

Politecnico di Torino
I Facoltà di Ingegneria
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria
Gestionale

Tesi di Laurea

Industria 4.0 e Lean Production:

studio sull'adozione delle tecnologie di
automazione e di digitalizzazione sulla filiera
automotive italiana e valutazione dell'impatto
dell'organizzazione interna sul fenomeno



Relatore:

Professor Enrico Vezzetti

Co-Relatore:

Professor Emilio Paolucci

Candidato:

Daniele Secci

SOMMARIO

INDICE DELLE IMMAGINI.....	3
INDICE DELLE TABELLE	4
1 INTRODUZIONE	5
2 REVISIONE LETTERARIA.....	7
2.1 ORGANIZZAZIONE E MODI DI GESTIRE LA FABBRICA.....	7
2.2 CENNI STORICI SULL'EVOLUZIONE DEL METODO INDUSTRIALE.....	7
2.2.1 LEAN PRODUCTION: IL CAPOSTIPITE DEI MODELLI PRAGMATICI	8
2.2.2 IL MODELLO LEAN	9
2.2.3 MODELLO LEAN APPLICATO ALL'ORGANIZZAZIONE AZIENDALE	11
2.2.4 RISORSE UMANE VS AUTOMAZIONE: RESPONSABILITÀ E FORMAZIONE.....	12
2.2.5 TAYLORISMO VS PRAGMATISMO: MODELLI ORGANIZZATIVI A CONFRONTO ...	14
2.3 LE NUOVE TECNOLOGIE: INDUSTRIA 4.0.....	17
2.3.1 LE RIVOLUZIONI INDUSTRIALI	18
2.3.2 INDUSTRIA 4.0.....	19
2.3.3 TECNOLOGIE DI INDUSTRIA 4.0.....	22
2.3.4 LA DIGITALIZZAZIONE.....	30
2.3.5 DATA-DRIVEN DECISION MAKING E DATA SCIENCE.....	31
2.4 ORGANIZZAZIONE E TECNOLOGIE: RIFLESSIONI SUL RAPPORTO	32
3 MATERIALE E METODI.....	42
3.1 SETTORE AUTOMOTIVE ITALIANO	42
3.2 IPOTESI DI STUDIO.....	42
3.3 LA RICERCA FAI_DIGITAL	45
3.4 COSTRUZIONE DELLE VARIABILI	46
4 RISULTATI	50
4.1 STATISTICHE DESCRITTIVE DEL CAMPIONE.....	50
4.2 STATISTICHE DI ADOZIONE DELLE TECNOLOGIE E BENEFICI.....	51
4.3 DEFINIZIONE DEI GRUPPI TECNOLOGICI BASE	52
4.3.1 TECNOLOGIE DI SIMULAZIONE.....	55
4.3.2 RISULTATI OTTENUTI.....	57
4.4 STATISTICHE DESCRITTIVE DELLE VARIABILI DI CALCOLO	57
4.5 IPOTESI 2,4	60
4.6 IPOTESI 1,3,4	60

4.7	IPOSTESI 5	61
4.8	IPOSTESI 6	62
4.9	RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI.....	65
5	CONCLUSIONI.....	67
5.1	STATO DI ADOZIONE DELLE TECNOLOGIE DI I4.0.....	67
5.2	SUDDIVISIONE EMPIRICA DELLE TECNOLOGIE IN SOTTOGRUPPI FUNZIONALI: AUTOMAZIONE E DIGITALIZZAZIONE.....	67
5.3	SOTTO QUALI CONDIZIONI ORGANIZZATIVE LE AZIENDE DECIDONO DI ADOTTARE LE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE E DIGITALIZZAZIONE?.....	68
5.4	IN QUALE MODO IL MODELLO ORGANIZZATIVO AZIENDALE IMPATTA SULL'ADOZIONE E SULL'UTILIZZO DELLE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE E DIGITALIZZAZIONE?.....	69
6	BIBLIOGRAFIA.....	71

INDICE DELLE IMMAGINI

1. Taiishi Ohno, padre della lean production (fonte: https://danielelizzo.wordpress.com/)	pag.7
2. Linea temporale delle quattro rivoluzioni industriali (fonte https://www.economyup.it/)	pag.19
3. robot che eseguono lavorazioni sulla scocca di un'auto (fonte: http://www.chimicaweb.com/)	pag.23
4. (fonte: https://www.roboticsbusinessreview.com/)	pag.24
5. moderna stampante 3D (fonte: www.amazon.it)	pag.25
6. Esempio di codice a barre (fonte: https://gs1it.org/)	pag.25
7. Esempio di QR code (fonte: www.microsoft.com)	pag.26
8. Schema della tecnologia RFID (fonte: https://www.internet4things.it/)	pag.26
9. machine vision: struttura (fonte: Abbott, 1998)	pag.28
10. Esempio di progettazione di simulazione su Arena (fonte: http://www.handlingscience.it/)	pag.30
11. Schema piramidale di Lee, 2014 (fonte: Lee, 2014)	pag.33
12. Dalenogare, risultati regressioni lineari (Dalenogare, 2018)	pag.35
13. schema a stadi di sviluppo della digitalizzazione aziendale dei processi (fonte:Frank,2019)	pag.36
14. schema evolutivo di Acatech (Fonte: Acatech, 2018)	pag.39
15. Risultati ricerca Mapi (Fonte: Mapi, 2019)	pag.40
16. aziende FAI_DIGITAL divise per regione (Fonte: propria)	pag.50
17. dimensione delle aziende FAI_DIGITAL (Fonte: propria)	pag.51
18. tipo di fornitura delle aziende FAI_DIGITAL (Fonte: propria)	pag.51
19. percentuale di adozione delle tecnologie I4.0 nel campione (Fonte: propria)	pag.51
20. benefici dall'adozione delle tecnologie (Fonte: propria)	pag.52
21. Clusterizzazione dei prodotti rispetto alla complessità (Fonte: propria)	pag.56
22. grado di automazione dei processi (Fonte: propria)	pag.57
23. livello di digitalizzazione dei processi (Fonte: propria)	pag.58
24. percentuali di adozione di più pratiche Pragmatiche (Fonte: propria)	pag.58
25. percentuale di adozione delle singole logiche Pragmatiche (Fonte: Propria)	pag.59
26. grado di adozione di processi di problem solving (Fonte: propria)	pag.59

INDICE DELLE TABELLE

1. modello di Liker (fonte: Krijnen, 2007)	pag. 10
2. Tabella riassuntiva delle differenze fra Fordismo e pratiche pragmatiche (fonte: propria)	pag.17
3. Livelli di maturità digitale Acatech (Fonte: Acatech, 2018)	pag.39
4. riassunto delle conclusioni raccolte tramite l'analisi della letteratura (fonte: personale)	pag.41
5. Costruzione variabili di automazione e digitalizzazione (Fonte: propria)	pag.47
6. Metodo di costruzione della variabile PRAG (Fonte: propria)	pag.48
7. variabili costruite per la rielaborazione (Fonte: propria)	pag.49
8. factor analysis: iterazione 1 (Fonte: propria)	pag.53
9. factor analysis: iterazione 3 (Fonte: propria)	pag.54
10. factor analysis: iterazione 4 (Fonte: propria)	pag.54
11. bundle tecnologici riscontrati (Fonte: propria)	pag.57
12. factor analysis: automazione (Fonte: propria)	pag.60
13. factor analysis: digitalizzazione (Fonte: propria)	pag.61
14. factor analysis: costo manodopera diretta (Fonte: propria)	pag.62
15. factor analysis: conformità di prodotto (Fonte: propria)	pag.63
16. factor analysis: problem solving (Fonte: propria)	pag.63
17. factor analysis: sicurezza sul lavoro (Fonte: propria)	pag.65

1 INTRODUZIONE

La tesi di ricerca è stata svolta per rispondere a tre domande principali:

- Qual è il grado attuale di adozione delle tecnologie di Industria 4.0 nelle aziende di componentistica della filiera automotive italiana?
- È possibile distinguere bundle tecnologici legati ai processi di automazione e di digitalizzazione?
- Sotto quali condizioni organizzative le aziende decidono di adottare le tecnologie di automazione e digitalizzazione?
- In quale modo il modello organizzativo aziendale impatta sull'adozione e sull'utilizzo delle tecnologie di automazione e digitalizzazione?

A tal fine, sono stati analizzati i due principali modelli organizzativi aziendali:

- Il modello tradizionale Fordista, legato alla teoria di Taylor riguardo alla catena di montaggio, nata alla fine del Diciottesimo secolo ed ancora oggi logica base aziendale in molti settori;
- Il modello Lean Production, nato in Toyota nella seconda metà del Ventesimo secolo, capostipite del modello organizzativo interno "pragmatico".

I legami teorici riscontrati in letteratura fra modelli organizzativi e strategie aziendali sono stati dimostrati empiricamente tramite l'analisi dei dati dei questionari sottoposti alle aziende nel corso del progetto FAI_DIGITAL del Politecnico di Torino, in collaborazione con l'università Ca' Foscari di Venezia ed il Collegio Carlo Alberto di Torino. Sono state ricercate le correlazioni fra adozione delle tecnologie, uso delle stesse e le principali voci di pragmatismo, estrapolate dal questionario.

Non essendo presente in letteratura scientifica una classificazione empirica delle tecnologie di industria 4.0, si è proceduto ad una analisi fattoriale, che ha permesso di identificare i due gruppi principali:

- “automazione”, composto da tutte le macchine programmabili ed in grado, quindi, di svolgere operazioni in autonomia dall’uomo;
- “digitalizzazione”, che racchiude le strumentazioni atte alla raccolta, analisi e rielaborazione dei dati di processo.

Tramite la definizione di alcune variabili chiave, i dati di adozione delle tecnologie e di benefici risultanti dal loro utilizzo, sia dal punto di vista dell’organizzazione che economico, sono stati analizzati tramite regressione lineare a step, andando ad indagare come l’implementazione integrata di automazione e digitalizzazione, unita ad una logica interna pragmatica, sia un fattore chiave per il miglioramento continuo ed il raggiungimento di una piena maturità digitale.

2 REVISIONE LETTERARIA

2.1 ORGANIZZAZIONE E MODI DI GESTIRE LA FABBRICA

In questo capitolo verrà analizzato il modello di Lean Production, come rappresentante di maggior rilievo delle filosofie Pragmatiche e sarà confrontato con la logica Taylorista, identificando le principali differenze in chiave di organizzazione interna.

2.2 CENNI STORICI SULL'EVOLUZIONE DEL METODO INDUSTRIALE

Leibenstein (1966), riteneva che i benefici derivanti da strategie economiche di riallocazione delle risorse fossero insignificanti rispetto a quelli derivati da una strategia di efficientamento del processo interno aziendale. Per decenni però, questa teoria fu ignorata, la maggior parte delle aziende del mondo continuarono a seguire un modello di produzione Fordista, basato sulle economie di scala, sulla riduzione delle attività in "blocchetti" base e sull'efficienza creata dalla specializzazione del personale in quei singoli microcomponenti. Intanto nel mondo industrializzato nascevano modelli organizzativi definiti "pragmatici". Uno di questi è il modello della Lean Production, ideato e implementato da Toyota negli anni Ottanta. La Commissione Americana del Massachusetts Institute of Technology eseguì un'indagine per scoprire i motivi per i quali le aziende americane stessero perdendo competitività rispetto alle aziende asiatiche, preoccupata dal rischio crescente di una possibile dominazione economica straniera in molti settori.

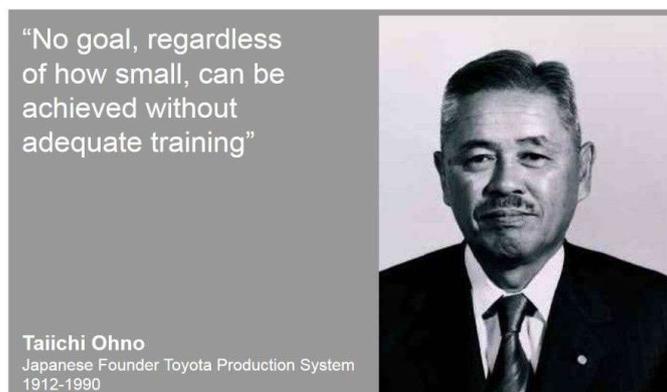


Figura 1 - Taiichi Ohno, padre della lean production (fonte <https://danielelizzo.wordpress.com/>)

Al termine dell'analisi, si comprese che la maggior efficienza interna, prodotta dall'implementazione della Lean Production in Toyota, creava un differenziale molto elevato nei costi industriali unitari; quindi una pratica organizzativa ben strutturata poteva rappresentare, come anticipato circa 25 anni prima da Leibenstein, un vantaggio competitivo ben più marcato rispetto alla riallocazione delle risorse.

Lo studio della logica di Lean Production risulta il metodo migliore per analizzare in modo sistematico tutte le pratiche di pragmatismo che possono essere implementate in azienda per l'efficientamento interno.

2.2.1 LEAN PRODUCTION: IL CAPOSTIPITE DEI MODELLI PRAGMATICI

Yoshiki Iwata è un discepolo di Taiichi Ohno, pioniere della Lean Production. Durante una lezione tenuta a vari manager provenienti da tutto il mondo, disse: *"Taiichi Ohno dichiarò: "Dobbiamo fare qualcosa di straordinario per competere, per produrre in modo efficiente. Dobbiamo ridurre l'input e produrre lo stesso output migliorando l'efficienza e la produttività ...Nella maggior parte dei casi, tuttavia, le aziende producono più di quanto sia necessario. Aggiungiamo degli extra e produciamo in eccesso. Inoltre, forniamo troppo rapidamente ...Le aziende che ho visitato producono più di quanto sia necessario, dispongono di inventario, ma mancano ancora le consegne. A causa di questa situazione di spreco abbiamo bisogno di logiche Just in Time. "*

Secondo Flynn, Just in Time (JIT) si basa sull'idea di eliminare gli sprechi attraverso la semplificazione dei processi di produzione, come l'eliminazione degli eccessi e dei lotti eccessivamente grandi, che causano tempi di transazione al cliente inutilmente lunghi (Flynn et al., 1995).

Iwata concluse la sua sessione di insegnamento dicendo: "Le persone sono multi-skilled, ma improvvisamente quando vanno a lavorare, sviluppano l'abitudine di svolgere un'unica operazione. Puoi dividere equamente il tempo di produzione tra lavori diversi che devono essere

fatti? La risposta è "no" ...Voi avete bisogno di persone con più competenze. Devono tutti essere in grado di fare tre lavori: la loro mansione sulla linea, quella precedente e quella successiva. "

Shah e Ward definiscono la logica Lean come una serie di aspetti e principi tecnici e sociali mirati a ridurre al minimo la variabilità del sistema interno ed esterno. Le pratiche di lean production dovrebbero essere viste unicamente da un punto di vista multidimensionale, nel quale i mattoni (le filosofie aziendali) non possono essere considerati separatamente, ma nel loro insieme (Shah & Ward, 2007). I principi Lean vengono attuati in azienda tramite l'implementazione del Total Quality Management (TQM). Ross definisce TQM come una filosofia di gestione integrata e un insieme di pratiche pragmatiche che enfatizza il miglioramento continuo, soddisfacendo i requisiti del cliente, riducendo le rilavorazioni, programmando a lungo termine, coinvolgendo maggiormente i dipendenti con pratiche di lavoro di squadra, riprogettando i processi, svolgendo studi di benchmarking, decentralizzando il potere decisionale, monitorando costantemente i risultati ed instaurando relazioni più strette con fornitori e clienti (Ross, 2017).

2.2.2 IL MODELLO LEAN

Alla base del modello di Lean Production vi è la logica di identificazione e successiva eliminazione degli sprechi, la necessità di rendere maggiormente scorrevole ed efficiente il flusso di lavoro tramite l'eliminazione delle discontinuità nel ciclo di lavorazione e la capacità di provvedere in tempo reale alla gestione della velocità dei processi, in risposta alle necessità del mercato.

Monden scrive che l'idea di base è quella di produrre il tipo di unità necessarie, al momento necessario e nelle quantità necessarie, in modo da limitare l'uso di inventari di prodotti intermedi e finiti. Tre sotto-obiettivi sono: il controllo della quantità, la garanzia della qualità e il rispetto per l'umanità. Questi sono raggiunti tramite l'implementazione di quattro concetti: JIT, autonomia, forza lavoro flessibile e valorizzare i suggerimenti dei lavoratori (Monden, 1983). Liker e Hoseus asseriscono che alla base della Lean Production, piuttosto che artefatti concreti come i Kanban, ci siano invece le pratiche manageriali e i principi organizzativo-comportamentali

della forza lavoro (Krijnen, 2007). Liker ha costruito uno schema a quattordici livelli che riassume i principi alla base del sistema Toyota, cardini della logica pragmatica di organizzazione aziendale. Lo schema di Liker è molto apprezzato a livello di letteratura poiché la sua impostazione lo rende estremamente versatile, cioè applicabile a tutte le realtà aziendali che abbiano la volontà di evolvere il proprio modello organizzativo da una logica tradizionale taylorista ad una pragmatica.

Essi sono raggruppati in 4 voci principali (Krijnen, 2007):

GRUPPO	ITEM
<i>Filosofia</i>	L1. Basare le decisioni di gestione su una filosofia a lungo termine, anche a spese di obiettivi finanziari a breve termine;
<i>Processo</i>	L2. Creare un processo aziendale continuo per portare a visibilità i problemi;
	L3. Utilizzare la logica "pull" per evitare la sovrapproduzione;
	L4. Livellare il carico di lavoro con logica just in time;
	L5. Implementare un nuovo tipo di cultura aziendale, basata sulla necessità di fermarsi in caso di errore, alla ricerca della "perfezione al primo colpo";
	L6. Standardizzare le operazioni ed i processi come base per un sistema di formazione continua e responsabilizzazione dei lavoratori;
	L7. Operare con controllo visivo per fare in modo che nessun problema rimanga sepolto;
	L8. Utilizzare unicamente tecnologie affidabili e ben testate che abbiano alla base una necessità del processo e del personale;
	L9. Crescere internamente dei leader che abbiano interiorizzato le operazioni, la filosofia di lavoro ed in grado di trasmettere questi valori al resto della forza lavoro;
<i>Persone</i>	L10. Sviluppare persone e team di alta formazione interna che seguano la filosofia aziendale;
	L11. Rispettare l'intera rete di partner e fornitori, provando a sfidarli a migliorare con il proprio aiuto e collaborazione;

<i>Problem Solving</i>	L12. Non limitarsi al passaparola, ma osservare in prima persona le situazioni per comprenderle in modo globale;
	L13. Prendere le decisioni senza fretta ed analizzando la situazione da un punto di vista globale, prendendo in esame tutte le possibilità a disposizione. Attuare rapidamente la decisione presa;
	L14. Costruire un'organizzazione interna che formi il personale, in una logica di miglioramento continuo delle risorse e con esse del processo.

Tabella 1 - modello di Liker (fonte: Krijnen, 2007)

La prima voce dello schema di Liker non è casuale sia “filosofia”, poiché essa è un concetto base di Lean Production che deriva strettamente dalla cultura giapponese. Per questo motivo risulta quello maggiormente difficile da esportare nel resto del mondo. Ecco perché è raro in occidente riscontrare modelli completi di Lean Production, mentre è più facile che le aziende adottino modelli ibridi che implementano solo alcune delle pratiche pragmatiche annesse a seconda delle necessità di processo, della preparazione del personale e delle risorse a disposizione.

È necessario quindi analizzare i principi cardine su cui si basa la logica pragmatica, per poterli poi identificare ed analizzare in modo disgiunto e definire gradi di adozione dei modelli.

2.2.3 MODELLO LEAN APPLICATO ALL'ORGANIZZAZIONE AZIENDALE

Esaminando l'organizzazione interna, si possono identificare tre aspetti principali, che vanno a contrastare con la logica Taylorista:

ORGANIZZAZIONE PER PROCESSO: Hammer definisce il processo come la sequenza di tutte le attività (compresa la commercializzazione) che assorbono risorse e creano un output di valore per il cliente (Hammer, 1993). Si passa da una struttura gerarchica piramidale di funzioni aziendali chiuse a una struttura trasversale, che attraversa le varie funzioni, percorrendo il sentiero del prodotto dalla fase di progettazione fino alla sua vendita e successiva assistenza

tecnica. Nasce così una nuova figura aziendale, il responsabile di processo, che, in sinergia con tutti i responsabili funzionali, gestisce il prodotto dalla nascita alla rottamazione. Il moderno sviluppo tecnologico ha permesso la predisposizione dei cosiddetti "Enterprise Resource Planning" (ERP), sistemi di software in grado di integrare i dati aziendali sulle operazioni in atto e creare quindi una gestione centralizzata delle attività seguendo, appunto, una logica per processi;

TEAM WORKING: la logica Taylorista della catena di montaggio viene rivista: si predispongono postazioni di lavoro lungo i processi aziendali, si assegnano ad esse delle squadre di lavoratori, capitanati da un Team Leader, che conservano una certa libertà di azione, che comporta responsabilità sulla lavorazione;

MULTI-SKILLS: la responsabilità sull'attività porta ogni operaio a necessitare di conoscenze su più aspetti della produzione, in modo tale da saper reagire a modifiche repentine dei parametri di produzione, quali, ad esempio, il volume, il tipo di prodotto o servizio e il metodo di produzione. La logica del team working è propedeutica, in quanto permette di costruire risorse polifunzionali a sé stanti, in grado di specializzarsi nelle attività chiave, sviluppando capacità di problem solving e decision making. In questa configurazione, assume una certa importanza anche la rotazione dei lavoratori nelle postazioni: la sostituzione di una singola unità di un team non produrrà un danno marcato alla produttività e permetterà di creare un processo continuo di formazione, al termine del quale nasceranno figure altamente specializzate su di una certa attività, ma con competenze sull'intero sistema produttivo.

