati di cui non sia già previsto un ordine del rispettivo prodotto finito.

Nel processo di creare un sistema produttivo snello, sono inoltre negative per la creazione del flusso produttivo e creano un disaccoppiamento nel sistema, rendendo difficile individuare le altre problematiche in modo trasparente. (Shigeo & Dillon, 1989)

2.4.8 Ulteriori sprechi

Una categoria aggiuntiva di sprechi può essere individuata: sono detti sprechi non ovvi e posso essere identificati nei moderni sistemi produttivi di aziende che vogliono operare in modo lean. Si sviluppano quando, pur eseguendo correttamente

l'implementazione, l'esecuzione causa più costi rispetto all'effetto benefico che apporta. Sono identificabili come tali:

- Il costo promozionale dovuto alla vendita di prodotto che il consumatore non vorrebbe o di cui non ha necessità;
- Il tracciamento eccessivo degli ordini e delle prestazioni: non tutti i passaggi portano valore nel venire registrati;
- L'automatizzazione spinta senza reali necessità, con operazioni più lente, rigide o costose di quanto sia capace un operatore;
- Il costo delle movimentazioni tra contenitori: sebbene rientri negli sprechi da movimentazione, in alcuni casi può essere utile isolare lo spreco connesso con il tempo dedicato alla procedura di kitting o al passaggio dei componenti tra contenitori;
- Costi dall'analisi dello spreco: sono connessi ad un eccessivo impegno di risorse nel voler migliorare, spendendo per il calcolo del costo che lo spreco comporta;
- Valorizzazione della riduzione dei costi: l'uso di risorse per trovare i possibili risparmi provenienti dalla riduzione dello spreco, al posto di impiegarle per ridurre effettivamente gli sprechi;
- Valorizzazione della cattiva qualità: attuare procedure per il calcolo del costo della mancanza di qualità piuttosto che dedicarsi nel miglioramento qualitativo;
- Riportare l'uso e l'efficienza: impiego di strumenti amministrativi per tracciare e riportare i risultati sull'efficienza. (Schonberger, 2008)

Recentemente si è posta molta attenzione alle possibilità offerte dal settore ICT e dalla possibilità di utilizzare le reti dati, potendo avere quantità di dati e comunicazioni con costi molto contenuti. La disponibilità di una grande quantità di dati e la diffusione di sistemi software per ogni attività può portare però a delle inefficienze: l'aumento della produttività ottenuto può nascondere sprechi e risulta essere ancora conveniente solo grazie ai costi ridotti dell'uso dei mezzi informatici. Anche nella tecnologia utilizzata possono quindi trovarsi fonti di muda potenzialmente riducibili od eliminabili.

2.5 Definire il valore

Il valore del prodotto è il punto di partenza su cui è basata la produzione snella. Solo il cliente finale può dare un valore al prodotto in base alla capacità di soddisfare le sue esigenze in un dato momento. Il produttore ha il compito di creare il valore del prodotto,

posizionandolo poi in modo che il cliente sia disposto all'acquisto. La capacità di soddisfare i requisiti non solo a riguardo delle caratteristiche ma anche con tempistiche, disponibilità e affidabilità adeguate, garantisce un posizionamento competitivo sul mercato. Non vengono valutate in assoluto le tecnologie, i processi produttivi o le operazioni che si celano dietro al prodotto se non nei limiti di quel che l'acquirente riceve e constata nel prodotto finale.

Il punto verso cui focalizzarsi è quindi la comprensione di cosa offrire e verso quale cliente rivolgere l'offerta. Pratica comune è invece concentrarsi su obiettivi interni all'azienda, per soddisfare il livello dirigenziale con aumenti delle prestazioni societarie. Seguire l'innovazione tecnologica fine a sé stessa, per mostrare le capacità tecniche e produttive o al contrario fissarsi nell'uso di ciò che si possiede perché ottenuto dopo grandi investimenti non porta a benefici. Il dialogo con il cliente obiettivo è la via che permette di realizzare la migliore offerta, proponendo un prodotto di riconosciuto valore. Le scelte interne per la creazione e la produzione del prodotto saranno in secondo piano rispetto alla volontà del cliente.

Il costo obiettivo è il punto di arrivo nella definizione del valore: si stabilisce il costo che dovrà avere il prodotto nell'ipotesi dell'assenza di sprechi. Il prezzo non è preso come un punto di partenza per definire il prodotto. Lo sviluppo avviene perseguendo il costo obiettivo e volgendo l'impegno nel rimuovere gli sprechi nella gestione della vita del prodotto. Il prezzo sarà stabilito in un tempo successivo, secondo il posizionamento competitivo che si vuole avere sul mercato ed i guadagni saranno tanto maggiori quanto migliore è la capacità di raggiungere il costo obiettivo in produzione.

2.6 Identificare il flusso di valore

L'insieme delle azioni richieste per condurre un dato prodotto (che sia un bene, un servizio o, sempre più, una loro combinazione) lungo il percorso verso il cliente costituisce il flusso di valore. Sono i tre i punti critici nel management aziendale per stabilire il flusso:

- La risoluzione di problemi che vengono a presentarsi dalla concezione del prodotto al suo lancio in produzione. Si devono attraversare le fasi della progettazione in dettaglio e l'ingegnerizzazione sia del prodotto che del processo;

- La gestione delle informazioni dal ricevimento dell'ordine alla consegna attraverso una programmazione di dettaglio;
- La trasformazione fisica della materia prima ed i componenti in un prodotto finito in mano al cliente.

Il flusso di valore è sempre verso il cliente, non vuole essere la dimostrazione di come le attività aziendali apportino il valore con il fine di massimizzare i guadagni.

L'analisi del flusso porta ad evidenziare le fonti di spreco dove si subiscono spese e non si apporta valore. Tecniche quali il value stream mapping sono state sviluppate per compiere l'analisi dei flussi nell'azienda.

Le attività svolte nel ciclo produttivo possono essere classificate in tre tipologie:

- Attività che creano valore: possono essere sia per attività produttive che riguardanti i servizi, in generale attribuite dal cliente;
- Attività che non creano valore, ma che a causa delle le attuali tecnologie e mezzi produttivi, sono inevitabili, dette muda di tipo 1;
- Attività che non creano valore e che possono quindi essere eliminate, dette muda di tipo 2;

La parte di attività a valore aggiunto è quasi sempre una frazione ridotta del totale, dando una rapida rappresentazione di quanto sia superfluo e quanto sia il margine di miglioramento (figura 2.1).

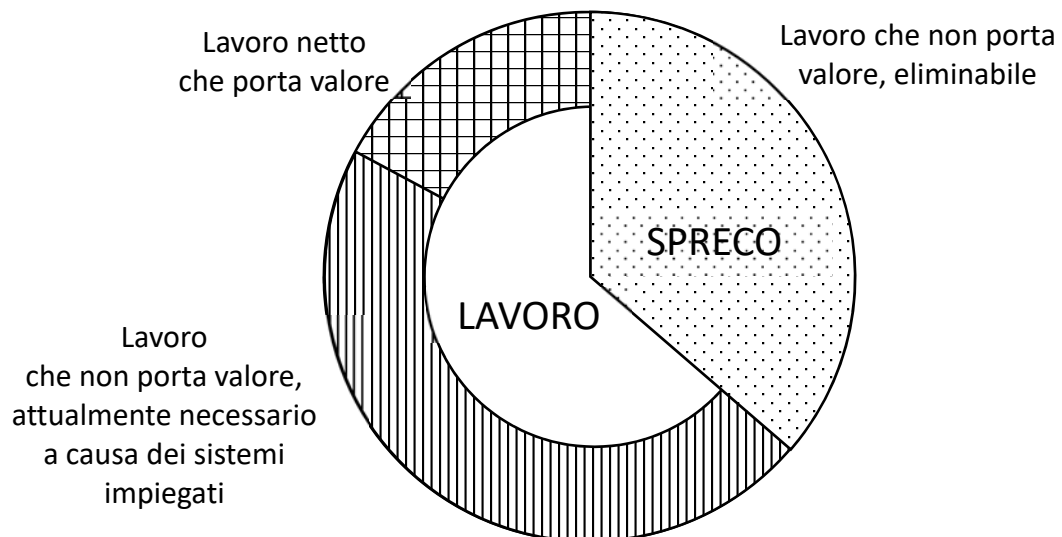


Figura 2.1 – Grafico rappresentativo della divisione delle attività svolte in azienda (Ōno, 1988)

Nell'impresa snella tutte le parti interessate nella realizzazione del prodotto devono interagire in modo trasparente per individuare quale sia l'effettivo flusso di valore. L'attenzione viene rivolta anche ai fattori esterni, come i fornitori, più restii nel

condividere le informazioni e che spesso operano con sprechi non noti al produttore finale ma che pesano sul prodotto. L'intero insieme delle attività è quindi l'oggetto dell'indagine sul flusso di valore.

2.7 Far scorrere il flusso

Dopo aver definito cosa sia il valore del prodotto e quale sia il flusso che porta questo valore, è necessario definire quali iniziative mantengano il flusso costante. Le attività che portano il valore devono continuare mentre si devono ridurre o eliminare quelle che portano spreco. L'arrestarsi del flusso equivale alla cessazione dell'attività per l'azienda che opera la produzione snella.

Gli ostacoli allo scorrere del flusso sono presenti su diversi piani del sistema produttivo. Uffici e funzioni aziendali possono ostacolare il flusso con la lentezza delle loro procedure e delle comunicazioni interaziendali. Nell'insieme l'intero sistema organizzativo può agevolare o impedire il flusso.

Organizzare le attività produttive in modo che la produzione sia costante e alla più elevata velocità sostenibile non è un modo efficiente di far scorrere il flusso, al contrario porta solo allo spreco venendo ad impiegare risorse di cui non si ha reale necessità.

Il flusso era uno dei concetti su cui Ōno aveva basato il sistema produttivo Toyota. Idealmente ogni singolo prodotto può fluire nel sistema produttivo solo a seguito del bisogno generato da un ordine del cliente.

Dall'inizio alla fine del processo produttivo il lotto è di dimensioni contenute per evitare gli sprechi: la regola generale è operare in piccoli lotti, dando vita a molti, seppur contenuti, flussi di prodotto nel sistema.

La linea di produzione degli stabilimenti Ford, punto iniziale della produzione di massa, era riconosciuta come un primo approccio alla problematica di realizzare un flusso: le operazioni erano svolte in uno stabilimento completamente integrato in cui il singolo prodotto fluiva da una lavorazione all'altra. Il sistema Ford presentava la problematica di essere concepito per eseguire solamente la produzione di massa: se al variare del mercato la necessità di produzione cala, il sistema non può regolare la sua produzione alle mutate condizioni, risultando incapace di mantenere il flusso.

Anche il reparto tradizionalmente concepito per operare con un insieme di lotti di produzione deve essere riorganizzato per ottenere il flusso: agendo sul layout, adottando configurazioni a celle e scegliendo macchinari adatti ad operare in piccole quantità. Il

traguardo è realizzare un sistema capace di mantenere il flusso adeguandosi alla richiesta, con una scalabilità che permetta il funzionamento in ogni condizione, operando sempre per quantità ridotte e secondo necessità.

Un errore che si presenta con frequenza è scendere a compromessi per via degli impianti a disposizione: non volere investire nella tecnologia o sistema adatto. Risolversi di utilizzare un macchinario che richieda tempi lunghi di setup o con problemi di manutenzione solo perché è un acquisto di valore elevato che deve essere giustificato nel tempo o perché non si voglia affrontare un ulteriore l'investimento. La realizzazione di celle produttive e arrivare al lotto unitario può portare ad un maggiore costo iniziale per la necessità di macchinari adatti o adattati a questo scopo.

L'insieme delle attività correttive intraprese non può ridursi al singolo prodotto o alla singola operazione. Quando si ha una visione complessiva del flusso di valore ed ogni attività è riorganizzata per generare e far fluire tale flusso, per tutta la produzione presente e futura, allora l'azienda si può definire operante in modo snello.

L'effetto immediato della conversione nello stabilire il flusso mediante i team di prodotto e produzione in piccoli lotti è che il tempo richiesto dall'ideazione al raggiungimento della produzione, vendita e consegna del prodotto si riduce significativamente. I risparmi raggiungibili sono nell'ordine del 50% per lo sviluppo, il 75% per l'elaborazione degli ordini e del 90% per i tempi di produzione. (Womack & Jones, 1997)

2.8 Produrre in Pull

Operare mediante una trazione da valle nell'esecuzione delle attività va completare il processo di definizione e mantenimento del flusso. Dopo la revisione delle attività per operare in piccoli lotti si esegue una riorganizzazione delle modalità di gestione degli ordini di produzione. Si attua una modalità di produzione innescata dalla richiesta di valle, definita quindi in pull, trazione. Applicare una produzione in pull piuttosto che in push è in piena opposizione alla tipica produzione di massa. Nella produzione push il prodotto è spinto nel mercato senza la certezza di trovare il cliente o sul valore che vi potrà essere attribuito, mediante stime e previsioni, provocando una potenziale sovrapproduzione in tutti i punti del sistema produttivo. Nel push infatti ogni stazione è solita produrre in tutto il tempo disponibile, senza dover considerare il futuro uso a valle di tale prodotto.

L'attuazione del pull si ha partendo dal realizzare solo quello che il cliente richiede: la produzione dell'intero sistema viene poi trainata dalla necessità in ogni fase. Le operazioni non sono gestite tramite schedulazione stabilita in anticipo delle attività perché è alla precisa richiesta di una stazione a valle che si genera il bisogno dell'attività a monte. L'abbattimento dello spreco è quindi una caratteristica intrinseca di tale modo di operare, che non andrà mai a produrre oltre quanto necessario. Negli anni la tecnica del kanban ha permesso di introdurre la produzione in pull in modo trasparente e con comprovata efficacia. Dalla consapevolezza del cliente di poter ottenere un prodotto che offre solo quello di cui necessità ed in tempi inferiori alla concorrenza, viene anche accordata una preferenza nel tempo che si traduce in un vantaggio per il posizionamento sul mercato. Sono conseguenze un aumento degli ordini e quindi anche la stabilizzazione della produzione.

2.9 Ricercare la perfezione

Nei miglioramenti trovati dalla definizione del valore, dalla definizione del flusso, dall'instaurare le condizioni per mantenere tale flusso e dall'operare seguendo la trazione del mercato, si comprende quante possano essere le possibilità per migliorare non sfruttate e quanto si possa ancora trovare. La riduzione delle fonti di spreco diventa un processo continuo esteso a tutti i campi.

La perfezione come concetto è astratto ma porta a definire un traguardo a cui aspirare. Dalla sua ricerca derivano l'ispirazione e le linee guida che sosterranno il processo di miglioramento. Nell'intera azienda si ha la spinta ad avanzare e migliorare quello che prima non si credeva possibile. La trasparenza del sistema aiuta il processo di eliminazione degli sprechi potendo avere una visione generale dell'intero flusso di valore a partire dai fornitori esterni fino al cliente finale

Se prima il miglioramento si pensava possibile con l'aumento del tempo dedicato al lavoro ed un forte impegno, ora si punta ad un processo continuo che ha lo scopo di ottenere gli stessi risultati o anche migliori con meno sforzi. In un processo continuo si applicano piccoli passi di miglioramento, evitando mutamenti irreversibili che possono prospettare vantaggi notevoli ma difficili da mantenere e da cui poi è difficile progredire, portando inoltre maggiori rischi in caso di insuccesso.

La transizione alla lean viene solitamente demarcata da due passaggi: un primo passo, il kaikaku, che provoca grandi cambiamenti e solitamente notevoli miglioramenti, cui

segue l'attività kaizen del miglioramento che continua ad essere portato avanti per piccoli passi incrementali ma continui, quindi facili da validare.

2.10 Strumenti utilizzati

Diversi strumenti vengono applicati nel processo di portare un'azienda ad operare secondo la lean manufacturing. Solitamente l'approccio è progressivo, partendo da una produzione/stabilimento pilota per verificare l'applicabilità ed aggiustare i metodi alla realtà aziendale. In una visione monolitica di adozione della lean production, si possono presentare come operanti in modo sinergico gli strumenti della tabella 2.2. (Rüttimann & Stöckli, 2016)

Strumento	Motivazione
Produzione in pull, Kanban	Avviare il processo produttivo con richieste a monte, partendo dal cliente
Just in time, One-piece-flow	Poter realizzare con il sistema produttivo quanto richiesto
SMED	Raggiungere la flessibilità richiesta per operare in JIT
Jidoka Poka-yoke TPM	Eliminare le problematiche, controllare e mantenere operativo il sistema
Heijunka Standard operations	Rendere il sistema in grado di sostenere il ritmo di lavoro
Kaikaku, Kaizen, 5S, 5Why, VSM	Miglioramento continuo e contrasto delle inefficienze

Tabella 2.2 - Strumenti Lean production (Rüttimann & Stöckli, 2016)

L'azione complementare e sinergica degli strumenti conferisce al lean management la superiore capacità di raggiungere molteplici obiettivi di prestazione, non ottenibili andando a considerare gli elementi singolarmente.

Un esempio di sinergia per la riduzione dello spreco è ridurre la variabilità della domanda creando famiglie, permettendo di raggruppare in celle la produzione. Per operare con un mix di prodotti simultaneamente, si eseguono brevi setup e la manutenzione preventiva evita blocchi al flusso a valle. La produzione avviene quando è ricevuto un kanban e le parti con problematiche non giungono alle stazioni successive. Le macchine e le procedure, che possono essere fonte di spreco, seguono la strada del miglioramento continuo, andando a coinvolgere i lavoratori. Per operare nell'intera

linea produttiva in pull è necessario avere fornitori che operino anch'essi in pull, con forniture JIT. Il fornitore deve raggiungere alti livelli di qualità mediante la cooperazione ed i feedback, altrimenti le consegne, anche se nei tempi corretti, non potrebbero essere utilizzate se presentassero troppi componenti fallati.

Se è difficile separare gli elementi costitutivi della lean ed è una operazione complessa metterli tutti in pratica assieme, per chi supera tali difficoltà deriva anche il vantaggio sulla concorrenza, che faticherà ancor di più a seguire la medesima strategia. (Shaha & Ward, 2007)

2.10.1 Kanban: mettere in pratica il pull

Nel sistema kanban le unità richieste sono definite nel tipo e nel numero dall'etichetta kanban applicata, trasferita da un processo a quello recedente, in modo che l'intero stabilimento possa produrre alla richiesta proveniente da valle. La sua applicazione porta ad un abbattimento delle occasioni di spreco ma, per essere utilizzabile, deve essere introdotto in associazione alle seguenti iniziative:

- livellamento della produzione
- standardizzazione del lavoro
- riduzione dei tempi di setup
- miglioramento delle attività
- progettazione accorta del layout dei macchinari
- autonomizzazione.

Il kanban viene utilizzato sia all'interno dello stabilimento che nelle compagnie esterne che operano come fornitori. Le informazioni sono quindi trasferite in un flusso a ritroso al fine di avere una produzione secondo il reale bisogno e consegne JIT.

Per il funzionamento del metodo a kanban è necessario che le richieste siano da valle soddisfatte a monte nei tempi preventivati e che le scorte siano sufficienti per operare in attesa del reintegro: l'intero sistema agisce in modo armonizzato. Una variazione della domanda richiede un adattamento delle attività: il rischio di variazione della produzione è presente, potendo richiedere straordinari e flessibilità ai dipendenti nel lavoro per evitare inattività o sovrapproduzioni.

Il kanban è parte integrate e alla base della regolazione delle attività all'interno di un impianto operante con ritmi Just-in-time. In netta separazione dal tradizionale controllo della produzione in cui ogni stazione riceve la programmazione su previsione di tutte le

attività da svolgere, decisa in modo centralizzato. Le attività da compiere non sono più stabilite in anticipo su intervalli predefiniti, ma seguono le richieste, in modo decentralizzato.

Il sistema realizzato si definisce operante in pull, rispetto al funzionamento push con schedulazione della produzione. Per il suo funzionamento è richiesto di rispettare costantemente le regole, contravvenire, anche seguendo il buon senso di non avere macchinari fermi, porta all'inefficienza e alla creazione di spreco per l'intero sistema produttivo.

Sono presenti diversi kanban con diversi fini, applicati ai singoli componenti o ai contenitori contenenti più unità. Si differenziano nel ruolo: per la movimentazione; per produrre; per richiesta di materiale dai fornitori. Le informazioni necessarie sono contenute interamente nel kanban: luogo, tipologia di attività, numero di componenti e priorità. Nel caso sia destinato ad un fornitore esterno, si aggiungono le informazioni sulle tempistiche: i lotti di consegna sono ridotti e le consegne frequenti, il rispetto dei tempi di consegna è fondamentale. In casi di eccezione, possono essere impiegati kanban a singolo uso per casi emergenza di produzione.

Operando con kanban, all'uso della scorta sulla linea si posiziona l'avviso di reintegro in un'area stabilita. L'operatore incaricato dei trasporti con il kanban raccolto ha l'autorizzazione ad effettuare il trasporto prelevando dalla stazione a monte. Al prelievo a monte si ha l'inserimento nella tabella di richieste di produzione del kanban presente sul materiale prelevato. Al materiale prelevato si applica il kanban di trasporto e si effettua il movimento verso la stazione di valle. Dall'area di richiesta di produzione si opererà per reintegrare quanto consumato, togliendo il kanban ed applicandolo alla nuova produzione.

Se il layout dei mezzi produttivi lo consente, tra stazioni limitrofe il kanban si fa unico, con lo scambio diretto del cartello per avviare la produzione a monte. Ulteriori varianti si realizzano con l'impiego del contenitore stesso come kanban tra le stazioni o con l'applicazione di un tag su ogni componente utilizzato.

Per visualizzare l'informazione di priorità veicolata con il kanban, diverse colorazioni sono utilizzate nei cartelli e nella tabella per il posizionamento degli avvisi: si ha una segnalazione visiva chiara sull'urgenza di reintegro e consegna. La maggior priorità va ai casi in cui si utilizzi l'ultima etichetta, in cui la mancanza del materiale è prossima, oppure dove si siano accumulati più cartelli dello stesso tipo di componente nella tabella.

2.10.1.1 Caratteristiche del kanban

Il processo successivo deve prelevare il prodotto necessario dal processo precedente nelle quantità necessarie, nel punto necessario.

Segue che ogni ritiro nelle quantità, tempi o luogo diverso viene proibito. La possibilità di operare in questo modo deve essere implementata nel sistema produttivo in modo che le produzioni di tali quantità siano fattibili. Livellare la produzione è quindi fondamentale per ottenere tempi e lotti di lavorazione gestibili.

Il processo precedente deve produrre il suo prodotto nelle quantità ritirate dal processo successivo.

