



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale  
A.a. 2020/2021  
Sessione di Laurea: Dicembre 2021

# **Making digitalization effective with System Integrators**

Relatori:

Prof. Emilio Paolucci  
Dott. Riccardo Ricci

Candidato:

Francesco Golino  
Matricola: 275085

9 Dicembre 2021

## ABSTRACT

Il nuovo paradigma tecnologico Industria 4.0 sta spingendo verso una produzione industriale sempre più automatizzata e interconnessa, verso una completa trasformazione digitale, imponendo radicali modifiche e ingenti investimenti alle imprese, nel loro tentativo di digitalizzare la produzione, con l'obiettivo di migliorare le performance operative e mitigare la complessità, l'incertezza e la volatilità che caratterizzano settori sempre più competitivi e digitalizzati, come quello automotive.

Gli ingenti investimenti in tecnologie digitali, a cui si sta assistendo negli ultimi anni, non bastano, da soli, a migliorare in maniera significativa le prestazioni di costo delle aziende manifatturiere, ancora lontane dal rendere efficace (ed effettiva) la digitalizzazione. Tali investimenti dovrebbero essere calati all'interno di una radicale **innovazione di processo**, che richiede l'introduzione di nuove pratiche organizzative per la corretta implementazione e successivo utilizzo delle nuove tecnologie, quindi sviluppo di nuova conoscenza, internalizzazione di competenze (sia manageriali che operative), acquisizione di risorse e collaborazione continua con fornitori di soluzioni tecnologiche, affrontando i problemi che questa può comportare, quali l'incertezza interpretativa.

L'obiettivo della tesi è proprio quello di individuare quali siano le pratiche decisionali e di governance che più si adattano alle specifiche proprietà delle tecnologie digitali, al fine di migliorare l'efficienza operativa delle imprese manifatturiere. Nello specifico, la tesi si concentra sulla figura dei **System Integrators**, preziosi partner nella sfida della trasformazione digitale e una soluzione sempre più ricercata dalle aziende manifatturiere, data la loro capacità di combinare diverse basi di conoscenza e componenti fisiche in sistemi funzionanti, più nello specifico la capacità di combinare e integrare diverse tecnologie basate su elementi tecnologici hardware e software e di fornire dati di impianto e connettività di rete.

In particolare, la tesi ha l'obiettivo di dimostrare, attraverso analisi di regressione multivariata, che l'instaurarsi di una **governance relazionale** (*collaborazione* di lungo periodo caratterizzata da *co-creation*) con un integratore di sistema nell'implementazione delle nuove tecnologie digitali, combinata con lo sviluppo di competenze di processo e data management da parte dell'impresa produttrice, apporti a quest'ultima benefici in termini di prestazioni di costo.

Lo studio dal quale è stata realizzata l'analisi di regressione, condotto nel settore automotive, è incentrato su un'indagine quantitativa multi-rispondente, somministrata tramite questionario a responsabili HR, responsabili impianto e responsabili vendite di aziende di componenti automobilistici tra Marzo 2019 e Febbraio 2020. L'indagine è stata condotta sia sul territorio italiano, raggiungendo un totale di 101 stabilimenti di fornitori del settore, sia su quello statunitense, raggiungendo un bacino di 178 imprese; le aziende rispondenti sono state principalmente PMI, costituendo un campione rappresentativo della popolazione in termini di dimensione degli stabilimenti, area geografica e posizione di filiera.

I risultati dello studio sono promettenti, andando a valorizzare e rafforzare l'attuale letteratura sul tema, dimostrando la complementarità tra governance relazionale, implementazione di tecnologie digitali e sviluppo di competenze analitiche e decisionali interne.

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1. Contesto: Industria 4.0.....	1
1.2. La trasformazione digitale.....	2
1.3. La reazione anti-fragile delle imprese italiane.....	3
2. SCOPO E DOMANDA DI RICERCA.....	4
3. INTEGRAZIONE DI SISTEMI.....	8
3.1. Architettura Software.....	9
3.2. Interoperabilità dei sistemi: una questione trasversale.....	10
3.3. Sistemi integrati e Industria 4.0.....	11
3.3.1. Sistemi interconnessi: gli IIS.....	12
3.3.2. Topologia architettonica.....	12
3.3.3. Comunicazione e connettività.....	13
3.3.4. Requisiti, interfacce e protocolli.....	14
3.4. Il Middleware.....	16
3.5. Dati a supporto delle decisioni: analisi avanzata.....	18
3.6. Criticità nell'integrazione dei sistemi.....	19
3.6.1. Incertezza interpretativa.....	19
3.6.2. Completezza informativa.....	20
3.6.3. Sistemi legacy.....	21
3.7. Problemi di integrazione e governance inter-organizzativa.....	22
4. GOVERNANCE INTER-ORGANIZZATIVE E INCERTEZZA INTERPRETATIVA.....	24
4.1. La servitizzazione digitale.....	25
4.2. Governance e tecnologie digitali.....	26
5. INTEGRAZIONE DI FILIERA (SCI): IL RUOLO DI SCA E DELLE CAPACITÀ DECISIONALI SUI BIG DATA.....	28
5.1. Supply Chain Agility.....	28
5.2. Sviluppo di capacità per affrontare la sfida della digitalizzazione.....	29
5.2.1. Capacità decisionali sui big data.....	30
5.3. Gestione delle risorse: i ruoli richiesti dalla digitalizzazione.....	31
6. SYSTEM INTEGRATOR.....	33
6.1. Governance relazionale con il System Integrator.....	34
7. SVILUPPO DI IPOTESI.....	36
8. METODI DI RICERCA.....	42
8.1. Popolazione e campione di riferimento.....	42
9. RISULTATI.....	44
10. CONCLUSIONI.....	51