2.2.4 RISORSE UMANE VS AUTOMAZIONE: RESPONSABILITÀ E FORMAZIONE

Cua ha dimostrato che l'implementazione di iniziative relative allo sviluppo della forza lavoro accelera l'adozione di alcuni aspetti della pratica pragmatica, traducendosi in un miglioramento dei risultati operativi grazie a cicli di inventario più veloci e performanti, riduzione dei tempi di consegna e aumento della qualità (Cua, McKone, & Schroeder, 2001). Samson asseriva che la

pratica pragmatica non può essere realizzata a meno che i lavoratori non siano formati preventivamente (Samson, 1993). Ad esempio, la rotazione dei lavoratori richiede che nello stabilimento operi una forza lavoro qualificata e competente, perciò Osterman, proseguendo l'analisi di Samson, scrive che gli investimenti nello sviluppo della forza lavoro sono cruciali (Price & Osterman, 1994). Dal momento che l'adozione di pratiche pragmatiche comporta un cambiamento fondamentale nella logica e nel modello di produzione, anche Bonavia e Marin-Garcia, nel 2011, evidenziano la necessità di occuparsi dello sviluppo delle risorse umane e di non affidarsi unicamente alla tecnologia in sviluppo (Bonavia & Marin-Garcia, 2011).

È necessario rivedere il sistema gerarchico interno, riducendo i livelli, in modo tale da limitare i conflitti tra figure diverse. L'operaio consapevole e formato comprenderà maggiormente il valore della cosiddetta "retribuzione indiretta", ovvero della sicurezza sul lavoro e del coinvolgimento aziendale. È quindi altresì utile permettere ai rappresentanti dei lavoratori di partecipare alla stesura delle responsabilità aziendali, alla determinazione dei premi di produttività, alla distribuzione delle ore lavorative, in una logica di trasparenza strategica e di fiducia reciproca tra management e forza lavoro. Si può dire, in conclusione, che l'approccio pragmatico implica l'implementazione di un sistema di formazione continua dei lavoratori, che si svolge lungo la linea e in maniera attiva e pratica.

2.2.4.1 IL METODO KAIZEN

Kaizen deriva da due termini giapponesi: KAI, che significa cambiamento, miglioramento e ZEN, ossia buono, migliore. Dunque, Kaizen si può riassumere come la capacità di migliorare continuamente e quindi di gestire il lavoro in maniera sempre più consapevole ed efficiente. Si tratta della ricerca della "perfezione" nei processi produttivi, eliminando gli sprechi ed ottimizzando al massimo le attività. Non solo, si intende anche la necessità di utilizzare l'esperienza per riuscire, in futuro, a predisporre nuove attività ottimizzate dal principio, ad un livello di perfezione quasi totale. L'"errore", in questa impostazione, non è una decisione non

consona alla situazione, ma una situazione non prevedibile o che è stata prevista in maniera sbagliata. Di conseguenza, non viene più ammessa la “scelta inconsapevole”, la conoscenza è un dato chiave ed imprescindibile, che permette di non commettere mai due volte lo stesso errore, o almeno a poterne prevedere gli effetti negativi e a priori e mitigarli.

Uno degli strumenti più rappresentativi dell’organizzazione Lean è, appunto, la “settimana Kaizen”: è un approccio che è in grado di portare risultati di ottimizzazione di processo in una settimana di tempo. La struttura a team permette di estrarre da ognuno un’unità specializzata, formando un “super team” che, per una settimana, viene dedicato all’analisi ed alla revisione di determinati processi aziendali, con lo scopo di perfezionarli andando a riconoscere ed eliminare, se presenti, gli sprechi. La settimana Kaizen è uno strumento che, oggi, è stato implementato dalle maggiori aziende, soprattutto quelle Hi-tech e del settore automotive.

2.2.5 TAYLORISMO VS PRAGMATISMO: MODELLI ORGANIZZATIVI A CONFRONTO

Il Taylorismo si basa sulla catena di montaggio, che prevede la suddivisione di tutte le attività della linea produttiva in operazioni basilari a cui viene assegnato un operaio, responsabile unicamente dei risultati di produttività ottenuti rispetto ai parametri tecnici del prodotto. Nel modello Lean e, più in generale, Pragmatico, il focus è posto sulle attività produttive: vengono costruite delle squadre di lavoratori capitanate da un team leader che avranno responsabilità, oltre che sulla produttività, di problem solving e decision making sull’intera attività. Da ciò deriva che in tale modello la forza lavoro avrà una maggiore responsabilizzazione ed un minor grado di alienazione rispetto alla filosofia Taylorista, in cui la ripetitività delle operazioni provoca alti livelli di stress. Quindi, si assiste ad un decentramento del potere decisionale, permettendo di attuare verifiche, modifiche ed azioni di risposta a problemi anche dalla forza operaia, che data la propria vicinanza alla linea produttiva, avrà maggiori competenze e informazioni a riguardo. La struttura interna a team permette di attuare logiche di formazione continua, principalmente tramite il concetto di Job Rotation: ampliando le responsabilità si può muovere un’unità da una squadra

ad un'altra senza diminuire la produttività e permettendo a tale lavoratore di ottenere nuove informazioni e competenze su altre parti del processo. Al termine delle rotazioni, nasceranno figure professionali complete e specializzate, in grado di riconoscere e segnalare anomalie su tutta la linea e di operare in sinergia con le altre squadre per la loro risoluzione. MacDuffie sostiene che la "motivazione" sia un fattore chiave nella logica organizzativa e questa risulta maggiore in un modello pragmatico rispetto a quello Taylorista, poiché agli operai è permesso di lavorare apportando valore in modo discrezionale, tramite le proprie abilità di problem solving e le conoscenze acquisite. MacDuffie continua l'analisi ponendo un accento sull'allineamento dei risultati ed il senso di appartenenza, che risultano i due fattori chiave per aumentare la volontà degli operai di offrire tutte le loro abilità al servizio dell'obiettivo comune, in un interscambio continuo grazie ad azioni di miglioramento della qualità, della sicurezza e della confortevolezza dei luoghi di lavoro (Macduffie, 1995). Se nella teoria di Taylor bisognava concentrarsi sulla retribuzione diretta dell'operaio, il sistema retributivo Pragmatico fa affidamento su più voci indirette. Secondo Appelbaum è necessario attivare dei sistemi di retribuzione più consoni a questi concetti, rendendoli meno rigidi e basati sul contributo attivo, come premi di produttività, la partecipazione alle scelte riguardo i tetti di retribuzione e la trasparenza del management verso valle (Appelbaum, E., Bailey, T., Berg, P., Kalleberg, A. L., & Bailey, 2000). MacDuffie, al termine della sua trattazione scrive: "Ci sono prove considerevoli che ai lavoratori negli impianti di Lean Production piacciono questi ruoli di responsabilizzazione e partecipazione. Particolarmente significativo è che i lavoratori con precedenti esperienze in impianti tradizionali in genere dicono di non volere assolutamente tornare a quell'impostazione" (Macduffie, 1995).

Entrambi i ricercatori concludono che in un modello Taylorists al lavoratore viene richiesto unicamente uno sforzo fisico, monitorato e che non richiede alcun sistema di retribuzione indiretta. Si può riassumere tale concetto in una divisione marcata fra "brain" e "hand", per cui

all'operaio viene richiesto di svolgere un'attività che non richieda abilità di ragionamento, ma unicamente attività fisiche, mentre il potere decisionale viene centralizzato nel management. Al contrario, in una logica pragmatica gli viene richiesto anche uno sforzo mentale, che non è facilmente dimensionabile; proprio per questo motivo la mera opera di controllo non è sufficiente, ma si rende necessario forzare l'operaio a svolgere queste attività tramite incentivi di altra natura, basati sull'allineamento degli obiettivi (Macduffie, 1995) (Appelbaum, E., Bailey, T., Berg, P., Kalleberg, A. L., & Bailey, 2000).

Quindi, le risorse umane sono più interconnesse, discutono del processo e forniscono soluzioni per migliorarlo. Se la catena di montaggio era vista come una struttura a ciclo continuo, che aveva obiettivi giornalieri di produzione e che si basava su una logica di "produzione a riserva", la maggiore comunicazione interna ed esterna permette, in logica Pragmatica, di valutare in tempo reale lo stato degli ordini e la domanda del mercato e calibrare la produzione su tali parametri. Sparisce quasi completamente il magazzino, che segue una logica "Pull" di risposta immediata alle sollecitazioni interne ed esterne.

Con la crescita e l'implementazione dell'automazione, si può notare che l'operaio in catena di montaggio ora è sostituito dal robot, in grado ormai di operare con parametri di produttività molto superiori a quelli umani, soprattutto riguardo la velocità e la qualità. In questa rappresentazione, la forza operaia, ridotta di numero, sale nel sistema piramidale in due modi distinti fra Fordismo e pragmatismo: uno deresponsabilizzato nella logica tradizionale ed uno altamente responsabilizzato in quella pragmatica.

Risulta importante la riflessione di Scherrer-Rathje: nonostante risulti chiaro il vantaggio ottenibile tramite l'implementazione di pratiche pragmatiche, il successo della trasformazione della logica di processo non favorisce ugualmente tutte le aziende. Questo si verifica a causa di vari fattori interni, quali ad esempio la cultura aziendale e la resistenza del middle management alla modifica delle routine, ma anche esterni, come quello politico o quello sociale (Scherrer-

Rathje, Boyle, & Deflorin, 2009). Non è scontato, quindi, l'esito di una transizione da un modello ad un altro e questo spiega il perché, ancora oggi, non tutte le aziende abbiano adottato logiche pragmatiche. Come si può vedere nella tabella 2, le differenze tra il modello Fordista e quello pragmatista sono molteplici e di forte impatto sui parametri interni di processo.

	FORDISMO	PRAGMATISMO
STRUTTURA PROCESSO	Catena di montaggio Taylorista	Squadre di attività
DECISION MAKING	Sistema piramidale, potere concentrato a monte	Potere decisionale decentrato
QUALITA' DEL LAVORO	Operazioni semplici e ripetitive	Attività complesse gestite in team
RESPONSABILITA'	Unicamente sui risultati personali di produttività	Sull'attività, con competenze di problem solving e decision making
PREPARAZIONE DELLA FORZA LAVORO	Sulla singola operazione base da svolgere in maniera ripetitiva	Sull'intero processo, con specializzazione sulla propria attività, quella precedente e quella successiva
RETRIBUZIONE	Focus sulla retribuzione diretta per la produttività	Attenzione sulla retribuzione indiretta (qualità del lavoro)
FORMAZIONE	Periodo di affiancamento o lezioni frontali	Formazione continua
ORGANIZZAZIONE DEL LAVORO	Rigida, basata su una divisione netta delle operazioni	Job rotation e settimane Kaizen
LOGISTICA	Sovraproduzione e immagazzinamento	Produzione just-in-time
EFFICIENTAMENTO INTERNO	Riallocazione delle risorse	Miglioramento dell'organizzazione
COMUNICAZIONE	Lenta, ordini dall'alto	Rapida, flusso bidirezionale di informazioni

Tabella 2 - Tabella riassuntiva delle differenze fra Fordismo e pratiche pragmatiche (fonte: propria)

2.3 LE NUOVE TECNOLOGIE: INDUSTRIA 4.0

Dagli anni Novanta si è assistito ad una rapida crescita del settore ICT (tecnologie di informazione e telecomunicazioni), che ha provocato sostanziali modifiche delle pratiche manageriali e di gestione aziendale. L'alta velocità computazionale, improvvisamente, accorcia i tempi di elaborazione dei dati disponibili sul processo, permettendo di analizzarne un monte maggiore con meno latenza. La robotica viene spinta verso uno sviluppo accelerato: nascono macchine in grado di svolgere in autonomia molte attività sulla linea e di agire su loro stesse in caso di problemi dedotti dalla visualizzazione dei dati.

Le tecnologie ICT permettono quindi:

- Una maggiore personalizzazione del prodotto a costi e tempi ridotti;

- Di migliorare ulteriormente e più economicamente i processi aziendali, riducendo i tempi necessari alla predisposizione degli impianti da una lavorazione ad un'altra e riducendo al minimo le ispezioni necessarie per il controllo delle funzionalità degli stessi, già monitorate dal sistema ERP.

Nasce quindi un nuovo paradigma aziendale, basato sui dati e sulla loro visualizzazione e traduzione.

Di conseguenza, negli anni Duemila, l'innovazione si concentra nell'ideazione di tecnologie di raccolta dati sempre più sofisticate e di sistemi di data analysis sempre più efficienti, in grado di andare a simulare interi processi produttivi in forma digitale, dando vita a quella che viene definita "Industria 4.0".

2.3.1 LE RIVOLUZIONI INDUSTRIALI

Dalla fine del Diciottesimo secolo ad oggi, si possono identificare quattro eventi principali che hanno portato ad una rivoluzione nel sistema di produzione industriale:

- La prima rivoluzione industriale: nel Diciottesimo secolo, l'invenzione del motore a vapore ha permesso l'introduzione di macchine alimentate ad energia meccanica;
- La seconda rivoluzione industriale: iniziata nel Ventesimo secolo, è caratterizzata dal metodo di produzione Tayloristico con la nascita di catene di montaggio e dall'uso, in luogo del carbone, di nuove forme di alimentazione come il petrolio, l'energia elettrica e l'utilizzo di sostanze chimiche;
- La terza rivoluzione industriale: sviluppata negli anni Settanta del Ventesimo secolo, caratterizzato dall'uso di robot industriali, computer e tecnologie IT per l'automazione dei processi produttivi;
- La quarta rivoluzione industriale, anche denominata Industria 4.0, basata su un alto grado di automazione unita a interconnessione ed interoperabilità permesse dai moderni sistemi cyber-fisici (CPS).

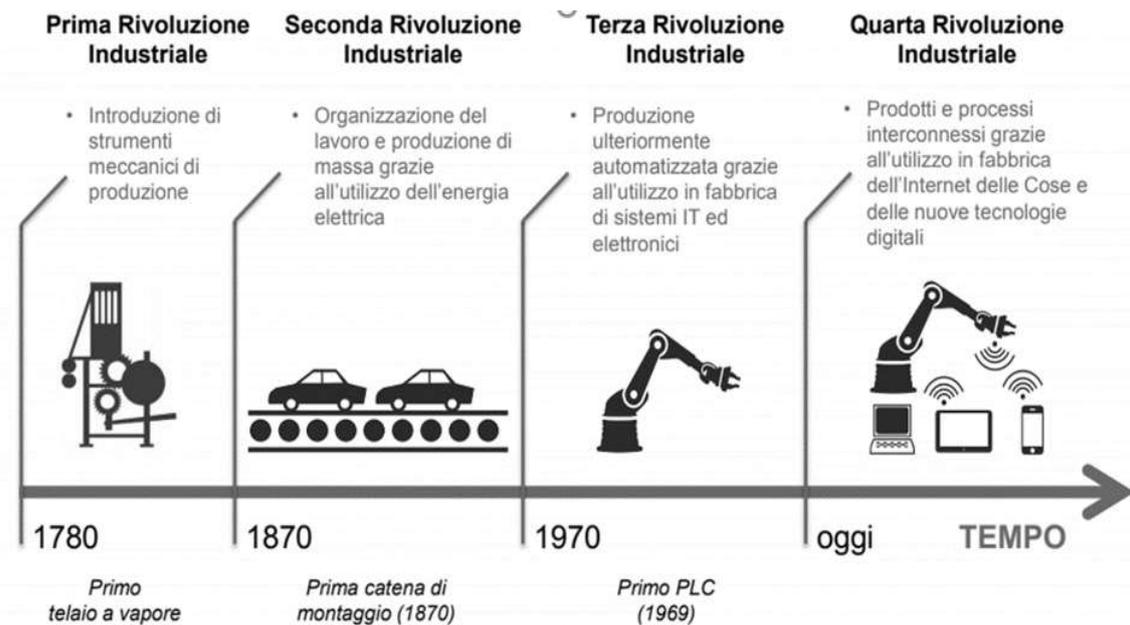


Figura 2 - Linea temporale delle quattro rivoluzioni industriali (fonte <https://www.economyup.it/>)

2.3.2 INDUSTRIA 4.0

Il termine "Industria 4.0" identifica un processo di trasformazione in via di maturazione, che comprende gli sviluppi tecnologici, derivanti dalla digitalizzazione dei processi produttivi, improntati alla creazione di grandi database relativi all'attività aziendale, rielaborati tramite intelligenze artificiali in grado di analizzarli in tempo reale. Da un punto di vista tecnologico, Industria 4.0 indica l'aumentare della automazione e della digitalizzazione nei processi produttivi (Oesterreich & Teuteberg, 2016). La trasformazione è innescata da nuovi approcci produttivi, orientati verso l'adozione di bundle di tecnologie differenti e complementari, quali cyber-fisici, nuovi investimenti in tecnologia, infrastrutture, educazione materiale e del lavoro, acquisizione ed elaborazione dei dati (sensori, attuatori, cloud computing, big data, analytics, comunicazione da macchina a macchina), interazione uomo-macchina (realtà virtuale e aumentata), robot intelligenti e sicurezza informatica (Culot, Nassimbeni, Orzes, & Sartor, 2020). Questi sviluppi sono improntati alla connessione tra macchine fisiche, attuata attraverso internet, che permette di ridurre i tempi di analisi dei dati, di migliorare l'efficienza e la logistica interna e di ottenere nuove informazioni vitali per quanto concerne la produzione, improntata all'innovazione.

Lo sviluppo delle tecniche robotiche e meccatroniche nella produzione di sensori sempre più piccoli e potenti, in grado di essere integrati in maniera discreta e puntuale sulla linea, svolge un ruolo centrale in questo contesto, unitamente a quello dell'automazione, che ha permesso la produzione di attuatori ugualmente avanzati che consentono alla macchina di agire su sé stessa nell'interesse della produzione. La comunicazione, l'integrazione e l'interoperabilità tra le risorse o le unità di produzione, sono un requisito fondamentale per poter raggiungere la piena collaborazione e ottimizzazione dei processi, vale a dire la maturità digitale.

Interoperabilità

L'interoperabilità può essere definita come una misura del grado in cui diversi sistemi, organizzazioni e/o individui, possono lavorare insieme per raggiungere un obiettivo comune. In I4.0 si pone il focus sull'interoperabilità semantica: essa sussiste quando due sistemi sono in grado di interpretare automaticamente le informazioni scambiate attraverso il rispetto di un modello di riferimento comune per lo scambio di informazioni. Il contenuto delle richieste di scambio di informazioni è definito in modo inequivocabile: ciò che viene inviato è lo stesso di ciò che è compreso.

Internet of things (IoT)

La connessione delle macchine fisiche fornisce informazioni e feedback in tempo reale. Ha la sua applicazione in molte aree, ma soprattutto svolge un ruolo vitale nel determinare le fluttuazioni degli ordini nella produzione. Le ragioni delle fluttuazioni possono essere causate dall'espansione della produttività, dalla rottura delle macchine, dai nuovi ordini, dal loro annullamento ecc. Qui, le tecnologie IoT, come l'identificazione a radiofrequenza (RFID) e le reti di sensori wireless (WSN), possono aumentare la visibilità dello scenario e dei dati in tempo reale dall'officina o dalla struttura produttiva.

Big data

I Big Data, una delle espressioni più popolari utilizzate al giorno d'oggi, alludono all'accumulo ed all'elaborazione di grandi quantità di informazioni. I progressi compiuti nell'elaborazione e nell'esecuzione della memoria, insieme all'amministrazione dei sistemi, hanno reso possibile l'accumulo di monti inimmaginabili di informazioni. I Cyber Physical Systems (CPS) e l'IoT consentono di sostenere una grande quantità di elaborazioni al secondo e di gestire grossi database di informazioni disponibili just in time.

I Big Data sono pertinenti ai framework non specializzati e ai framework IT, ma risultano essere ancora più affascinanti quando sono collegati ai sistemi CPS, raggiungendo capacità di ricalcolo pressoché illimitate.