Si deve quindi evitare di mantenere la produzione sempre attiva andando oltre il numero riportato sul kanban. Il numero di kanban circolati va regolato per bilanciare quantità prodotte e tempi di produzione. La sovrapproduzione va evitata anche al costo di mantenere i mezzi produttivi fermi. Sono l'insieme delle attività e la scelta nell'esecuzione della stazione produttiva a mantenere costante il richiamo a produrre e la regolazione dei tempi necessari a tali produzioni. quanto si vogliono mantenere i mezzi produttivi sempre in funzione

I prodotti difettosi non devono mai proseguire verso il processo successivo.

Produrre e portare a valle le sole quantità necessarie è efficace solamente se tutto il prodotto è utilizzabile dal processo successivo. Mancando unità di inventario da sostituire nel caso di problemi. Le stazioni sono quindi dotate di soluzioni per bloccare in autonomia i pezzi fallati. Il processo di soluzione delle problematiche che portano alla produzione non utilizzabile deve essere continuo, andando sempre a ricercare l'origine del problema e risolvendola: questo ha la priorità anche sulla produzione della linea, l'avviso di stop è visibile e trasparente a tutti.

Il numero di kanban deve essere ridotto al minimo

Ad ogni kanban corrisponde una quantità di scorta, diviene quindi vantaggioso per ridurre i costi associati avere il minimo numero di kanban possibile. L'attenzione va nel ottenere un numero di cartelli sufficiente al funzionamento continuo operando con il minimo lead time e i lotti minimi possibili. Se la domanda è in crescita, mantenendo il numero di kanban fissi deve diminuire il lead time per soddisfare le loro indicazioni. Operare con un numero elevato di kanban rende subito visibile l'inefficienza del sistema essendo chiaramente visibili le scorte posizionate in prossimità della linea. La

flessibilità del metodo permette inoltre di variare il numero ritirando o introducendo kanban nel sistema per la sua regolazione.

Il kanban deve essere usato per adattarsi a piccole fluttuazioni della domanda

Il processo di regolazione fine del sistema passa per il numero di kanban utilizzati.

Le fluttuazioni della domanda rappresentano una problematica che i sistemi di schedulazione settimanali o simili gestiscono con fatica dovendo prendere con relativamente ampio anticipo le decisioni sulla produzione da eseguire in ogni stazione. Con il kanban la regolazione delle attività da compiere è legata direttamente alle richieste giunte a monte dai processi a valle, senza complesse previsioni. È quindi nativo del sistema l'adeguamento alle piccole fluttuazioni della domanda con poca previsione. Le grandi variazioni della domanda dovute alla stagionalità e al mercato richiedono variazioni nel numero di kanban in uso, con un ricalcolo dei tempi necessari per soddisfare la produzione prevista. Tali previsioni possono comunque essere meno accurate, essendo la regolazione fine delegata alla linea stessa.

Kanban elettronici e sistemi automatici

In alcune fasi delle lavorazioni e del processo di assemblaggio le operazioni sono condotte in modo automatico, richiedendo diverse implementazioni del kanban. Le macchine devono essere in grado di operare trasferendo tra loro le informazioni che comunemente conterrebbe un kanban. Sebbene il sistema sia automatico, la comunicazione deve essere efficace ed affidabile, rendendolo capace di operare seguendo tutte le regole del kanban. Il compito è reso più difficile dal dover coordinare svariate macchine, diverse per ritmo di lavoro, tempi di setup e cicli di manutenzione. Il controllo autonomo della qualità non può essere mai trascurato e deve essere implementato nelle operazioni automatiche, permettendo il blocco in caso di anomalie. Il kanban elettronico richiede sistemi aggiuntivi per il suo controllo ma evita gli interventi manuali. I vantaggi ottenuti sono i medesimi della versione ordinaria: eliminazione inventari tra le stazioni, riducendoli a poche unità in modo sempre controllato; operazioni originate sempre per richieste da valle; capacità di adattarsi alle variazioni della domanda; lead time ridotti.

Già nelle prime applicazioni del kanban si possono vedere applicati sistemi elettromeccanici, realizzati in modo da avviare la produzione a monte quando la macchina a valle fosse pronta a ricevere il prodotto. Una diversa applicazione della produzione in autonomia si può attuare nelle macchine in cui i ritmi di lavoro hanno tempi certi, dove un timer regola numero di unità prodotte.

Le informazioni produttive sono visualizzate nelle stazioni da monitor, segnali visuali applicati sui contenitori e avvisi luminosi sullo stato della stazione.

Le possibilità di utilizzare kanban di diverse tipologie sono state esplorate sin da quanto sono state disponibili tecnologie alternative. La necessità di operare con cartelli indicativi della produzione anche in ambienti ostili quali il reparto saldatura o verniciatura degli stabilimenti automobilistici, ha portato all'uso di identificativi digitali memorizzati su schede identificative. Le schede impiegate possono essere sia elettromagnetiche con un lettore apposito che a radiofrequenza, permettendo la lettura senza contatto. Alla lettura dell'identificativo si accede alle informazioni salvate in remoto su un computer, permettendo all'operatore incaricato di visualizzare quali lavorazioni siano state effettuate e quali seguiranno, allo stesso modo del kanban cartaceo. Il sistema produttivo stesso riceve dalla scheda le informazioni sulle lavorazioni da eseguire nei macchinari collegati al computer di controllo, andando a selezionare i componenti necessari e inviando le richieste di produzione a monte, tenendo conto della necessità di livellare la produzione. (Monden, 1994)

2.10.2 Operazioni in just in time

Nato originariamente come un sistema interno per le operazioni della Toyota, il just in time si estese poi all'insieme delle aziende operanti come fornitori e nelle consegne. L'applicazione è poi avvenuta a livello mondiale indipendentemente dalla dimensione e tipologia di azienda, ed è la strategia scelta in tutti i casi in cui si vogliono eliminare le scorte di inventario, anche per aziende che non seguono interamente la lean production.

Il principio dell'operare in just in time consiste nel produrre, o consegnare, quanto necessario, nel momento necessario e nel punto necessario, rispettando tali vincoli in tutte le operazioni da monte a valle.

L'uso del JIT porta all'eliminazione delle scorte intermedie nei reparti e nei magazzini, essendo presenti in ogni momento solo le quantità necessarie ad eseguire le operazioni richieste per brevi periodi. Da ciò si ha una conseguente riduzione degli sprechi dovuti alle scorte ed un aumento della rotazione dei capitali.

Il sistema produttivo realizzato deve essere in grado di accettare richieste di produzione e forniture in pull, operando solo con le quantità necessarie e con un rigido rispetto dei

tempi stabiliti. L'impiego dei cartelli kanban segnala la richiesta di materiale a monte, da soddisfare entro i precisi limiti temporali, per non alterare le attività a valle.

Sono requisiti per agevolare l'attuazione del JIT che la produzione risulti livellata, il lavoro standardizzato, i tempi di setup ridotti, con attenzione alla qualità, alla progettazione e al layout di stabilimento.

Il JIT è legato, in particolare, al controllo della qualità e al blocco dei difetti a monte, potendo portare solo unità funzionanti alla stazione successiva: effettuando ogni consegna nell'ultimo momento utile prima dell'uso, il mantenimento del flusso viene compromesso nel caso una unità risultasse difettosa, non avendone disponibile una sostitutiva.

Evoluzione del JIT è la modalità di operare secondo il Just in Sequence, JIS, andando ad aggiungere, oltre al rispetto delle tempistiche, posizione e quantità della consegna, l'elemento della sequenzialità.

Le consegne preparate in JIS sono disposte in sequenza, stabilita conoscendo preventivamente l'ordine con cui si farà uso dei componenti. La preparazione di tali ordini risulta più complessa e costosa: il guadagno di tempo e la semplicità nel prelievo seguendo la sequenza d'uso devono quindi giustificare la pratica. Inoltre, il flusso di informazioni da valle a monte deve essere più dettagliato, stabilendo maggiori sinergie nei rapporti di fornitura con soggetti esterni.

2.10.3 SMED

La lean production richiede al sistema produttivo di poter produrre le quantità di prodotto necessarie, nel giusto momento, mantenendo ugualmente una ampia varietà di prodotti e flessibilità nella loro produzione. Utilizzare macchinari e linee su cui è possibile compiere operazioni su prodotti di vario tipo ed il cui setup per il cambio di produzione avvenga in tempi ridotti è quindi un elemento imprescindibile. Allo scopo si utilizzano macchine general purpose: lo stesso macchinario ha una configurazione adattabile e flessibile, che permette di operare lavorazioni diverse per diversi prodotti. La scelta è contraria alla produzione di massa in cui è solito l'impiego di un macchinario specializzato in grado di massimizzare la produzione ma utilizzabile per un numero limitato di prodotti. I macchinari general purpose permettono una riduzione dei tempi di lead time potendo essere riconfigurati e azionati in breve tempo alla ricezione di un ordine mediante kanban. Vantaggi ulteriori sono la qualità ottenibile

da un setup più robusto e veloce per l'operatore e l'allontanamento dell'obsolescenza del macchinario.

L'obiettivo ultimo è un macchinario capace di operare per lotto unitario, potendo operare una riconfigurazione dopo ogni componente, in autonomia o con intervento minimo.

Il tempo di setup è il principale problema di un macchinario utilizzato in modo flessibile: operare in piccoli lotti è efficace se il tempo per passare da una produzione alla successiva si mantiene ridotto. Tali necessità hanno portato a definire la tecnica SMED, Single Minute Exchange of Die, termine che deriva per il suo primo impiego nel setup di cambio stampo nelle presse meccaniche contenendo i tempi alla singola cifra dei minuti. La procedura di setup può richiedere le più varie attività a seconda della tipologia del sistema interessato, ma le operazioni svolte sono generalmente classificabili in quattro categorie:

- Preparazione e controllo di componenti e strumenti
- Montaggio o rimozione di parti, modifica della configurazione, trattamenti e pulizia
- Misurazione, taratura ed aggiustamenti
- Test dell'avvenuto setup, produzione di prova

Le fasi così definite vengono eseguite in tempi diversi: prima della SMED le operazioni possono essere eseguite in ordine sparso, a discrezione degli operatori perché delle procedure non sono mai state definite o i manuali originali non sono più utilizzabili per via di modifiche successive dell'impianto.

La SMED segue in modo rigoroso quattro fasi di attuazione:

1. Il punto di partenza è **l'elencazione e l'analisi delle operazioni** condotte: le operazioni sono annotate con rispettivi tempi e classificazione. Metodi quali il work sampling sono utilizzabili per setup ripetuti e le interviste portano un feedback di chi esegue le operazioni contribuendo con l'esperienza. In questa fase si attua la distinzione tra le operazioni di setup che possono essere seguite quanto il macchinario è in funzione, esterne, e quelle interne che richiedono il fermo delle attività. È evidente che le operazioni esterne possono essere eseguite senza fermare la produzione, guadagnando tempo, ma non di rado operazioni esterne sono eseguite dopo il fermo macchina.

2. All'analisi segue la **separazione delle attività**. Si dividono le operazioni interne da quelle esterne: il macchinario dovrà essere fermo solo nel momento dell'esecuzione di quest'ultime. Le parti necessarie ad eseguire il setup vengono preparate nelle vicinanze, con anticipo, seguendo un'apposita lista in modo da non avere dimenticanze. Segnali visivi e sagome degli strumenti da utilizzare nell'area di lavoro agevolano le operazioni. Oltre alla verifica della presenza, si attua un controllo dello stato e della funzionalità dello strumento.
Vengono stabilite in modo dettagliato le attività standardizzate da svolgere durante il setup. Dall'eseguire quanto prescritto avviene solitamente un notevole risparmio dei tempi, avendo operato solo una riorganizzazione delle attività già svolte in precedenza.
Il setup può richiedere di coinvolgere più operatori, come per il trasporto di componenti di grandi dimensioni, stabilire nel manuale in modo rigoroso come svolgere tali attività è cruciale, essendo le più onerose in termini di tempo lavorativo.
3. Nella terza fase si attua **la conversione delle operazioni di setup** da interne ad esterne. Alcune operazioni come taratura, centraggio, riscaldamento o assemblaggi di sottoinsiemi possono essere svolte sia durante il montaggio in macchina che in anticipo, a macchinario in funzione. Modifiche alle attività, agli strumenti o ai macchinari possono essere necessarie per ottenere questi guadagni di tempo: i costi sostenuti si mantengono contenuti se il numero di setup che si vuole operare è elevato, giustificando anche la creazione di strumenti specializzati. Le operazioni possono inoltre subire una standardizzazione tra le diverse macchine per incoraggiare l'apprendimento con la ripetizione e prevenire errori di distrazione.
4. In ultima fase si ha **l'ottimizzazione delle operazioni di setup**. La revisione riguarda tutte le operazioni, siano esse esterne o interne, anche se è da quest'ultime che si possono ottenere i vantaggi maggiori. Si attua qui un'attività che porta a riconsiderare ciò che si esegue e se sia possibile agevolarlo. Una strategia adottata è la parallelizzazione delle attività andando a definire tra più operatori quali siano i compiti individuali, andando a limitare gli spostamenti, definendo segnali e mezzi di comunicazione per la coordinazione. Si va poi a riconsiderare la riprogettazione dei fissaggi, degli avvitamenti, degli allineamenti e dei centraggi: una conformazione ottimale agevola le operazioni

e riduce i tempi, oltre che le possibilità di errore. Le regolazioni sono infine eliminate o rese più rapide ed agevoli, con segnali visivi quali demarcazioni, scale e riferimenti, evitando anche di dover eseguire una produzione di prova per tarare la macchina. (Shingo & Dillon, 1985)

2.10.4 Altri sistemi di setup

La ricerca di velocizzare le operazioni di riconfigurazione dei macchinari, per lavorare con un mix produttivo vario, sono andate anche oltre il metodo SMED. Nell'ottica di eseguire le operazioni di setup nel modo più rapido possibile, sono stati sviluppati metodi automatici o "a singolo tocco" che permettono di eseguire una variazione della configurazione in tempi quasi istantanei, con intervento umano ridotto al minimo.

Si valutano le caratteristiche minime comuni dei prodotti e si apportano modifiche in modo che il macchinario accetti diversi prodotti senza variare la maggior parte della sua configurazione. I cambiamenti da effettuare sono minimi come la posizione di fori o la corsa di un attuatore, gestibili con un comando a pulsante. La forma di guide e cavità inoltre può essere resa tale da accettare diversi modelli senza setup con meccanismi a molla o parti di contatto rese standard.

Le configurazioni possono essere tali da montare in contemporanea più configurazioni, abilitandone al funzionamento solo quella richiesta, mediante una rotazione o alla pressione di un comando.

Rispetto ai macchinari singoli specializzati, per queste soluzioni possono essere necessari componenti inizialmente più costosi come stampi unici più complessi o configurazioni di più sensori, non tutti sempre utilizzati, con il tempo di setup risparmiato a ripagare l'investimento. (Shigeo & Dillon, 1989)

2.10.5 Eliminare gli errori

Ottenere la totalità della produzione priva di problematiche, così da permettere l'eliminazione dello spreco ed il mantenimento stabile del flusso produttivo, è uno degli obiettivi verso cui puntare per operare la produzione snella. Ciò si ottiene bloccando a monte ogni difetto e correggendone sistematicamente le cause.

Nella ricerca di ottenere una produzione priva di difetti nella totalità dei componenti, gli sforzi vengono concentrati sulle aree di:

- Ispezione, andando a **controllare ogni prodotto** che viene inviato a valle, non eseguendo controlli a campione. Valutando le cause dei difetti riscontrati si possono così ricercare le soluzioni e raggiungere una qualità assicurata dal processo.
- **Metodi di controllo** della qualità: con la volontà di effettuare ispezioni su tutta la produzione, i metodi impiegati devono essere attuabili dagli addetti alla produzione con controlli rapidi svolti in autonomia
- I sistemi utilizzati devono essere facili e **prevenire gli errori per concezione**, in modo da rendere possibile la produzione esente da difetti.

(Shigeo & Dillon, 1989)

L'individuazione del difetto deve avvenire nella stazione di produzione, evitando che il problema venga trasferito a valle. Così facendo si evita che il difetto venga scoperto nelle stazioni successive, rendendo difficile l'individuazione di dove si sia originato ed eliminarne la causa. Per raggiungere questi obiettivi sono introdotti diversi strumenti (Figura 2.2) tra cui: le tecniche per automatizzare con supervisione dell'operatore le attività, la jidoka per sospendere la produzione, i sistemi a prova di errore poka-yoke, la definizione di procedure standard a cui si richiede di attenersi ed i segnali visuali andon, per monitorare costantemente lo stato di funzionamento dell'intero sistema produttivo.

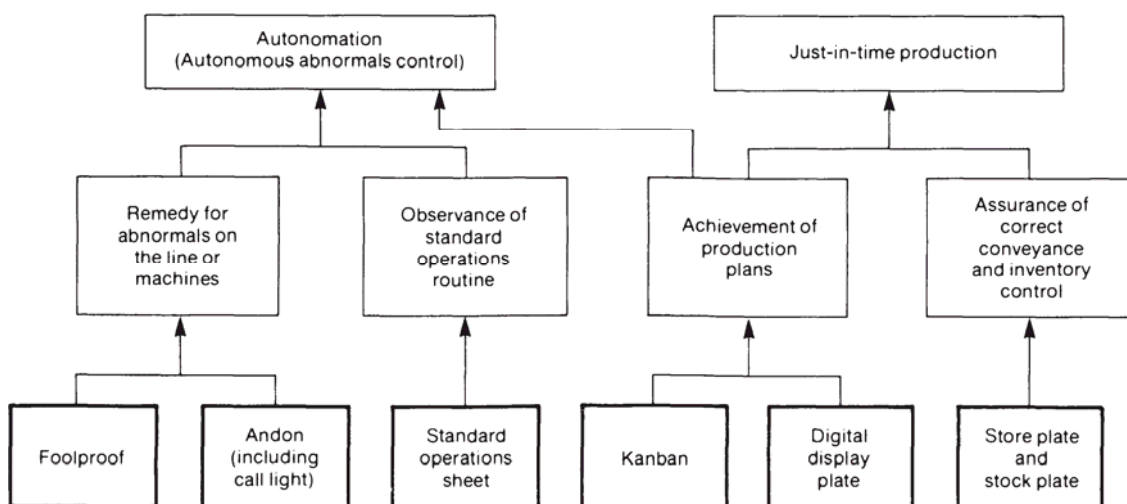


Figura 2.2 - Framework del processo di controllo per l'eliminazione degli errori (Monden, 1994)

2.10.5.1 Jidoka

Automatizzare la produzione con un tocco umano era sin da subito una delle basi su cui si è ispirata la lean production in Toyota. La produzione viene fermata per evitare ripercussioni sul macchinario o che prodotti fallati possano proseguire verso le stazioni successive, eliminando lo spreco che ciò comporta.

Il metodo impiegato è detto jidoka, termine che indica l'aspetto di eseguire in autonomia il controllo di un lavoro automatico, al pari del controllo di un operatore. Questa scelta era in contrasto con gli stabilimenti occidentali in cui un operatore veniva incaricato di restare fermo nell'osservare la produzione nell'attesa di un problema, senza creare valore nella sua attività oppure si accettava di produrre ampie quantità fuori specifica. L'operatore ha così modo seguire la produzione di più macchine, senza che debba stare a controllare la lavorazione in ogni istante. Solo quando si presenta una problematica la produzione si arresta in sicurezza ed è chiamato ad intervenire.

Le macchine impiegate devono essere in grado di riconoscere un'anomalia nel loro funzionamento e di eseguire l'arresto della produzione prevenendo danneggiamenti. Il sistema impiega controlli meccanici o sensori, con una possibile applicazione di ogni tecnologia di verifica della produzione.

Se necessario ogni operatore ha l'autorità di attuare l'arresto dell'intera produzione: il blocco può essere attivato anche da un operatore che, con i dispositivi di controllo posti in tutte le linee o stazioni, riscontri la non conformità.

In senso lato, strumenti di rilevazione degli errori sono anche il kanban e il tempo ciclo, monitorando scostamenti e anomalie. Nelle etichette è indicata ogni informazione necessaria alla produzione e alla movimentazione, se si esce dalla specifica è richiesto un intervento. Il mancato rispetto dei tempi assegnati nel compiere un'operazione è una segnalazione che qualcosa non sta funzionando correttamente.

Al blocco devono seguire immediatamente le operazioni per risolvere la problematica. Il presentarsi di un difetto produttivo è visto come un problema da risolvere ma anche come un'opportunità per impedire che possa accadere ancora. Le operazioni di ripristino della produzione e per prevenire il ripresentarsi del problema sono condotte in team in grado quindi di apprendere e omogenizzare le competenze dei singoli individui.

L'uso di macchinari in grado di bloccarsi in autonomia e la possibilità per ogni singolo operatore di bloccare la linea richiede scelte organizzative considerevoli. Viene conferita più responsabilità ad ogni lavoratore, con la delega di mantenere il flusso e

risolvere le problematiche, ma allo stesso tempo si può compiere il lavoro che prima avrebbe richiesto più operatori e si ottimizza l'uso del sistema.

2.10.5.2 Poka-yoke

Con poka-yoke si intende l'impiego di strumenti, controlli e procedure a prova di errore. Mantenere minime le possibilità di compiere uno sbaglio nell'esecuzione del lavoro e nelle attività di ispezione sulla produzione resta sempre una priorità, eliminando lo spreco che deriva da montaggi errati, ripetizioni o dimenticanze nella stazione e le conseguenti ripercussioni sul flusso della linea.

Di base le operazioni da svolgere devono già essere standardizzate secondo il principio di prevenire gli errori e di essere apprese rapidamente, ma strumenti di controllo e di prevenzione si rilevano sempre utili. Si utilizzano quindi dispositivi integrati nei macchinari e nelle postazioni di lavoro per aiutare il giudizio umano e per rendere l'attività a prova di errore.

Si possono impiegare strumenti con metodo a contatto in cui un sensore, come un interruttore, accerta la presenza di un componente o di un difetto; il controllo può estendersi ai sistemi a visione che possono controllare anche colore e codici.

Se l'elemento importante è che tutti i componenti siano stati utilizzati nel procedimento, si impiegano sistemi a metodo completo: sistemi come fotocellule o telecamere rilevano il prelievo dai contenitori ed il posizionamento nell'assemblato.

I metodi di indicazione delle azioni da intraprendere sono invece utilizzati per segnalare all'operatore quali siano le azioni da compiere. Vengono usati quando nella linea si lavorano modelli diversi con procedure e componenti diverse: all'individuazione del modello si avviano indicatori luminosi e controlli di completamento delle operazioni specifici.

2.10.5.3 Andon

Nell'implementare l'autonomizzazione dei dipendenti, lo stato dello stabilimento deve sempre essere sotto controllo mediante schermi e tabelle per il controllo visivo dello stato delle linee e del flusso. Lo strumento utilizzato per la segnalazione è un monitor, detto andon, in cui ogni operatore può avere con trasparenza l'informazione sull'operatività dell'intero sistema. Viene applicato ad ogni macchina e linea produttiva,

oltre che con pannelli posizionati in modo ben visibile nello stabilimento per i supervisori ed il servizio manutenzione.