# 1. INTRODUZIONE

## 1.1. CONTESTO: Industria 4.0

Al centro della trasformazione economica in Italia e nel mondo degli ultimi decenni, Industria 4.0 segna l'avvento di un nuovo paradigma tecnologico, un processo che scaturisce dalla quarta rivoluzione industriale e che sta portando ad una produzione industriale del tutto automatizzata e interconnessa. Quattro sono le direttrici di sviluppo su cui le tecnologie digitali hanno (e avranno) un impatto radicale. La prima riguarda l'utilizzo dei dati, la potenza di calcolo e la connettività, e si declina in big data, open data, Internet of Things, machine-to-machine e cloud computing per la centralizzazione delle informazioni e la loro conservazione. La seconda è quella degli analytics: una volta raccolti i dati, bisogna ricavarne valore; oggi solo l'1% dei dati raccolti viene utilizzato dalle imprese, che potrebbero invece ottenere vantaggi a partire dal "machine learning", cioè macchine che perfezionano la loro resa "imparando" dai dati via via raccolti e analizzati. La terza direttrice di sviluppo è l'interazione tra uomo e macchina, che coinvolge le interfacce "touch", sempre più diffuse, e la realtà aumentata. Infine, c'è tutto il settore che si occupa del passaggio dal digitale al "reale" e che comprende la manifattura additiva, la stampa 3D, la robotica, le comunicazioni, le interazioni machine-to-machine e le nuove tecnologie per immagazzinare e utilizzare l'energia in modo mirato, razionalizzando i costi e ottimizzando le prestazioni. L'originalità di questa rivoluzione rispetto alle precedenti risiede nel fatto che non vi è un'invenzione predominante che la caratterizza: essa è il risultato scaturito dalla fusione di più tecnologie, in gran parte già esistenti, che applicate assieme portano a dar vita ad un nuovo modo di concepire gli attuali sistemi produttivi. In particolare, la codifica e la modifica delle pratiche nelle operazioni di produzione sono state rese tecnicamente fattibili ed economiche dalla forte riduzione del costo di immagazzinamento, trasmissione e manipolazione delle informazioni codificate. Le tecnologie ICT da un lato hanno facilitato la disintegrazione verticale tra produzione e progettazione, dall'altro hanno consentito maggiore flessibilità progettuale, che, grazie al flusso di dati real time proveniente dai sensori, fa sì che la progettazione possa adeguarsi velocemente alle criticità della produzione. Le ICTs hanno anche aumentato sia la facilità con cui le informazioni sul prodotto e la conoscenza codificata possono essere trasferite dal progettista al produttore, sia le informazioni e l'esperienza di produzione dal produttore al progettista. Di conseguenza, il potenziale vantaggio competitivo per le aziende di progettazione di prodotti derivante da un'effettiva padronanza dell'interfaccia tra progettazione e produzione sta diminuendo (Keith Pavitt, SPRU, 2002). Dato il potenziale impatto delle tecnologie citate, le aziende devono essere pronte a cogliere e gestire le opportunità offerte dall'Industria 4.0 e stanno cercando di capire quali sono le capacità tecnologiche necessarie da acquisire e come sfruttare quelle che hanno già a disposizione. Anche se molte aziende hanno adottato i progressi tecnologici e sperimentato i relativi benefici, la maggior parte della ricerca si è concentrata principalmente solo sulle relative dimensioni tecniche, trascurando la **dimensione organizzativa** delle modifiche introdotte. Senza considerare e indagare adeguatamente le implicazioni organizzative e gestionali dell'introduzione e dello sviluppo delle ICTs, manager e aziende rischiano di sopravvalutare le molteplici tecnologie digitali disponibili, i relativi tecnicismi e il potenziale imprevedibile, con un impatto negativo sulle decisioni aziendali relative all'adozione/ rifiuto, gestione e sviluppo di tecnologie nuove e attualmente fruibili. Un'altra sfida che le aziende dovranno affrontare riguarda la scelta relativa all'acquisizione o allo sviluppo (interno) della tecnologia prescelta. Infatti, dato che l'addestramento degli algoritmi richiede competenze diverse e la selezione di dati rilevanti, è più complesso adottare la decisione make-or-buy tradizionalmente affrontata dalle aziende quando investono in nuove tecnologie. Questa decisione potrebbe diventare più impegnativa

considerando che le aziende devono valutare gli effetti dirompenti della tecnologia sul proprio business e sul mercato prima di effettuare qualsiasi valutazione di opportunità e rischi. Pertanto, l'adozione della tecnologia potrebbe richiedere la riprogettazione di prodotti/processi, l'adozione di nuovi modelli di business, il cambiamento dei clienti abituali, ecc