Cyber Physical Systems (CPS)

Se con IoT ci si riferisce prevalentemente all'innovazione e alla raccolta dati e con big data l'integrazione degli stessi in un unico gestore di processo, con CPS si allude alle cooperazioni tra parti fisiche, comprese le persone, e digitali. I tre termini forniscono punti di vista alternativi; oggi non esiste un termine generale di incorporazione. CPS copre tuttavia un'estensione maggiore rispetto all'IoT. Durante il primo decennio del Duemila, il rapido sviluppo delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione ha favorito l'utilizzo degli strumenti dei sistemi ciberneticici (CPS) come sensori all'avanguardia, quadri per l'approvvigionamento di informazioni, dispositivi di comunicazione senza fili e dispositivi di elaborazione appropriati. CPS è un accordo di collaborazione tra elementi computazionali che sono in intensa associazione con il mondo fisico globale e le sue procedure in corso, fornendo l'accesso ai dati e servizi di elaborazione dei dati disponibili su Internet. CPS ha ottenuto ottime valutazioni da scienziati del mondo accademico, dell'industria e del governo. Negli ultimi anni, sono stati implementati CPS in diverse aree di applicazione, quali aviazione, settore automobilistico, quadro civile, processi chimici, servizi medicinali, trasporti e produzione.

Queste tecnologie agiscono come input evolutivo nella gestione aziendale: ridefiniscono le routine interne e le azioni di controllo, le misure sui fermi macchina ed ovviamente diminuiscono la quantità di personale necessaria a svolgere tali mansioni, ma responsabilizzando maggiormente i dipendenti.

2.3.3 TECNOLOGIE DI INDUSTRIA 4.0

Una volta analizzati i paradigmi, la teoria e la terminologia legate a Industria 4.0, è necessario definire le principali tecnologie che possono essere utilizzate, sotto differenti aspetti, per ottimizzare la digitalizzazione del processo. Di seguito, quindi, verranno presentate le schede tecniche delle tipologie di dispositivi e macchinari che saranno oggetto della ricerca proposta.

2.3.3.1 *TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE*

Le tecnologie di automazione sono le macchine dotate di controlli programmabili, quindi in grado di svolgere attività in maniera autonoma, senza l'intervento dell'uomo.

ROBOTS

Il termine "robot" trae le sue origini dalla lingua ceca, in cui la parola *robota* che significa "lavoro dei servi". Quindi, "robot" ha significato di macchina con caratteristiche umane che svolge mansioni non adatte all'uomo. Una definizione di dizionario standard per robot è "una macchina che ricorda un essere umano e svolge compiti meccanici e di routine a comando". I robot industriali sono in grado di eseguire diverse attività programmate per lui. Nell'applicazione industriale, le caratteristiche umane di un robot sono rappresentate da un braccio meccanico, dalla capacità di prendere decisioni basate su sensori, che collezionano dati in input, e dalla capacità di comunicare con il suo ambiente. I robot furono introdotti durante la terza rivoluzione industriale per sostituire l'operaio nell'esecuzione delle lavorazioni più basilari e banali, difficili o particolarmente pericolose. Tuttavia, con lo sviluppo della robotica, oggi le capacità dei robot

hanno superato quelle umane sotto diversi aspetti, principalmente velocità, precisione e rapidità di risposta a input esterni.



Figura 3 - robot che eseguono lavorazioni sulla scocca di un'auto (fonte: <http://www.chimicaweb.com/>)

Di conseguenza, l'International Standards Organization (ISO) nella norma ISO / TR / 8373-2.3 definisce un robot industriale come: “... un controllo automatico, riprogrammabile, multiuso, manipolativo con più gruppi funzionali, che possono essere fissi sul posto o mobili, per l'uso in applicazioni di automazione industriale.”. Oggi i robot sono più economici, più affidabili e molto più capaci, quindi possono essere usati in integrazione con altri sistemi, quali ad esempio nastri trasportatori o macchine a controllo numerico, in celle di automazione. Certamente sono macchine estremamente produttive, ma non esiste un unico robot in grado di svolgere qualsiasi mansione, quindi risulta particolarmente importante un'analisi approfondita delle necessità aziendali prima di scegliere a quale tipo di robot affidarsi.

COLLABORATIVE ROBOTICS (COBOTS)

I primi cobot sono stati sviluppati specificatamente per le linee di assemblaggio del settore automotive. Il termine stesso è apparso per la prima volta in uno studio condotto da due professori associati della Northwestern University, Michael Peshkin ed Edward Colgate, che era stata cofinanziata dalla National Science Foundation e dalla Fondazione General Motors

(Peshkin et al., 2001). I due docenti ricercatori avevano sviluppato delle macchine, che chiamavano cobot, per pezzi voluminosi e pesanti, quindi complessi da muovere e gestire, che però richiedevano contemporaneamente una grande precisione nella lavorazione, come ad esempio scocche di automobile, portiere, parabrezza e altre componenti automotive. Grazie alle ruote con orientamento programmabile, era possibile creare "superfici virtuali" che limitavano il movimento su di una direzione, permettendo un preciso allineamento fra il componente e il resto delle macchine della linea una volta raggiunta la stazione. I due scienziati avevano notato che, in linea di principio, sarebbe stato difficile ottenere lo stesso risultato con robot tradizionali, poiché un sistema di comando a distanza ed il servomotore avrebbero comportato maggiori margini di errori e un livello di sicurezza troppo basso per gli operai impegnati sulla linea (Peshkin et al., 2001).



Figura 4 - impianto di cobot (fonte: <https://www.roboticsbusinessreview.com/>)

ADDITIVE MANUFACTURING

Produzione "additiva" significa una serie di processi di costruzione mediante l'aggiunta di materiale e l'accatastamento di strati, in contrasto con il processo di costruzione mediante la rimozione di materiale, come la scultura. Questa tecnica è anche comunemente chiamata stampa 3D, secondo lo standard NF E 67-001. Negli anni '80, la produzione additiva, chiamata

RP, era studiata per ridurre i costi della prototipizzazione tramite processi di produzione più snelli. All'epoca, infatti, la tecnologia permetteva di fabbricare unicamente parti in plastica di piccole dimensioni e con proprietà meccaniche limitate. La tecnologia è avanzata molto rapidamente, andando ad aumentare notevolmente la dimensione delle macchine e con essa il numero di componenti ottenibili, di materiali utilizzabili e il conseguente miglioramento delle proprietà meccaniche del prodotto.

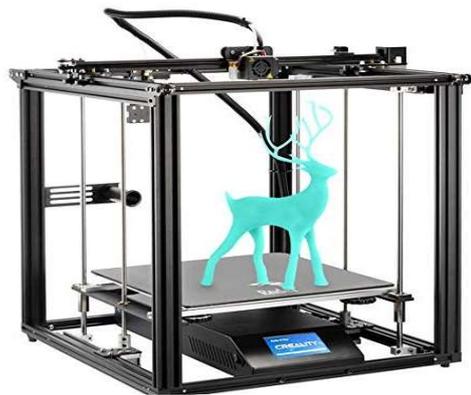


Figura 5 - moderna stampante 3D (fonte: www.amazon.it)

2.3.3.2 TECNOLOGIE DI DIGITALIZZAZIONE

Le tecnologie di digitalizzazione sono quelle utili alla gestione digitale dei dati di processo aziendali. Possono essere suddivise in tecnologie di raccolta dati, analisi dati e simulazione dei processi produttivi.

TRACCIABILITA' PRODOTTO FINITO E MONITORAGGIO MATERIE PRIME E SEMILAVORATI

Tracciare e monitorare significa raccogliere dati su di un oggetto, conoscerne in tempo reale la posizione, la provenienza e proteggerlo da contraffazione successiva alla vendita sul mercato. Si tratta di una pratica nata, in prima istanza, per il controllo della contraffazione, quindi con scopi di tutela dell'azienda e del consumatore. Nell'epoca di Industria 4.0, diventa uno strumento di raccolta dati per l'ottimizzazione del processo e l'analisi dell'adozione da parte del mercato.

Le principali soluzioni sono:

Codici a barre: è la tecnica più adottata e più datata, consiste nell'applicare sul prodotto o sul packaging un marchio a barre che identifica univocamente una tipologia di prodotto. Il codice a barre necessita di un dispositivo apposito per poter essere letto;



Figura 6 - Esempio di codice a barre (fonte: <https://gs1it.org/>)

QR code (quick response code): di diretta derivazione dai codici a barre, si tratta della trasposizione in due dimensioni, leggibile da un qualsiasi dispositivo elettronico abilitato e non più solo da un lettore dedicato. Il QR code può essere visto come un link analogico, che rimanda ad una determinata pagina web che descrive il prodotto in maniera esaustiva, sempre in una logica di protezione dalla contraffazione;



Figura 7 - Esempio di QR code (fonte: www.microsoft.com)

RFID (Radio Frequency Identification) è un metodo utilizzato per tracciare gli oggetti sfruttando le onde radio. Il vantaggio di questa tecnologia rispetto a quelle analizzate in precedenza è la possibilità di identificare la posizione del prodotto senza la necessità dell'intervento dell'uomo, tanto che RFID sta diventando una tecnologia sempre più chiave nella raccolta dati di processo aziendale. I componenti di base della tecnologia RFID sono il tag e il lettore RFID.

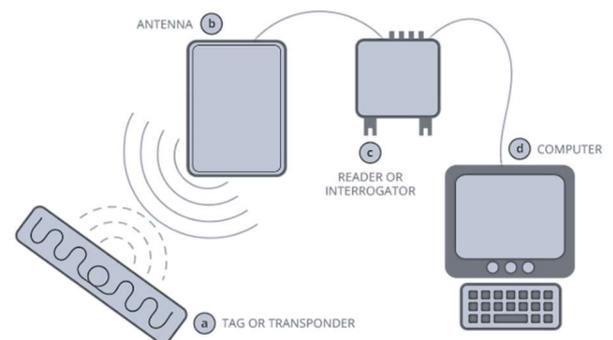


Figura 8 - Schema della tecnologia RFID (fonte: <https://www.internet4things.it/>)

Il funzionamento generico della tecnologia è il seguente: un tag RFID viene posto su un prodotto e, quando entra nel range di un lettore RFID, comunica con esso in modalità wireless. Una volta instaurato il collegamento, il lettore riceve i dati raccolti dal tag e li invia all'analisi. Il tag contiene informazioni utili sulla sua provenienza e sulla sua applicazione. Lo standard generale della tecnologia prevede che la tag contenga il codice elettronico di prodotto (EPC), che riassume le caratteristiche del prodotto, del produttore e il numero seriale.

TECNOLOGIE DI MACHINE VISION

Abbott definisce la Machine Vision come una tecnologia di ispezione e controllo qualità nata nei primi anni Ottanta che, se usata in modo efficiente, può rappresentare uno strumento economico di valutazione di conformità al cento per cento dei prodotti, limitando i piani di campionamento interni (Abbott, 1998).

Il processo di lavoro si compone di quattro step principali:

- Costruzione dell'immagine del prodotto;
- Elaborazione dell'immagine atta a renderla analizzabile dai software;
- Analisi: l'immagine viene processata per identificare le caratteristiche principali del prodotto da verificare;
- Interpretazione dell'immagine, test di conformità e accettazione o scarto finale del prodotto.

I sistemi di Machine Vision sono particolarmente adatti ai processi di ispezione dell'industria manifatturiera, sostituendo la valutazione visiva svolta dal personale sulla linea.

Chiaramente, la tecnologia offre una valutazione molto più efficiente rispetto all'occhio umano, principalmente quando si tratta di analisi quantitative, che richiedono, spesso, limiti di tolleranza dell'ordine del millimetro (ad esempio la filettatura di una vite o allineamento di due componenti in fase di assemblaggio).

Per il suo utilizzo, però, richiede lo sviluppo di competenze interne in programmazione e data analysis, poiché il tecnico dovrà essere in grado di costruire modelli virtuali del componente o della lavorazione, con i limiti di tolleranza annessi, in modo che il programma sia in grado di riconoscere analiticamente le non conformità e segnalarle.

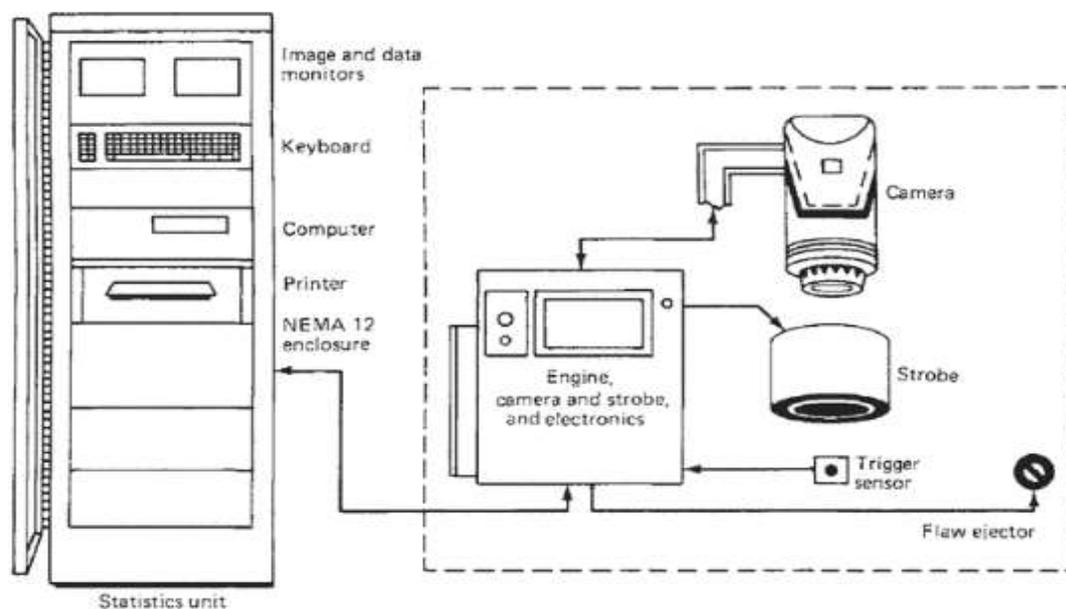


Figura 9 - machine vision: struttura (fonte: Abbott, 1998)

TECNOLOGIE DI DATA COLLECTION & ANALYSIS

Al fine di raggiungere risultati di efficienza e qualità, in campo industriale è necessario raccogliere numerosi dati di processo, relativi ad esempio a temperature, pressioni, umidità e flusso. Una volta raccolti, devono essere immagazzinati nel software di data analytics e rielaborati. In questo settore assumono quindi un ruolo importante le reti di sensori e attuatori implementate sulla linea, con diversi gradi di integrazione, ma in grado di interagire con i lavoratori e fra loro tramite protocolli M2M.

I componenti chiave di un sistema M2M funzionale includono:

- sensori (che comprendono anche RFID - Radio-Frequency IDentification);
- una connessione WiFi o collegamento di comunicazione GPRS/GSM;
- il software di data analytics che svolgerà la rielaborazione dei dati e che conterrà i criteri decisionali riguardanti il contesto applicativo.

Queste tecnologie influiscono, in diverse proporzioni a seconda della natura del processo e dell'organizzazione interna, sulla logistica e sulla catena di produzione, aumentando la sicurezza,

implementando il monitoraggio delle macchine e della qualità, riducendo i costi energetici e valutando i parametri di impatto ambientale a norma di legge.

Nonostante i grandi benefici che derivano dall'utilizzo di queste tecnologie ICT, l'attuale livello di sviluppo tecnologico pone ancora alcuni limiti circa la loro implementazione sulla linea. I prodotti presenti sul mercato utilizzano ancora protocolli di comunicazione a volte diversi tra loro, causando problemi di compatibilità particolarmente accentuati. È importante focalizzarsi sulle caratteristiche principali che un sistema di comunicazione, a partire dal sensore fino all'utente finale, deve avere: rapidità, linearità, corretto dimensionamento dei dati, atomicità e consistenza dei dati. Diventa quindi cruciale la scelta del protocollo di comunicazione tra le macchine e il canale di telecomunicazione utilizzato per la trasmissione delle informazioni (WiFi, GPRS, seriale o altri). Nel data analytics, attualmente, molte imprese implementano ancora software generici di calcolo, come Microsoft Office Excel e Access, ma esistono anche software di analisi più efficienti e potenti, tra i quali si possono nominare SAP Hana e Microsoft IoT suite.

TECNOLOGIE DI VISUALIZZAZIONE E SIMULAZIONE DEI PROCESSI

La visualizzazione e simulazione dei processi produttivi è definita come il processo tramite il quale un modello reale e concreto viene trasposto in forma di modello matematico e logico in ambiente virtuale (Farrar, Simaan, & Xiaoming, 2014). Essa permette alle aziende, ai ricercatori, alle università, di condurre esperimenti sulla linea di produzione, sul processo, sul prodotto, a costi ridotti grazie alla gestione dei dati in digitale. Ne deriva un accorciamento dei trial, una riduzione dei costi di R&D, la capacità di prevedere il comportamento di un processo ancor prima di implementarlo.

Uno dei software più comuni legati alla pratica di simulazione è ARENA, prodotto da Takus e Profozich nel 1997. Si tratta di un programma di simulazione generico per eventi discreti, che supporta una HMI di alto livello. ARENA viene utilizzato nell'ambito della modellizzazione dei

rischi relativi alle variabili di progetto base: tempo, costo e qualità, oltre che fornire uno strumento di monitoring preventivo sulle attività da svolgere.

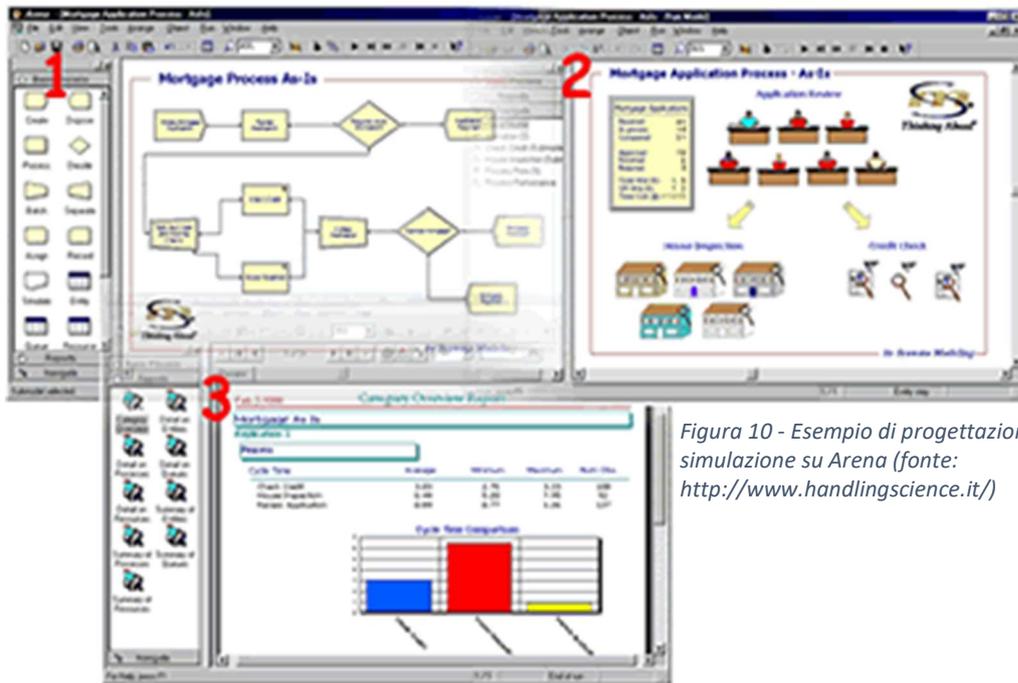


Figura 10 - Esempio di progettazione di simulazione su Arena (fonte: <http://www.handlingscience.it/>)

2.3.4 LA DIGITALIZZAZIONE

La digitalizzazione è un modello di business e un processo di creazione di valore che si basa sull'utilizzo di Big Data, IoT e CPS. La quantità totale di dati raccolti nel mondo raddoppi ogni due anni, ma non è solo la quantità a creare un vantaggio competitivo per le aziende, ma in particolare la qualità, la complessità e la capacità di ricombinazione ed analisi. Le tecnologie di automazione, come i Robot, unitamente a sensori, svolgono una funzione importante in questo senso, permettendo di raccogliere dati sensibili sulla linea e di rispondere in tempo reale ad essi tramite attuatori. Contemporaneamente, la presenza di automazione va a rivoluzionare la figura dell'operaio verso nuovi gradi di specializzazione e di capacità di problem solving. Una ricerca svolta da Härting sui fattori di cui può beneficiare un'azienda tramite l'adozione del business model digitale, mostra una proporzionalità diretta fra questo e gli indicatori chiave di performance (KPI), motivato da una diminuzione dei costi di transazione tramite l'utilizzo del

data-driven decision making, del costo delle risorse attraverso l'ottimizzazione di processi e una riduzione del costo della manodopera tramite l'implementazione delle macchine automatizzate sulla linea. Altro dato sensibile risulta essere la proporzionalità diretta con la "comunicazione" interna ed esterna, infatti le tecnologie di informazione, unite alla data analysis e all'automazione, permettono comunicazioni più immediate, un'alta consapevolezza aziendale, per cui diventa un acceleratore nell'adozione delle pratiche pragmatiche di decentramento del potere decisionale verso il basso. A livello di comunicazione interna, aumentano le capacità dell'azienda nel cooperare con i clienti ed i fornitori, scambiando dati, fornendo nuove soluzioni e discutendo i problemi in modo più efficace ed immediato(Härting, Reichstein, & Schad, 2018).