Oltre ai pannelli luminosi, per la segnalazione si impiegano anche luci posizionate nei pressi della stazione di lavoro. L'importanza della segnalazione sull'andon è codificata mediante dei colori per riferire immediatamente il livello di priorità. Vengono impiegate segnalazioni del tipo (Monden, 1994):

- rosso: problematica sul macchinario
- bianco: fine dell'operazione di produzione della quantità richiesta
- verde: inattività per mancanza di materiali
- blu: unità difettosa
- giallo: necessità di setup

Le informazioni mostrate dal display possono riguardare le operazioni da compiere, il numero di unità da produrre e lo stato delle scorte: l'informazione aiuta ogni operatore nel portare avanti le sue attività in autonomia. Il controllo visuale riveste quindi una importanza che va oltre la sola segnalazione, esso è integrato nella lean production e viene impiegato anche per informare gli operatori e regolarne le attività lavorative.

2.10.6 TPM

Il TPM, total productive maintenance, è una strategia operativa per migliorare la produttività mediante il miglioramento della manutenzione e delle pratiche ad essa connesse. Il TPM ha come scopo primario mantenere lo stabilimento ed i macchinari nelle loro condizioni operative, non nell'andare a riparare i guasti e ripristinare la funzionalità al presentarsi del problema, portando l'intervento dall'essere reattivo ad essere preventivo.

Nel metodo è implicito che ogni intervento deve essere guidato da un fine migliorativo per lo stato del sistema, portando a guadagni di produttività e non considerando soddisfacente la sola correzione del problema. L'eliminazione dei difetti e delle condizioni che portano alla rottura è il fine ultimo del metodo, andando ad indagare e limitare le motivazioni che portano a dover eseguire la manutenzione.

L'attuazione si ha considerando tutte le deviazioni dalla condizione operativa ideale ed attuando contromisure per raggiungerla. Viene valutato l'OEE, overall equipment effectiveness, definito dal prodotto delle percentuali di disponibilità temporale, efficienza del ritmo produttivo e qualità della produzione.

Nel definire le strategie da intraprendere, la TPM incentiva quindi l'uso di metodi e di tecnologie per la manutenzione preventiva e predittiva. La metodologia più appropriata nel ripristinare e mantenere la condizione operativa va però individuata di volta in volta, coinvolgendo anche i diretti esecutori della manutenzione e l'operatore che svolge l'attività produttiva. La comprensione delle cause delle rotture è fondamentale per poter monitorare lo stato e comprendere i primi segnali del guasto, quando ancora il sistema è operativo. Il compito di monitorare le condizioni è solitamente ancora affidato all'operatore in prima persona. L'uso di altre metodologie più complesse, come la manutenzione preventiva basata sull'analisi dei dati, è ancora secondario nella pratica comune.

La gestione del macchinario nell'uso deve avere come scopo il prevenire le cause che porteranno poi ad una rottura: le procedure che prevengono la manutenzione vanno definite sistematicamente nelle attività standard. Si controllano le modalità di stoccaggio, installazione, uso e manutenzione in una attività continua che ha lo scopo di aumentare l'affidabilità, estendere la vita ed estendere gli intervalli di manutenzione.

Gli operatori addetti alla produzione e all'uso dell'attrezzatura svolgono un ruolo importante quanto il gruppo di manutenzione nel mantenere l'operatività, effettuando i controlli e le attività manuali di piccola manutenzione durante l'uso che migliorano l'affidabilità.

L'ispezione del macchinario e la manutenzione preventiva è solitamente limitata a procedure non invasive. Attività invasive sono condotte solo se giustificate, decise con prove effettive, dedotte dal monitoraggio delle condizioni delle macchine.

La manutenzione preventiva viene continuamente valutata per stabilire quali procedure siano più efficaci. Se l'operatore non può risolvere la problematica con i mezzi di cui dispone, vengono interpellati gli esperti ed il gruppo manutentivo. Vengono dunque applicate analisi più approfondite, quali l'analisi degli effetti e delle modalità di rottura e strumenti di monitoraggio delle condizioni come sensori delle vibrazioni.

L'attività di insegnamento delle procedure corrette per svolgere le attività è parte del TPM. Un operatore preparato nel svolgere il suo lavoro porta ad eliminare le problematiche legate all'uso non corretto dei macchinari, riducendo quindi anche la necessità di manutenzione. (Moor, 2004)

2.10.7 Heijunka, livellamento della produzione

Operare una produzione JIT verso gli ordini dei clienti può presentare difficoltà nell'accoppiamento con i ritmi produttivi.

Le quantità ordinate possono variare per diversi motivi, come la stagionalità del prodotto o scelte dei distributori, mettendo in difficoltà lo stabilimento in caso di forti variazioni. La problematica si definisce come periodo di domanda non livellato. La realizzazione del sistema con adeguamento al picco della domanda può portare poi allo spreco della forza lavoro in eccesso nei periodi successivi, mentre con un dimensionamento secondo la richiesta media i picchi di produzione restano scoperti.

Una seconda problematica può inoltre presentarsi nelle linee finali quando le richieste di mix produttivo non sono bilanciate tra i diversi modelli, che hanno tempi di lavorazione e componenti diversi: è il problema del di mix di prodotto non livellato.

La soluzione di operare alternando lotti di modelli diversi nella linea causa un aumento del lead time, degli inventari e si alternano momenti di inutilizzo ad altri con necessità di straordinari. La forte variabilità si ripercuote nella richiesta di componenti a monte con effetti negativi sull'intero sistema produttivo e per l'approvvigionamento dai fornitori.

Con heijunka si indica la tecnica di livellamento della produzione che va realizzare una sequenza ripetitiva per la produzione dei diversi modelli, in modo da rispettare il mix variabile per tipologia e quantità di prodotto (Figura 2.3).

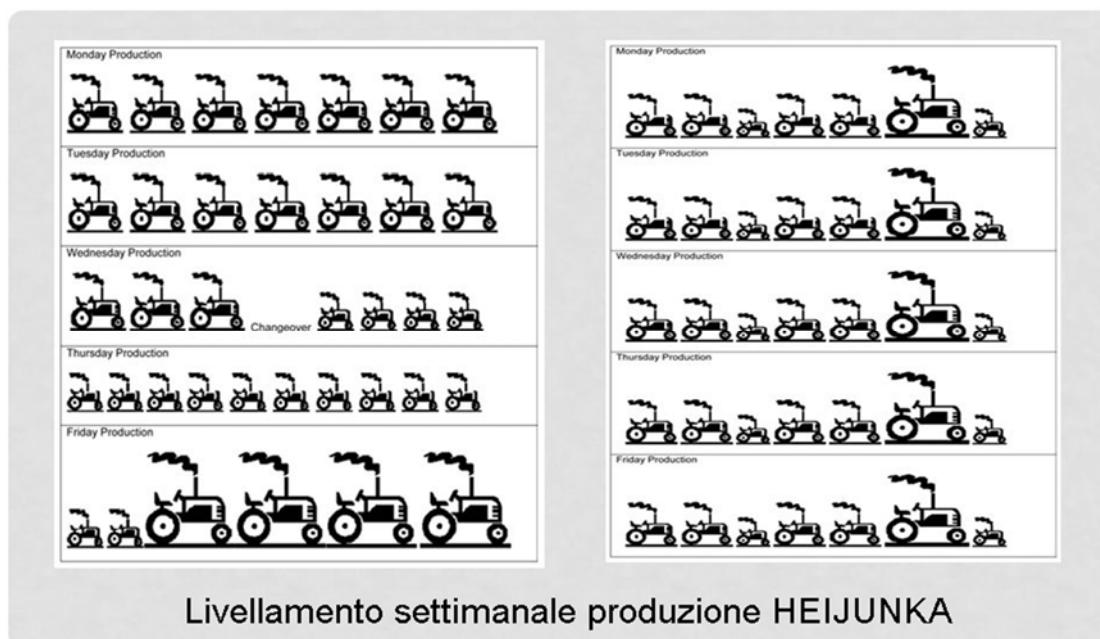


Figura 2.3 - Rappresentazione di livellamento della produzione per più modelli nella settimana (Silveira, 2017)

Tale tecnica permette di gestire in modo prevedibile le ordinazioni sbilanciate nei diversi periodi e nella varietà, continuando ad operare in pull rispetto al mercato.

Il sistema produttivo opera in modo mixed model, andando a realizzare sulla stessa linea una sequenza variabile di modelli diversi, mantenendo stabile la quantità di lavoro nel tempo. Le sequenze sono continuamente aggiornate per le richieste variabili del mercato nel corso delle giornate, delle settimane e dei mesi. La stabilità e la prevedibilità del lavoro estendono i benefici a tutti processi interni, oltre all'attività produttiva, ed ai fornitori, che possono contare su ordinazioni stabili e sicure.

Il livellamento la produzione passa anche per macchinari flessibili: dovendo operare su più modelli con richieste di componenti diverse, si impiegano macchine in grado di adattarsi ad operare su più modelli in sequenze variabili, con la preferenza per i macchinari in grado di adattarsi autonomamente, con componenti hardware adatti a diversi tipi di lavorazione

Per l'applicazione della heijunka si presentano sfide, fattori tecnici e sociali da tenere in considerazione:

- Mezzi produttivi, software e strumenti di comunicazione adeguati per l'applicazione del metodo su larga scala a livello aziendale ed esterno;
- Realizzare scorte di prodotto finito che secondo il lean management costituiscono potenzialmente uno spreco;
- Applicazione non immediata, richiedendo tempi di perfezionamento dei metodi di previsione, un ambiente lavorativo prevedibile nelle attività e la raccolta dati dei clienti
- Stabilire una ampia base di dati della clientela, con nuovi canali di comunicazione, per rendere precisa la parte della produzione basata sulla predizione della domanda;
- Spiegare e comprendere le motivazioni al personale, con possibili limiti alla loro flessibilità nell'attività lavorativa;
- Una produzione livellata è ben accolta dalla forza lavoro se ben attuata, ma devono essere seguite le procedure standard per rispettare le tempistiche del mix produttivo, richiedendo molta più disciplina e pianificazione.

(Reyner & Fleming, 2004)

La scelta di livellare la produzione comporta un aumento degli inventari e dell'uso di tecniche di previsione della domanda, si rende quindi necessario un compromesso tra le

capacità di operare in modo totalmente snello e mantenere stabile il carico di lavoro rispetto al mercato.

2.10.8 Operazioni standard e takt ime

Il risultato che si vuole ottenere definendo le operazioni standard è di uniformare la procedura di lavoro, andando a fornire precise indicazioni per gli operatori, materiali e macchine. Definire operazioni standard mantiene elevata l'efficienza del sistema e seguendo le indicazioni contenute si evitano il ripresentarsi di errori o incidenti. Andando poi ad includere i cambiamenti suggeriti dagli stessi lavoratori, si possono apportare continue migliorie alle procedure.

La documentazione delle procedure standard, detta foglio delle operazioni standard, viene posizionata in prossimità di ogni stazione di lavoro, disponibile a ogni dipendente, ed in tabelle nello stabilimento, rientrando così nell'insieme delle segnalazioni visuali. Il foglio delle procedure standard contiene tre informazioni di maggior interesse: il tempo del ciclo, le operazioni standard e le scorte standard.

Il tempo ciclo è definito come tempo totale necessario per completare un compito assegnato, eseguendo le operazioni secondo le procedure di routine. Questo tempo è definito inizialmente nel progetto del prodotto, ma può essere variato considerando l'efficienza raggiunta. Il tempo effettivo può superare il takt time essendo un tempo minimo che non considera la variabilità delle operazioni.

Il tempo takt è dato dal rapporto tra il tempo di produzione disponibile diviso il tempo per realizzare i prodotti richiesti. Il tempo di produzione a disposizione è dato dall'orario di lavoro regolare, considerando il solo tempo di lavoro effettivo della linea, senza straordinari o pause. Il tempo per realizzare la produzione dipende dalle operazioni necessarie nel singolo prodotto e dalla quantità dell'ordine. Il takt indica il tempo a disposizione per realizzare un singolo prodotto nella linea per rispettare l'ordine, andando così a definire il ritmo di produzione da mantenere. Anche la necessità di forza lavoro nel periodo considerato è definita: per un takt time ridotto, con volumi elevati di ordini, si possono diminuire le operazioni che ogni operatore deve compiere, andando ad assegnare più operatori; nei periodi di bassa richiesta, con un tempo a disposizione elevato, si può ridurre la forza lavoro coinvolta ed aumentare le operazioni per ogni operatore. Così operando si mantiene una produttività elevata e la linea rimane flessibile alle variazioni della domanda. (Monden, 1994)

Le operazioni standard di routine indicano la serie di compiti assegnati all'operatore. Nella routine sono comprese tutte le indicazioni per svolgere lavoro manuale ed attivare il ciclo produttivo di uno o più macchinari tenendo conto dei rispettivi tempi di esecuzione delle attività. Si indica la sequenza con cui prendere il materiale, caricarlo per le lavorazioni, rimuoverlo, fornendo anche l'ordine secondo cui seguire le macchine di cui è incaricato. Il lavoro standard è considerato adeguato se tutte le operazioni sono utili alla produzione, eliminando i movimenti inutili e mantenendo un ritmo di esecuzione che non richieda fretta o eccessivo sforzo nell'eseguire le azioni.

Stabilire una routine con chiare istruzioni permette in una prima fase di apprendere le operazioni in tempi ridotti e successivamente di impedire abbassamenti del livello qualitativo, evitando di dover ripetere le operazioni errate o di produrre parti fuori specifica.

Con le scorte standard si definisce le quantità di semilavorati da mantenere nelle stazioni di lavoro mentre si esegue l'attività lavorativa. A seconda del tipo di lavorazione, manuale o automatica, le quantità vanno stabilite in modo da non avere interruzione, ma contenendo il work in process della linea.

Con le quantità standard si ha un controllo sulle scorte che assieme alle operazioni just in time permette di ridurre al minimo gli sprechi per l'inventario.

Le one point lesson possono essere aggiunte nella documentazione per agevolare la comprensione e semplificare quanto riportato nelle procedure standard, trasmettendo la conoscenza delle pratiche migliori o di eventuali aggiornamenti. Queste brevi lezioni vanno in aiuto ai nuovi dipendenti nel loro percorso di formazione e permettono a tutto il personale di contribuire in modo diretto.

2.10.9 Kaikaku iniziale

Il kaikaku si attua con una trasformazione sostanziale del sistema produttivo. Si tratta del cambiamento antecedente al processo kaizen e ne rappresenta il punto di partenza. Viene comunemente definito come un evento occasionale, con un aumento drastico delle prestazioni e solitamente avviato per iniziativa del management. È una riforma del sistema, della conoscenza e dei metodi, capace di eliminare le inefficienze e le problematiche da subito più evidenti. Su come realizzare il kaikaku ci sono diverse teorie, le prevalenti sono: l'approccio sistematico, l'approccio contingente ed il metodo basato sull'apprendimento.

L'approccio sistematico si basa sull'applicare una esistente teoria della produzione in modo rigoroso, seguendo le indicazioni come prescrizioni. Si ha un'alta efficienza nella transizione agendo su una via predeterminata, nell'interesse di contribuire da subito alla competitività della produzione. Dopo la comprensione delle teorie produttive, si attua quanto prescritto in modo sistematico. Il rischio è di recepire il cambiamento senza apprenderne i concetti su cui si basa, rendendo difficile la sostenibilità sul lungo periodo. L'approccio contingente considera che ogni azienda deve trovare la propria via al cambiamento, data la specificità di ogni realtà aziendale. I fattori interni ed esterni vanno analizzati caso per caso e solo in seguito si possono definire le condizioni necessarie per il cambiamento. Risulta il metodo suggerito quando si vuole un miglioramento che includa una forte cambiamento culturale. Si evidenzia che la gestione del cambiamento presenta più strade: può partire dall'altro o dal basso, può essere collaborativo o direttivo tra il personale, con la scelta migliore indicata dai fattori specifici del contesto. L'approccio tramite apprendimento considera il cambiamento come un processo di studio e comprensione. Si attua considerando ogni aspetto dell'attività come importante per la conoscenza e l'attuazione del cambiamento. La conoscenza parte dalla comprensione dell'organizzazione: burocrazia, gestione scientifica, suddivisione dei ruoli esecutivi e manageriali. Segue la comprensione di come operi l'azienda con procedure, suddivisione del lavoro e routine. Dalla comprensione avviene la teorizzazione di un cambiamento che sappia coinvolgere l'intera attività, cercando di trovare la soluzione più adatta tra quelle già conosciute. Dopo l'applicazione del cambiamento serve un impegno nel continuare ad apprendere e sperimentare nell'organizzazione, imparando dalle nuove procedure e distogliendo l'attenzione dal passato. Punta quindi all'apprendimento di un metodo da parte del personale più che nella metodicità e l'efficienza del processo di cambiamento. (Yamamoto Y. , 2010)

2.10.10 Eventi kaizen

Il termine kaizen, traducibile come cambiare in meglio, esprime l'attività di miglioramento continuo da intraprendere. L'attuazione si ha mediante eventi in cui un progetto di miglioramento specializzato e strutturato viene portato avanti su una certa area di lavoro da un team con membri provenienti da più funzioni (Le possibili linee guida sono riassunte nella tabella 2.3).

Abilità richiesta nel Kaizen	Linee guida per il miglioramento
Rilevare i problemi con una visione rigorosa	1) Osservare l'azienda sul piano produttivo in modo rigoroso
	2) Non accontentarsi del livello raggiunto per le operazioni
	3) Chiedersi i motivi delle anomalie viste
	4) Non incolpare gli operatori, ma il sistema seguito e gli standard
Formulare soluzioni semplici ma creative ed efficaci	5) Mettere prima la saggezza rispetto l'uso di denaro
	6) Creare subito soluzioni temporanee, anche se la soluzione ottimale non è ancora nota o richiederà tempo per essere raggiunta
Prendere azioni immediate	7) Iniziare il cambiamento immediatamente quando la soluzione può essere implementata
	8) Iniziare il cambiamento anche se è incerto. Ulteriori miglioramenti si troveranno dopo aver visto il cambiamento.

Tabella 2.3 – Linee guida per applicazione del kaizen (Yamamoto Y., 2008)

Le aree di miglioramento possono essere tecniche come il lead time, il work in progress, la produttività o aspetti sociali riguardando la formazione, la conoscenza e le abilità dei dipendenti.

Nell'evento si stabiliscono obiettivi ed il team opera per raggiungerli. Si evidenzia come i risultati ottenibili migliorino con figure poste ad agevolare il dialogo tra le parti e con la definizione di un framework per condurre le operazioni dell'evento.

Le iniziative hanno maggiore efficacia quanto si applica in modo sistematico una valutazione delle prestazioni raggiunte, si valuta se gli obiettivi siano stati raggiunti e si pianificano attività di controllo sulle conseguenze degli interventi.

Sostenere il cambiamento effettuato e realizzare cambiamenti mantenibili per lungo tempo è una delle maggiori sfide degli eventi kaizen. Un rischio è l'interruzione dell'attività dopo aver ottenuto risultati soddisfacenti, essendo lo spreco non totalmente eliminabile per natura e richiedendo una quantità crescente di impegno al miglioramento. Ma non interrompere la ricerca della perfezione porta al mantenimento costante degli standard a cui si è giunti. (Van Aken, Farris, Glover, & Letens, 2010)

2.10.11 Procedura 5 Why

Al presentarsi di una problematica, si presenta anche l'occasione di un miglioramento, affinché non si possa ripetere. Seguendo tale principio, si è stabilita la procedura di chiedere, al presentarsi di ogni problema, “cinque volte perché”.

La tecnica va a ricercare la causa ultima, anche quando non sia evidente o di immediata deduzione, operando con consequenzialità a ritroso. Il nome è un invito a ripetere la domanda, con un numero di cinque ripetizioni solitamente sufficiente per arrivare ad una risposta ultima esaustiva.

Il risultato è che al presentarsi di una problematica, come un guasto, al posto di sostituire la parte e riprendere la produzione si attua la procedura di chiedersi iterativamente quale ne sia la causa, indagando la motivazione di ogni risposta. Approfondendo di volta in volta la causa, si giunge alla radice del problema e si può agire in modo da prevenirne la ricomparsa.

Questo metodo empirico venne utilizzato già in origine nel TPS: ogni operatore nello svolgere le sue mansioni era in grado di contribuire personalmente alla causa di eliminare le fonti di spreco dovute alle problematiche riscontrate. (Ōno, 1988)

2.10.12 5S nella cultura del miglioramento

Lo scopo del metodo definito come 5S è l'eliminazione dello sporco sul posto di lavoro considerato in senso lato. Fanno parte degli elementi da eliminare sia nelle aree di produzione così come negli uffici: i lavori in sospeso, i componenti di inventario inutili e non più in uso, strumenti non necessari, i tempi di setup eccessivi, parti non funzionanti, le situazioni di pericolo ed in generale ogni elemento superfluo che causa disordine.

Il metodo viene definito come 5S dai cinque termini in lingua giapponese che lo costituiscono:

- *Seiri*: fare una cernita tra ciò che è utile e ciò che non è necessario
- *Seiton*: separare e catalogare i materiali in modo ordinato
- *Seiso*: pulire per mantenere la pulizia e l'ordine
- *Seiketsu*: mantenere quanto realizzato ai punti precedenti
- *Shitsuke*: disciplina, imparare a conformarsi al rispetto delle regole

Nell'esecuzione di ogni attività che possa portare miglioramento, lo schema procedurale da seguire è il seguente:

- **Pianificare l'operazione:** prende la decisione su quali siano i risultati attesi, come procedere, il tempo di esecuzione e quello necessario per vederne gli effetti
- **Eseguire:** mettere in atto quanto pianificato
- **Verificare:** mantenere controllato quanto si è fatto per verificarne gli effetti positivi, se essi abbiano raggiunto le aspettative o se ci siano deviazioni dal pianificato
- **Agire:** prendere le azioni correttive necessarie per riportare entro la pianificazione l'azione eseguita o se necessario tornare allo stato originario.
- Proseguire ciclicamente fino a raggiungere i propri obiettivi

L'intento è non solo di portare un miglioramento immediato ma anche di mantenere tale miglioramento nel tempo. Si ha quindi l'attività di valutazione e controllo dei risultati come condizione imprescindibile da ogni attività di miglioramento che voglia essere duratura. (Borris, 2006)

2.10.13 Value stream mapping

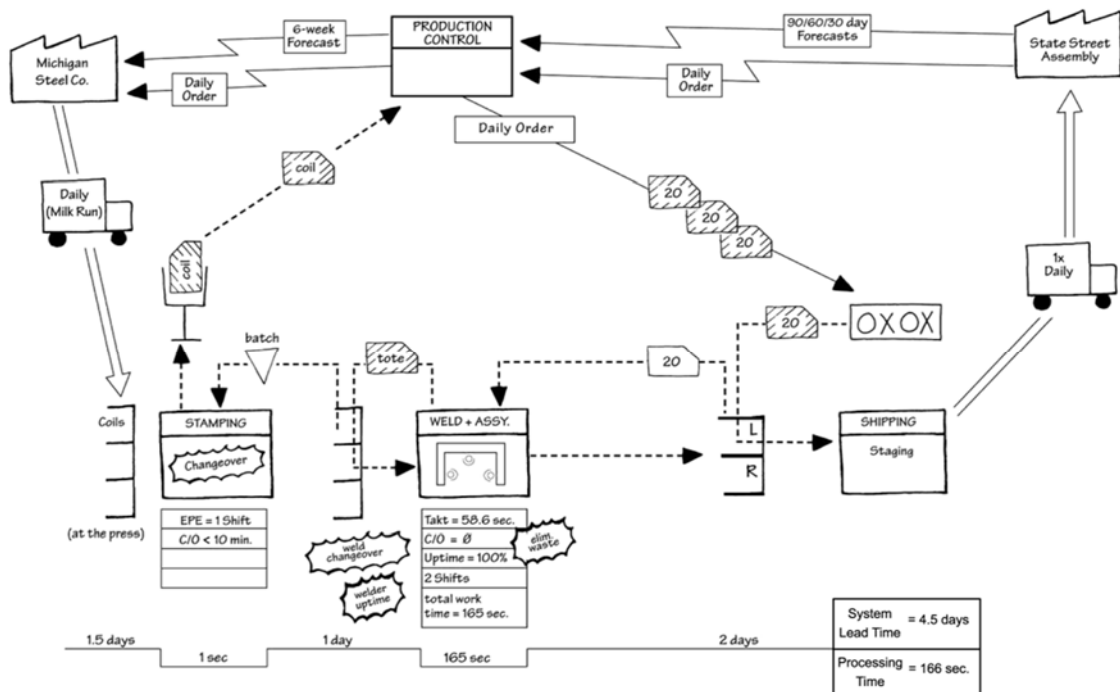


Figura 2.4 Rappresentazione di esempio di una VSM (Womack P. J., 2006)

Il value stream mapping, VSM, è uno strumento della lean production che ha come obiettivo mappare i processi partendo dai fornitori fino al cliente, tracciando i flussi

produttivi e delle informazioni, evidenziando gli ostacoli e le attività che non apportano valore. Il VSM rappresenta il punto di partenza per comprendere lo stato attuale e delineare la strategia per i miglioramenti futuri.

L'attività deve essere svolta in azienda, dal personale che si occupa dell'attività decisionale. L'importanza del processo va oltre ai numeri e agli obiettivi che si vogliono ottenere nel futuro, l'attività spinge al dialogo e alla realizzazione di un ambiente che voglia portare il cambiamento.

In modo schematico, i punti del processo sono:

- Definire il valore secondo il cliente ed il processo: percorrere le azioni del processo produttivo secondo il flusso attuale, identificando i passaggi che portano valore e quelli che sono uno spreco
- Creare una mappa VSM dello stato corrente, aggiungendo le informazioni rilevanti, i flussi di informazioni e materiali
- Analizzare e definire le opportunità di miglioramento (colli di bottiglia, ostacoli al flusso, eliminazione degli sprechi)
- Creare una mappa di uno stato futuro, obiettivo realistico
- Definire il piano di azione per andare verso lo stato futuro

Tra le informazioni rilevanti si includono le caratteristiche del flusso: come avviene la comunicazione dell'ordine del cliente, le quantità e la frequenza, andando a tracciare come questo venga trasferito fino all'ordine di materie prime. Aggiungere informazioni nella mappa richiede una preparazione in anticipo, con la raccolta di dati sulle prestazioni dei singoli passi del processo. Alcune delle informazioni incluse sono: quantità delle scorte, tempo ciclo, lead time, utilizzo delle risorse, n. di operatori, n. di ore di lavoro, quantità di scarti, indici di qualità, componenti per lotto.

L'obiettivo nel realizzare la mappa è comprendere quale sia la capacità di portare valore e definire quali azioni intraprendere per ottenere un miglioramento. Nello specifico si valutano per ogni passo del processo le capacità seguenti:

- **Creare valore**, dal punto di vista del cliente. Se il cliente dà valore a tale passaggio, si deve valutare se sia indispensabile per le operazioni o se si possa modificarlo.
- **Ottenere la qualità** richiesta. La valutazione è sulla capacità di operare come previsto e raggiungere gli obiettivi di qualità. Essa rappresenta il punto di partenza per i progetti di miglioramento della produzione.

- **Disponibilità** di un processo ad operare quando richiesto. Si valuta entro quanto tempo è possibile raggiungere la produzione con un risultato soddisfacente (capability problem) e per quanto tempo sia disponibile all'uso la risorsa (availability problem). Le operazioni di TPM vengono decise a partire da tali valutazioni.
- **Adeguatezza** delle capacità del sistema del rispondere alle ordinazioni dei clienti. Solitamente si possono incontrare problematiche di colli di bottiglia o presenza di capacità produttiva in eccesso. Nella produzione snella la preferenza va ai sistemi produttivi che possano scalare linearmente nel lavoro e nei capitali richiesti, per adeguare la capacità produttiva al contesto.
- **Flessibilità** nel passare da una tipologia di prodotto, o famiglia, ad un'altra. Ne consegue la capacità di operare per lotti di ridotte dimensioni o lotto unitario. (Womack P. J., 2006)

2.11 Sviluppo del rapporto con i fornitori

Il rapporto instaurato tra fornitori è strategico nella lean production e non si deve ridurre all'ottenere il prezzo più basso possibile per il prodotto, ma rappresentare un'opportunità per entrambe le realtà aziendali. La posizione di dover fornire un componente secondo specifica, con volumi variabili e la necessità di vincere un'asta al ribasso con un prezzo competitivo mette sotto pressione il fornitore. Il guadagno, con queste modalità di instaurare un contratto, si ottiene solo dopo diverso tempo dall'avvio della fornitura grazie al contenimento dei costi di produzione. Così operando inoltre, il guadagno ed ogni miglioramento del processo vengono tenuti nascosto dal fornitore per non dover rinegoziare il prezzo al ribasso.

Il rapporto obbiettivo dalla lean vede i fornitori coinvolti da una fase iniziale del progetto, mediante un rapporto di fiducia che va in favore di entrambe le parti. La definizione delle specifiche avviene con un dialogo continuo, per evitare difficoltà produttive e variazioni in seguito.

Il costo di realizzare la lavorazione all'esterno può non essere il più economico inizialmente, ma la condivisione di parti della progettazione assicura che i mezzi del fornitore siano adatti alle operazioni e quindi di possano ottenere maggiori riduzioni dei costi nel tempo dal miglioramento delle attività. La richiesta al fornitore può anche

essere ridotta alle specifiche di prodotto, dando l'incarico di compire la progettazione esternamente.

Nell'interesse del prodotto avvengono scambi di personale e si promuove l'apprendimento delle tecniche lean anche da parte dei fornitori. Operare con consegne JIT risulta vantaggioso solo se anche il fornitore mette in atto le stesse pratiche nel suo sistema produttivo. Al contrario se il produttore è capace di consegne puntuali di piccoli lotti ma con grandi scorte di stock per far fronte al variare delle richieste, si è solo spostato lo spreco più a monte nella catena di valore del prodotto.

Una base di lavoro comune con uno scambio di informazioni permette di instaurare un rapporto migliore in cui costi, prezzi e profitti sono più chiari per le parti. L'acquirente paga un prezzo che non sia penalizzante per il reddito del fornitore che al contempo apre alle sue informazioni, non nascondendo i suoi guadagni e le sue attività produttive.

Una differenza nel rapporto si ha anche nel modo di trattare i difetti ed i problemi di qualità. Dato che le operazioni si svolgono con il minimo buffer, trovare componenti inutilizzabili va a minare l'intero flusso. Dai fornitori si pretende che tutte le forniture siano controllate, puntando ad avere zero parti con difetti. Al presentarsi di un problema, si attuano le stesse metodologie che si utilizzerebbero per la produzione interna, andando a ricercare una soluzione per evitare che il problema si ripresenti in futuro. Lo scambio di informazioni è anche in questo caso importante per un continuo miglioramento nella produzione. L'azienda può arrivare a fornire le conoscenze per attuare le correzioni dovute alla produzione se sistematicamente la qualità fornita sia bassa, purché ci sia volontà nel fornitore di migliorare e centrare gli obiettivi comuni.

2.12 Gestione del progetto

L'azienda operante in modo lean ha la capacità di portare sul mercato prodotti di qualità uguale o migliore rispetto alla produzione di massa, con tempistiche ridotte e minori ostacoli nello sviluppo. Tale caratteristica emerse chiaramente nella concorrenza nel settore automobilistico da parte dei gruppi orientali nei confronti dei ben stabiliti marchi occidentali. Se creare un team inter-funzionale è pratica comune, sono le sue caratteristiche a renderlo adatto ad una progettazione snella.

- Il leader o shusa: la figura del leader viene rafforzata nella sua capacità di coordinare e dirigere. I membri del gruppo, specialisti nelle loro materie, devono rispondere al leader che si pone come loro superiore. La gerarchia così stabilita

consente al leader di far avanzare il progetto senza ritrovarsi a dover mediare tra le esigenze delle funzioni agendo da coordinatore. La posizione deve essere forte anche nei confronti del management per evitare scelte calate dall'alto distanti dalle esigenze del progetto.

- Lavoro di squadra: se i membri scelti dalle funzioni aziendali continuano a fare riferimento alla propria unità piuttosto che al leader di progetto, il lavoro rallenta e diviene difficile raggiungere gli obiettivi fissati per il prodotto. Nel nuovo team di progetto, pur mantenendo il legame con la propria funzione, ogni membro risponde al leader del progetto. Il lavoro dedicato al progetto viene riconosciuto nella carriera e non si riduce ad un secondo impegno rispetto le ordinarie mansioni dell'unità di appartenenza.
- Comunicazione: il lavoro viene portato avanti internamente al gruppo di lavoro ed ogni decisione viene presa concordando su come debba essere eseguita, solo il lavoro concordato viene portato avanti. Si vuole evitare che il lavoro di un singolo continui su binari paralleli finché nessuno si oppone, per poi entrare in conflitto e bloccarsi. Il compito del leader è mediare le scelte, incentivare il confronto e trovare i giusti compromessi tra la volontà dei membri del team.
- Sviluppo simultaneo: prodotto e processo produttivo vengono sviluppati in parallelo secondo le comuni esigenze. Il rapporto di comunicazione permette di definire delle basi su cui portare avanti sia la progettazione delle componenti che dei mezzi produttivi per ottenerle, ancor prima di aver fissato le specifiche definitive. Si ottiene la riduzione dei tempi di sviluppo e minori difficoltà nel raggiungere la fase della produzione avendo preso scelte condivise.

(Womack, Jones, & Roos, 1990)

Gli sviluppi futuri nella gestione dei progetti vedranno una sempre maggiore attenzione alle richieste del mercato e una maggiore personalizzazione secondo le esigenze del cliente. La creazione del valore nello sviluppo del prodotto sarà frutto di maggiore attenzione e revisione, essendo sempre più complesso individuare il contributo di ogni attività svolta. La figura del leader del gruppo deve farsi carico di raggiungere gli obiettivi iniziali nel rispetto delle tempistiche.

2.13 Criticità nella lean production

La domanda del mercato è oggi molto variabile, la vita media di un prodotto ridotta e la lean production può avere difficoltà nel rispondere a tali variazioni. La problematica era stata individuata già nelle prime pubblicazioni sul TPS, evidenziando come anche la produzione in linea di assemblaggio di molteplici modelli di automobile richiedesse il livellamento della produzione, dovendo gestire tempistiche ed operazioni diverse. L'accoppiamento tra mercato e linee produttive può portare a rapide variazioni della domanda di prodotto, con il rischio di lasciare parte della capacità produttiva inutilizzata o di dover affrontare un picco della domanda. Se tecniche come la heijunka sono state messe in atto per il livellamento produttivo, le future variazioni dei mercati, sempre più volatili, possono essere una sfida complessa da affrontare con una produzione che va verso la personalizzazione del singolo prodotto ed ordinazioni unitarie.

(Kolberg & Knobloch, 2017)

Tra i dubbi sollevati sulla produzione snella si possono elencare i seguenti:

- Variabilità della domanda: la variabilità della domanda è sempre presente e unire gli ordini dei clienti ad una produzione livellata risulta sempre problematico. In alcuni settori o con certi cicli produttivi ancora non è possibile operare solo su ordinazione ed è necessaria una parte previsionale.
- La variabilità ricade sulla produzione a monte e sull'intera catena delle forniture. Ridurre la variabilità è parte delle tecniche lean ma gli effetti non si possono azzerare. Alternare il mix produttivo e organizzare la schedulazione in modo livellato sono gli approcci utilizzati.
- La parte dell'operatore nella produzione snella è spesso criticata in quanto l'aumento dell'efficienza non porta benefici per chi esegue il lavoro. Gli strumenti utilizzati per aumentare la competitività dell'azienda sono visti in maniera non molto positiva, perché vanno a richiedere sforzi maggiori ai lavoratori.
- Mancanza di visione strategica: il livello strategico della programmazione della produzione non viene considerato primario nei programmi di produzione snella. Ciò può portare ad una difficoltà nella sostenibilità sul lungo periodo.

(Hines, Holweg, & Rich, 2004)

CAPITOLO 3 – Precedenti usi dell'ICT nella Lean Production

Le proposte dal mondo ICT per l'attività aziendale sono sempre state molteplici, con soluzioni contraddistinte da diversi gradi di autonomia e controllo. Viene qui trattato come la lean manufacturing si sia relazionata al variare delle proposte dal mondo ICT: se da un lato l'informatizzazione dei luoghi di lavoro è stato un processo inevitabile, la volontà di mantenere le attività snelle e trasparenti ha posto delle riserve all'introduzione dei sistemi IT in azienda.

Nel capitolo viene prima definito il grado di separazione tra le precedenti forme di assistenza al calcolatore e l'Industria 4.0 (3.1). Si espone poi come le indicazioni dell'impiego nella produzione lean di sistemi informatici in aiuto alla produzione siano rintracciabili anche nello stesso TPS (3.2), con la condizione che essi rispettino sempre i principi lean di trasparenza e di contribuire a ridurre gli sprechi nel sistema. In particolare (3.3) si considerano i sistemi computerizzati di esecuzione della produzione ed i loro requisiti.

Sono state considerate le implementazioni di sistemi ERP a sostegno delle operazioni (3.4) ed il controllo della produzione mediante MES (3.5).

In conclusione è vista la problematica della gestione delle informazioni in modo snello (3.6), sottolineando come anche nell'uso stesso dei mezzi IT si possano presentare sprechi.

3.1 CIM ed Industria 4.0

Data la sua recente introduzione, risulta ancora complesso comprendere quali possano essere i risvolti dell'industria 4.0 in mancanza di un'ampia base di dati. Può quindi essere utile rivedere alcuni aspetti dell'informatizzazione avvenuta con l'industria 3.0, essendo il precedente grande cambiamento nelle tecnologie nel settore industriale.

La produzione integrata al calcolatore, CIM, fece la sua comparsa negli stabilimenti occidentali negli anni 80 e 90, quando sistemi informativi furono ampiamente disponibili. Le possibilità offerte dalla tecnologia portarono alla definizione di una fabbrica in cui i processi erano primariamente svolti in modo automatico. Le attività in tali stabilimenti erano ideate con una forte integrazione della tecnologia IT, in modo da avere una infrastruttura in grado di organizzare i dati end-to-end dal CAD alla

pianificazione ed esecuzione della produzione (CAM e Computer Aided Planing). Soluzioni tecniche collegate alla rete erano adottate per il controllo delle attività automatiche e per monitorare anche le operazioni svolte ancora manualmente.

Le soluzioni CIM erano concepite solitamente per operare in modo centralizzato, con una struttura IT top-down, dove l'unità centrale installata è responsabile del controllo completo di tutti i processi, in modo fortemente gerarchico.

Le possibilità di implementazione si spingevano fino a realizzare sistemi in cui ogni processo produttivo era svolto con l'automazione, basando il funzionamento totalmente sul monitoraggio automatico ed il controllo delle attività. Alternative erano incentrate su un bilanciamento tra le attività umane ed i sistemi tecnologici, conservando il ruolo dell'operazione nel processo produttivo.

I sistemi automatizzati ad oggi proposti dall'industria 4.0 adottano modelli ciberfisici per operare con autonomia nel sistema: sono concepiti per operare in modo decentralizzato, operando decisioni produttive con uno scambio di dati tra le molte unità indipendenti nella rete. Tali tecnologie sono più adatte per includere nelle interazioni l'apporto del personale, considerando i dipendenti come elementi della rete.

La progettazione dei sistemi deve però essere curata affinché le modalità di interazione siano intuitive e tutti i dati siano messi a disposizione come supporto per le scelte manuali. (Kärcher, 2015)

3.2 L'informatizzazione nel TPS

Nel TPS non sono presenti ostacoli all'introduzione di soluzioni tecnologiche, purché giustificate ed in linea con i suoi principi lean. Le prime esigenze da soddisfare erano una riduzione del lead time dall'inserimento dagli ordini alla consegna e la riduzione degli inventari. Il sistema di comunicazione adottato prese il nome di TNS, Toyota Network System, e garantiva il collegamento tra le diverse aree dell'azienda, i sottosistemi adottati e le diverse unità esterne di interesse come i concessionari, i fornitori e le attività all'estero. (Monden, 1994, p. 82)

Nel 1985 in Toyota era già adottata una prima forma del TNS, che provvedeva al collegamento tra diverse unità in una rete di telecomunicazioni, arrivando a coinvolgere anche i fornitori diretti. La completa integrazione della rete delle forniture richiese però diversi anni, arrivando al completamento nel 2001. (Kurokawa, Manabe, & Rassameethes, 2008)

La rete TNS è costituita da una infrastruttura divisa in quattro parti:

1. TNS-D Dealers – per la rete commerciale ed i concessionari
2. TNS-B Bodymakers – per i fornitori di parti della carrozzeria
3. TNS-S Suppliers – per le forniture di componenti
4. TNS-O Overseas – per la comunicazione con la rete commerciale estera

Cui vanno ad aggiungersi le funzioni per mantenere il collegamento con la rete delle attività di produzione interna ALCS, Assembly Line Control System, e con gli applicativi software di progettazione.

Dalla realizzazione di una rete di comunicazione rapida tra le diverse funzioni, la produzione può essere adattata rapidamente alle esigenze del mercato e alle variazioni della domanda, fortemente influenzate dalle preferenze ed i trend del momento.

Il tempo di avviso per un cambiamento nella produzione finale può così essere ridotto a 48 ore, con la capacità di variare le ordinazioni con dettaglio di un giorno lavorativo.

Il piano giornaliero di produzione può quindi essere compilato ed inviato ad ogni stabilimento o fornitore con un apporto diretto dal mercato, basandosi sul master production schedule mensile, sugli ordini effettivi per i 10 giorni seguenti, sulle comunicazioni tempestive di variazioni dai concessionari e sulla sequenza di produzione ottimizzata. (Monden, 1994, p. 75-76)

Il sistema implementato porta quindi i benefici cercati nella gestione della domanda: un tempo di risposta ridotto, l'esecuzione delle attività in modo sincronizzato tra tutti i soggetti coinvolti e la riduzione della necessità di ampi inventari di componenti. Vantaggi ulteriori del sistema sono i tempi ridotti per il passaggio dalla progettazione alla produzione grazie alla condivisione dei dati dalle attività CAD / CAM / CAE in una rete unificata ed alla creazione di un database comune. (Hironori, 1992)

3.3 Sistema di controllo computerizzato della produzione TPS

La parte del sistema TNS per le comunicazioni riguardanti la produzione interna è definita ALCS, Assembly Line Control System, in tale rete sono disponibili tutti i dati riguardanti le attività computer-aided della progettazione, produzione e schedulazione. La soluzione di adottare l'ALCS era vista come lo strumento più adatto per limitare lo spreco e migliorare la competitività nelle aree in cui è implementata.

La rete rispondeva alle necessità di mantenere un canale di comunicazione per tra le ordinazioni eseguite dai concessionari in posizioni remote, il reparto commerciale e l'invio degli ordini di produzione verso tutte le linee dei molteplici stabilimenti Toyota. L'utilizzo di un sistema unificato richiese l'integrazione dei singoli dispositivi di controllo dei mezzi produttivi, dove erano utilizzati software dedicati. Superando tali problematiche è stato possibile ottenere un flusso dati per la registrazione delle attività di lavorazione del prodotto e portare coordinazione nel sistema.

L'ALCS permise di operare in pull in ogni linea e processo produttivo nello stabilimento, fornendo solo le informazioni necessarie nel momento e luogo esatto ed integrandosi con i terminali di stabilimento e con i segnali visivi dei pannelli andon.

È utile comprendere la soluzione IT adottata nel TPS in quanto risponde ai requisiti di compatibilità con i principi della produzione lean. Le caratteristiche che la contraddistinguono sono:

1. Possibilità di scalare nelle dimensioni. La scalabilità di un sistema centralizzato, in cui un'unità principale opera in collegamento ai terminali remoti, è limitata. Il carico di lavoro ricade sull'unica unità centrale che può quindi dare problemi al crescere dell'infrastruttura della rete.
2. Capacità di operare in modo flessibile, adattandosi alla produzione. Utilizzando diverse unità locali, ogni processo è monitorato da una propria unità specializzata, permettendo così un controllo delocalizzato.
3. Carico ridotto all'unità centrale, che rimane impiegata nel ruolo di supervisione e coordinazione, richiedendo una minore capacità di calcolo. Si ottiene inoltre un sistema capace di operare senza essere dipendente dall'unità centrale.
4. Impiego di un sistema di controllo decentralizzato a gerarchia o armonizzato.
L'unità principale, le unità di controllo dislocate nello stabilimento, le unità del livello produttivo ed organizzativo risultano connesse in una unica rete, in cui possono comunicare e coordinarsi tra loro.
5. Il sistema in uso nelle linee di assemblaggio è incaricato di definire le sequenze, secondo gli ordini esterni, per mantenere omogenei i tempi e l'uso dei componenti, secondo il principio di evitare gli sprechi e di mantenere livellata la produzione.
(Monden, 1994, p. Cap. 6)

3.4 Operare con ERP

L'ERP, Enterprise Resource Planning, è un sistema informativo che trova impiego nel realizzare l'integrazione tra processi di tutte le aree funzionali, in modo da migliorare i flussi materiali, standardizzare le procedure ed abilitare l'accesso ai dati da ogni funzione aziendale. Rappresenta una delle soluzioni informatiche di riferimento per ottenere un vantaggio competitivo sul mercato. Il sistema ERP opera eseguendo la gestione di tutte le attività mediante moduli dedicati alle diverse funzioni richieste (lo schema base è presentato in figura 3.1), coordina lo scambio di informazioni con gli altri applicativi in uso e tiene un registro aggiornato di tutte le attività eseguite. Moduli base standard sono il material requirement planning, MRP I, ed il manufacturing resource planning, MRP II.