2.3.5 DATA-DRIVEN DECISION MAKING E DATA SCIENCE

Data-driven decision making vuol dire basare le decisioni aziendali sulla quantità e qualità delle informazioni che si posseggono sui processi. Quando si raggiungono quantità eccessive di informazioni è difficile elaborarle, poiché i principali sistemi di analisi (ad esempio Microsoft Excel) hanno dei limiti di dimensione dei fogli di calcolo. Alla ricerca di soluzioni sempre maggiormente efficienti nella data analysis nasce una nuova figura professionale, il data scientist (system integrator), con il compito di ottimizzare il processo di elaborazione tramite le nuove tecnologie a disposizione, implementate in modo integrato lungo il processo. Sono partner fondamentali per il trasferimento di tecnologie di digitalizzazione che di automazione (Helper, Martins, & Seamans, 2019). Il data scientist viene comunemente definito come una figura multidisciplinare, in grado di analizzare grandi quantità di dati, di programmare e di applicare modelli di machine learning nella produzione.

Numerosi ricercatori stanno analizzando il cambio di paradigma nella gestione delle soluzioni. Alcuni sostengono che la digitalizzazione stia modificando l'analisi dati, passando da un principio di causalità ad uno di correlazione, molto più efficiente ma anche dispendioso. Breiman, al contrario, spiega che viene a crearsi una nuova cultura nella data analysis: la modellazione, che

si basa sulla coniugazione di causalità e correlazione e che è in grado di prevedere eventi futuri nel processo (Breiman, 2001). Ferrer, analizzando la teoria, supporta la tesi secondo la quale il modello causale non è in alcun modo obsoleto, ma piuttosto lo è diventata la scienza statistica classica, inadatta per il nuovo flusso di dati digitali (Ferrer, 2020).

A partire da queste riflessioni, Ferrer illustra la nascita di un nuovo paradigma decisionale, il Data-question-analysis, che quindi ribalta il rapporto esistente nel metodo scientifico classico fra dati e ipotesi, poiché ora sono le informazioni a fornire gli strumenti per osservare i processi e formulare domande oltre che a fornire gli strumenti per rispondere (Ferrer, 2020). Oggi si è in grado di risolvere problemi senza conoscerli, processo utile ma, se mal gestito, pericoloso.

Applicando la data science a Industria 4.0 ed alle pratiche pragmatiche, questa deve porsi due obiettivi principali: la predizione di eventi dannosi e l'analisi dei processi per ottenere feedback per la loro ottimizzazione. Per fare ciò si pone un nuovo problema organizzativo che supporta le pratiche pragmatiche: la formazione del personale. Per utilizzare al meglio le informazioni di processo, il data scientist deve tener conto della preparazione di coloro che dovranno accedervi e valutarli, predisponendo, se necessario, corsi di formazione sulle principali scienze e tecnologie a cui fare riferimento. Il concetto di job rotation, in questo senso, diventa uno strumento estremamente prezioso per il periodo di adattamento e transizione verso la digitalizzazione.

2.4 ORGANIZZAZIONE E TECNOLOGIE: RIFLESSIONI SUL RAPPORTO

In questo periodo storico, la tecnologia è un vero e proprio acceleratore evolutivo dell'azienda. Per essere utilizzata in modo efficiente, infatti, necessita di modifiche alla gestione delle risorse umane e al processo di produzione. Bisogna quindi analizzare l'organizzazione tradizionale Fordista e quella pragmatica per determinare quali siano le tecnologie più conformi ai due modelli e alle due filosofie.

Lee costruisce un modello schematico a livelli che descrive il modello ottimale di implementazione di I4.0 nel processo aziendale (Lee, Bagheri, & Kao, 2015). Identifica cinque step evolutivi (figura 11):

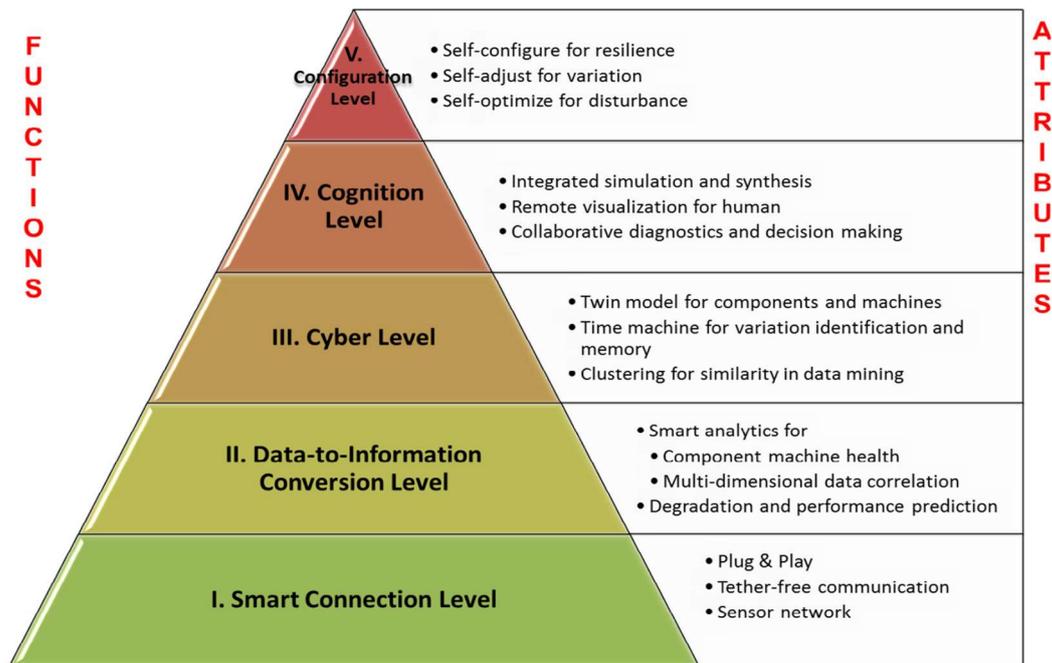


Figura 11 - Schema piramidale di Lee, 2014 (fonte: Lee, 2014)

Connessione intelligente: il primo passo per lo sviluppo di un CPS è l'acquisizione di dati precisi e affidabili dalle macchine e dai loro componenti. I dati possono essere: misurati direttamente dai sensori, ottenuti dal supervisore o gestiti da sistemi integrati aziendali come ERP. Considerando vari tipi di dati, non è sempre necessario implementare un sistema integrato di gestione, ma può essere una scelta discrezionale a seconda del processo. Ovviamente, in caso di scelta di integrazione, si vengono a creare nuove problematiche legate alla coerenza dei sistemi di comunicazione delle diverse tecnologie del processo.

Conversione dei dati in informazioni: dai dati si devono dedurre informazioni significative. Negli ultimi anni, è stato posto il focus sullo sviluppo di algoritmi specifici per la gestione della diagnostica delle macchine, permettendo di calcolare il tasso di salute in tempo reale e quindi

di valutare interventi preventivi. Al secondo livello di CPS, quindi, l'architettura permette alle macchine di ragionare su loro stesse.

Cyber: Il livello cibernetico funge da centro logistico della struttura. L'informazione è inviata ad esso da ogni macchina collegata alla rete. Avere le informazioni raccolte in massa permette di svolgere analisi specifiche per determinare lo stato del processo e non più solo quello della singola macchina. In questo contesto le macchine entrano in competizione tra loro e con loro stesse nel tempo, grazie alle banche dati storiche. A questo livello risulta vitale l'utilizzo di software di data analysis avanzati e, di conseguenza, la ricerca di competenze in ICT.

Cognizione: L'implementazione della CPS a questo livello genera un'approfondita conoscenza del sistema monitorato. Le informazioni sono disponibili e visualizzabili: nasce la possibilità di gestire le decisioni aziendali sulla base delle informazioni della rete (data-driven decision making). È necessario implementare un sistema efficiente di comunicazione visiva uomo-macchina, con schermi sulle macchine, tablet e pc lungo le postazioni della linea e, soprattutto, interfacce grafiche adatte alla visualizzazione del processo.

Configurazione: rendendo le informazioni disponibili a tutte le macchine e fornendo loro software di data-driven decision making autonomo efficienti, il processo viene dotato di autonomia a livello decisionale, potendo operare in risposta a deviazioni dei parametri rispetto a variabili diverse.

Lee identifica quindi una correlazione teorica diretta fra l'integrazione e la visualizzazione dei dati aziendali ed i processi di data-driven decision making.

Dalenogare analizza i benefici attesi sul processo e sul prodotto grazie all'utilizzo di tecnologie innovative (Dalenogare, Benitez, Ayala, & Frank, 2018). Con il suo team di ricerca suddivide in modo qualitativo le tecnologie rispetto al loro utilizzo teorico e analizza il rapporto che sussiste con il miglioramento del prodotto, delle operazioni e di tutti gli effetti indiretti (Figura 12).

Lo studio ha permesso principalmente di evidenziare come le tecnologie di raccolta dati e di integrazione siano utili all'ottimizzazione del processo. Tuttavia, la loro implementazione comporta dei rallentamenti, fisiologici, nella progettazione del prodotto, che sarà più lenta, ma più performante. L'additive manufacturing, invece, permette di ottimizzare il prodotto ed il processo in termini di costi e tempi.

Queste conclusioni permettono di affermare che le tecnologie di digitalizzazione e raccolta dati siano legate a logiche di ottimizzazione del processo in miglioramento continuo, secondo la filosofia pragmatica. Alti livelli di automazione avanzata, come tecnologie di stampa 3D, permettono, invece, di ridurre i costi pieni unitari industriali, contraendo i costi di manodopera e i tempi di prototipazione.

In uno studio successivo, Dalenogare e Frank indagano il grado di adozione del modello digitale di produzione (Frank, Dalenogare, & Ayala, 2019) (figura 13). Identificano tre stadi di sviluppo e sei diversi livelli di implementazione, guidati dall'adozione delle principali tecnologie di I4.0:

1. Stadio preliminare, nel quale le aziende adottano soluzioni di integrazione dei dati e tecnologie di raccolta dati lungo il processo, che vengono ancora gestiti in modo disgiunto;
2. Stadio avanzato, in cui i dati vengono gestiti seguendo una logica di processo; nascono i Big Data e questi possono essere visualizzati e utilizzati per pratiche di ottimizzazione, miglioramento continuo e data-driven decision making. Vengono adottate soluzioni

Results of the regression analysis ^a.

	Expected benefits for ...		
	Product	Operational	Side-Effects
CAD_CAM	0.310	<u>0.774</u> **	-0.306
ENG_SYS	<u>0.438</u> *	-0.129	0.118
SENSORING	-0.189	<u>0.778</u> *	0.303
FLEXIBLE	0.212	0.062	-0.409
MES-SCADA	-0.246	-0.345	0.078
BIGDATA	<u>-0.388</u> ***	<u>0.658</u> ***	-0.040
DIGITAL_SERV	<u>0.286</u> **	0.192	-0.308
ADDITIVE	<u>0.261</u> **	<u>-0.529</u> **	<u>0.622</u> *
CLOUD	<u>0.255</u> **	-0.149	0.009
Control_tech_low	0.257	0.379	-0.300
Control_tech_high	<u>0.426</u> *	0.241	-0.126
F-value	14.245***	3.042**	0.751
R ²	0.913	0.690	0.355
Adjusted R ²	0.849	0.463	-0.118

*p < 0.1; **p < 0.05; ***p < 0.01.

^a Significant effects are represented in bold and underlined.

Figura 12 - Dalenogare, risultati regressioni lineari (Dalenogare, 2018)

avanzate di automazione dotate di autocoscienza che sono in grado di comunicare tramite protocolli M2M;

3. Stadio di flessibilità, in cui i Big Data vengono rielaborati tramite software avanzati di data analytics. Questi sono in grado di valutare l'intero processo e quindi di operare correzioni globali, prevedere scenari futuri tramite la simulazione multipla ed operare in modo preventivo.

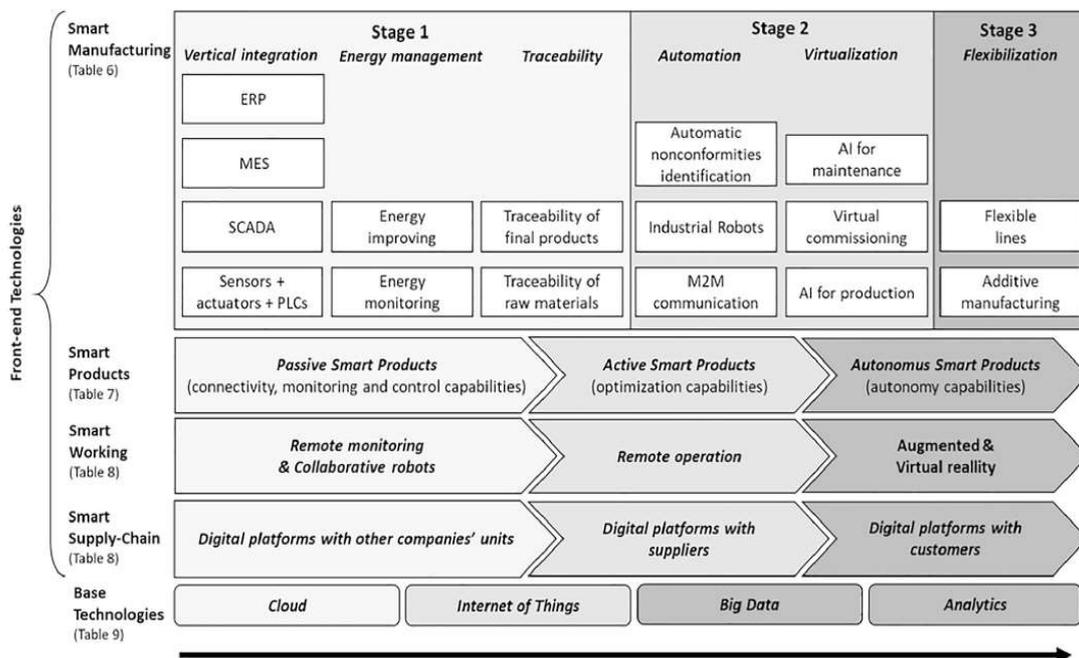


Figura 13 - schema a stadi di sviluppo della digitalizzazione aziendale dei processi (fonte: Frank, 2019)

A questi tre stadi corrisponde l'adozione di diversi pacchetti tecnologici. In particolare:

- Stadio 1: le tecnologie digitali di raccolta dati, unite a sistemi ICT, permettono alle aziende di entrare nel primo livello di sviluppo, digitalizzando la raccolta dati;
- Stadio 2: l'integrazione dei dati tramite Internet of Things segna il passaggio al secondo stadio di sviluppo, nel quale si centralizza la gestione dei dati con la formazione di Big Data, che possono essere visualizzati con appropriate interfacce uomo-macchina;
- Stadio 3: la gestione dei Big Data con soluzioni di Data Analytics avanzate segna l'ingresso nel livello finale. Le capacità predittive permettono di operare tramite additive

manufacturing, andando ad ottimizzare i costi ed i tempi di prototipazione e di produzione.

Servendosi di interviste ad esperti, Lu ha studiato quali siano i legami tra le tecnologie di industria 4.0 e le principali pratiche pragmatiche (Lu & Weng, 2018). È riuscito, quindi, a suddividere le tecnologie rispetto al loro principale utilizzo e implicazione, identificando anch'egli un legame diretto fra la pratica di data-driven decision making e Big Data. Vista la dipendenza di Big Data da un'integrazione dei dati tramite raccolta puntuale lungo il processo, si può concludere ancora una volta come vi sia una diretta dipendenza teorica fra tecnologie digitali e data-driven decision making.

Alla luce delle conclusioni raccolte dalla letteratura scientifica, bisogna analizzare come queste fasi di sviluppo generalmente riconosciute siano legate a pratiche pragmatiche. La formazione del personale è un requisito chiave per un utilizzo performante e consapevole della data analysis, che richiede un alto livello di preparazione su diverse branche scientifiche per risultare efficiente (chimica, fisica, lavorazioni precedenti e successive, geometria analitica, meccanica, algoritmi di statistica e campionamento ecc.). Alla luce di ciò, si può ipotizzare che le tecnologie di digitalizzazione siano più conformi ad una logica pragmatica rispetto che tradizionale. In una catena di montaggio l'alto livello di suddivisione delle lavorazioni e, quindi, l'alto livello di specializzazione, impediscono all'operatore di utilizzare in modo appropriato la tecnologia. Al contrario, in un modello pragmatico è più semplice gestire la data analysis, grazie alle pratiche di formazione continua, l'organizzazione in team del personale e la job rotation.

Nella logica tradizionale di Taylor è invece efficiente e performante l'uso delle tecnologie di automazione, poiché il robot può sostituire l'operaio sulla linea, seguendo una logica di turnover umano-tecnologico, aumentando la produttività grazie alle sue skill superiori in velocità e precisione sul lavoro. Seguendo lo schema costruito da Frank (figura 13), le aziende che seguono una logica tradizionale si posizioneranno ad un massimo livello di sviluppo rappresentato dallo

stage due, con bassa integrazione dei dati, ma l'utilizzo di automazione avanzata e sistemi di comunicazione M2M. Anche il modello Pragmatico si presta all'utilizzo delle tecnologie di automazione, ma in chiave diversa: il robot non sostituisce l'operaio, ma eleva la figura umana a ispettore e garante del funzionamento automatizzato, sfruttando le competenze in data analysis per agire in correzione della non conformità. Si tratta di un livello di consapevolezza tecnologica superiore a quello della logica Fordista: permette non solo di migliorare i parametri di produzione, ma anche di velocizzare la risposta alle non conformità o alle richieste del management, tramite processi di data-driven decision making. Adottando una filosofia Taylorista sembra sia possibile raggiungere una parziale digitalizzazione dei processi, corrispondente all'ingresso nel secondo stadio del modello di Frank (fig. 13). Implementando le pratiche pragmatiche, invece, è possibile raggiungere la piena maturazione digitale, completando il secondo e il terzo stadio. Ci si aspetta, pertanto, una massiva adozione di tecnologie di automazione nelle aziende che seguono logiche organizzative di catena di montaggio. Le tecnologie digitali saranno limitate a quelle atte al controllo automatico di conformità prodotto e al monitoraggio del prodotto finito, quindi non direttamente collegate ai processi di integrazione interna. Si prevede, invece, l'adozione di entrambe le tecnologie in modo integrato nei processi gestiti con modelli pragmatici: l'automazione risulta, in questo contesto, un requisito per la gestione dei dati, grazie ai sensori ed agli attuatori da loro posseduti. Grazie alle tecnologie digitali, l'azienda potrà anche migliorare i parametri di sicurezza sul lavoro, di conformità e continuità di processo, che sono visti come forme di retribuzione indiretta del lavoro e quindi incentivi alla produttività.

Dall'analisi della letteratura scientifica è stato possibile riconoscere un ruolo chiave delle pratiche di pragmatismo per il raggiungimento della piena digitalizzazione dei processi aziendali. Si può concludere che in questo periodo storico le scelte organizzative interne svolgano un ruolo importante sull'utilizzo futuro delle tecnologie di Industria 4.0.

Particolarmente interessante riguardo i livelli di maturità digitale aziendale è lo studio svolto da Acatech (Gärtner, 2018) (figura 14). L'azienda ha costruito un indice di maturità digitale, denominato "Indice di Maturità Acatech I4.0", che permette di posizionare le aziende su diversi stati evolutivi (. Aiuta le aziende a determinare in quale fase si trovano attualmente nella loro trasformazione in una società agile e di apprendimento. Le valuta dal punto di vista tecnologico, organizzativo e culturale, concentrandosi sui processi aziendali delle aziende manifatturiere.

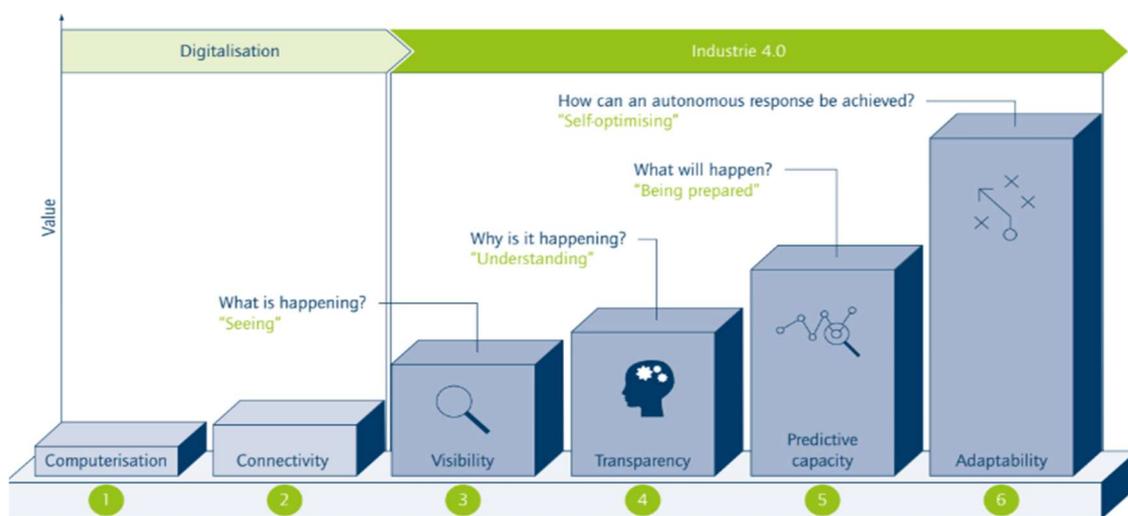


Figura 14 - schema evolutivo di Acatech (Fonte: Acatech, 2018)

Il modello è costruito su sei livelli di sviluppo, riassunti nella tabella 6:

LIVELLO TECNOLOGICO	DESCRIZIONE
COMPUTERISATION	In questa fase, diverse tecnologie informatiche (sensori, RFID, codici a barre) vengono applicati per alle risorse fisiche delle aziende (macchinari, robot, semilavorati, prodotti etc.)
CONNECTIVITY	Le risorse sono collegate in rete e connesse grazie sistemi informatici.
VISIBILITY (Seeing)	I sensori e altre tecnologie di «sensing» consentono l'acquisizione dei processi dall'inizio alla fine con un gran numero di punti dati. L'ombra digitale può aiutare a mostrare ciò che sta accadendo nell'azienda in un dato momento in modo che le decisioni di gestione possano essere basate su dati reali.
TRANSPARENCY (Understanding)	Al fine di identificare e interpretare le interazioni nell'ombra digitale, i dati acquisiti devono essere analizzati applicando conoscenze ingegneristiche. Il collegamento e l'aggregazione semantici di dati per creare informazioni e la contestualizzazione corrispondente forniscono le conoscenze di processo richieste per supportare processi decisionali complessi e rapidi (big data).
PREDICTIVITY (Being prepared)	Ciò comporta la proiezione dell'ombra digitale nel futuro al fine di rappresentare una varietà di scenari che possono quindi essere valutati in termini di probabilità che si verifichino. Di conseguenza, le aziende possono anticipare gli sviluppi futuri in modo che possano prendere decisioni e attuare le misure appropriate in tempo utile.
ADAPTABILITY (Self-optimising)	L'adattamento continuo consente a un'azienda di delegare determinate decisioni ai sistemi IT in modo che possa adattarsi a un ambiente aziendale in evoluzione il più rapidamente possibile. Il grado di adattabilità dipende dalla complessità delle decisioni e dal rapporto costi-benefici. Spesso è meglio solo automatizzare i singoli processi.

Tabella 3 - Livelli di maturità digitale Acatech (Fonte: Acatech, 2018)

Acatech sostiene che l'adozione di varie pratiche pragmatiche e tecnologie permetta di contrarre i tempi di latenza nel processo di problem solving, in particolare:

- L'integrazione dei dati permette di identificare in anticipo il problema;
- Big Data e l'uso della data analysis contraggono i tempi di valutazione del problema;
- La visualizzazione dei dati e il supporto di sistemi automatizzati di decision making permettono una minore latenza fra la presa di coscienza del problema e la decisione in mitigazione o eliminazione;
- Infine, i sistemi CPS e l'integrazione, sia verticale che orizzontale, del processo limitano il tempo necessario affinché l'azione intrapresa risulti efficace.

Lo schema risulta maggiormente esaustivo e caratteristico rispetto a quelli raccolti nella letteratura scientifica, offrendo strumenti per poter costruire variabili discriminatorie dei vari livelli.

A questo proposito, nel 2019 l'azienda Mapi ha svolto una ricerca per indagare la maturità digitale dell'industria americana, sfruttando proprio l'indice Acatech (Atkinson, 2019).

Most Manufacturers in Early Stages of the Manufacturing Digitalization Journey

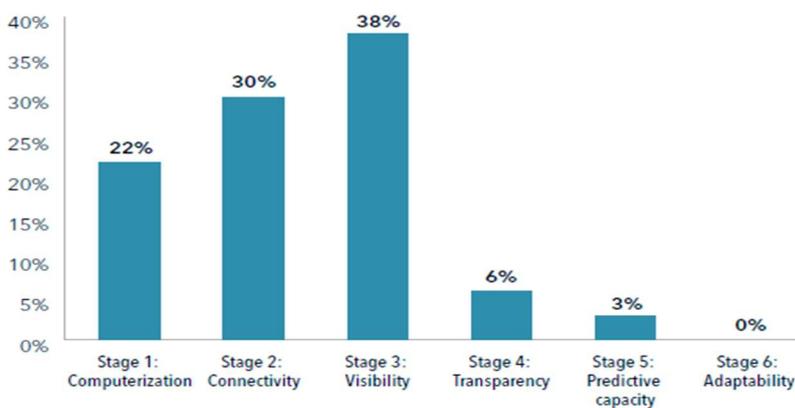


Figura 15 - Risultati ricerca Mapi (Fonte: Mapi, 2019)

Mapi ha intervistato 60 aziende di vari settori riuscendo a suddividerle sui sei livelli della scala Acatech (Figura 16). Si può notare come il 9% del campione abbia raggiunto o superato il livello di trasparenza dei dati. Questo dimostra che in America le aziende non hanno ancora implementato sistemi efficienti di rielaborazione dei dati. Questo limita le stesse nelle pratiche di data-driven decision making e nella velocità di risposta ai problemi. Oltre un terzo delle

aziende del campione hanno però già operato per l'integrazione dei dati e, quindi, per la creazione di Big Data. Si può identificare con una certa precisione lo stadio di visibilità con la media maturità nel secondo livello del modello di Frank, ovvero quello identificato come il massimo raggiungibile nello sviluppo digitale con logiche Tayloriste. Il dato raccolto da Mapi quindi non stupisce, ma è sintomatico di una certa resistenza delle aziende alla trasformazione digitale. Nella tabella 4 sono riassunte le caratteristiche chiave che, nella logica organizzativa tradizionale ed in quella pragmatica, suggeriscono una facile o difficile implementazione dei due gruppi tecnologici.

	AUTOMAZIONE	DIGITALIZZAZIONE	MATURITÀ (SECONDO FRANK, 2019)	CONCLUSIONI
MODELLO FORDISTA	Turnover umano- tecnologico: logica di efficientamento dei parametri di velocità e qualità della produzione.	Catena di montaggio inadatta a integrazione dati di processo. Bassa efficienza dei processi di data-driven decision making.	STADIO 2, PARZIALE maturità NEL LIVELLO.	Adottare tecnologie di automazione e raccolta dati, ma senza integrazione. Data analysis poco efficiente. Digitalizzazione poco matura
MODELLO PRAGMATICO	affiancamento uomo- macchina: risorsa umana come ispettore dell'attività automatizzata; Sfruttamento della tecnologia per la raccolta dei dati lungo il processo.	Struttura a team, job rotation e formazione continua requisiti chiave per l'ottimizzazione del processo di data-driven decision making. Adozione di soluzioni di Big Data e analisi dati avanzata.	STADIO 3, PIENA maturità.	Adottare tecnologie di automazione e di digitalizzazione in modo integrato. Automazione requisito base per la digitalizzazione, data-driven decision making efficiente e alti livelli di data analysis, fino all'adozione di soluzioni di predictivity.

Tabella 4 - riassunto delle conclusioni raccolte tramite l'analisi della letteratura (fonte: personale)

3 MATERIALE E METODI

3.1 SETTORE AUTOMOTIVE ITALIANO

Si è scelto di analizzare il settore automotive italiano in quanto rappresenta una delle eccellenze del nostro paese. Rappresenta il 5,6 percento del PIL (Prodotto Interno Lordo) ed è la branca industriale più rapida nella gestione ed implementazione dell'innovazione, sia tecnologica che organizzativa. Per questo motivo, spesso si pone come first-mover nazionale e svolge un ruolo di traino per tutti gli altri comparti industriali.

3.2 IPOTESI DI STUDIO

In letteratura non sono presenti suddivisioni esplicite delle tecnologie di Industria 4.0 in gruppi funzionali (Culot et al., 2020). Tramite l'analisi dei dati di adozione, è possibile risalire alla definizione di bundle di automazione e di digitalizzazione, così come vengono percepiti dalle aziende. Inoltre, vari studi dimostrano come i ritardi sui processi di digitalizzazione delle aziende siano dovuti principalmente alla mancanza di piani manageriali strutturati, che causano adozione di tecnologie di I4.0 senza visione di insieme (Atkinson, 2019) (Huber, 2020).

In letteratura scientifica, quasi tutti gli esperti ritengono che esistano correlazioni fra l'organizzazione aziendale e l'adozione o meno delle varie tecnologie di Industria 4.0. Tramite lo studio di Frank è stato possibile riconoscere dei limiti nello sviluppo digitale per quelle aziende che non adottano le pratiche Pragmatiche (Frank et al., 2019). In particolare, l'assenza di un sistema integrato di gestione dei dati e di competenze in data-driven decision making e data analysis impedisce loro di passare da una fase di decision making centralizzato ad uno decentralizzato, più efficiente e dinamico.

Il rapporto con un System Integrator (Data Scientist) favorisce l'adozione di piani integrati di adozione di automazione e digitalizzazione, perciò ci si aspetta che questo sia legato positivamente a entrambi i bundle tecnologici.

Secondo questa visione, nelle aziende legate a logiche Tayloriste ci si aspetta alta automazione ma bassa o assente integrazione dei dati. Questo comporterà una bassa adozione di data-driven decision making, che invece, per essere pienamente funzionale, ha necessità di piani integrati di automazione e digitalizzazione congiunte. L'alto livello di automazione, in questa logica, è necessario principalmente per ottenere una considerevole diminuzione dei costi pieni industriali unitari, tramite l'abbattimento della voce di manodopera diretta grazie al turnover uomo-macchina.

Quando l'azienda adotta logiche Pragmatiche, invece, è in grado di raggiungere livelli superiori di digitalizzazione, grazie alla maggiore specializzazione della forza lavoro dovuta ai programmi di job rotation, miglioramento continuo e con responsabilizzazione dell'operaio sui processi di problem solving e data-driven decision making. Ferrer identifica quindi alcuni punti necessari affinché si possa implementare un efficiente sistema di data-driven decision making e di integrazione dei dati aziendali (Ferrer, 2020):

- potenti strumenti di archiviazione e calcolo, gestione dell'elaborazione parallela ed una buona interfaccia di valutazione dei riscontri;
- strategia di pensiero statistico;
- Logica di organizzazione interna a squadre e conoscenza di base del dominio dei problemi da risolvere;
- Dal ragionamento deduttivo (teorico) a quello induttivo (esplorativo), analizzando i problemi e valutando tutte le soluzioni in maniera esaustiva prima di decidere;
- Costruire modelli di test d'ipotesi a priori e analizzare tutti i dati a disposizione, poiché le correlazioni fra attività sono spesso sorprendenti;
- Non fermarsi alla definizione di procedure standard di analisi, ma esplorare continuamente i dati in cerca di nuove forme di ottimizzazione di processo;

- Abbandonare la distribuzione statistica classica per abbracciare metodi di campionamento ingegneristico adatti al processo;
- Lasciare parlare i dati, poiché sarebbe illogico credere di poter costruire variabili a priori, si dovrebbe conoscere pienamente l'intero processo e ciò non è possibile. Utilizzare la compressione dei dati e non omettere nulla dalle analisi;
- Arricchire le proprie competenze in programmazione, di algoritmi di ottimizzazione, di tecniche di machine learning e classiche;
- Real Time Analysis: meno tempo si perde fra la raccolta dei dati e la loro analisi, maggiori saranno le probabilità di impedire perdite, errori o non conformità.

In questa prospettiva, si sono sviluppate nuove tecnologie proprie di Industria 4.0 che oggi permettono di rispondere in modo puntuale a tutte le necessità aziendali.

In queste aziende, perciò, ci si aspetta un sistema integrato di gestione dei dati con software avanzati di data analysis. La tecnologia, in questo contesto, viene implementata principalmente per efficientare le pratiche di miglioramento continuo, perciò per ottimizzare la sicurezza sul lavoro, eliminare i piani di campionamento troppo dispendiosi, aumentare la qualità e diminuire i tempi di latenza nel processo di problem solving.

Preso atto di queste conclusioni, sono state formulate le seguenti domande e ipotesi, che si procederà a confermare:

1. Qual è il grado di adozione delle tecnologie di Industria 4.0 nelle aziende italiane?
2. È possibile riconoscere bundle di automazione e digitalizzazione nelle tecnologie di Industria 4.0?
3. La logica di gestione «pragmatica» è associata positivamente all'adozione di tecnologie di digitalizzazione;
4. L'adozione di logiche di gestione «tayloriste» è associata all'adozione di tecnologie di automazione ma non di digitalizzazione;

5. Il prendere decisioni basati sui dati (Data-driven Decision Making) è associato positivamente all'adozione di tecnologie di digitalizzazione);
6. La collaborazione con system integrator è associata positivamente con l'adozione delle tecnologie di automazione e di digitalizzazione;
7. L'adozione dei robot è associata positivamente alla riduzione del lavoro diretto di produzione;
8. L'adozione combinata di robot, tecnologie di digitalizzazione e di una logica di gestione «pragmatista» è associata positivamente all'utilizzo dei robot per aumento della sicurezza sul lavoro, della conformità di prodotto e della capacità di problem solving.

Per la verifica delle ipotesi sono stati utilizzati metodi di analisi differenti a seconda dell'obiettivo da perseguire. Per rispondere alla prima domanda sono stati esaminati le statistiche descrittive del campione, per dedurre le percentuali di adozione delle singole tecnologie.

Sui dati di adozione tecnologica verrà svolta un'analisi fattoriale per definire i bundle tecnologici alla base dei processi di digitalizzazione e automazione.

Per rispondere alle ipotesi dalla numero 3 in poi è stato sfruttato il metodo della regressione lineare, per comprendere quali siano i legami fra l'uso delle tecnologie, le pratiche Pragmatiche, i processi di data-driven decision making e la collaborazione con i System Integrator. È stato poi dedotto se esista un legame fra i principali benefici riscontrati nell'uso dei robot industriali nel processo e l'organizzazione e le pratiche aziendali.

3.3 LA RICERCA FAI_DIGITAL

l'analisi verrà svolta metodo quantitativo, partendo dai dati raccolti contestualmente alla ricerca denominata "FAI_DIGITAL", svolta dal Politecnico di Torino in collaborazione con l'Università Ca' Foscari e il Collegio Carlo Alberto di Torino. Iniziata nel 2018, è volta all'analisi del grado di digitalizzazione della filiera automotive italiana. Si basa su un questionario esportato

dall'America, redatto dalla Case Western University con la partecipazione di NYU Stern. Esso è composto da tre sezioni, ognuna delle quali è stata sottoposta ad una diversa figura aziendale:

Risorse Umane: tratta la composizione della forza lavoro aziendale, in termini di genere, età, scolarità e retribuzione e gap di competenze riscontrati. È stata sottoposta al responsabile delle risorse umane;

Produzione: tratta l'adozione delle tecnologie, costi e benefici della loro implementazione, organizzazione interna aziendale e principali sfide a cui trovare soluzione. È stata sottoposta al responsabile di stabilimento;

Commerciale: tratta le relazioni commerciali con clienti e fornitori, la natura e la complessità del prodotto e i dati sui costi di processo. È stata sottoposta al direttore commerciale dell'azienda.

Il questionario non era pensato per analisi sulle pratiche aziendali pragmatiche, perciò è stato necessario preliminarmente rielaborare i dati per estrapolare le informazioni utili per la loro ricostruzione.

3.4 COSTRUZIONE DELLE VARIABILI

Le variabili di adozione delle tecnologie sono state estrapolate dalla sezione del questionario e, siccome veniva richiesto un dato quantitativo, sono state normalizzate in scala booleana: valore 0 se non è adottata, 1 se è adottata. Le tecnologie analizzate sono: macchine dotate di sensori, robot, cobot, tracking materie prime e semilavorati, monitoraggio prodotti finiti, sistemi di guida autonoma AGV, additive manufacturing, altre macchine dotate di controlli automatizzati, sistemi HMI di interfaccia uomo-macchina, software di data analysis e tecnologie di visualizzazione e simulazione dei processi produttivi.

All'adozione dei robot è stata legata una domanda relativa ai principali benefici riscontrati dal loro utilizzo nel processo. Le voci valutabili erano le seguenti: conformità di prodotto, abilità di creare nuovi prodotti e servizi, capacità di documentare, analizzare ed eliminare problemi, capacità di affrontare la mancanza di competenze, capacità di entrare in nuovi mercati, capacità

di passare rapidamente da un processo di lavorazione all'altro (es. da fresatura a tornitura), sicurezza sul lavoro ed ergonomia.

Per costruire variabili discrete di automazione e digitalizzazione si è proceduto con metodologie differenti. Innanzitutto, è stata svolta un'analisi fattoriale delle tecnologie, per provare empiricamente la suddivisione fra digitalizzazione e automazione (la procedura a step sarà presentata nel capitolo 5). L'automazione è stata successivamente scalata a seconda dei gruppi tecnologici implementati, suddividendoli in standard ed avanzati. In accordo con la letteratura, sono stati identificati robot ed altri macchinari programmabili come tecnologie mature e standard di automazione, mentre sono state classificate come avanzate quelle legate a cobot, additive manufacturing e AGV. Per quanto riguarda la digitalizzazione, si è deciso di sfruttare lo schema a livelli Acatech, abbastanza esaustivo per costruire una variabile affidabile riguardo il grado di implementazione digitale nello stabilimento. Per fare ciò, sono state estrapolate dal questionario le informazioni legate all'integrazione dei dati ed al livello di evoluzione dei sistemi di raccolta ed analisi dati.

Tutte le risposte sono state ridotte a booleane tramite diverse rielaborazioni, che sono riassunte nella tabella 5.

		Variable	Q_ID	0	1	SCALA	SUB TOT	TOT
Automation	Traditional	Robot: numero di braccia	Q040_1	0	>0	0-0,5	0-1	0-1
		Numero di impianti/attrezzature programmabili (no CNC)	Q046_1	0	>0			
	Advanced	Cobot: numero di braccia	Q041_1	0	>0	0-0,5		
		Numero di AGV	Q045_1	0	>0			
		Numero di codici prodotto/ componenti fabbricati con Additive Manufacturing	Q048_1	0	>0			
Digitalization	Step 1 – Computerization	Sensors	Q039_1	0	>0	0-0,5	0-1	0-1
		Machine vision	Q042_1	0	>0			
		Tracking mat	Q043_1	0	>0			
		Tracking prod	Q044_1	0	>0			
		Data collected	Q060_3 Q060_4	0+0	0+1; 1+0; 1+1	0-0,5		
	Step 2 – Connectivity	Sensors connected to MRP/ERP	Q060_6 Q060_7	0+0	0+1; 1+0; 1+1	0-1	0-1	
		Step 3 – Visibility	Human/Machine Interfaces	Q047_1	0	>0	0-0,5	
	Software for data visualization		Q052	0+1	2	0-0,5		
	Step 4 – Transparency	Software for data analytics	Q051	0+1	2+3	0-0,5	0-1	
		Need for data analysts	Q012_8	-	1+2+3+4+5	0-0,5		
	Step 5 – Predictability	Advanced software for data analytics	Q051	0+1+2	3	0-0,5	0-1	
		Data for predictive maintenance	Q062_2	1+2+3	4+5	0-0,5		

Tabella 5 - Costruzione variabili di automazione e digitalizzazione (Fonte: propria)

Per quanto riguarda le variabili legate al pragmatismo, si è proceduto alla classificazione di tutte le domande legate alle logiche organizzative. Dato che, come detto, non sono state inserite nel questionario domande puntuali sulle pratiche pragmatiche, sono state raccolte tutte le domande che hanno un rapporto diretto con le logiche. In accordo con la letteratura, sono state identificate quattro pratiche:

1. Coinvolgimento degli operai diretti di produzione in processi di problem solving e miglioramento continuo;
2. Autonomia decisionale, responsabilizzazione e multiskilling della forza lavoro;
3. Programmi di Lean formale;
4. Collaborazioni esterne per miglioramento continuo.