Negli anni sono stati proposti moduli per la produzione snella, pensati per l'implementazione del sistema produttivo pull in azienda ed il mantenimento del flusso. (Powell, Riezebos, & Strandhagen, 2013)

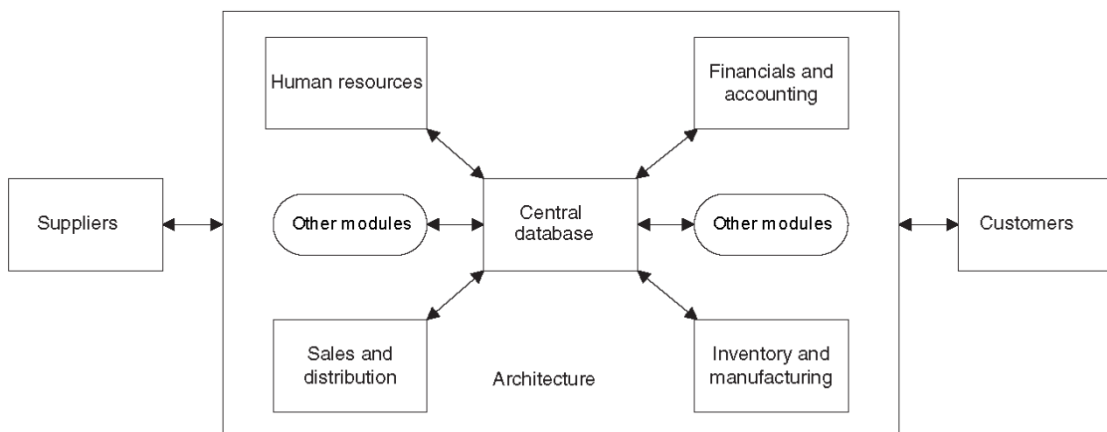


Figura 3.1 - Diagramma architettura ERP (Powell, Riezebos, & Strandhagen, 2013)

Il maggiore interesse per l'attività lean è nei moduli per le procedure di registrazione ed elaborazione dei dati riguardanti attività interne, fornitori e clienti. Il ruolo che più si adatta all'ERP, in tali aziende, è la gestione amministrativa delle risorse di proprietà, la gestione delle consegne, spedizioni ed il controllo dell'inventario..

In particolare è parere di più aziende snelle che sia indispensabile l'uso di un software nell'eseguire registrazioni contabili: registrare i beni in ingresso/uscita e fornire dettagli sui flussi economici per le rispettive attività industriali resta fondamentale anche per chi pratica la produzione snella. (Houy, 2005)

L'impiego di tale software in aziende che applichino il lean manufacturing è stato più volte discusso: sebbene lo scopo perseguito sia un aumento della competitività e l'efficienza dell'uso dei mezzi produttivi, viene identificato come una potenziale fonte di spreco, portando all'aumento degli inventari, alla volontà di programmazione delle attività, alla generale perdita di trasparenza e di immediatezza nella gestione.

Dalle ricerche condotte si è potuto constatare come l'uso di un ERP affiancato alla produzione pull può essere positivo, in particolare nel supporto al tracciamento e al miglioramento delle operazioni. Emerge anche però che l'incompletezza o il mancato supporto di alcuni moduli possono rendere difficile livellare la produzione, valutare gli ordini ed operare con una configurazione kanban. L'esperienza d'uso in alcuni casi ha convinto l'azienda a non proseguire nell'uso dell'ERP o a sviluppare moduli personalizzati da aggiungere per supportare a pieno le operazioni in pull. In altri casi l'adozione del software ERP mancava di supporto alle procedure lean o non era totalmente implementato. Si osserva che con la scelta del corretto pacchetto software si può avere successo nel portare valore al cliente, riducendo il lead time ed aumentando i livelli di servizio. (Powell, Riezebos, & Strandhagen, 2013, p. 395-409)

Non mancano casi che vedono l'ERP come un catalizzatore della produzione lean, per le potenzialità di raccolta dati a supporto dell'implementazione del programma, migliorando e semplificando la pianificazione. Anche in questi casi si sottolinea però l'importanza della scelta del software e di porre enfasi sulla componente umana dei processi durante la transizione, per non fallire nell'uso delle risorse IT. (Powell, Alfnes, & Dreyer, 2013, p. 324-335)

Oltre ai casi positivi, non va trascurato però che in alcuni casi in cui il sistema ERP correntemente in uso è rigido nel funzionamento ed integrato profondamente nelle attività aziendali. In tali situazioni il sistema va ad ostacolare la transizione alla produzione snella.

La previsione della domanda, per fornire le previsioni sui consumi ai fornitori, costituisce invece un campo in cui si conviene che il software sia ancora la soluzione più pratica. Il livellamento della domanda viene in gran parte assorbito dalla flessibilità del sistema lean, in grado di operare su piccoli batch e su richiesta, ma rimane fondamentale comprendere il mercato e le sue richieste future sui periodi di medio e lungo termine. Questo approccio, operando verso il mercato una previsione push della domanda, pur mantenendo in pull la parte operativa della produzione, è giustificato dalla

difficoltà di pianificare in anticipo e prepararsi ad importanti variazioni della domanda futura in alcune tipologie di produzione.

Se quindi per molti casi la lean abbia gli strumenti necessari per fare a meno delle funzioni di un ERP, non tutte le attività delle aziende sono pronte per operare in mancanza di un pacchetto software di supporto. (Houy, 2005)

3.5 Impiego di un MES

Le pratiche del lean management vogliono che trasparenza e semplicità siano concetti da conservare sempre nel sistema. Si presentano però problematiche che, per la loro soluzione, possono richiedere l'impiego di strumenti complessi, che permettano la comunicazione e la registrazione puntuale degli eventi. La conoscenza di una ampia base di dati storici può essere un grande aiuto a supporto delle decisioni, nella soluzione di problematiche e nella definizione di piani per il futuro. Per far fronte a queste esigenze sono stati sviluppati i software MES, Manufacturing Execution System.

I MES rappresentano una categoria di strumenti informatici in grado di controllare e gestire l'esecuzione dell'attività produttiva, abilitando lo scambio di informazioni tra il livello organizzativo, dove trova impiego l'ERP, ed il controllo delle attività nell'area produttiva in cui le diverse risorse utilizzate impiegano software molto vari e specializzati.

L'impiego tipico di un MES si divide principalmente in due funzioni: la prima è la gestione del flusso dati top-down dai livelli organizzativi, come la schedulazione delle attività produttive secondo gli obiettivi della produzione pianificata, basandosi sulle risorse a disposizione e lo stato del sistema produttivo; la seconda è la gestione del flusso di informazioni bottom-up in cui, partendo dalla raccolta di dati sulle risorse produttive ed i prodotti, si eseguono elaborazioni per ricavare valori sintetici delle prestazioni raggiunte per le funzioni di gestione dell'azienda.

L'implementazione di un MES nella lean production può fornire una soluzione per raccogliere in modo affidabile, standardizzato e sistematico i dati. Quanto registrato permette di visualizzare i flussi interni all'azienda e di pianificare strategie di intervento. Tra le applicazioni di maggior utilità si sono individuate:

- **Tener traccia dell'impatto dei difetti.** Anche nella produzione snella non tutta la produzione è esente da difetti. Il sistema permette una analisi approfondita

delle prestazioni e della qualità della produzione. Le cause alla base dei problemi di qualità possono essere rintracciate in modo più efficace.

- **Tenere traccia degli effetti di scorte e di attese in coda:** dalla conoscenza degli sprechi si possono attuare delle strategie per contrastarli. Gli effetti dei tempi di attesa e della disponibilità delle scorte sul sistema produttivo possono essere tracciati, permettendo così l'individuazione degli ostacoli e dei colli di bottiglia nella produzione. L'analisi permette poi la pianificazione di operazioni per ridurre al minimo l'inventario ed i tempi di coda.
- **Tenere traccia dei trasporti:** i percorsi che un prodotto compie all'interno del sistema produttivo possono divenire noti in modo dettagliato e la capacità di analisi abilita l'ottimizzazione degli spostamenti dei materiali. (D'Antonio, Bedolla, Rustamov, Lombardi, & Chiabert, 2016)

3.6 Gestione lean delle informazioni

Le aziende lean vedono gli strumenti ICT con interesse: l'integrazione di tecnologie in supporto ad un sistema di gestione decentralizzato può portare ad un miglioramento delle operazioni lean. I sistemi che si trovano impiegati hanno però spesso natura centralizzata. Il maggior interesse per le aziende è invece nei nuovi sistemi integrabili, che permettano di continuare con le procedure lean in uso. In particolare si richiede un sistema in grado di operare in modo decentralizzato per svolgere localmente l'elaborazione delle informazioni, permettendo alle stazioni di lavoro di gestire in autonomia le relazioni tra i flussi verso monte e valle.

La preoccupazione segnalata è che venga persa la cultura lean di mantenere collegata l'attività manageriale alla produzione, volendo evitare una gestione basata solo sui numeri o con scelte legate a modelli astratti, troppo lontani dalla realtà. La gestione delle informazioni deve essere trasparente ed intuitiva, rendendo un errore nel sistema visibile, in modo che sia possibile intervenire immediatamente. Deve essere mantenuto il sostegno alla conoscenza e l'esperienza degli operatori, riconoscendone il contributo. Devono proseguire l'attività di micro-ottimizzazione a livello locale, basata sulle conoscenze degli operatori ed il processo di miglioramento continuo. (Houy, 2005)

Sono proposti alcuni dei principi da seguire nell'utilizzo lean dei sistemi informativi. L'uso di unità centrali nel controllo della produzione e dei sistemi MRP può risultare

oscuro al personale. La schedulazione fornita deve spesso essere rivista con procedure manuali, causando confusione ed inefficienze sulle attività da compire.

I principi proposti sono i seguenti:

- Semplificare ogni processo per minimizzare la necessità di gestione delle informazioni. Soluzioni come passare dai reparti alle celle con sequenze di operazioni e localizzare la produzione in un unico luogo semplificano la gestione dei materiali, realizzando un flusso di merci e valore, con pochi dati scambiati.
- Rendere ogni passaggio del processo disponibile e funzionale. Ogni difficoltà incontrata, quali bloccaggi, variazioni e mancanza di materiale, genera informazioni di cui non si ha propriamente bisogno. L'eliminazione delle cause dei problemi elimina anche la raccolta di dati inutili. Il sistema informativo deve diventare una risorsa per il miglioramento, non essere usato per coprire le problematiche.
- Organizzare ogni flusso di valore da un unico punto. Evitare di mediare tra più punti di vista e soggetti nella schedulazione rende più facile gestire le informazioni nell'esecuzione delle operazioni.
- Utilizzare un controllo della produzione riflessivo dal punto di vista della schedulazione. Se il flusso verso valle utilizza i materiali, un ordine in modo automatico viene creato a monte per il ripristino di quanto usato. La gestione di tali ordini viene decentralizzata.
- Operare con piccole quantità di informazioni. Sistemi complessi che prendono decisioni per lunghi periodi o per molte operazioni causano inevitabili problemi al presentarsi di imprevisti. Salvare molti dati e non usarli in tempo reale è alla pari dello spreco nell'avere grandi inventari di merce.
- Il sistema di management delle informazioni deve divenire trasparente ed intuitivo. Se la gestione dell'azienda richiede di "scontrarsi" con il sistema IT utilizzato, si crea solamente spreco. Metodi di gestione delle informazioni semplici come kanban elettronici o algoritmi di heijunka non complessi sono da preferire. (Womack J. , 2004)

Per quanto l'adozione dei sistemi IT possa sembrare una inevitabile evoluzione e la quantità dei dati disponibili cresca esponenzialmente, essi possono portare alla creazione di sprechi in aggiunta a quelli già esistenti. Sarà necessario mantenere un approccio snello anche nel management delle informazioni IT per evitarlo.

CAPITOLO 4 – Confronto comparativo

Apprese le caratteristiche dei metodi del lean management e dell'industria 4.0, se ne delineano gli elementi di accordo e le differenze. Sono considerate in particolare le complementarità e le possibilità di applicazione congiunta. Dapprima si è guardato ai dati disponibili sull'opinione delle aziende e il loro interesse per l'argomento (4.1).

Sono considerate le aree critiche per i possibili cambiamenti nelle attività svolte, dal prodotto al personale ed i mezzi produttivi impiegati, all'azienda ed il suo rapporto con i clienti ed i fornitori. Le conseguenze per il personale impiegato e le variazioni dell'attività produttiva sono la prima area trattata (4.2): vengono valutati i metodi di sostegno al lavoro, il campo del lavoro nella workstation e la variazione del ruolo dell'operatore, compresa la sua centralità nel sistema. Segue la valutazione delle conseguenze per il prodotto (4.3), considerando le diverse modalità con cui è coinvolto il cliente, come varino i metodi di sviluppo, assieme ai processi, e le nuove tipologie di servizi connessi, con nuove prospettive oltre la vendita di beni.

I cambiamenti tra i due metodi vanno poi a coinvolgere i rapporti di fornitura e la supply chain (4.4), con nuove possibilità di cooperazione e di sinergie operative, richiedendo però una revisione dei flussi di dati verso i partner esterni.

Vengono poi analizzati (4.5) i fattori produttivi interni, in associazione a prodotto e dipendenti: si valutano la capacità di proseguire con una produzione a trazione da valle, la flessibilità dei mezzi di produzione, le novità per il setup, la manutenzione ed i possibili ostacoli per l'integrazione tra i due metodi. Si valutano poi le conseguenze per l'azienda nel suo complesso (4.6), con la compatibilità di lean ed i4.0, la necessità di trasparenza e la loro implementazione congiunta.

4.1 Punto di vista delle aziende

È di interesse comprendere il punto di vista delle società che si troveranno nella posizione di deliberare investimenti per l'industria 4.0 e di decidere se mantenere in uso le tecniche snelle di produzione. La progressiva automatizzazione e digitalizzazione dei processi sarà in parte una inevitabile conseguenza dello sviluppo dei sistemi produttivi voluto dai maggiori produttori sul mercato, a cui le altre aziende dovranno adeguarsi. Resta tuttavia aperto il dibattito se tali soluzioni potranno essere compatibili o alternative alla lean nelle aziende che già facciano uso del sistema snello.

Da uno studio condotto interpellando oltre 1500 manager, rappresentanti aziende con sede in Germania, Austria e Svizzera in cui è stato applicato il lean management, sono emersi dei risultati chiari per l'interesse nella smart factory.

Al quesito di valutare la propria capacità di eseguire le pratiche della lean production, il risultato (figura 4.1) è stato di dare valutazioni vicine o oltre la metà della scala di valutazione, con valori dal 2.4 al 3.4 su una scala 0-5. Mai sono stati espressi giudizi di eccellere in una pratica. Il punteggio più elevato, 3.4 su 5, è dato alla capacità di praticare la riduzione dello spreco e di ottimizzare i processi. Risulta quindi che nell'implementazione dei principi lean nelle aziende considerate, la priorità è andata nell'applicare il metodo ai processi pratici, mentre è stata data secondaria importanza all'impiego per scopi organizzativi.

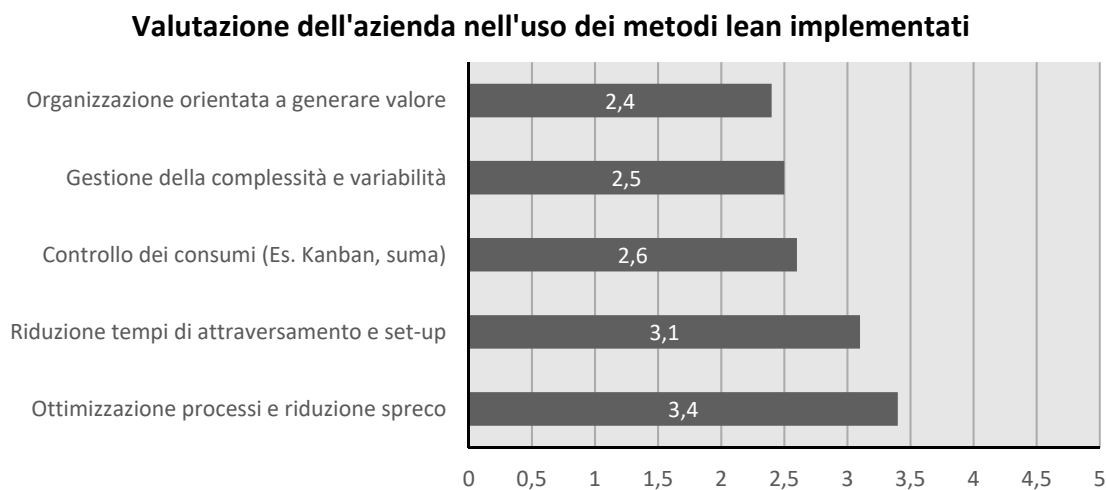


Figura 4.1 - Valutazione dell'azienda nell'uso dei metodi lean implementati, range 0 - 5 (STAUFEN.AG, 2016)

Nel medesimo studio si è poi chiesto un giudizio sull'importanza data ad alcuni metodi del lean management per la transizione alla smart factory nella propria azienda (figura 4.2). La valutazione è stata divisa in 4 gradi di importanza.

Dai risultati ottenuti emerge che le compagnie intervistate tengano in forte considerazione gli elementi del lean management nel guidare la transizione all'industria 4.0, con una valutazione di ritenere importanti le pratiche mai inferiore all'87% dei votanti.

Viene dato valore, in ordine cresce del risultato complessivo raggiunto, alle pratiche di: controllo dei consumi; gestione delle complessità e variabilità; gestione orientata al valore dell'azienda; riduzione dei tempi di setup e di transito; riduzione dello spreco e all'ottimizzazione dei processi. In particolare l'ottimizzazione dei processi e la

riduzione dello spreco ottenute con la lean è giudicata molto importante per una transizione verso l'industria 4.0 nel 66% delle risposte.

Importanza metodi lean management per la transizione all'industria 4.0

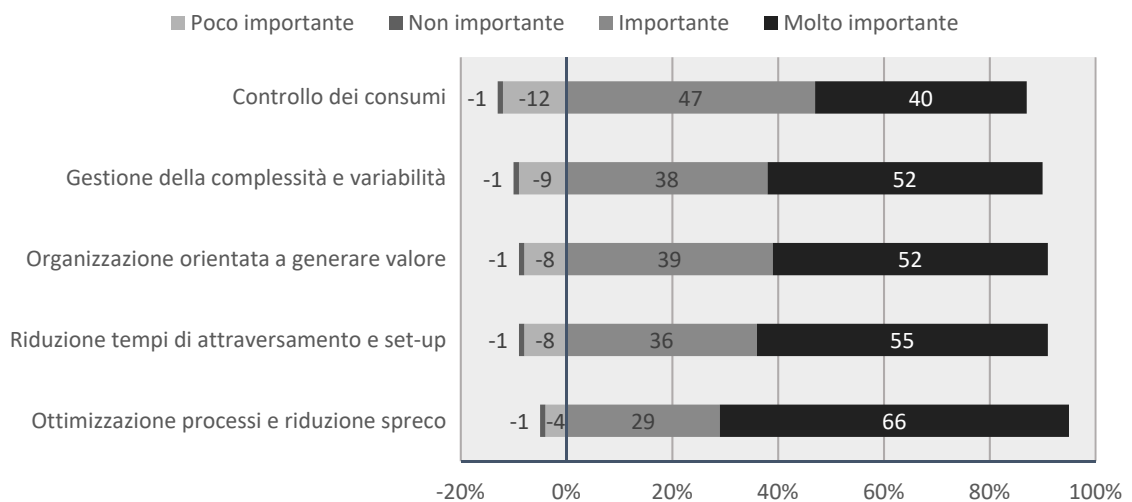


Figura 4.2 - Importanza metodi lean management per la transizione all'industria 4.0 (STAUFEN.AG, 2016)

Dati i risultati della valutazione dell'i4.0, con riferimento anche alla loro valutazione di saper applicare le pratiche snelle, si riscontra che le aziende oggetto della ricerca abbiano interesse nel migliorare i propri risultati nel lean management: sebbene ci sia ancora lavoro da fare per considerare le proprie operazioni ottimali, dal miglioramento dei propri risultati in campo lean intravedono una maggiore capacità di guidare la transizione all'industria 4.0. (STAUFEN.AG, 2016)

4.2 Per il personale

Nei confronti della forza lavoro l'industria 4.0 mette a disposizione molteplici strumenti per agevolare l'apprendimento e lo svolgimento dell'attività lavorativa. L'obiettivo è di permettere ad ogni dipendente di operare come una unità integrata nella rete aziendale, in modo efficiente e generando una maggior valore aggiunto con la sua attività, piuttosto che limitarne il campo d'azione e ridurne l'importanza.

L'operatore nello svolgere le sue mansioni nei contesti lean ha una maggiore flessibilità negli incarichi e al contempo una responsabilità maggiore avendo il compito di controllare la produzione, con la possibilità di sospendere l'attività al presentarsi di una problematica. I dipendenti sono inoltre incoraggiati nel proporre soluzioni di ottimizzazione locale del lavoro, al fine del miglioramento continuo dell'impianto.

Se è parte della i4.0 ridurre la richiesta di intervento umano in alcune attività, le implementazioni nel breve futuro non vogliono porre limiti all'attività degli operatori, ma mettere nelle condizioni di lavorare con nuovi strumenti, in modo da poter gestire una maggiore varietà di prodotti, eseguire la supervisione di più macchinari e di collaborare per il miglioramento del sistema con nuove basi di dati.

4.2.1 Sostegno all'attività lavorativa

L'i4.0 consente l'integrazione dei dispositivi personali, di cui è dotato l'operatore, per il controllo delle operazioni e per segnalazioni personalizzate. Sono possibili scenari d'uso come l'invio di richieste di intervento automatiche, il controllo dell'attività dei macchinari e dello stato della linea.

La capacità ed il tempo di intervento dell'operatore vengono migliorati, portando alla definizione dell'"Augmented Operator", dato che il dipendente può supervisionare, ricevere notifiche ed interagire con il CPS, cyber physical system. La varietà e la complessità del lavoro per l'operatore aumentano, rispecchiando le sue nuove capacità operative e l'aumentato potere decisionale strategico in sistemi tecnologici sempre più complessi. (Mrugalska & Wyrwicka, 2017)

Il dipendente nelle fasi della lavorazione e di progetto può accedere a tutte le informazioni di cui ha bisogno grazie a dispositivi elettronici: dal sistema CPS e dai sensori arrivano le informazioni per un controllo continuo dell'impianto. Si ha quindi una estensione sia orizzontale che verticale del contributo che l'operatore può portare nel sistema.