Dopo aver normalizzato queste variabili su scala 0-1, si è proceduto ad accorparle nella variabile globale PRAG, che rappresenta il livello di adozione di pratiche pragmatiche nei processi aziendali. Nella tabella 6 è riassunto il metodo seguito per la costruzione della variabile PRAG e di rielaborazione delle risposte del questionario.

	Variable	Q_ID	0	1	SCALA	TOT
[1] Coinvolgimento o addetti alla produzione in problem solving e miglioramento continuo	Addetti alla produzione partecipano regolarmente alla diagnosi dei problemi di macchinari/attrezzature	Q067_3_1	0	1	0-1 >=0,5 VALE 1	0-4 NORMALIZZATO A 0-1
	Addetti alla produzione utilizzano regolarmente i dati di qualità per proporre miglioramenti di processi	Q067_5_1	0	1		
	“Ci aspettiamo che i nostri addetti di produzione apportino sostanziali miglioramenti nelle loro procedure operative”	Q068_1	1+2+3	4+5		
	“L’uso di strumenti informatici riduce la necessità che gli addetti di produzione abbiano capacità analitiche di risoluzione di problemi”	Q068_3	3+4+5	1+2		
	% operai di produzione che hanno partecipato a riunioni di programmi formali di lean (ultimi sei mesi)	Q076	0	>0		
[2] Autonomia decisionale / responsabiliz- zazione / multiskilling di addetti alla produzione	Addetti alla produzione attrezzano regolarmente macchinari	Q067_1_1	0	>0	0-1 >=0,5 VALE 1	0-4 NORMALIZZATO A 0-1
	Addetti alla produzione modificano regolarmente i codici di programmazione su macchinari e attrezzature computerizzate	Q067_2_1	0	1		
	Addetti alla produzione ispezionano regolarmente i semilavorati	Q067_4_1	0	1		
	“Agli operai di produzione si richiede regolarmente di eseguire semplici riparazioni e operazioni di manutenzione autonoma”	Q071	1+2+3	4+5		
	“Gli operai di produzione hanno l’autorizzazione di interrompere la produzione per evitare che si realizzino prodotti difettosi”	Q073	1+2+3	4+5		
[3] Lean formale	Value Stream Map	Q070	no	si	0-1 >=0,5 VALE 1	0-4 NORMALIZZATO A 0-1
	Programmi formali	Q075_1	no	si		
	Raccolta suggerimenti	Q077	no	si		
	%addetti formazione su metodologie lean	Q080	0	>0		
[4] Collaborazioni esterne per miglioramento continuo	Con clienti	Q066_5	1+2+3	4+5	0-1 >=0,5 VALE 1	0-4 NORMALIZZATO A 0-1
	Con fornitori	Q066_6	1+2+3	4+5		
	Incontrare personale di clienti per risolvere problemi di qualità	Q067_6_1	0+0+0	1/1/1		
		Q067_6_2 Q067_6_3				

Tabella 6 - Metodo di costruzione della variabile PRAG (Fonte: propria)

È stata successivamente costruita una variabile denominata Data-Driven Decision Making (DDDM). Il metodo di accorpamento è stato il seguente:

- Decisioni prese prevalentemente sui dati rispetto all'esperienza (Q61_3);
- Uso dati per previsione guasti e malfunzionamenti macchinari (Q62_2);
- Uso dati per proporre miglioramenti di processi e procedure (Q67_5_1 + Q67_5_2 + Q67_5_3);
- “Raramente utilizziamo dati storici di produzione relativi alle cause dei difetti e non conformità per modificare i nostri processi produttivi” (Q66_1, invertita).

L'ultima variabile sensibile dedotta dal questionario è quella legata alla collaborazione con un system integrator (SYSINT) (Q63), booleana in partenza e che quindi non ha necessitato rielaborazioni. Al fine di verificare la bontà dei risultati, sono state predisposte due variabili di controllo, che verranno inserite nelle rielaborazioni per verificare l'effettivo comportamento di quelle sensibili per la ricerca. Sono state denominate LnWK e %SCHOL e rappresentano rispettivamente la dimensione linearizzata della forza lavoro e la percentuale di lavoratori che possiedono una laurea.

Nella tabella 7 sono riassunte le variabili che sono state costruite.

VARIABILE	DESCRIZIONE	TIPO VARIABILE
AUTOMAZIONE	GRADO DI AUTOMAZIONE	DISCRETA: 0-1
DIGITALIZZAZIONE	GRADO DI DIGITALIZZAZIONE	DISCRETA: 0-1
PRAG	GRADO DI ADOZIONE DI PRATICHE PRAGMATICHE	DISCRETA: 0-1
DDDM	GRADO DI UTILIZZO DI DATA-DRIVEN DECISION MAKING	DISCRETA: 0-1
SYSINT	COLLABORAZIONE CON UN SYSTEM INTEGRATOR	BOOLEANA: 0-1
%SCHOL	PERCENTUALE DI FORZA LAVORO CON UNA LAUREA	DISCRETA: 0-1
LnWK	DIMENSIONE LINEARIZZATA DELLA FORZA LAVORO	SCALA LOGARITMICA

Tabella 7 - variabili costruite per la rielaborazione (Fonte: propria)

4 RISULTATI

in questo capitolo vengono proposte le analisi che sono state svolte per la verifica delle ipotesi formulate tramite la revisione letteraria.

4.1 STATISTICHE DESCRITTIVE DEL CAMPIONE

I dati contenuti nel database FAI_DIGITAL, che è stato usato come fonte per la ricerca, sono riferiti a 98 aziende.

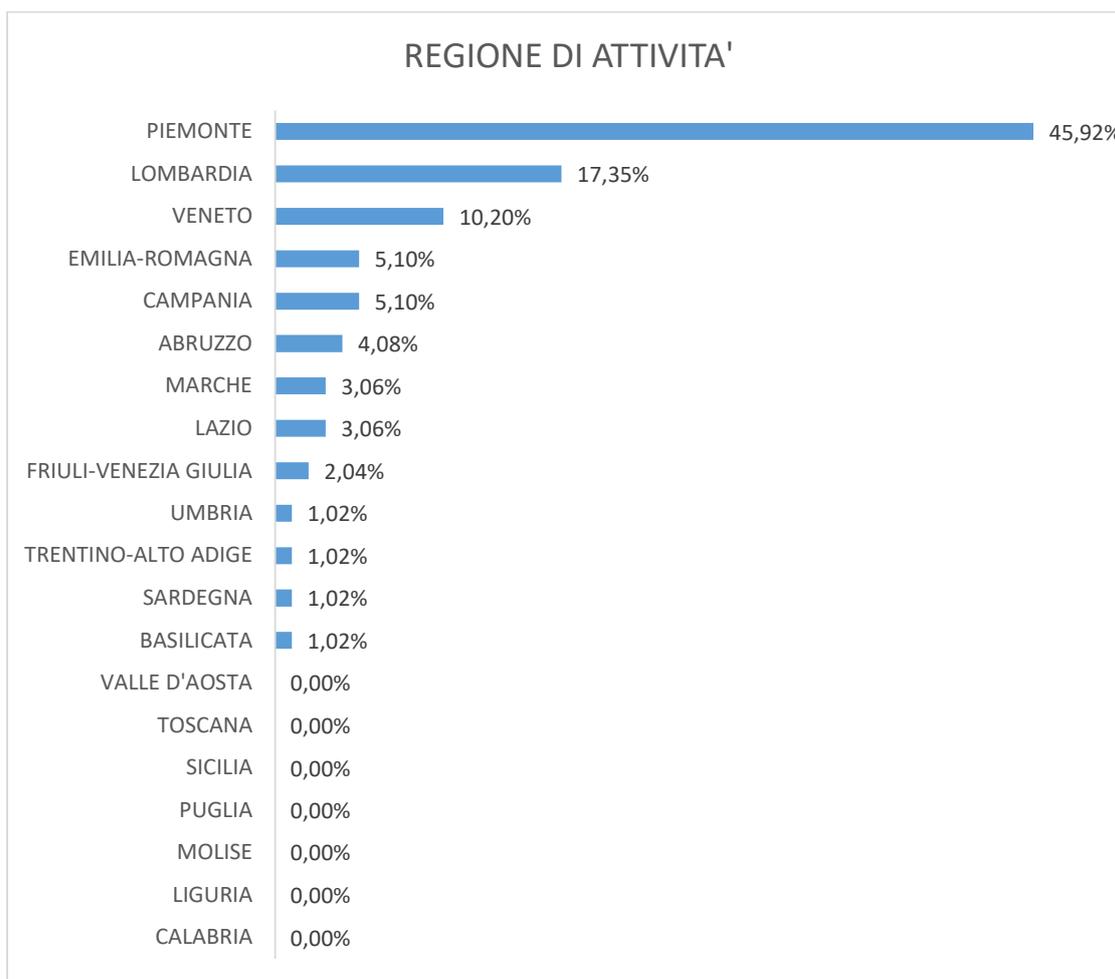


Figura 16 - aziende FAI_DIGITAL divise per regione (Fonte: propria)

In figura 16 è possibile osservare la provenienza del campione: il 45,9% proviene dal Piemonte, leader italiano della componentistica automotive, mentre solo il 17,35% dalla Lombardia, al secondo posto per il settore automotive. Il campione è abbastanza vario, ma non rappresenta una distribuzione veritiera e quindi significativa del territorio, perciò non è possibile svolgere statistiche in questi termini.

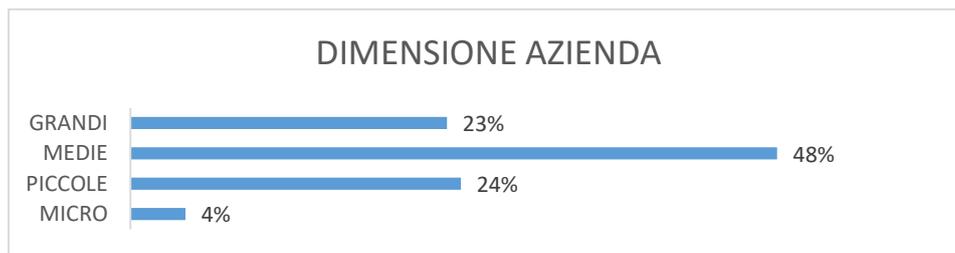


Figura 17 - dimensione delle aziende FAI_DIGITAL (Fonte: propria)

In figura 17 è presentata invece la dimensione delle aziende rispondenti. In questo caso il campione risulta caratteristico della distribuzione italiana della filiera, quindi sarà possibile svolgere valutazioni circa le proporzioni aziendali.



Figura 18 - tipo di fornitura delle aziende FAI_DIGITAL (Fonte: propria)

Anche dall'analisi dei tipi di fornitura risulta un campione significativo, con numeri molto simili a quelli nazionali (figura 18).

4.2 STATISTICHE DI ADOZIONE DELLE TECNOLOGIE E BENEFICI

Dai dati raccolti, è stato analizzato il grado di adozione delle principali tecnologie di industria 4.0 (figura 19).

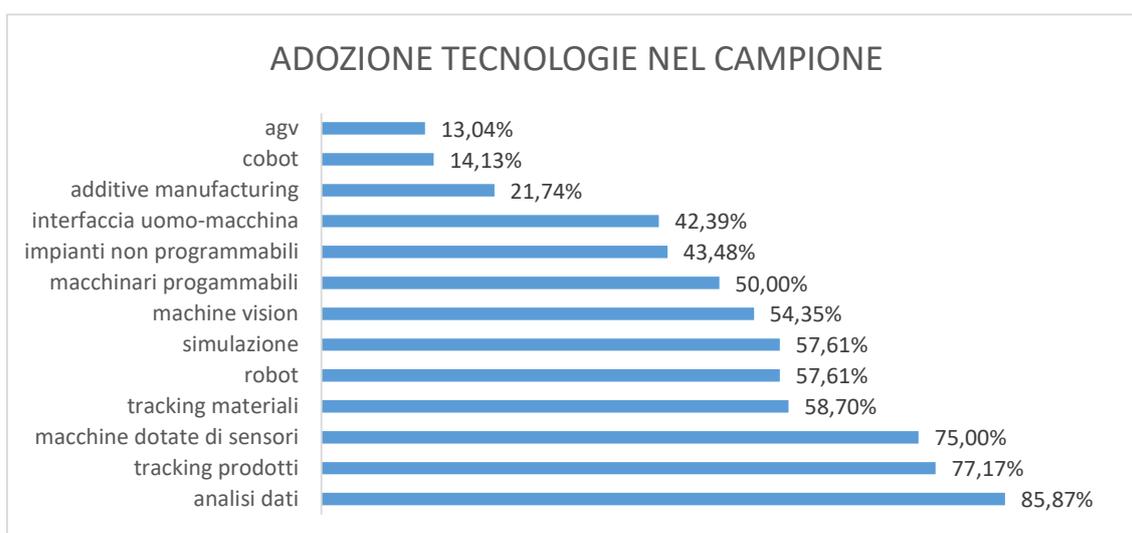


Figura 19 - percentuale di adozione delle tecnologie I4.0 nel campione (Fonte: propria)

Le tecnologie maggiormente utilizzate nella filiera risultano la data analysis, il tracking dei prodotti e le macchine dotate di sensori. Questo è coerente con la teoria, poiché si tratta di tecnologie ormai entrate negli standard aziendali e che risalgono ad una fase precedente di adozione legata alla logica Lean. I valori più bassi si registrano, come ipotizzabile, per quelle tecnologie maggiormente avanzate e recenti, come additive manufacturing, sistemi di trasporto automatizzati e cobot. Interessante e da approfondire è il dato relativo alla simulazione dei processi, pari al 57,61%, molto alto rispetto a quanto si potesse preventivare.

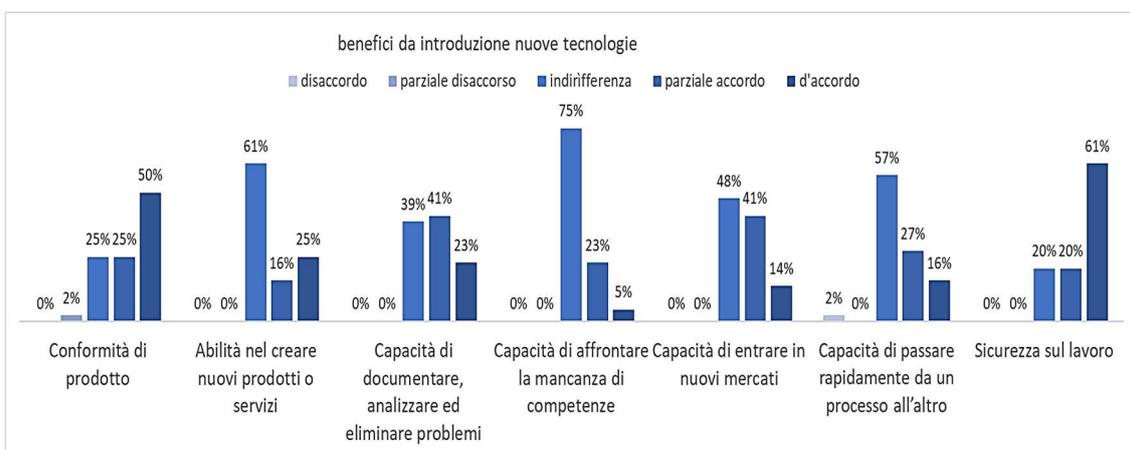


Figura 20 - benefici dall'adozione delle tecnologie (Fonte: propria)

44 aziende hanno dichiarato di avere implementato robot sulla linea produttiva (figura 20). Queste aziende dichiarano fra i benefici maggiormente riscontrati riguardo l'adozione di robot: i parametri di conformità di prodotto, di sicurezza sul lavoro e la capacità di documentare, analizzare ed eliminare i problemi. È necessario indagare in modo approfondito i gruppi tecnologici implementati dalle aziende che hanno riscontrato tali benefici per verificare che tali dati non siano legati ad un diverso livello digitale aziendale.

4.3 DEFINIZIONE DEI GRUPPI TECNOLOGICI BASE

Si è andata a ricercare una prova empirica della suddivisione delle tecnologie in due macrogruppi: automazione e digitalizzazione. Si è partiti dai dati di adozione delle tecnologie e si è proceduto alla riduzione delle variabili tramite Factor Analysis. È stato deciso di utilizzare il metodo di rotazione oblimin, con un delta uguale a 0. Questo perché le variabili tecnologiche

hanno certamente alti livelli di correlazione interna. Alla prima iterazione, le tecnologie di simulazione dei processi mostravano un comportamento cross-component, perciò è stata esclusa dall'analisi e analizzata singolarmente in un secondo momento.

	Matrice di struttura		
	Componente		
	1	2	3
MACHVIS	,716	,058	,477
TRACK	,693	-,093	,512
HMI	,646	,350	,367
ROBOT	,620	,246	,336
COBOT	,587	,161	-,103
AGV	,586	,247	,103
ADDMANUF	,313	,791	-,010
OTHERPROG	,280	,756	,141
SIMULATION	,003	,541	,536
DATAAN	,203	,145	,821
SENSMACH	,299	,045	,777
MONITOR	,461	,010	,677

Tabella 8 - factor analysis: iterazione 1 (Fonte: propria)

Alla seconda iterazione è stato necessario compiere una valutazione teorica per proseguire, poichè si presentavano due dati cross-components: robot e HMI. Per quanto riguarda i primi, è lecito immaginare che siano una tecnologia propedeutica all'introduzione delle altre tecnologie, poichè incorporano sensori per la raccolta dati, li analizzano in tempo reale e tramite gli attuatori agiscono in autonomia in correzione dei parametri di processo.

HMI invece poteva avere spiegazioni differenti:

- La domanda posta nel questionario era molto ampia, comprendendo comandi analogici, wearables, tablets ed ogni altro dispositivo, anche portatile, dotato di un'interfaccia uomo-macchina;
- Le HMI risultano una tecnologia propedeutica all'accesso alla digitalizzazione dello stabilimento, fungendo da congiunzione fra mondo fisico e digitale e permettendo di visualizzare dati e processi.

Si è deciso quindi di escludere dalla valutazione la voce "HMI", poichè tecnologia a sé stante.

Matrice di struttura

	Componente		
	1	2	3
MONITOR	,789	,248	,145
SENSMACH	,750	,077	,075
DATAAN	,747	,152	-,061
TRACK	,721	,178	,479
MACHVIS	,660	,243	,513
OTHERPROG	,194	,848	,007
ADDMANUF	,046	,803	,250
AGV	,312	,459	,325
COBOT	,067	,185	,862
ROBOT	,503	,423	,519

Metodo di estrazione: Analisi dei componenti principali.

Metodo di rotazione: Oblimin con normalizzazione Kaiser.

Tabella 9 - factor analysis: iterazione 3 (Fonte: propria)

La nuova iterazione mostra già risultati interessanti, formando un gruppo che può essere definito “raccolta ed analisi dati”:

- Monitoring;
- Macchine dotate di sensori;
- Tracking;
- Machine vision;
- Data analysis.

Questo primo gruppo rispecchia a suddivisione teorica presentata nella revisione letteraria,

rappresentando (escluse le tecnologie di simulazione dei processi) la digitalizzazione. Il rapporto che sussiste con le tecnologie di simulazione verrà discusso successivamente. Analizzando le

Matrice di struttura

	Componente	
	1	2
MONITOR	,773	,227
TRACK	,766	,245
SENSMACH	,725	,034
MACHVIS	,714	,308
DATAAN	,700	,082
ROBOT	,564	,480
OTHERPROG	,178	,812
ADDMANUF	,077	,783
AGV	,347	,509

Metodo di estrazione: Analisi dei componenti principali.

Metodo di rotazione: Oblimin con normalizzazione Kaiser.

Tabella 10 - factor analysis: iterazione 4

restanti tecnologie, il comportamento anomalo dei sistemi di trasporto automatizzato ed i cobot sia dovuto al basso livello di adozione delle due tecnologie, usate principalmente per scelte di innovazione rispetto che per vere e proprie trasformazioni aziendali. Si può notare però che cobot, escludendo robot dalla trattazione a causa delle motivazioni già esposte, produce una

componente singola, perciò si è deciso di procedere alla sua eliminazione.

Alla quarta iterazione si formano due componenti, di cui la prima già nominata “digitalizzazione”, mentre la seconda è formata da alcune delle tecnologie catalogate teoricamente come “automazione” (esclusi cobot, eliminati per bassi livelli di adozione). Per

verificare la coerenza dei risultati, è stata svolta una seconda factor analysis utilizzando il metodo di rotazione varimax, che ha condotto alla stessa riduzione finale.

Si può quindi ritenere di aver provato empiricamente la diversa appartenenza disciplinare, dovendo ancora però analizzare nel dettaglio le tecnologie di visualizzazione e simulazione del processo produttivo.

4.3.1 TECNOLOGIE DI SIMULAZIONE

È stato constatato come le tecnologie di visualizzazione e simulazione dei processi abbiano un comportamento anomalo rispetto al dato teorico, nonostante i buoni livelli di adozione. Per questo si è deciso di analizzarle maggiormente in profondità.

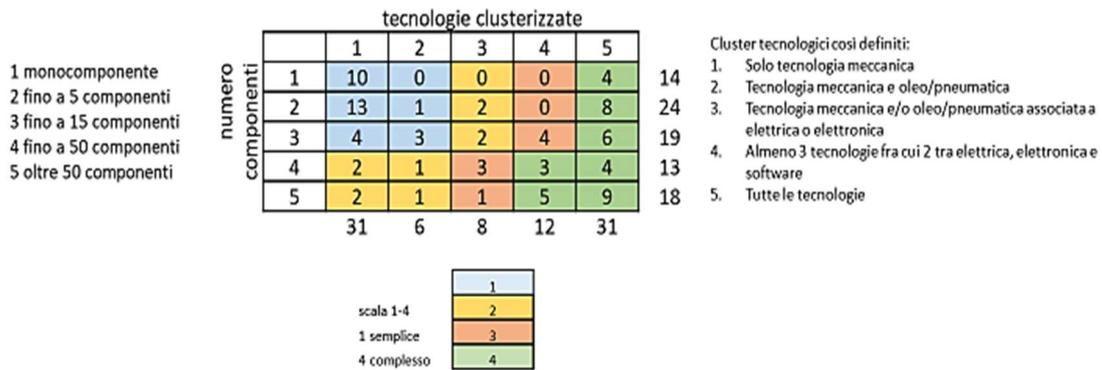
Le tecnologie di simulazione, come trattato in precedenza, nascono per ridurre il costo delle prototipazioni per poi evolversi principalmente in chiave di ottimizzazione delle fasi di pianificazione prodotto e processo.

È stata creata una variabile discreta che rappresenta la complessità del prodotto ed è stata analizzata la correlazione fra questa e la tecnologia. La variabile è stata costruita a partire da due grandezze: numero di componenti prodotto e numero di lavorazioni svolte sul prodotto. Riguardo al numero di componenti, i dati sono stati portati su scala discreta seguendo i seguenti intervalli:

1. Monocomponente;
2. Da due a cinque componenti;
3. Da sei a quindici componenti;
4. Da da sedici a cinquanta componenti;
5. Oltre cinquanta componenti.

A questo valore è stato sommato il numero di lavorazioni svolte sui componenti (figura 21).

COSTRUZIONE VARIABILE DI COMPLESSITA' DEL PRODOTTO



Complessità prodotto

Matrice di discretizzazione

- Righe = numero di componenti prodotto;
- Colonne = complessità tecnologica

Figura 21 - Clusterizzazione dei prodotti rispetto alla complessità (Fonte: propria)

Non è stata riscontrata alcuna correlazione fra l'utilizzo della tecnologia e la complessità del prodotto. Ciò suggerisce che la tecnologia non sia utilizzata in fase di prototipazione per la riduzione di costi e tempi, ma piuttosto in fase di visualizzazione dei processi produttivi. Non si riscontra alcun altro legame con parametri di processo, il che suggerisce che le aziende abbiano implementato la tecnologia per la visualizzazione ma non abbiano ancora i mezzi o non abbiano ancora compreso suo valore nella simulazione dei processi produttivi. È possibile ipotizzare che questa tecnologia possa raggiungere un nuovo livello di maturazione, un nuovo stadio evolutivo della digitalizzazione verso la predictability e l'adaptability, offrendosi come strumento potenziato di data analysis che non solo rielabora a posteriori, ma permette l'ottimizzazione a priori del processo.

4.3.2 RISULTATI OTTENUTI

Data la rielaborazione dei dati svolta, si è potuto delineare lo scenario tecnologico riportato in figura 11:

TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE	TECNOLOGIE DI DIGITALIZZAZIONE	
	<ul style="list-style-type: none"> • ROBOT • ADDITIVE MANUFACTURING • AGV • ALTRI MACCHINARI PROGRAMMABILI • COBOT 	RACCOLTA E ANALISI DATI
<ul style="list-style-type: none"> • MACCHINE DOTATE DI SENSORI • TRACKING MATERIALI • MONITORING PRODOTTI • MACHINE VISION • DATA ANALYSIS 		<ul style="list-style-type: none"> • TECNOLOGIE DI VISUALIZZAZIONE E SIMULAZIONE DEI PROCESSI PRODUTTIVI

Tabella 11 - bundle tecnologici riscontrati (Fonte: propria)

Risulta quindi utile, in studi futuri, analizzare il grado di consapevolezza delle aziende nelle potenzialità reali delle tecnologie di simulazione dei processi produttivi, il cui sviluppo efficiente può portare a nuovi livelli di ottimizzazione interna, con benefici riguardanti tempi, costi e qualità di sviluppo e produzione.

4.4 STATISTICHE DESCRITTIVE DELLE VARIABILI DI CALCOLO

le variabili di calcolo riguardanti tecnologie di Industria 4.0 e organizzazione interna sono state costruite rispetto ai parametri presentati nel capitolo 4.



Figura 22 - grado di automazione dei processi (Fonte: propria)

Il campione è estremamente significativo rispetto alla variabile di automazione costruita. Quasi un terzo delle aziende adottano gradi di automazione avanzata tramite le tecnologie standard o un loro parziale utilizzo unito ad automazione avanzata (figura 22).

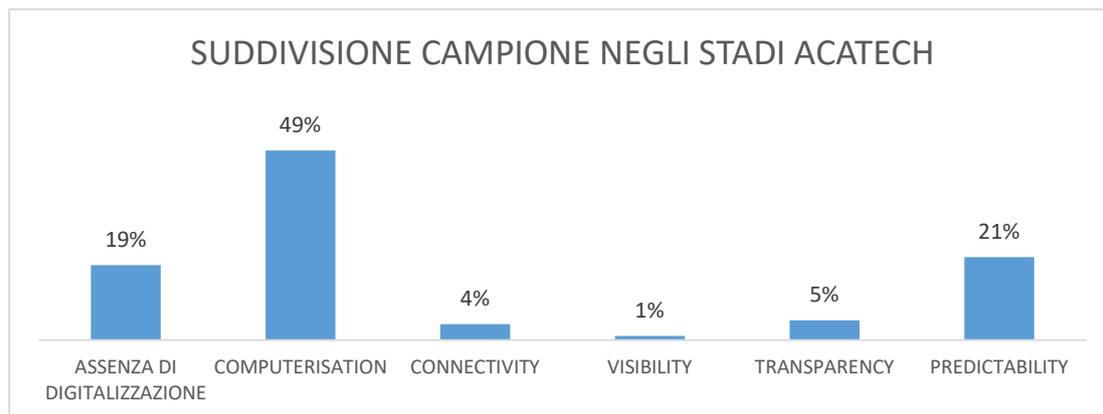


Figura 23 - livello di digitalizzazione dei processi (Fonte: propria)

La suddivisione delle aziende rispetto agli step evolutivi digitali di Acatech ha prodotto risultati interessanti (figura 23). Il 19% del campione non ha ancora iniziato il processo di digitalizzazione, mentre il 21% si trova già ad un livello di predictability. Il principale vincolo rispetto all'evoluzione digitale aziendale sembra risiedere nell'automazione della raccolta dati: molte aziende hanno già implementato software avanzati di data analytics e addirittura sistemi integrati di gestione dei dati, ma questi vengono ancora raccolti in modo analogico dai responsabili di linea. Ben il 10% del campione si trova in questa condizione, perciò si può concludere che le aziende faticano nella predisposizione di un piano efficiente ed integrato di digitalizzazione dei processi. Il secondo vincolo, nonché il più marcato, risiede nell'integrazione dei dati tramite MRP o ERP. Questo dato è largamente confermato dalla letteratura scientifica:

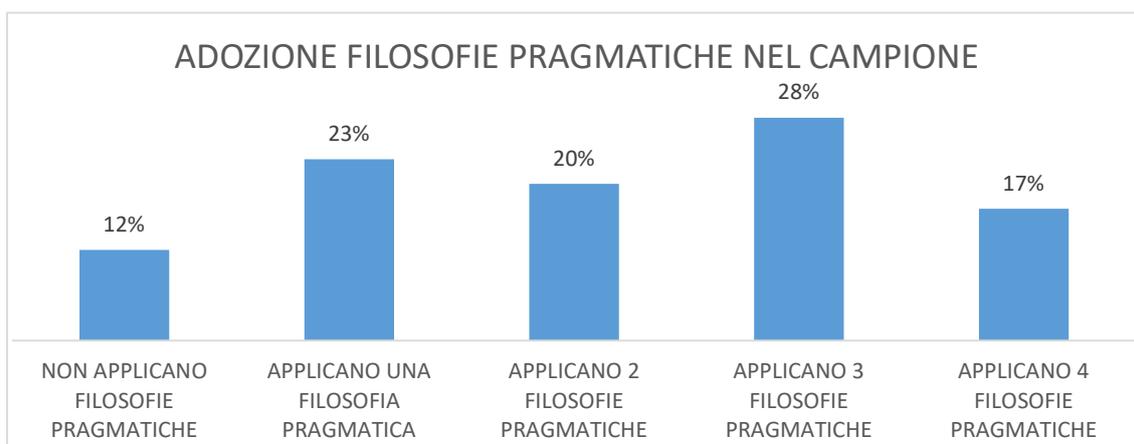


Figura 24 - percentuali di adozione di più pratiche Pragmatiche (Fonte: propria)

si può vedere come il grado massimo di digitalizzazione ottenibile dalle aziende che adottano filosofie Tayloriste.

Analizzando invece le statistiche di adozione di pratiche pragmatiche, si può notare come ci sia eterogeneità nel campione (figura 24). Solo il 12% delle aziende non adottano alcuna pratica pragmatica, mentre ben il 17% opera seguendo una logica di pragmatismo integrato.

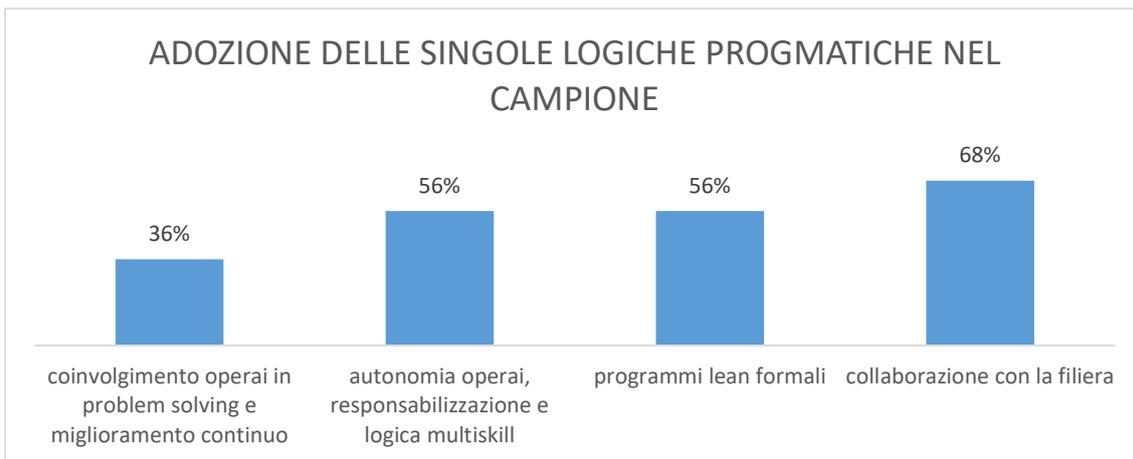


Figura 25 - percentuale di adozione delle singole logiche Pragmatiche (Fonte: Propria)

Si può notare che la filosofia pragmatica più critica per le aziende risulta essere quella legata al coinvolgimento dei lavoratori diretti di produzione in problem solving e programmi di miglioramento continuo (figura 25). Questo dato è in linea con quello di sviluppo digitale, in quanto in assenza di integrazione e visualizzazione dei dati di processo è complicato operare un decentramento del potere decisionale.

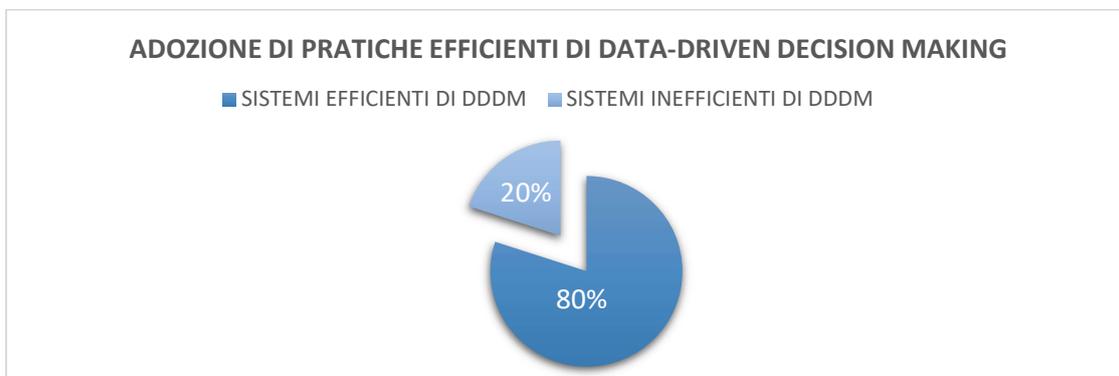


Figura 26 - grado di adozione di processi di problem solving (Fonte: propria)

Un dato confortante, ma da approfondire, riguarda la pratica di data-driven decision making, implementata dal 80% del campione (figura 26). In realtà, se confrontiamo i dati riguardanti la digitalizzazione e il data-driven decision making, unitamente alle conclusioni raccolte nella letteratura scientifica, l'informazione potrebbe essere incompleta, poiché l'assenza di un sistema integrato di gestione dati limita l'utilizzo di tale pratica.

4.5 IPOTESI 2,4

Sono state svolte due regressioni lineari utilizzando le variabili tecnologiche e organizzative.

Sono state costruite le seguenti equazioni:

$$AUTOMAZIONE = \beta_1 PRAG + \beta_2 DDDM + \beta_3 SYSINT + \varepsilon$$

$$AUTOMAZIONE = \beta_1 PRAG + \beta_2 DDDM + \beta_3 SYSINT + \beta_4 LnWK + \beta_5 \%SCHOL + \varepsilon$$

È stata riscontrata significatività al 95% della variabile DDDM, ridotta al 90% quando sono state aggiunte le variabili di controllo. Si dimostra quindi un legame positivo fra le pratiche di data-driven decision making ed il processo di automazione dei processi, come da ipotesi.

Per quanto riguarda le logiche pragmatiche, non è stata trovata significatività, perciò è possibile concludere che le logiche pragmatiche non abbiano alcun legame con i processi di automazione. Questo dato conferma l'ipotesi assunta.

	1	2
(Costante)	0,079 [0,068]	-0,088 [0,091]
PRAG	0,062 [0,096]	0,033 [0,098]
DDDM	0,271** [0,109]	0,209* [0,113]
SYSINT	0,129 [0,058]	0,059 [0,064]
LnWK		0,056** [0,023]
%SCHOL		0,002 [0,001]
R ²	0,106	0,256

Tabella 12 - factor analysis: automazione (Fonte: propria)

4.6 IPOTESI 1,3,4

Per la verifica delle ipotesi sono state costruite due regressioni lineari:

$$DIGITALIZZAZIONE = \beta_1 PRAG + \beta_2 DDDM + \beta_3 SYSINT + \varepsilon$$

$$DIGITALIZZAZIONE = \beta_1 PRAG + \beta_2 DDDM + \beta_3 SYSINT + \beta_4 LnWK + \beta_5 \%SCHOL + \varepsilon$$

	1	2
(Costante)	0,709 [0,504]	-0,936 [0,626]
PRAG	0,666 [0,686]	0,294 [0,664]
DDDM	0,905 [0,787]	0,322 [0,777]
SYSINT	0,696* [0,412]	-0,017 [0,430]
LnWK		0,624*** [0,158]
%SCHOL		-0,002 [0,013]
R^2	0,106	0,253

Tabella 13 - factor analysis: digitalizzazione
(Fonte: propria)

Dall'analisi non è stata trovata significatività nei legami fra digitalizzazione e filosofie pragmatiche. Questo dato non permette di validare l'ipotesi assunta. È possibile che il dato sia collegato con le difficoltà riscontrate nei piani manageriali aziendali riguardo il processo di digitalizzazione.

Anche per quanto riguarda il processo di data-driven decision making non è stato riscontrato alcun legame.

Questo dato è in contrasto con l'ipotesi assunta e con la letteratura scientifica. Una spiegazione può essere legata all'adozione di pratiche DDDM senza una struttura efficiente: è possibile applicare il modello senza disporre di una struttura digitalizzata e integrata, ma permetterà di avere un quadro incompleto del processo e uno sforzo di tempo ed economico superiore.

4.7 IPOTESI 5

Per la valutazione dell'ipotesi cinque è stato necessario predisporre otto regressioni lineari e confrontare i risultati. Sono state costruite le seguenti equazioni:

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1DIGIT + \beta_2DDDM + \beta_3SYSINT + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1DIGIT + \beta_2DDDM + \beta_3SYSINT + \beta_4LnWK + \beta_5\%SCHOL + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1PRAG + \beta_2DDDM + \beta_3SYSINT + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1PRAG + \beta_2DDDM + \beta_3SYSINT + \beta_4LnWK + \beta_5\%SCHOL + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1DIGIT + \beta_2PRAG + \beta_3DDDM + \beta_4SYSINT + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1DIGIT + \beta_2PRAG + \beta_3DDDM + \beta_4SYSINT + \beta_5LnWK + \beta_6\%SCHOL + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1DIGIT + \beta_2PRAG + \beta_3DIGIT * PRAG + \beta_4DDDM + \beta_5SYSINT + \varepsilon$$

$$DIRECTWORKCOST = \beta_1DIGIT + \beta_2PRAG + \beta_3DIGIT * PRAG + \beta_4DDDM + \beta_5SYSINT + \beta_6LnWK + \beta_7\%SCHOL + \varepsilon$$

La variabile DIGIT*PRAG rappresenta la presenza contemporanea nell'azienda di logiche Pragmatiche e di digitalizzazione. È stata ottenuta dal prodotto delle due variabili.

	1	2	3	4	5	6	7	8
(Costante)	2,784***	3,131***	2,659***	3,018***	2,718***	3,028***	2,579**	2,987**
	0,612	0,906	0,622	0,913	0,643	0,932	0,958	1,165
DIGIT	-0,044	0,006			-0,041	0,011	0,007	0,028
	0,094	0,109			0,095	0,110	0,265	0,302
PRAG			0,318	0,478	0,294	0,485	0,561	0,577
			0,764	0,822	0,775	0,837	1,568	1,758
DIGITPRAG							-0,076	-0,026
							0,385	0,439
DDDM	-0,011	0,130	-0,259	-0,090	-0,174	-0,104	-0,222	-0,116
	0,755	0,828	0,845	0,903	0,876	0,929	0,921	0,964
SYSINT	-0,400	-0,276	-0,451	-0,320	-0,427	-0,320	-0,423	-0,321
	0,385	0,433	0,388	0,437	0,396	0,444	0,402	0,451
LnWK		,0120		-0,115		-0,122		-0,124
		0,194		0,179		0,196		0,203
%SCHOL		-0,012		-0,014		-0,014		-0,014
		0,017		0,018		0,018		0,019
R^2	0,038	0,063	0,037	0,073	0,042	0,073	0,043	0,073

Tabella 14 - factor analysis: costo manodopera diretta (Fonte: propria)

Dato che la variabile di costo del lavoro diretto unitario fa riferimento alla sola implementazione di robot sulla linea, è stato necessario ridurre il database delle risposte alle sole che implementano robot nel processo produttivo. Questo ha ridotto notevolmente il dimensionamento: le regressioni sono state svolte su 41 campioni. Non è stata riscontrata alcuna significatività nelle variabili del modello. Si può concludere che l'ipotesi sia verificata, cioè non esiste alcun legame fra la riduzione del costo del lavoro diretto unitario le pratiche Pragmatiche o la digitalizzazione.