Viene abilitato l'apprendimento mediante diverse forme visuali in grado di adattarsi al compito e alle esigenze del dipendente: lo svolgimento delle attività riportate nelle carte di procedure standard così come l'informazione dai kanban vengono fornite in modo dettagliato per il singolo prodotto su uno schermo nella stazione di lavoro, ma anche in pannelli nello stabilimento o con dispositivi indossati dall'operatore. Le informazioni quali consegne da rispettare, sequenze di operazioni, i componenti necessari ed il tempo per il completamento sono così mantenute entro il campo visivo. La realtà aumentata e la preparazione in ambiente virtuale consentono di svolgere attività complesse o inusuali in maniera guidata, ampliando le mansioni dell'operatore e la sicurezza nello svolgere correttamente il lavoro.

Si può affermare che le tecnologie della l'i4.0 permettono di migliorare alcune metodologie della lean manufacturing come le segnalazioni visuali dell'andon: riducendo il tempo dal presentarsi della problematica alla segnalazione e in ultima al ripristino del sistema alla normalità. I dispositivi mobili permettono di raggiungere il dipendente incaricato considerando la sua posizione e le competenze, al posto di una segnalazione su tabelle. Il CPS opera in autonomia, individuando con i sensori integrati nei mezzi produttivi le situazioni che richiedono l'intervento umano. Un database connesso fornisce indicazioni su quale sia il guasto e l'intervento necessario. Si introduce inoltre la possibilità di coinvolgere in remoto altri dipendenti collegati da sedi diverse o i fornitori di servizi di assistenza dei mezzi produttivi.

(Kolberg & Zühlke, 2015)

4.2.2 Workstation nell'industria 4.0

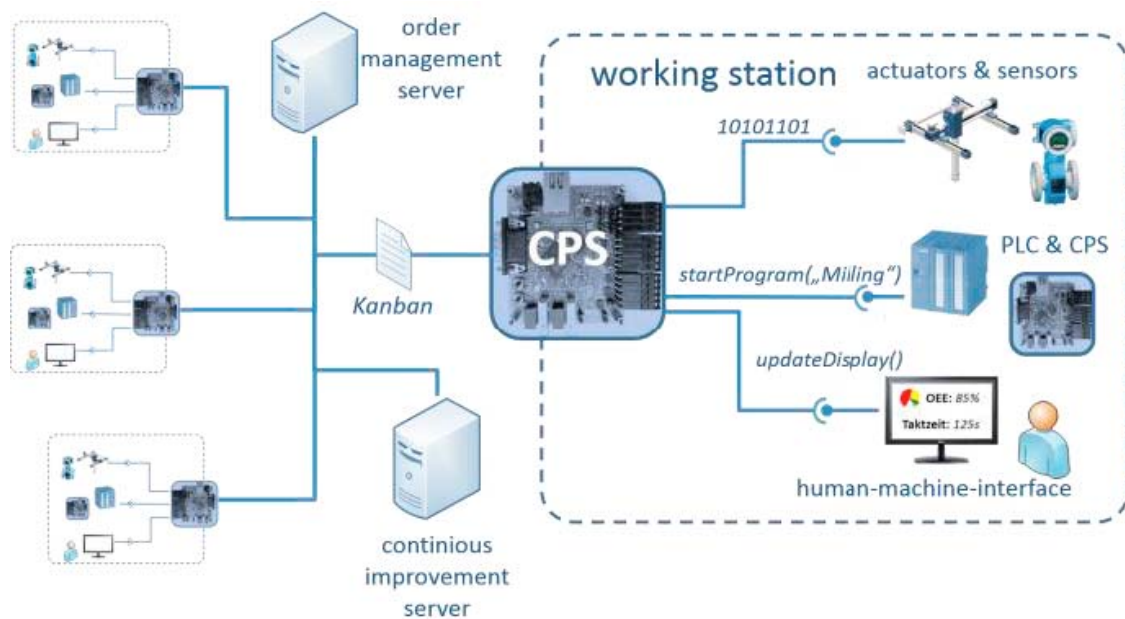


Figura 4.3 - Posizionamento della workstation nel CPS, cyber physical system (Kolberg & Zühlke, 2015)

Con gli strumenti a disposizione con la i4.0, si può avanzare un modello di workstation operante in pull ed integrata nel CPS per lavorare mediante un kanban elettronico (figura 4.3). Le operazioni sono svolte come segue:

- Al ricevimento del kanban, nella postazione di lavoro si esegue la verifica delle risorse a disposizione, verificando che siano compatibili con le richieste per l'esecuzione del lavoro.

- Se la richiesta del kanban è compatibile, la workstation deve produrre l'ordinazione entro il takt time stabilito
- Al termine della lavorazione, la workstation deve inviare il segnale di avvenuto completamento per poter portare la produzione dove è partita la richiesta
- Se il takt time non è stato rispettato, la postazione invia il segnale d'errore, avvisando del tempo effettivamente impiegato al CPS per utilizzare poi i dati nel miglioramento continuo
- Alla richiesta di una terza parte degli indici di prestazione della postazione, in autonomia vengono forniti i dati raccolti; si possono indicare inoltre gli elementi in inventario pronti alla lavorazione
- Se gli elementi per attuare la produzione sono sotto al livello di riordino, il sistema invia un kanban del prodotto richiesto ed il tempo ciclo alla stazione disponibile a monte nel flusso di produzione
- Una parte terza può chiedere i dati approfonditi di operatività della stazione, vengono forniti un identificativo univoco ed i dati dei componenti disponibili in inventario.

Al fine di realizzare stazioni di lavoro così composte le tecnologie utilizzate devono permettere l'integrazione con gli altri dispositivi del CPS, l'installazione su stazioni già in uso ed essere pensate per gli elementi della produzione snella operando in pull con i kanban elettronici. (Kolberg & Knobloch, 2017)

Di particolare importanza è l'identificazione univoca del prodotto che tale postazione consente: permette all'operatore di ricevere le informazioni su tutte le operazioni da compiere in modo automatico e personalizzato, andando ad ampliare le possibilità introdotte dal kanban, consentendo un più ampio mix produttivo e modifiche sulle ordinazioni in tempo reale.

Va considerato che permangono delle difficoltà nella applicazione pratica sulla scala dell'intero stabilimento. Si riconosce la necessità di una standardizzazione tra le soluzioni dei diversi produttori, in particolar modo con riguardo nel mantenere standardizzata l'attività dell'operatore. Le problematiche di compatibilità sono però riconosciute come uno dei punti da superare per l'adozione della i4.0 nel suo complesso. Il CPS deve mantenere la compatibilità tra le diverse stazioni di lavoro, permettendone variazioni, o la sostituzione, senza richiedere la modifica di tutte le stazioni limitrofe, mantenendo le comunicazioni locali con i kanban elettronici ed i dispositivi connessi.

Si possono individuare casi pratici di applicazione, con esiti positivi.

Nell'impiego in sistemi pilota, la i4.0 ha dimostrato come possa aiutare l'operatore nelle lavorazioni e nel controllo qualità. Equipaggiando l'area di lavoro con la realtà aumentata, le informazioni guida sul compito da svolgere sono proiettate direttamente in sovraimpressione sul componente. Nell'uso di una macchina utensile e controllo dimensionale del componente è stato possibile ridurre il tempo di apprendimento dell'attività, migliorare la capacità dell'operatore di svolgere il controllo evitando errori e ridurre allo stesso tempo i tempi richiesti. Il risparmio complessivo si attesta al 27.36% per le torniture, 26.54% per le fresature e ben del 45.16% nel controllo dimensionale. (Segovia, et al., 2015)

4.2.3 Ruolo dell'operatore

Se, date le possibilità offerte, vi è forte interesse per l'integrazione delle tecnologie i4.0 nell'attività lavorativa dell'operatore, vanno considerate anche le attività formative per apprendere le nuove tecnologie e per comprenderne le potenzialità.

Le aziende che operano in modo lean hanno solitamente però una comprovata capacità di apprendere nuove tecniche e fiducia nel sistema organizzativo, avendo già affrontato il processo di stabilire una cultura della produzione snella, posizionandosi così al meglio per la nuova transizione tecnologica.

Il ruolo del singolo operatore nell'attività kaizen non può essere trascurato e gli strumenti della i4.0 scelti devono continuare a sostenere il processo di micro-ottimizzazione delle attività lavorative. Nella miglior pratica, la tecnologia introdotta va a porsi come una nuova base per operare le scelte di miglioramento continuo, preservando l'importante contributo degli operatori e la loro esperienza, al posto di sostituirsi nel ruolo decisionale. In tal modo l'operatore può restare al centro del processo di miglioramento, agendo sulla base dei dati raccolti e le informazioni ricavate dal sistema.

Vanno inoltre considerate le possibilità offerte dal cloud per consentire ad ogni dipendente di eseguire anche da remoto, in altre sedi o mentre si eseguono altre operazioni, l'attività di supervisione e controllo negli stabilimenti. Se il lean management sostiene l'importanza della presenza dei dipendenti sul campo per prendere decisioni vicine alla produzione, gli interventi eseguiti mediante connessioni a distanza possono essere una opportunità per aumentare la collaborazione tra più soggetti, purché

le azioni intraprese siano basate non su singoli indicatori di prestazione, ma su una completa comprensione dello stato operativo, cosa che l'i4.0 consente.

4.3 Per il prodotto

L'industria 4.0 ed il modello lean hanno due approcci diversi per definire le caratteristiche del prodotto che costituiscono un valore riconosciuto dal cliente. Entrambi i metodi però puntano al massimo vantaggio competitivo sul mercato e si basano sul comprendere i bisogni dell'acquirente.

Per il lean management le azioni intraprese devono portare a realizzare un prodotto con le sole caratteristiche per cui il cliente accorda una preferenza ed è disposto a pagare un prezzo, andando ad eliminare ogni aspetto che non apporti valore. Ma storicamente i sistemi di produzione snella si distinsero anche per la capacità di sostenere una gamma ampia di prodotti, con ridotti tempi di lead time, andando a soddisfare le molteplici esigenze della clientela, che nella produzione di massa classica non riusciva a trovare. Grazie alle novità introdotte, l'i4.0 permette di entrare nell'era della customizzazione individuale del prodotto di massa. Gli strumenti a disposizione consentono sia di realizzare un prodotto capace di raccogliere le esigenze del cliente, sia di aumentare l'apporto di valore in modo nuovo: servizi e tecnologie utilizzati mantengono il rapporto tra il produttore ed il cliente dopo la vendita, diventando una leva competitiva.

4.3.1 Coinvolgimento del cliente

Sin dalle fasi iniziali della progettazione del prodotto il cliente è coinvolto, potendo delineare le caratteristiche ricercate nel prodotto. La i4.0 offre nuovi modi di apprendere la volontà del cliente, permettendo di basare lo sviluppo futuro sui dati ricavati dai prodotti connessi durante l'uso e dai servizi offerti in abbinamento. L'analisi dei comportamenti, permessa dai big data, consente di andare oltre alle normali attività per la profilazione del cliente tipo e delle specifiche che rappresentano un valore aggiunto. La produzione snella non può che trarre beneficio dal sviluppare un prodotto con sole funzioni utili, con una rapida definizione delle reali esigenze e con la riduzione degli sprechi per caratteristiche o processi non necessari.

L'offerta di una produzione eterogenea porta soddisfazione al cliente che può acquistare un prodotto con tutto ciò che valuta importante. Lo stesso cliente può così andare anche ad eliminare le parti che rappresentano uno spreco per il suo acquisto.

La personalizzazione del prodotto, anche se con quantità da produzione di massa, viene applicata con successo tramite l'industria 4.0.

La modularità dei progetti fa sì che realizzare una ampia offerta sia semplice per l'azienda, con le informazioni sulla configurazione trasportate dal prodotto, mediante l'integrazione di chip RFID, nei processi della smart factory. (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014)

Se la lean concentra gli sforzi nell'eliminare lo spreco per conservare le sole funzioni valutate da cliente, la i4.0 abilita nuove possibilità per definire quali siano. La visione è quindi di una produzione ancor più incentrata sugli attuali bisogni dei clienti, percependone le caratteristiche ed i comportamenti. (Kache & Seuring, 2017)

4.3.2 Attività di progettazione

I concetti lean trovano applicazione in aree anche al di fuori della produzione permettendo uno sviluppo snello del prodotto: l'obiettivo è massimizzare il valore per il cliente mentre lo spreco è ridotto al minimo indispensabile. Il tempo di sviluppo, le tecnologie produttive, l'attenzione ai requisiti del cliente e alla sua soddisfazione sono aree aperte per il miglioramento continuo. (Synnes & Welo, 2016)

L'industria 4.0 va oltre ai sistemi produttivi connessi e cognitivi, realizzando soluzioni smart per il prodotto ed i servizi ad esso associati. L'assistenza al calcolatore diviene connessa al CPS: è possibile così attingere dai dati raccolti dal sistema produttivo, dai clienti e sfruttare le maggiori capacità di analisi. L'ingegnerizzazione del prodotto, del processo produttivo e del sistema di gestione degli ordini sono quindi ripensati per le nuove tecnologie. Lo sviluppo viene portato avanti con l'obiettivo di migliorare il valore per il consumatore. Si evitano invece gli sviluppi che siano identificati come spreco, come l'ingegnerizzazione eccessiva o operazioni ridondanti.

Dovendo realizzare prodotti personalizzati in piccoli volumi, il costo delle parti viene distribuito se si considerano design modulari. La fase di sviluppo con l'i4.0 fa uso di prototipi virtuali e simulazioni dei processi produttivi o di assemblaggio. Simulando in modo estensivo il ciclo vitale si giunge ad un processo privo di sprechi e si evitano riprogettazioni sostanziali nelle fasi terminali dello sviluppo. (Synnes & Welo, 2016)

La coordinazione orizzontale nello sviluppo del prodotto abilita l'uso di un ambiente collaborativo virtuale. I rischi e le soluzioni in fase di sviluppo sono condivisi e l'integrazione di risorse collegate al mercato permette di considerare più opzioni per

adattare il prodotto al cliente. Si riesce a far fronte alla volatilità dei mercati e alla riduzione del ciclo vitale del prodotto. (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014) Per poter usare a pieno le potenzialità dei programmi di concurrent engineering però le barriere tra i diversi linguaggi dovranno essere abbattute in modo da trasferire la conoscenza anche tra software diversi. (Baines, Lightfoot, Williams, & R., 2006)

Se lo sviluppo del prodotto viene portato avanti con l'intento dell'eliminazione degli sprechi, le linee guida dell'industria 4.0 portano nella progettazione concetti e tecnologie che permetteranno risultati migliori e più consistenti. (Rauch, Dallasega, & Matt, 2016)

4.3.3 Servizi connessi

L'assistenza e l'uso di servizi associati sono i punti di forza della i4.0: rappresentano una leva competitiva che consente di andare oltre l'offerta realizzabile con la lean manufacturing. Il valore di un prodotto assegnato dal cliente può essere aumentato con l'aggiunta dei servizi associati, forniti mediante piattaforme cloud. L'assistenza dopo la vendita, le funzionalità aggiuntive immateriali e le formule di vendita innovative sono un vantaggio nel posizionamento sul mercato.

Tali elementi possono quindi costituire un incentivo alla transizione al nuovo modo 4.0 di fare industria anche per le realtà che abbiano già implementato il lean management, che potranno inoltre applicare l'esperienza di operare senza sprechi ai nuovi modelli di business affrontati.

4.4 Per i fornitori

Comprendere l'importanza ed instaurare un rinnovato rapporto collaborativo con i fornitori è stato un importante traguardo del lean management sulla produzione di massa occidentale: andando a creare una rete di fornitori lean, le operazioni di riduzione dello spreco si poterono estendere a tutta la supply chain. L'integrazione della filiera produttiva ha rappresentato un elemento di competitività nella lean, con i fornitori coinvolti sin dalle prime fasi del progetto e con lo sviluppo congiunto dei prodotti/sistemi produttivi.

L'industria 4.0 fornisce mezzi per una maggiore integrazione orizzontale che va a coinvolgere tutti i soggetti che creano valore nella catena, dal marketing fino ai fornitori di componenti.

Gli strumenti cloud e i big data forniscono le basi per l'ingegnerizzazione di tale catena a valore aggiunto.

La coordinazione potrà quindi essere un elemento di ancora maggior rilievo nelle aziende i4.0, per migliorare la prestazione della supply chain in presenza di sistemi dinamici. La volontà è di attuare una ottimizzazione del flusso dei beni e di informazioni lungo ogni parte del processo di produzione. La posizione dei beni da trasportare, le condizioni del traffico in tempo reale saranno monitorate ed i loro effetti presi in considerazione nel ciclo produttivo, con variazioni delle sequenze e dei ritmi.

Si prospetta inoltre che la condivisione di dati possa divenire un elemento competitivo con un proprio valore aggiunto, posta sul mercato affianco all'offerta di beni e servizi.

4.4.1 Feedback per la qualità

La qualità dei componenti ricevuti dal fornitore è riconosciuta come uno degli elementi più importanti per operare con il JIT e scorte ridotte. Per poter migliorare le forniture è indispensabile che le informazioni raccolte siano inviate al fornitore dalla sede principale, riportando le problematiche riscontrate e quali miglioramenti apportare.

Il rapporto instaurato secondo il lean management va a realizzare una collaborazione a vantaggio del prodotto finale, con aperture sui costi ed i mezzi produttivi utilizzati.

Grazie alla i4.0 il rapporto può andare oltre, abilitando uno scambio dati in tempo reale e consentendo dunque una migliore sincronizzazione dei sistemi produttivi.

Il CPS raccoglie i dati dalle procedure di monitoraggio della produzione e permette l'invio al fornitore di quanto appreso sulle lavorazioni e sui componenti ricevuti, realizzando una condivisione di dati tra le due imprese. L'uso di chip identificativi crea un percorso tracciabile per ogni componente, a partire dalle materie prime utilizzate dal fornitore fino alla consegna verso il cliente finale. L'identificazione delle problematiche diviene così semplificata, rintracciando fonti di spreco anche a diversi passi a monte sulla catena di valore. Il cloud è la tecnologia che unisce i sistemi CPS di fornitori e clienti, abilitando la coordinazione e lo scambio di informazioni sullo stato dei sistemi. La condivisione dei dati può avvenire anche nel senso opposto: il feedback sulla produzione parte dal fornitore e viene utilizzato nei processi di elaborazione big data del cliente, con il fine di migliorare il progetto ed il suo sistema produttivo.

4.4.2 Coordinazione nelle forniture

Il sistema di consegne just-in-time viene considerato lo standard di fatto per operare con inventari ridotti, la i4.0 permette di mantenerne in uso la pratica e possibilmente di facilitarne l'esecuzione ottimale. L'introduzione degli elementi IT abiliterà forme migliori per la comunicazione tra cliente e fornitori, realizzando interazioni tra i CPS delle diverse realtà industriali ed instaurando un importante flusso di informazioni in parallelo a quello materiale (Figura 4.4).

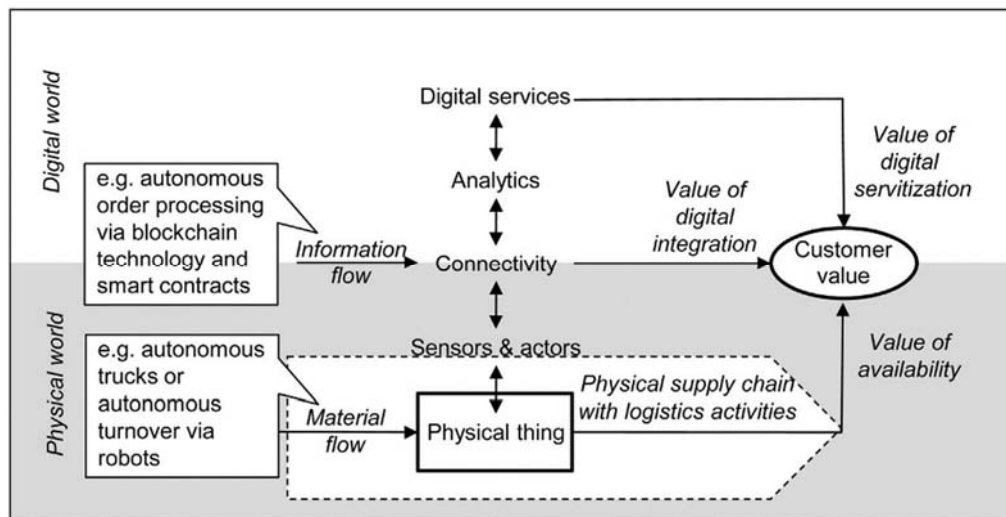


Figura 4.4 - Rapporto tra il mondo reale e virtuale nella supply chain (Hofmann & Rüscher, 2017)

La maggior coordinazione consente di operare con il minimo livello possibile di scorte: tanto più alto è il livello di integrazione raggiunto, più precise ed allineate riescono ad essere le forniture rispetto alla domanda, con sprechi contenuti.

Per il mantenimento del flusso materiale tra fornitore e cliente deve poi essere instaurata una rete logistica capace di sostenere le stringenti disposizioni operative della lean, con trasporti più sensibili nelle tempistiche.

L'i4.0 permette di integrare sensori sui singoli prodotti e localizzare i mezzi di trasporto in modo da avere una coordinazione tra lo stato della consegna attesa e i ritmi del sistema produttivo. Il CPS può apprendere un ritardo dovuto a fattori esterni come il traffico e riorganizzare gli ordini per evitare rallentamenti alla produzione. Le consegne attese vengono così programmate nei tempi ed i percorsi da seguire ottimizzati.

Il processo di pianificazione della produzione del fornitore può essere più accurato avendo una visione precisa dei flussi richiesti in ingresso ed uscita in tempo reale. Proprio l'efficienza di un sistema capace di operare in tempo reale incentiva l'abbandono di sistemi di pianificazione della produzione su lunghi periodi, potendo

regolare le attività sulla reale domanda. Ciò è reso possibile da una controparte digitale della catena di forniture che apprende i flussi di materiali ed in modo decentralizzato effettua decisioni in autonomia.

Il flusso di dati dall'acquirente al fornitore fornisce indicazioni sull'uso dei componenti in modo da poter coordinare la produzione e dalla analisi evolvere il proprio sistema produttivo per poter meglio rispondere alle richieste.

L'apporto della i4.0 si ha anche nel creare le sequenze per le consegne JIS, just-in-sequence, dove il prodotto viene caricato nei vettori secondo l'ordine d'uso: un canale di comunicazione diretto cliente-produttore-fornitore è qui ancora più indispensabile per rendere autonomo e decentralizzato il processo che porta dalla produzione alla preparazione delle consegne, con l'indicazione delle sequenze da utilizzare per il carico. (Hofmann & Rüsç, 2017)

4.4.3 Problematiche nello scambio di dati

La prima problematica da affrontare è l'adozione della tecnologia da parte dei fornitori, affinché l'intera catena delle forniture sia pronta ad adottare i sistemi della nuova rivoluzione industriale. Se i dati sulla preparazione alla i4.0 mostrano che anche i fornitori sono disposti all'impegno, devono essere previste strategie per relazionarsi con i partner che affronteranno la transizione con metodologie e tempistiche diverse.