4.8 IPOTESI 6

Per la verifica dell'ipotesi 6 sono state predisposte le stesse regressioni lineari utilizzate per l'ipotesi 5, valutando le variabili dipendenti riconosciute nelle statistiche come maggiori benefici ottenuti dall'implementazione di robot sulla linea produttiva, cioè:

1. Conformità di prodotto;
2. Capacità di problem solving;
3. Sicurezza sul lavoro.

	1	2	3	4	5	6	7	8
(Costante)	3,553***	3,546***	3,530***	3,452***	3,450***	3,472***	3,625	3,539***
	0,487	0,690	0,482	0,677	0,495	0,688	0,649	0,770
DIGIT	0,051	0,018			0,055	0,026	-0,015	-0,013
	0,072	0,079			0,072	0,079	0,181	0,205
PRAG			0,578	0,702	0,601	0,718	0,277	0,540
			0,554	0,581	0,557	0,590	0,952	1,050
DIGITPRAG							0,109	0,059
							0,258	0,285
DDDM	0,463	0,479	0,224	0,194	0,143	0,173	0,178	0,183
	0,583	0,623	0,641	0,657	0,653	0,668	0,665	0,679
SYSINT	0,256	0,185	0,194	0,076	0,154	0,072	0,162	0,078
	0,294	0,323	0,302	0,330	0,308	0,334	0,312	0,340
LnWK		0,031		0,031		0,014		0,023
		0,147		0,136		0,147		0,155
%SCHOL		0,004		0,000		0,000		-0,001
		0,014		0,014		0,014		0,015
R^2	0,054	0,049	0,067	0,083	0,081	0,086	0,085	0,087

Tabella 15 - factor analysis: conformità di prodotto (Fonte: propria)

Dalle regressioni svolte sulla conformità di prodotto non è stato ottenuti alcun valore significativo, perciò non è possibile verificare le ipotesi assunte.

	1	2	3	4	5	6	7	8
(Costante)	3,512***	3,596***	3,529***	3,554***	3,464***	3,580***	3,815	3,671***
	0,414	0,574	0,414	0,576	0,426	0,584	0,553	0,652
DIGIT	0,042	0,033			0,044	0,035	-0,096	-0,018
	0,061	0,066			0,062	0,067	0,154	0,174
PRAG			0,254	0,13	0,273	0,151	-0,377	-0,091
			0,475	0,494	0,479	0,501	0,810	0,889
DIGITPRAG							0,219	0,080
							0,220	0,242
DDDM	-0,052	-0,095	-0,132	-0,131	-0,197	-0,160	-0,126	-0,145
	0,496	0,518	0,551	0,558	0,561	0,567	0,566	0,575
SYSINT	0,369	0,230	0,355	0,212	0,323	0,206	0,338	0,215
	0,250	0,269	0,260	0,280	0,265	0,283	0,265	0,288
LnWK		-0,031		-0,012		-0,035		-0,022
		0,122		0,115		0,124		0,131
%SCHOL		0,024**		0,023*		0,023**		0,022*
		0,011		0,012		0,012		0,012
R^2	0,069	0,158	0,065	0,153	0,077	0,16	0,1	0,162

Tabella 16 - factor analysis: problem solving (Fonte: propria)

Lo studio della variabile dipendente di problem solving ha invece mostrato significatività unicamente nella variabile di controllo %SCHOL. Esiste quindi un legame positivo fra il grado di istruzione della forza lavoro e la capacità di problem solving dell'azienda.

L'ultima variabile dipendente studiata è quella relativa alla sicurezza sul lavoro. In questo caso sono state riscontrate molte significatività, in particolare:

- La variabile di digitalizzazione risulta essere sempre legata positivamente:
 - Significativa al 99% quando escluse dalla regressione le variabili di controllo;
 - Significativa al 95% quando incluse le variabili di controllo.
- Le logiche pragmatiche hanno un legame positivo quando associate alla digitalizzazione:
 - Significatività al 95% se escluse le variabili di controllo;
 - Significatività al 99% se incluse le variabili di controllo.
- L'adozione congiunta di pratiche Pragmatiche e di digitalizzazione ha invece un legame negativo:
 - Significativo al 95% sia includendo che escludendo le variabili di controllo.

Il riscontro è molto significativo rispetto all'ipotesi assunta: è verificato che vi sia un legame positivo con la digitalizzazione e le pratiche pragmatiche se adottate in modo disgiunto. Il fatto che, invece, l'adozione congiunta delle due voci sia legata negativamente con la sicurezza sul lavoro fa pensare che vi sia una logica manageriale alle spalle che prevarica le filosofie pragmatiche insite nell'azienda: piani strutturati di digitalizzazione dipendono dalla gestione congiunta di una trasformazione tecnologica e organizzativa in un processo che è ancora in fase di maturazione, perciò è possibile che in questi casi i benefici non siano ancora stati registrati perché troppo presto.

	1	2	3	4	5	6	7	8
(Costante)	3,800***	3,226***	3,992***	3,061***	3,733***	3,158***	2,923***	2,655***
	0,406	0,514	0,442	0,530	0,416	0,507	0,507	0,530
DIGIT	0,174***	0,119**			0,177***	0,126**	0,502***	0,418***
	0,060	0,059			0,060	0,058	0,142	0,141
PRAG			0,310	0,578	0,384	0,658	1,888**	1,992***
			0,508	0,455	0,468	0,435	0,743	0,723
DIGITPRAG							-0,505**	-0,441**
							0,202	0,197
DDDM	0,022	0,046	0,079	-0,131	-0,182	-0,235	-0,346	-0,315
	0,486	0,463	0,589	0,514	0,548	0,492	0,519	0,468
SYSINT	0,156	0,116	0,218	0,035	0,091	0,013	0,056	-0,036
	0,245	0,240	0,278	0,258	0,259	0,246	0,243	0,234
LnWK		0,209*		0,278**		0,193*		0,127
		0,109		0,106		0,108		0,107
%SCHOL		-0,026**		-0,029***		-0,028***		-0,022**
		0,010		.011		0,010		0,010
R^2	0,195	0,313	0,038	0,269	0,208	0,354	0,318	0,436

Tabella 17 - factor analysis: sicurezza sul lavoro (Fonte: propria)

Inoltre, essendo la sicurezza sul lavoro, specialmente nelle logiche Fordiste, legata al turnover uomo-macchina, che diminuisce la forza lavoro e statisticamente gli incidenti al personale, il caso di piano integrati di digitalizzazione e Pragmatismo il ricambio non avviene e perciò questi benefici sono annullati.

4.9 RIASSUNTO DEI RISULTATI OTTENUTI

Le analisi svolte hanno permesso di validare solo in parte le ipotesi assunte.

È stato possibile riconoscere i bundle tecnologici di automazione e digitalizzazione: le tecnologie di automazione sono state ulteriormente suddivise fra automazione standard e avanzata, mentre quelle di digitalizzazione secondo una base teorica di ottimizzazione in tempo reale o a priori del processo.

Tramite le statistiche di posizionamento delle aziende lungo i livelli di Acatech di sviluppo digitale è stato possibile verificare la presenza di alcuni vincoli che non permettono alle aziende di raggiungere la piena maturità digitale.

Non è stato riscontrato alcun legame fra le logiche Pragmatiche e il processo di automazione, ma neanche con quello di digitalizzazione. Questo porta a validare la ipotesi 3 ma non la 4.

È validato il legame esistente fra il processo di automazione e il data-driven decision making, ma lo stesso non si può dire per quando riguarda invece la digitalizzazione.

La collaborazione con il system integrator favorisce il processo di digitalizzazione, ma non ha effetti su quello di automazione.

Non esiste legame fra le pratiche pragmatiche e benefici dovuti alla diminuzione dei costi unitari del lavoro diretto di produzione.

Esiste un legame positivo fra la digitalizzazione e i benefici dovuti all'aumento della sicurezza sul lavoro. Stessa cosa vale per le pratiche pragmatiche, ma solo se implementate in modo disgiunto rispetto alla digitalizzazione dei processi. Le due variabili, congiunte, provocano una diminuzione dei benefici osservati.

Non è stata riscontrato alcun legame con gli altri due benefici riguardanti il miglioramento continuo, cioè la capacità di problem solving e la conformità di prodotto.

5 CONCLUSIONI

Le conclusioni relative allo studio saranno trattate nei seguenti paragrafi, rispondendo in maniera puntuale alle domande di ricerca, formulate nel capitolo di introduzione.

5.1 STATO DI ADOZIONE DELLE TECNOLOGIE DI I4.0

In generale, il grado di adozione delle tecnologie di Industria 4.0 nel campione di aziende analizzate mostra molta eterogeneità. Dati particolarmente significativi si riscontrano nell'adozione di robot: le PMI mostrano un grado di automazione scarso. Contando che circa il 30% del campione è rappresentato da realtà di piccole dimensioni, mentre il restante da medie a grandi, il dato di adozione totale della tecnologia al 56% risulta sicuramente basso rispetto alle aspettative. Gran parte delle aziende, sicuramente anche di medie dimensioni, non adottano soluzioni di automazione standard in azienda. Questo risultato, però, trova spiegazione nella tradizione manifatturiera italiana, tra le migliori al mondo e ancora legata alla manualità umana e alle skill personali. Ciò non toglie che in chiave futura, per mantenere competitività anche queste aziende dovranno adottare robot.

Altro dato interessante riguarda l'adozione di software di data analysis, che è la tecnologia più implementata. Questo risultato verrà ripreso nelle conclusioni successive, poiché estremamente legato ai piani manageriali di sviluppo digitale.

5.2 SUDDIVISIONE EMPIRICA DELLE TECNOLOGIE IN SOTTOGRUPPI FUNZIONALI: AUTOMAZIONE E DIGITALIZZAZIONE

la suddivisione risultante dall'analisi fattoriale, svolta sulle variabili tecnologiche, collima con quelle qualitative riscontrate in letteratura. Questo dimostra che le aziende hanno una percezione consapevole delle singole tecnologie, e le adottano in blocchi funzionali a seconda delle necessità di processo. Interessante è il dato legato alle tecnologie di visualizzazione e simulazione dei processi produttivi. Avendo constatato che non vi è alcun legame fra il loro utilizzo e la complessità del prodotto, si può intuire che non venga utilizzata per l'ottimizzazione

della fase di prototipazione, ma piuttosto per la visualizzazione del processo. Questo permette di dire che l'uso della tecnologia a livello pratico non ha ancora raggiunto la piena maturazione, potendo essere sfruttata, in futuro, per le fasi di simulazione di processo, in logica di ottimizzazione a priori.

5.3 SOTTO QUALI CONDIZIONI ORGANIZZATIVE LE AZIENDE DECIDONO DI ADOTTARE LE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE E DIGITALIZZAZIONE?

È stato riscontrato che non esiste alcun legame fra l'adozione di tecnologie di automazione e le pratiche Pragmatiche. Questo valida l'ipotesi che le aziende di stampo Taylorista abbiano interesse nel raggiungere alti livelli di automazione, in un processo che non integra la digitalizzazione.

Il fatto che non vi sia un legame fra le logiche Pragmatiche e i processi di digitalizzazione, invece, è da analizzare rispetto alle conclusioni assunte al paragrafo 6.1. Il fatto che le aziende non abbiano piani strutturati di digitalizzazione, ma che adottino gruppi tecnologici senza seguire una logica sequenziale, porta probabilmente a possedere le potenzialità necessarie per ottimizzare il processo in logica pragmatica, ma si pone un problema di efficienza. Ad esempio, il 35% del campione non ha implementato sistemi di integrazione dati (MRP, ERP), ma possiedono potenti software di data analytics e visualizzazione dei processi. È molto probabile che siano queste contraddizioni la causa dell'impossibilità di validare l'ipotesi assunta.

Altra prova a supporto della necessità di approfondire lo studio è che l'80% delle aziende afferma di adottare strumenti di data-driven decision making, ma una buona parte è sprovvista di Big Data. Risulta quindi consistente il fatto che il data-driven decision making sia legato all'automazione ma non alla digitalizzazione, poiché, probabilmente, le aziende si basano su dati quantitativi, ma senza integrazione.

Il dato riguardante la collaborazione con system integrator, invece, è riconducibile alle competenze interne. Non vi è legame con l'automazione dei processi poiché le tecnologie sono

mature e tutti hanno basi pratiche consolidate sul loro utilizzo. Non necessitano quindi di appoggiarsi a esperti esterni per piani di automazione, ma lo faranno per quelli integrati con le fasi di digitalizzazione.

5.4 IN QUALE MODO IL MODELLO ORGANIZZATIVO AZIENDALE IMPATTA SULL'ADOZIONE E SULL'UTILIZZO DELLE TECNOLOGIE DI AUTOMAZIONE E DIGITALIZZAZIONE?

È stato possibile dimostrare come filosofie organizzative diverse utilizzino le tecnologie per scopi distinti. In particolare:

- Le aziende caratterizzate da logiche Tayloriste adottano ed utilizzano i robot per applicare turn-over uomo-macchina sulla linea, abbattendo i costi del lavoro diretto di produzione unitari;
- Le aziende che basano l'organizzazione su logiche pragmatiche, invece, adottano ed usano le tecnologie per il miglioramento continuo. Questo dato è stato riscontrato alla voce di aumento della sicurezza sul lavoro.

Interessanti sono i valori ottenuti dalla regressione lineare svolta sui benefici dovuti all'aumento della sicurezza dei lavoratori. L'adozione di logiche Pragmatiche o di digitalizzazione in modo disgiunto ha impatti significativamente positivi sulla sicurezza, ma se implementate assieme il beneficio risulta minore. Questo risultato può avere diverse interpretazioni:

1. La trasformazione digitale e congiuntamente verso pratiche Pragmatiche richiede tempi di assestamento lunghi, perciò non sono ancora stati registrati i miglioramenti attesi dalla letteratura;
2. Facendo riferimento alla mancanza di piani strutturati di digitalizzazione, questa può comportare inefficienza nell'utilizzo delle pratiche Pragmatiche e di data-driven decision making.

Comparando i valori di beta riferiti a digitalizzazione e Pragmatismo, vi è un'enorme differenza: l'adozione delle sole pratiche pragmatiche ha un impatto tre volte superiore a quello dell'adozione di digitalizzazione. Facendo riferimento ancora una volta alle differenze fra i due metodi organizzativi, questo dato potrebbe essere così interpretato:

- Le aziende che adottano digitalizzazione senza logiche Pragmatiche sono aziende di stampo Taylorista, quindi il beneficio osservato è limitato alla minore forza lavoro diretta di produzione e conseguente diminuzione statistica degli incidenti (effetto collaterale dell'adozione di robot);
- Le aziende che non hanno ancora digitalizzato i processi ma adottano pratiche Pragmatiche, lo fanno con l'obiettivo principale del miglioramento continuo (effetto diretto).

6 BIBLIOGRAFIA

- Abbott, P. (1998). Machine Vision. *Assembly Automation*, 18(3), 190–206.
<https://doi.org/10.1108/aa.1998.03318cad.009>
- Appelbaum, E., Bailey, T., Berg, P., Kalleberg, A. L., & Bailey, T. A. (2000). Manufacturing advantage: Why high-performance work systems pay off. In *Cornell University Press*.
- Arrighetti, A., & Ninni, A. (2014). *La trasformazione 'silenziosa'*. Recuperato da http://dspace-univr.cineca.it/bitstream/1889/2565/1/La_trasformazione_silenziosa-A_Arrighetti_A_Ninni.pdf
- Beozzo, S., Guida, R., Campobello, G., Segreto, A., & Serrano, S. (2015). *TECNOLOGIE ICT PER L'EFFICIENTAMENTO NEI PROCESSI INDUSTRIALI : RETI DI SENSORI ATTRAVERSO L'APPLICAZIONE DI PROTOCOLLI M2M*.
- Bonavia, T., & Marin-Garcia, J. A. (2011). Integrating human resource management into lean production and their impact on organizational performance. *International Journal of Manpower*, 32(8), 923–938. <https://doi.org/10.1108/01437721111181679>
- Bottoncini, A., Pasetto, A., & Rotondi, Z. (2016). Sviluppo e prospettive dell'industria 4.0 in italia e ruolo strategico del credito. *Argomenti*, 0(4), 51–66.
<https://doi.org/10.14276/1971-8357.516>
- Breiman, L. (2001). Statistical modeling: The two cultures. *Statistical Science*, 16(3), 199–215.
<https://doi.org/10.1214/ss/1009213726>
- Cua, K. O., McKone, K. E., & Schroeder, R. G. (2001). Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance. *Journal of Operations Management*, 19(6), 675–694. [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(01\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(01)00066-3)
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, (October 2019), 107617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204(December 2017), 383–394.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Farrar, M. J., Simaan, M. A., & Xiaoming, M. (2014). Generic Implementation of Lean Concepts in Simulation Models. *Lean Construction Journal 2004*, 1(October). Recuperato da www.leanconstructionjournal.org
- Ferrer, A. (2020). Discussion of “A review of data science in business and industry and a future view” by Grazia Vicario and Shirley Coleman. *Applied Stochastic Models in Business and Industry*, (January), 1–7. <https://doi.org/10.1002/asmb.2516>
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210(January), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- Gärtner, B. (2018). Industry 4.0 maturity index. *Assembly*, 61(12), 32–35.

- Hammer. (1993). *Business Process Incubator*. (l). Recuperato da <https://www.businessprocessincubator.com/category/type/references/>
- Härting, R. C., Reichstein, C., & Schad, M. (2018). Potentials of Digital Business Models - Empirical investigation of data driven impacts in industry. *Procedia Computer Science*, 126, 1495–1506. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.121>
- Helper, S., Martins, R., & Seamans, R. (2019). Who Profits from Industry 4.0? Theory and Evidence from the Automotive Industry. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3377771>
- Jones, D. G., & Endsley, M. R. (2009). *The International Journal of Aviation Psychology Use of Real-Time Probes for Measuring Situation Awareness Use of Real-Time Probes for Measuring Situation Awareness*. 8414(February 2014), 37–41. <https://doi.org/10.1207/s15327108ijap1404>
- Karadayi-Usta, S. (2019). An Interpretive Structural Analysis for Industry 4.0 Adoption Challenges. *IEEE Transactions on Engineering Management*, PP, 1–6. <https://doi.org/10.1109/tem.2018.2890443>
- Kleinpeter, E. (2015). Le Cobot, la coopération entre l'utilisateur et la machine. *Multitudes*, 58(1), 70–75. <https://doi.org/10.3917/mult.058.0070>
- Ko, J. M., Kwak, C., Cho, Y., & Kim, C. O. (2011). Adaptive product tracking in RFID-enabled large-scale supply chain. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1583–1590. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.077>
- Krijnen, A. (2007). The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer. In *Action Learning: Research and Practice* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1080/14767330701234002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lu, H. P., & Weng, C. I. (2018). Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 133(September 2017), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.005>
- Macduffie, J. P. (1995). Human Resource Bundles and Manufacturing Performance: Organizational Logic and Flexible Production Systems in the World Auto Industry. *Industrial and Labor Relations Review*, 48(2), 197. <https://doi.org/10.2307/2524483>
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121–139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Organizational Learning : The Contributing Processes and the Literatures Author (s) : George P . Huber Source : Organization Science , Vol . 2 , No . 1 , Special Issue : Organizational Learning : Papers in Honor of (and by) James G . March (1991) , pp. (2019). 2(1), 88–115.*
- Peshkin, M. A., Edward Colgate, J., Wannasuphoprasit, W., Moore, C. A., Brent Gillespie, R., & Akella, P. (2001). Cobot architecture. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*,

17(4), 377–390. <https://doi.org/10.1109/70.954751>

Price, E., & Osterman, P. (s.d.). *TITLE ROW COMMON IS WORKPLACE TRANSFORMATION AND ROW CAN WE EXPLAIN WHO Results From A National Survey*.

Robert Atkinson, S. E. (2019). *The Manufacturing Evolution*.

Santos, Z. G. dos, Vieira, L., & Balbinotti, G. (2015). Lean Manufacturing and Ergonomic Working Conditions in the Automotive Industry. *Procedia Manufacturing*, 3(Ahfe), 5947–5954. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.687>

Scherrer-Rathje, M., Boyle, T. A., & Deflorin, P. (2009). Lean, take two! Reflections from the second attempt at lean implementation. *Business Horizons*, 52(1), 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2008.08.004>

Schneider, P. (2018). Backed Research Agenda for a Nascent Field. In *Review of Managerial Science* (Vol. 12). <https://doi.org/10.1007/s11846-018-0283-2>

Shah, R., & Ward, P. T. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of Operations Management*, 25(4), 785–805. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>

Soliman, M., Saurin, T. A., & Anzanello, M. J. (2018). The impacts of lean production on the complexity of socio-technical systems. *International Journal of Production Economics*, 197(August 2017), 342–357. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.024>

Uhrin, Á., Bruque-Cámara, S., & Moyano-Fuentes, J. (2017). Lean production, workforce development and operational performance. *Management Decision*, 55(1), 103–118. <https://doi.org/10.1108/MD-05-2016-0281>

Varela, M. L. R., Putnik, G. D., Manupati, V. K., Rajyalakshmi, G., Trojanowska, J., & Machado, J. (2018). Collaborative manufacturing based on cloud, and on other I4.0 oriented principles and technologies: A systematic literature review and reflections. *Management and Production Engineering Review*, 9(3), 90–99. <https://doi.org/10.24425/119538>

Vidal, M. (2007). Lean production, worker empowerment, and job satisfaction: A qualitative analysis and critique. *Critical Sociology*, 33(1–2), 247–278. <https://doi.org/10.1163/156916307X168656>