Si vogliono evitare i casi visti nelle prime applicazioni JIT di fornitori che mascherano dietro la pronta disponibilità scorte elevate a magazzino, continuando una produzione di massa nei loro stabilimenti. Anche in questo contesto quindi la realizzazione delle sinergie è fondamentale per ottenere tutto il potenziale dell'industria 4.0.

Secondo campo da affrontare è la condivisione dei dati. L'uso dell'analisi big data pone appunto come vincolo l'accesso alle informazioni da più soggetti dato che i dati necessari per effettuare le analisi potrebbero appartenere a terzi. I vantaggi offerti al processo decisionale possono essere di incentivo alla trasparenza e all'apertura dello scambio di informazioni tra le parti. (Kache & Seuring, 2017)

Le nuove capacità di coordinazione ed analisi richiedono di cooperare a livelli anche superiori rispetto a quanto avviene nelle pratiche lean, ma per realizzare tali sinergie sarà necessaria una revisione dei rapporti contrattuali.

I dati sulla produzione e consegna da inserire nel sistema CPS possono essere in possesso di qualche fornitore, richiedendo di definire rapporti contrattuali che ne

regolamentino lo scambio. Tale campo richiederà ulteriori analisi e studi che esulano dalla gestione della produzione, dovendo operare una ridefinizione dei rapporti di importanza tra la fornitura di materiale e lo scambio di informazioni.

4.5 Per i mezzi produttivi

La produzione snella trova pieno compimento nelle attività produttive, dove Ōno concentrò i suoi sforzi ed iniziarono le innovazioni che portarono al TPS. La riduzione degli sprechi ed il contenimento dei costi guidarono le aziende lean nell'aumentare i margini di guadagno (agendo sui costi di produzione) e nel guadagnare quote di mercato a scapito dei produttori di massa.

Secondo il principio di pull production il sistema è in grado di eseguire la produzione rincorrendo la domanda del mercato, evitando sovrapproduzione, inventari di grandi dimensioni e contenendo il lead time dall'ordine alla consegna.

Con la i4.0 i fattori produttivi subiscono una variazione che va a cambiare profondamente il sistema, ma che offre nuove possibilità di perseguire l'attività di produzione senza sprechi e di seguire le richieste del mercato. L'industria 4.0, sotto la guida del CPS, abilita i mezzi produttivi alla comunicazione di rete in modo decentralizzato, per riconfigurare la produzione secondo le esigenze e per riferire in continuazione riguardo il loro stato. È così possibile mantenere un sistema produttivo in grado di tracciare e coordinare tutto quello che avviene nella produzione, dall'arrivo della materia prima alla consegna e viceversa dall'ordine del cliente alla richiesta verso i fornitori.

4.5.1 Produzione in pull

La produzione in pull, dati i risultati ottenuti ove applicata, rappresenta ancora il riferimento per i sistemi produttivi. Nell'industria 4.0 quindi implementare tali tecniche continuerà a dare vantaggi, mantenendo i rapporti di fornitura JIT ed il principio di mantenere le scorte contenute, andando a produrre solo ciò che è necessario, al momento in cui si presenti una richiesta a valle.

La produzione pull basata sui kanban trae beneficio dai chip RFID, integrabili in prodotti, supporti e strumentazione. Il kanban può essere ridefinito nella forma, venendo integrato nello prodotto stesso in formato digitale. Dalle informazioni memorizzate, la cui lettura avviene con interfacce dedicate su macchine e workstation, sono noti

passaggi produttivi da compiere e le movimentazioni. Il kanban così implementato permette di operare con lotto unitario e di aggiornare le informazioni sulla configurazione del prodotto a produzione in corso.

Le movimentazioni sono migliorate avendo integrati nelle parti da trasportare le indicazioni su punto di origine, destinazione e tempistiche. La comunicazione avviene in modo diretto con il sistema di trasporto, che può così essere automatizzato e rimanere flessibile. Noti i componenti del carico, i percorsi da seguire del prodotto sono adattati in tempo reale.

La pianificazione degli spostamenti consente di andare oltre i percorsi predefiniti a cadenza, richiedendo il trasporto quando necessario, ed aumentando l'efficienza del sistema. L'intelligenza del sistema consente di mantenere omogenea la distribuzione dei carichi di lavoro, andando a livellare l'utilizzo della capacità produttiva. In tempo reale la pianificazione è eseguita dal CPS, nel principio lean di operare in pull secondo il bisogno che si presenta a valle. (Kolberg & Zühlke, 2015)

Dai risultati di cinque casi di studio sull'implementazione di sistemi RFID in aziende manifatturiere in cui sia praticata la lean manufacturing sono emersi risultati favorevoli in tutti i contesti in esame. Comuni sono stati la riduzione degli sprechi, andando a migliorare la gestione dei magazzini e della produzione, ottenendo risparmio di tempo e denaro. Si è osservato un contrasto agli sprechi per quanto riguarda le attese negli spostamenti, gli errori nelle informazioni e lo sbilanciamento delle scorte.

La capacità decisionale migliora con il tracciamento in dettaglio delle movimentazioni in tempo reale. Le interazioni tra il personale ed i sistemi produttivi sono facilitate dalla possibilità di avere informazioni visuali sullo stato del sistema.

Le soluzioni adottate hanno permesso inoltre di superare alcune delle difficoltà dell'introduzione della lean grazie alla maggior fiducia nelle scelte del management e una migliore organizzazione complessiva, riuscendo di instaurare e mantenere una cultura della produzione snella. (Muhammad, Mohd, Nizaroyani, Norhana, & Waqar, 2016)

L'attuazione della produzione pull secondo le necessità di valle, la riduzione del lead time e la produzione fino a lotto unitario sono quindi in grado non solo di operare in un ambiente 4.0 ma anche di trarne miglioramento.

4.5.2 Flessibilità del sistema

L'i4.0 utilizza macchinari smart in grado di comunicare ed interagire in rete, dando vita ad un internet delle cose, permettendo al sistema di organizzare la produzione seguendo i singoli prodotti, secondo la guida di un modello ciberfisico. I macchinari ed i prodotti utilizzano l'IoT per comunicare: la macchina in tempo reale riferisce il suo stato di impiego, le code di materiale e le sue condizioni operative, mentre riceve le richieste di produzione e la situazione delle altre code nello stabilimento.

Se i tradizionali sistemi a kanban impiegano un numero fisso di cartelli, con cicli produttivi fissi e percorsi dei trasporti predeterminati, le tecnologie i4.0 rendono dinamici i processi, adottando in modo automatico un'ottimizzazione secondo le necessità che si presentano nel momento. La capacità decisionale decentralizzata permette ai mezzi produttivi nel CPS di negoziare le variazioni di tempo ciclo, ottimizzando l'utilizzo delle risorse. (Kolberg & Zühlke, 2015)

La maggiore flessibilità del sistema può essere una risposta ai problemi di livellamento del carico di lavoro nel tempo, al variare della domanda e mix produttivo, ma tali variazioni possono comportare una ridefinizione di alcune metodologie lean.

I tempi ciclo a cadenza fissa e le carte di operazioni standard non possono trovare piena attuazione con percorsi, tempi ed operazioni decise in tempo reale. Vanno quindi definiti degli spazi entro cui può agire la libertà decisionale, con dei limiti nel rispetto delle procedure e dei tempi prestabiliti.

L'impiego della heijunka dovrà essere rivisto, integrando i nuovi strumenti a disposizione: il CPS può abilitare un rafforzamento del metodo, permesso dall'integrazione delle risorse produttive con le altre funzioni aziendali commerciali, ottenendo un bilanciamento più puntuale dei carichi di lavoro e una possibile programmazione strategica delle attività.

Lo scopo delle variazioni non sarà però una sostituzione dei metodi lean, quanto un modo di impiegare la nuova tecnologia a favore della flessibilità, integrandosi nella produzione in pull, per operare con batch ridotti di prodotti personalizzati.

L'i4.0 può essere, in tal modo, uno strumento in risposta alle esigenze di flessibilità del mercato.

4.5.3 Mantenimento del flusso

Il sistema i4.0 viene realizzato per instaurare e mantenere il flusso con la coordinazione del CPS che, basandosi sul modello virtuale, riesce ad avere una previsione di ciò che avverrà nella produzione.

Le implementazioni attese inizialmente potrebbero presentare prestazioni complessive inferiori alle attività eseguite puramente in pull, a causa della necessità di operare in seguito ad annunci sullo stato del sistema. Gli avvisi sui prodotti pronti alla produzione, i macchinari disponibili e le riconfigurazioni da compiere aggiungono complessità per l'elaborazione del modello.

La lean production di riferimento è stata però applicata in casi in cui le condizioni di mercato permettevano richieste livellate del mix produttivo. L'indicazione è che con una buona implementazione le prestazioni raggiunte della i4.0 in contesti di elevato mix produttivo e ridotto numero di esemplari da produrre possano essere anche superiori. (Rüttimann & Stöckli, 2016) Gli indici prestazionali raggiungibili saranno quindi variabili in relazione al mercato ed allo specifico contesto aziendale d'impiego.

Un ruolo importante sarà rivestito anche dalle capacità di trasferire nell'implementazione software scelta i principi della lean production.

Se la direzione del mercato sarà sempre più verso un maggiore livello di personalizzazione e di variabilità dei mix produttivi, non si intravedono ostacoli nella realizzazione di sistemi produttivi in grado di comunicare in modo decentralizzato e di operare secondo il lean management per conservare un flusso continuo, mantenendo contenute tutte le forme di spreco. La qualità e la diffusione dei sistemi sembra dipendere però dallo sviluppo del software e dall'adeguatezza dei modelli alle attività svolte, con la necessità quindi di un supporto dai produttori dei sistemi abilitanti per l'industria i4.0.

4.5.4 Setup e manutenzione

La riconfigurazione dei macchinari, dovendo produrre con lotti di dimensioni contenute, avviene con alta frequenza. L'uso di macchine smart in grado di comunicare con il prodotto agevola il setup in quanto le richieste di configurazione partono dal prodotto stesso.

I concetti poka-yoke vengono applicati anche alle operazioni di setup. Il processo viene ad essere più agevole nell'esecuzione grazie all'assistenza all'operatore ed i sistemi di

sensori individuano gli errori di esecuzione. Le operazioni di setup sono aidate dall'uso di chip a radiofrequenza che permettono di guidare l'operatore, caricando i dati di cui ha bisogno su di un proprio dispositivo portatile, e di istruire il macchinario, mettendoli in comunicazione con il CPS. Dall'identificazione del setup eseguito vengono caricati nella macchina in modo automatico i parametri operativi, gli aggiustamenti ed i programmi da eseguire. (Kolberg & Zühlke, 2015)

Oltre all'assistenza alle operazioni, si aggiunge la possibilità di apportare modifiche sulla configurazione produttiva senza costosi interventi, con macchinari e componenti plug-n-play capaci di negoziare la variazione della linea produttiva in autonomia.

Gli strumenti per le operazioni di setup non possono che essere un aiuto per migliorare i risultati ottenuti con la SMED, agevolando le variazioni al mix produttivo e riducendo lo spreco del tempo tolto alla produzione nella riconfigurazione.

Alcune indicazioni nell'uso di macchine riconfigurabili in autonomia sono fornite dalle prime implementazioni. I risultati delle ricerche effettuate tra chi ha investito negli anni in mezzi di produzione flessibili hanno evidenziato come l'acquisto sia stato nel complesso positivo. I problemi ricorrenti riscontrati riguardano il software dalla bassa affidabilità e le funzioni nei macchinari che vanno oltre le effettive necessità.

I sistemi riconfigurabili invece sono visti con favore permettendo di aggiornare le funzioni e la capacità secondo il variare della produzione. Le loro funzionalità permettono di produrre componenti più complessi e di gestire una ampia gamma di prodotti. Sebbene i costi di acquisto siano superiori e servano operatori con più specializzazione, i sistemi riconfigurabili sono visti come una tecnologia a cui dare forte priorità dalle aziende. (Mehrabi, Ulsoy, & Heytler, 2002)

Nel settore della manutenzione, la creazione di modelli e la raccolta dati, proprie della i4.0, permettono di eseguire attività proattive, comprendendo le necessità di intervento ed individuando le cause. La diffusione di sensori integrati consente di riconoscere le situazioni che potenzialmente porteranno ad un guasto, di programmare quindi la manutenzione e di evitare arresti imprevisti alla produzione.

Le possibilità offerte dai big data sono qui evidenti, permettendo analisi in tempo reale e di realizzare modelli con livelli di sofisticazione non raggiungibili con i metodi tradizionali. L'i4.0 potrà quindi essere uno strumento importante per la manutenzione, perseguendo la volontà lean di evitare gli interventi di ripristino a guasto, concentrandosi sul mantenimento delle migliori condizioni operative del macchinario e programmando le soste in modo da non impattare sulla produttività.

4.6 Per l'azienda nel suo complesso

L'applicazione dei due metodi in modo complementare può essere una opportunità per andare oltre a quanto già ottenuto con la lean per le aziende snelle, rivalutando campi problematici in passato e portando la capacità di migliorare in aree prima trascurate.

Le difficoltà ravvisate riguardano per lo più aspetti relativi l'attività di implementare l'industria 4.0 in quanto tale e su quali caratteristiche scegliere tra le molteplici funzionalità che la compongono, come il livello delle capacità decisionali e le possibilità di previsione in autonomia degli eventi.

Ma la discussione riguarda anche i metodi nel loro complesso, valutando se la complessità della smart factory sia giustificata o se vadano ricercate proposte alternative. Nel campo della lean production, i suoi principi nati in un contesto e periodo storico particolare, hanno saputo adattarsi nel tempo ai cambiamenti nell'industria e nel mercato. Si è sempre operata una scelta della tecnologia più vicina alla produzione snella ed è in questo ruolo, da base abilitante, che l'industria 4.0 può essere vista come strumento e non come metodo concorrente.

4.6.1 Trasparenza nel funzionamento

Un sistema complesso come l'infrastruttura dell'industria 4.0 comporta alcune critiche per quanto riguarda la comprensione immediata, trasparente, del funzionamento e delle scelte effettuate dal sistema. La semplicità e la chiarezza sono basi dell'applicazione lean. Può verificarsi invece che la i4.0 porti alla realizzazione di sequenze produttive, di ordinazioni o scelte manutentive di difficile interpretazione. Tali dubbi possono portare anche una difficoltà nella distinzione delle problematiche di funzionamento del sistema stesso.

Mantenere un allineamento ai principi lean dovrà essere una scelta in fase di sviluppo del software e dell'hardware, andando a realizzare un sistema sempre comprensibile nel suo stato di funzionamento e nelle operazioni svolte.

Va anche affermato inoltre che implementare tali sistemi è motivato dalla volontà di ottenere, con sistemi il cui funzionamento è già complesso, risultati non possibili con altre strade, come sfruttare l'analisi big data e applicarla direttamente ai mezzi produttivi. L'i4.0 può quindi essere, tra le soluzioni informatiche affacciate nel panorama della produzione, la più eterogenea e comprensiva per tutto il sistema

produttivo, senza dover ripiegare su isolati sistemi proprietari, dipendenti dai singoli produttori.

4.6.2 Base tecnologica alla produzione snella

La lean manufacturing ha da sempre esplorato le possibilità dell'ICT, come esposto in precedenza, vedendone le potenzialità ma limitandone l'uso, data l'inclinazione a non creare sistemi centralizzati per il controllo dell'intera attività aziendale. L'impiego è stato spesso limitato a campi di necessità come la registrazione di dati della produzione, gestione delle attività legate agli ordini, alle forniture e comunicazione tra le sedi.

L'industria 4.0 va a costituire nuovo passo per la presenza dei sistemi IT in azienda. Viene proposto un set di funzioni che permettono alla produzione snella di superare i propri fattori limite quali deviazione del mercato, livellamento della produzione e cicli vita del prodotto.

Al contrario delle soluzioni proposte in passato, per affiancare soluzioni lean con ERP e MES, la i4.0 permette:

- Identificazione unica di ogni oggetto presente nel sistema produttivo, trasferendo le informazioni di produzione assieme al prodotto in chip integrati;
- Utilizzo di sensori negli impianti produttivi per raccogliere dati sulle attività che prima non erano disponibili o raccolti in modo parziale manualmente;
- Algoritmi big data permettono di trasformare la grande mole di dati raccolti in informazioni utili, utilizzabili nel processo di miglioramento continuo;
- La connessione in tempo reale in un internet delle cose di ogni apparato consente di poter fornire l'informazione voluta in modo immediato, chiedendo al sistema;
- La comunicazione avviene in modo decentralizzato tra gli oggetti realizzando un sistema ciberfisico in cui ogni parte fisica ha una propria controparte nel mondo virtuale;
- La presa di decisioni avviene in modo autonomo e decentralizzato, basandosi su simulazioni e dati acquisiti in tempo reale;
- Completa integrazione dei diversi sistemi software in uso, anche nelle relazioni sostenute con soggetti esterni;
- Standardizzazione delle interfacce per una realizzazione modulare dei sistemi;
- Integrazione dei servizi cloud per eliminare le barriere fisiche, permettendo comunicazioni con soggetti in remoto.

- Rinnovata importanza ai controlli e all'assistenza visuale per il supporto dell'operatore nell'utilizzare il sistema. (Hunschofsky, Mauthner, & Magne, 2016)

Le soluzioni fornite sono quindi una base tecnologica che assiste nello svolgimento del lavoro. Il lean management non pone motivi per ostacolare l'adozione della tecnologia, ma limita le scelte a strumenti che ne rispettino i principi. L'insieme delle soluzioni i4.0 opera per la creazione del valore, per evitare gli sprechi, per mantenere il flusso duplice di informazioni e materiali, ponendosi quindi come uno strumento tecnologico potenzialmente compatibile.

Le sfide da superare a tal riguardo saranno: la capacità di realizzare dei modelli affidabili della realtà, sviluppando la coordinazione e mantenendo aggiornati la base di dati; la necessità di mediare tra la complessità di analisi e la trasparenza delle scelte effettuate in autonomia dal sistema; il mantenimento del controllo delle funzionalità del sistema nonostante gli imprevisti e le variabilità inevitabili negli ambienti produttivi.

4.6.3 Implementazione

Nel considerare quale può essere l'interesse per le aziende operanti secondo il lean management, si possono considerare i dati riguardanti i possibili benefici dell'implementazione della i4.0. Si aprono infatti le possibilità per nuovi guadagni della produttività: dal 15 al 20% è raggiungibile nel complesso con l'integrazione di un set completo di soluzioni. L'analisi di dettaglio effettuata sui dati raccolti dal processo di una lavorazione, come una macchina utensile, consentono guadagni dal 30 al 50% nei tempi di downtime con la manutenzione proattiva ed il controllo remoto. I big data applicati alla gestione degli inventari portano poi alla riduzione drastica delle scorte.

Ma la transizione all'industria 4.0 dovrebbe essere decisa con un solido impegno condiviso nell'azienda, vedendo similitudini con l'introduzione del lean management. Nella transizione è indispensabile un approccio olistico, portando a considerare l'interezza del sistema ed utilizzando un insieme completo di strumenti, andando così attuare un piano chiaro sin dall'inizio ed indirizzato a coinvolgere l'intera rete.

Gli sforzi per l'industria 4.0 porteranno all'implementazione di tutte le sue caratteristiche solo con il pieno appoggio dal top management. Delegando l'integrazione a dipartimenti isolati con basso potere decisionale o senza una chiara strategia, solo parte delle soluzioni sarà adottata e le prestazioni scoraggianti per la

prosecuzione dell'iniziativa. Nell'implementazione deve essere coinvolto tutto il personale, preparandolo adeguatamente con la formazione per l'uso dei nuovi strumenti. Operare l'acquisto di soluzioni tecnologiche complesse come software analitici e robot trovando un ampio mercato di proposte è la parte meno difficoltosa dell'implementazione, le acquisizioni vanno accompagnate dalla conoscenza. Solo selezionando le figure professionali ed operando al fine di aumentare le capacità dell'azienda in proprio o tramite servizi di terzi, si possono sfruttare pienamente i nuovi mezzi a disposizione. (Behrendt, Müller, Odenwälder, & Schmitz, 2017)

L'intero business con l'4.0 è soggetto ad un ripensamento per le modalità con cui viene gestita la catena di valore, non limitandosi ad un cambiamento del dipartimento IT. Lunghi cicli produttivi con catene di fornitori dislocate in paesi a basso costo del lavoro possono essere sostituite con cicli brevi vicini al cliente. Il time-to-market, il tempo di consegna, l'attenzione per il cliente migliorano esponenzialmente grazie alle opportunità della digitalizzazione. Questi elementi potranno incentivare l'implementazione anche nelle aziende che già hanno affrontato il processo di transizione verso il lean management, adottando la nuova architettura nel loro sistema produttivo.

Conclusioni

Esposte le caratteristiche dell'industria 4.0, con le sue prospettive per il futuro, e del lean management, che ha saputo porsi come modello di riferimento, si è svolta una relazione del loro rapporto, considerando gli operatori, i prodotti, i fornitori, i mezzi produttivi ed il funzionamento delle operazioni aziendali.

Nelle attività del personale si sono individuate diverse opportunità per introdurre l'industria 4.0. Le soluzioni di segnalazione andon e di rilevazione autonoma delle problematiche jidoka traggono beneficio dalla maggior integrazione con i sistemi produttivi ed i dispositivi personali. L'assistenza all'esecuzione dell'attività lavorativa e alla formazione della i4.0 ampliano le capacità del singolo operatore, rendendolo quindi più flessibile e abile nel lavoro, anche con una produzione di pezzi singoli o molto diversificata. La stazione di lavoro comunica mediante kanban elettronici ed è integrata nel sistema CPS, rispettando gli elementi lean di produzione su richiesta, con minime scorte e con un continuo controllo, al pari dei metodi poka-yoke.

Per il prodotto, se la lean aveva permesso di confrontarsi sul mercato in modo da prevalere contro la produzione di massa, la i4.0 vuole migliorare l'offerta con le personalizzazioni individuali. Di importanza sono poi i servizi associati che rafforzano l'offerta sul mercato e la capacità di raccogliere dati dopo la vendita, andando a migliorare la comprensione dei bisogni del cliente. I principi di riduzione dei costi di produzione e del lead time restano punti fissi, ma con le tecnologie introdotte è possibile ottenere tali risultati aggiungendo anche la customizzazione del prodotto. Le soluzioni i4.0 vanno quindi ad accrescere il valore per il cliente e migliorano i tempi di risposta adattandosi ai mercati più volatili e competitivi.

Con i fornitori la cooperazione è di primaria importanza per la i4.0 come per la lean. Deve essere instaurato un flusso di scambio di informazioni reciproco per il funzionamento dei sistemi aziendali e per lo sviluppo del prodotto. Le consegne just-in-time o just-in-sequence vengono integrate in modo dinamico nel funzionamento del sistema volendo migliorare le sinergie tra spedizioni, trasporti e linee produttive.

I mezzi produttivi nella i4.0 operano in pull, ponendo enfasi sulla capacità di eseguire in modo flessibile la produzione. La comunicazione in tempo reale consente di adattare la produzione alla richiesta da valle per i partner fornitori e l'azienda.

Il prodotto intelligente con RFID comunica con il sistema e veicola le informazioni per le lavorazioni a cui dovrà essere sottoposto.

Per la manutenzione ed il setup si mettono a disposizione metodi per proseguire nelle iniziative TPM e SMED: i mezzi di analisi consentono di eseguire interventi più puntuali e mirati; le attività possono essere svolte guidando attivamente l'operatore o anche dal macchinario stesso in autonomia.

L'attività di miglioramento e soluzione dei problemi è rafforzata da una disponibilità di dati ampia e sempre accessibile, in aiuto al lavoro del personale. Le analisi big data con complesse simulazioni sui dati raccolti e modelli virtuali non sono un alienamento del lavoro umano, quanto una base per mettere la forza lavoro nelle condizioni di migliorare i risultati raggiunti. Le soluzioni implementate vanno quindi a proseguire nelle attività di continuo miglioramento del sistema, supportando il personale.

L'i4.0 non vuole stabilire un unico sistema centralizzato di controllo, ma in accordo con i sistemi snelli, adotta dispositivi che dialogano localmente tra loro e prendendo decisioni decentralizzate. L'IoT consente la comunicazione nel piano produttivo rendendo mezzi produttivi e postazioni capaci di coordinazione nello svolgere la produzione e comunicare con gli operatori che supervisionano un numero maggiore di macchinari, in modo da mantenere il flusso produttivo costante.

La complessità che l'i4.0 comporta è vista come un motivo di contrasto con il lean management, con le capacità decisionali del sistema che sfuggono dal controllo diretto e trasparente nel funzionamento dei processi. È vero però che i processi ed i prodotti subiscono una complessità sempre più crescente a causa delle esigenze del mercato: per far fronte a tali esigenze esterne sarà una naturale evoluzione adottare sistemi integrati nel piano produttivo e la i4.0 potrà fornire una valida soluzione. Dall'adozione della i4.0 non vanno poi trascurati i benefici ulteriori quali l'apertura dell'azienda al cloud computing ed al mercato dei servizi.

In tabella 5.1 è presentato il riepilogo delle situazioni trattate in cui si è individuato un possibile impiego complementare degli strumenti dell'industria 4.0 ai metodi del lean management in uso.

Lean production Strumenti e principi	Soluzioni dall'industria 4.0 a supporto ed integrazione
Prodotto a valore aggiunto	Disponibilità del feedback della clientela tramite il cloud Identificazione univoca del prodotto, customizzazione avanzata Concurrent engineering, prototipazione virtuale e big data
Riduzione dei costi	Realizzare mappe dei flussi di valore con raccolta dati continua Identificazione attività a valore con basi di dati ed elaborazioni big data Integrazione completa orizzontale e verticale nell'azienda
Contenimento dello spreco	Modello virtuale e corrispettivo fisico nel CPS Ottimizzazione processi ed inventario con i big data Valutazione in tempo reale dello stato dello stabilimento Ridurre imprecisioni ed errori di comunicazione o registrazione dati
Trasparenza e affidabilità operazioni	Controllo e visualizzazione in tempo reale dello stato stabilimento Sistema decentralizzato e robusto alle problematiche nella rete <i>Richiede di definire il grado di libertà decisionale del sistema</i>
Produzione in pull e Kanban	Versioni elettroniche del kanban, tra workstation, macchine e operatori Controllo continuo consumi workstation e riordino autonomo Cloud delle richieste dal cliente e verso fornitori, da valle a monte Indirizzamento univoco materiale e dati tra le risorse produttive
Just in time	Stato della supply chain in tempo reale, ottimizzazione trasporti Coordinazione con i fornitori e tra stazioni con cloud e IoT Mantenimento flussi di materiali e controllo code nelle stazioni
One-piece-flow	Integrazione RFID nei componenti, lettori sui macchinari Riconfigurazione autonoma macchinari per singolo prodotto Movimentazioni con percorsi dinamici per componenti o prodotti
SMED, Modifiche sistema produttivo e setup	Supporto visivo nell'esecuzione lavoro manuale ed automatismi Revisione sistematica procedure setup, manutenzione proattiva Macchine, stazioni di lavoro e componenti plug-n-play
Jidoka	Controllo continuo stato dei sistemi per rilevare anomalie Incremento macchinari controllabili da un singolo operatore Avvisi indirizzati direttamente al personale competente
Poka-yoke	Controllo correttezza attività manuali ed automatiche Visual computing per istruire e guidare nelle attività da svolgere Rimozione errori ed inaffidabilità della raccolta dati manuale
Andon	Monitor o dispositivi mobili con informazioni contestualizzate Fornire informazioni, assolvere a richieste e cambiamenti per ogni soggetto/oggetto nel social network aziendale
TPM	Dispositivi IoT e sensori per raccolta dati, modelli virtuali nel CPS Big data per la definizione di strategie di intervento Service e controllo da remoto da parte dei fornitori
Heijunka	Sequenze per ottimizzare l'integrazione tra mercato e produzione Setup automatici ed impiego produzioni mixed model
Operazioni standard	Augmented operator per svolgere più attività diversificate Tempistiche dinamiche (<i>in opposizione a tempi ciclo fissi</i>) Apprendimento virtuale e realtà aumentata, anche di nuovi lavori
Miglioramento continuo	Sistema decentralizzato IoT per comunicare ed ottimizzare le operazioni Rendere disponibili database affidabili per attività di miglioramento Data mining in supporto alle scelte aziendali

Tabella 5.1 – Elenco riassuntivo delle sinergie tra Industria 4.0 e Lean Production

Per il lean management, l'industria 4.0 può essere vista come un'opportunità per proseguire le implementazioni attuali della LM, utilizzando i nuovi strumenti, abilitati dalle tecnologie introdotte, per andare oltre i risultati ad oggi ottenuti e per prepararsi alle sfide future.

Non tutte le soluzioni i4.0 sono compatibili o applicabili nell'immediato ad ogni realtà aziendale, si prospetta però che i nuovi sistemi possano essere fondamentali per la competitività futura sul mercato, con una completa integrazione orizzontale e verticale nelle attività nell'azienda.

Se si assisterà ad un minor uso di cartelli kanban fisici, andon e tabelle per un passaggio a mezzi elettronici, non sarà che la sostituzione degli strumenti scelti in precedenza con nuove soluzioni tecniche, con una base tecnologica rinnovata, per ottenere migliori risultati e continuare l'opera di perfezionamento della produzione snella.

Bibliografia

- Baines, T., Lightfoot, H., Williams, G. M., & R., G. (2006). State-of-the-art in lean design engineering: A literature review on white collar lean. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 220(9), 1539-1547. doi:10.1243/09544054JEM613
- Baur, C., & Wee, D. (2015, Gigno). *Manufacturing's next act*. Retrieved Giugno 10, 2017, from Manufacturing's next act: <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/manufacturings-next-act>
- Behrendt, A., Müller, N., Odenwälder, P., & Schmitz, C. (2017, Marzo). Industry 4.0 demystified — lean's next level. Retrieved from <http://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/industry-4-0-demystified-leans-next-level>
- Borris, S. (2006). *Total Productive Maintenance: Proven Strategies and Techniques to Keep Equipment Running at Maximum Efficiency*. McGraw-Hill.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International journal of mechanical, aerospace, industrial and mechatronics engineering*, 8(1), 37-44.
- Cheng, K., & Bateman, J. R. (2008). e-Manufacturing: Characteristics, applications and potentials. *Progress in Natural Science*, 18(11), 1323-1328. doi:10.1016/j.pnsc.2008.03.027
- Chui, M., Manyika, J., Bughin, J., Brad, B., Roberts, R., Danielson, J., & Gupta, S. (2013, Maggio). Ten IT-enabled business trends for the decade ahead. Retrieved Giugno 10, 2017, from <http://www.mckinsey.com/industries/high-tech/our-insights/ten-it-enabled-business-trends-for-the-decade-ahead>
- D'Antonio, G., Bedolla, J. S., Rustamov, A., Lombardi, F., & Chiabert, P. (2016). The Role of Manufacturing Execution Systems in Supporting Lean Manufacturing. *Product Lifecycle Management for Digital Transformation of Industries: 13th IFIP WG 5.1 International Conference, PLM 2016, Revised Selected Papers* (pp. 206-214). Columbia, SC, USA: Springer. doi:10.1007/978-3-319-54660-5_19
- Dave, V., & Dixit, A. (2015). LEAN PRODUCTION SYSTEM: A FUTURE APPROACH. *International Journal OF Engineering Sciences & Management Research*, 2(6), 69-74.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. (2017). *The background to Plattform Industrie 4.0*. Retrieved Giugno 10, 2017, from <http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/ThePlatform/PlattformIndustrie40/plattform-industrie-40.html>
- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Bangkok, Nonthaburi (Thailand): Apress. doi:10.1007/978-1-4842-2047-4
- Gölzer, P., Cato, P., & Amberg, M. (2015). Data Processing Requirements of Industry 4.0 - Use Cases for Big Data. *ECIS 2015 Research-in-Progress Papers*(61).

- Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zühlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, (pp. 289-294). doi:10.1109/INDIN.2014.6945523
- Günther, S., Gartzten, T., Rodenhauer, T., & Marks, A. (2015). Promoting Work-based Learning through INDUSTRY 4.0. *Procedia CIRP*, 32, 82-87. doi:10.1016/j.procir.2015.02.213
- Günther, S., Reuter, C., Hauptvogel, A., & Dölle, C. (2015). Hypotheses for a Theory of Production in the Context of Industrie 4.0. *Advances in Production Technology. Lecture Notes in Production Engineering*. doi:10.1007/978-3-319-12304-2_2
- Hameed, B., Durr, F., & Rothermel, K. (2011). RFID based Complex Event Processing in a Smart Real-Time Factory. *Expert discussion: distributed systems in smart spaces*.
- Heng, S. (2014, Aprile 23). *Industry 4.0: Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon*. Retrieved Giugno 10, 2017, from http://www.i40.de/wp/wp-content/uploads/2015/04/Industry-4_0-Upgrading-of-Germany's-industrial-capabilities-on-the-horizon.pdf
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: a literature review*. Retrieved Giugno 10, 2017, from http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*. Koloa, HI, USA: IEEE. doi:10.1109/HICSS.2016.488
- Hines, P., Holweg, M., & Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking. *International Journal of Operations & Production Management*, 24(10), 994-1011. doi:10.1108/01443570410558049
- Hironori, D. (1992). CIM & Information Network. : A Case Study of Toyota Motor Corporation. *Hitotsubashi journal of social sciences*, 17(1), 135-159. doi:10.15057/5915
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. doi:10.1016/j.compind.2017.04.002
- Houy, T. (2005, Settembre). ICT and Lean Management: Will They Ever Get Along? *Communications & Strategies*(59), 53-75.
- Hunschofsky, H., Mauthner, G., & Magne, C. (2016). HOERBIGER 1-1-1 Turning High-Mix / Low-Volume Manufacturing from a Constraint into a Competitive Advantage. *Journal of Materials Science and Engineering A*(6), 310-320. doi:10.17265/2161-6213/2016.11-12.004
- Industrie 4.0 Platform. (2014). *Industrie 4.0 - Whitepaper FuE-Themen*. Retrieved Giugno 10, 2017, from <http://www.din.de/blob/67744/de1c706b159a6f1baceb95a6677ba497/whitepaper-fue-themen-data.pdf>
- Kache, F., & Seuring, S. (2017). Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(1). doi:10.1108/IJOPM-02-2015-0078

- Kagermann, H., Anderl, R., Jürgen, G., Günther, S., & Wolfgang, W. (2016). *Industrie 4.0 in a Global Context – Strategies for Cooperating with International Partners*. Acatech. Retrieved from <http://www.acatech.de/nc/de/publikationen>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Acatech – National Academy of Science and Engineering. Retrieved from http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf
- Kärcher, B. (2015). Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In A. Botthof, & E. Hartmann, *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*, (pp. 47-58). Springer. doi:10.1007/978-3-662-45915-7_5
- Kolberg, D., & Knobloch, J. (2017). Towards a lean automation interface for workstations. *International Journal of Production Research*, 55(10), 2845-2856. doi:10.1080/00207543.2016.1223384
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC-PapersOnLine - 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing*, 48(3), 1870-1875. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.359
- Krafcik, J. F. (1988). Triumph of the Lean Production System. *MIT Sloan Management Review*, 30, 41-53.
- Kurokawa, S., Manabe, S., & Rassameethes, B. (2008). Determinants of EDI Adoption and Integration by U.S. and Japanese Automobile Suppliers. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, 18(1), 1-33. doi:10.1080/10919390701807459
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014, Agosto). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*(4), 239-242. doi:10.1007/s12599-014-0334-4
- Lee, E. A. (2008). Cyber Physical Systems: Design Challenges. *11th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing* (pp. 363-369). IEEE. doi:10.1109/ISORC.2008.25
- Lee, J. (2010). Design of Self-Maintenance and Engineering Immune Systems for Smarter Machines and Manufacturing Systems. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(3), 1-11. doi:10.3182/20100701-2-PT-4012.00003
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. doi:10.1016/j.mfglet.2014.12.001
- Lee, J., Kao, H., & Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. *Procedia CIRP*, 16, 338. doi:10.1016/j.procir.2014.02.001
- Lee, J., Lapira, E., Yang, S., & Kao, A. (2013). Predictive Manufacturing System – Trends of Next-Generation Production Systems. *IFAC Proceedings Volumes - 11th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems*, 46(7), 150-156. doi:10.3182/20130522-3-BR-4036.00107
- Li, J., Tao, F., Cheng, Y., Zhao, & Liangjin. (2015). Big Data in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1), 667-684. doi:10.1007/s00170-015-7151-x

- Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A. V., Lai, C.-F., & Wang, S. (2017). A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0. *Wireless Networks*, 23(1), 21-41. doi:10.1007/s11276-015-1133-7
- Lu, Y. (2017, Giugno). Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. doi:10.1016/j.jii.2017.04.005
- Manyika, J., Dobbs, R., Chui, M., Bughin, J., Bisson, P., & Woetzel, J. (2015). *THE INTERNET OF THINGS: MAPPING THE VALUE BEYOND THE HYPE*. McKinsey Global Institute. McKinsey & Company.
- Mehrabi, M. G., Ulsoy, A. G., & Heytler, P. (2002). Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13(2), 135-146. doi: 10.1023/A:1014536330551
- Monden, Y. (1994). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time (Second Edition)*. CHAPMAN & HALL.
- Moor, R. (2004). *MAKING COMMON SENSE COMMON PRACTICE, third edition*. Burlington, MA, USA: Elsevier.
- Mrugalska, B., & Wyrwicka, M. K. (2017). Towards Lean Production in Industry 4.0. *Procedia Engineering - 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*, 466-473. doi:10.1016/j.proeng.2017.03.135
- Muhammad, Z. R., Mohd, N. A., Nizaroyani, S., Norhana, A., & Waqar, S. (2016). RFID impacts on barriers affecting lean manufacturing. *Industrial Management & Data Systems*, 1585-1616. doi:10.1108/IMDS-10-2015-0427
- NAED Foundation. (2015). *Smart Technologies Provide Big Opportunities*. (NAED Education & Research Foundation) Retrieved Giugno 2017, 10, from www.naed.org: https://www.naed.org/NAEDDocs/Research/Business%20Profitability/Big%20Data_Smart%20Opportunities%20Final.pdf
- Ōno, T. (1988). *Toyota production system: beyond large-scale production*. crc Press.
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., . . . Vallarino, I. (2015). Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26-40. doi:10.1109/MCG.2015.45
- Powell, D., Alfnes, E., & Dreyer, H. (2013). The concurrent application of lean production and ERP: Towards an ERP-based lean implementation process. *Computers in Industry*(64), 324-335. doi:10.1016/j.compind.2012.12.002
- Powell, D., Riezebos, J., & Strandhagen, J. O. (2013). Lean production and ERP systems in small- and medium-sized enterprises: ERP support for pull production. *International Journal of Production Research*, 51(2), 395-409. doi:10.1080/00207543.2011.645954
- Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173-178. doi:10.1016/j.procir.2016.08.005

- Radziwon, A., Bilberg, A., Bogers, M., & Madsen, E. S. (2014). The Smart Factory: Exploring Adaptive and Flexible Manufacturing Solutions. *Procedia Engineering*(69), 1184 - 1190. doi:10.1016/j.proeng.2014.03.108
- Rauch, E., Dallasega, P., & Matt, D. T. (2016). The Way from Lean Product Development (LPD) to Smart Product Development (SPD). *Procedia CIRP*, 50, 26-31. doi:10.1016/j.procir.2016.05.081
- Reyner, A., & Fleming, K. (2004). Heijunka, Product & Production Leveling. *MIT Leaders for Manufacturing Program (LFM)*, (pp. 1-12).
- Richert, A. S., Shehadeh, M., Müller, S. L., Schröder, S., & Jeschke, S. (2016). Robotic Workmates – Hybrid Human-Robot-Teams in the Industry 4.0. *11th International Conference on e- Learning (ICEL)* (pp. 127-131). Academic Conferences and publishing limited.
- Ron, D. (2015, Settembre). *Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth*. Retrieved Giugno 10, 2017, from [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Going beyond Triviality: The Toyota Production System—Lean Manufacturing beyond Muda and Kaizen. *Journal of Service Science and Management*(9), 140-149. doi:10.4236/jssm.2016.92018
- Rüttimann, B. G., & Stöckli, M. T. (2016). Lean and Industry 4.0 - Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems. *Journal of Service Science and Management*, 9, 485-500. doi:10.4236/jssm.2016.96051
- Saldivar, A. A., Goh, C., Li, Y., Chen, Y., & Hongnian, Y. (2016). Identifying smart design attributes for Industry 4.0 customization using a clustering Genetic Algorithm. *22nd International Conference on Automation and Computing (ICAC)* (pp. 78 - 83). IEEE. doi:10.1109/IConAC.2016.7604954
- Schonberger, R. J. (2008). *Best practices in lean six sigma process improvement*. John Wiley & Sons.
- Segovia, D., Ramírez, H., Mendoza, M., Mendoza, M., Mendoza, E., & González, E. (2015). Machining and Dimensional Validation Training Using Augmented Reality for a Lean Process. *Procedia Computer Science*, 75, 195-204. doi:10.1016/j.procs.2015.12.238
- Shaha, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785-805. doi:10.1016/j.jom.2007.01.019
- Shigeo, S., & Dillon, A. P. (1989). *A study of the Toyota production system: From an Industrial Engineering Viewpoint*. CRC Press.
- Shingo, S., & Dillon, A. P. (1985). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Productivity Press.
- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 697-701). IEEE. doi:10.1109/IEEM.2014.7058728

- Silveira, C. B. (2017, giugno 29). *Heijunka: flexibilizar e nivelar a produção*. Retrieved from banasqualidade.com.br: <https://www.banasqualidade.com.br/artigos/?codigo=16860>
- STAUFEN.AG. (2016). *Survey 25 years Lean Management*. Köngen: STAUFEN.AG.
- Stock, T., & G., S. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40, 536-541.
- Synnes, E. L., & Welo, T. (2016). Enhancing Integrative Capabilities through Lean Product and Process Development. *Procedia CIRP*, 54, 221-226. doi:10.1016/j.procir.2016.05.090
- Tepeš, M., Krajnik, P., Kopač, J., & Semolič, B. (2015, Giugno). Smart tool, machine and special equipment: overview of the concept and application for the toolmaking factory of the future. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 37(4), 1039-1053. doi:10.1007/s40430-014-0229-9
- Thoben, K.-D., Wiesner, S. A., & Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples. *International Journal of Automation Technology*, 11(1), 4-16. doi:10.20965/ijat.2017.p0004
- Tjahjono, B. (2009, Maggio). Supporting shop floor workers with a multimedia task-oriented information system. *Computers in Industry*, 60(4), 257-265. doi:10.1016/j.compind.2009.01.003
- Van Aken, E. M., Farris, J. A., Glover, W. J., & Letens, G. (2010). A framework for designing, managing, and improving Kaizen event programs. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59(7), 641-667. doi:10.1108/17410401011075648
- Wan, J., Cai, H., & Zhou, K. (2015). Industrie 4.0: Enabling technologies. *Proceedings of 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things*, 135-140. doi:10.1109/ICAOT.2015.7111555
- Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current Status and Advancement of Cyber-Physical Systems in Manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37. doi:10.1016/j.jmsy.2015.04.008
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(1), 1-10. doi:10.1155/2016/3159805
- Wank, A., Adolph, S., Anokhin, O., Arndt, A., Anderl, R., & Metternich, J. (2016). Using a Learning Factory Approach to Transfer Industrie 4.0 Approaches to Small- and Medium-sized Enterprises. *Procedia CIRP*, 54, 89-94. doi:10.1016/j.procir.2016.05.068
- Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579-584. doi:10.1016/j.ifacol.2015.06.143
- Wittenberg, C. (2016). Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), 420-425. doi:10.1016/j.ifacol.2016.10.602
- Womack, J. (2004, Maggio 11). *Lean Information Management*. Retrieved Giugno 2017, 10, from lean.org: <https://www.lean.org/womack/DisplayObject.cfm?o=726>

- Womack, J. P., Jones, D. T., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed the World*. New York: Rawson.
- Womack, P. J. (2006, Maggio). Value Stream Mapping. *Manufacturing Engineering magazine*.
- Womack, P. J., & Jones, T. D. (1997). *Lean Thinking*. Milano: Guerrini.
- Yamamoto, Y. (2008). Guidelines for increasing skills in Kaizen shown by a Japanese TPS Expert at 6 Swedish Manufacturing Companies. *The 18th International onference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. Skövde, Sweden.
- Yamamoto, Y. (2010). *Kaikaku in production*. Västerås: Mälardalen University.
- Zhang, Y., Jiang, P., Huang, G., Qu, T., & Zhou, G. H. (2012). RFID-enabled real-time manufacturing information tracking infrastructure for extended enterprises. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 23(6), 2357-2366. doi:10.1007/s10845-010-0475-3
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147-2152. doi:10.1109/FSKD.2015.7382284
- Zuehlke, D. (2009). SmartFactory – A Vision becomes Reality. *IFAC Proceedings Volumes*, 42(4), 31-39. doi:10.3182/20090603-3-RU-2001.0578