## 1.2 La trasformazione digitale

La trasformazione digitale della produzione, spinta dall'avvento delle nuove tecnologie, può mitigare la complessità, l'incertezza e la volatilità che caratterizzano settori sempre più competitivi e digitalizzati, come il settore automotive, che sta affrontando grandi difficoltà a causa dei nuovi requisiti di prodotto e processo, che sono soggetti ad alti livelli di standardizzazione (su scala internazionale) in materia di sicurezza e qualità, sostenibilità ed efficienza. Le sfide della pandemia di COVID-19 hanno imposto ulteriori azioni da parte dei manager, aumentando la loro consapevolezza della necessità di accelerare la digitalizzazione e la trasformazione digitale, senza lasciarsi travolgere dagli attuali processi di cambiamento (Hanelt, Bohnsack, Marz, & Antunes Marante, 2020) [Vedi paragrafo successivo]. L'adozione delle tecnologie digitali non basta ad affrontare le difficoltà citate: per creare valore attraverso la digitalizzazione bisogna piuttosto concentrarsi sullo sviluppo di nuove pratiche organizzative, comprese pratiche di governance, approcci decisionali, risorse, attività, capacità e strategie che consentiranno la creazione di valore dalla digitalizzazione (Björkdahl, 2020). In questa tesi, **digitalizzazione** si riferisce alla massiva generazione e analisi dei dati attraverso l'adozione di tecnologie digitali (es. sensori, RFID, visione artificiale, interfacce uomo-macchina, software, piattaforma digitale) nel prodotto e nelle attività, in entrata e in uscita, per aumentare l'efficienza interna e/o migliorare le offerte per i clienti (Björkdahl, 2020). Gli investimenti nella digitalizzazione, più che ad innovare i processi, puntano a raggiungere una maggiore efficienza operativa, a miglioramenti significativi dei processi di produzione, riducendo difetti e rilavorazioni, minimizzando guasti alle apparecchiature e la durata dei fermi macchina, aumento del controllo delle scorte, trasparenza della catena di approvvigionamento, sicurezza, sostenibilità e, infine, riduzione dei costi di produzione (DR Sjödin, Parida, Leksell e Petrovic, 2018). Entrando nel dettaglio, l'efficienza operativa si raggiunge attraverso l'**innovazione di processo**, definita come "l'implementazione di nuovi metodi di produzione o consegna notevolmente migliorati. Questo include significativi cambiamenti nelle tecniche, nelle apparecchiature e/o nel software" (OCSE 2005, p. 9). Come indicato in precedenza, lo sforzo di digitalizzazione che devono affrontare le imprese si estende ben oltre l'introduzione delle tecnologie digitali, rendendo l'implementazione delle innovazioni dei processi digitali una sfida elettronica importante, dal momento in cui essa comporta conoscenza tacita, risoluzione di problemi complessi, apprendimento "trial and error" e cambiamenti sistemici in diversi componenti di un sistema di produzione (Sjödin et al., 2018; Trantoupolos et al. 2017). Essendo la digitalizzazione una grande sfida per il settore, che potrebbe rapidamente espellere dal mercato i players poco lungimiranti, diverse aziende manifatturiere stanno investendo nelle tecnologie digitali. In Italia, questo discorso è stato avviato dal ministero dell'Economia e Sviluppo Economico a fine 2016, che ha presentato un piano nazionale "Industria 4.0" la cui misura principale è stata quella di stimolare gli investimenti nella digitalizzazione del manifatturiero sotto forma di ammortamento ma anche nello sviluppo delle competenze e delle infrastrutture tecnologiche (MEF, MISE, MIUR, & ML, 2018). Per quanto l'investimento nelle tecnologie digitali sia economicamente fattibile, grazie a questi incentivi, la questione chiave non è l'adozione delle tecnologie digitali di per sé, ma come utilizzare intenzionalmente tali tecnologie per aumentare l'efficienza e quindi la competitività dell'azienda. In altre parole, la questione chiave è come le aziende possono generare valore dalle tecnologie digitali (Björkdahl, 2020; Martínez-Caro, Cegarra-Navarro e Alfonso-Ruiz, 2020).

### 1.2.1 Reazione anti-fragile delle imprese italiane

Il recente rapporto “L’importanza di un approccio ecosistemico alle iniziative di Industry 4.0: una fotografia del settore manifatturiero italiano”, realizzato da Deloitte su un campione di più di 850 dirigenti di aziende manifatturiere in 11 Paesi a livello mondiale (dall’Italia alla Francia, dalla Cina agli Usa), rivela che le aziende italiane hanno continuato a investire sull’industria 4.0, in molti casi giocando al rialzo. I dati riportano che più del 60% delle imprese italiane ha continuato ad investire, nonostante sgli sconvolgimenti legati alla pandemia da Covid-19, in progetti legati al paradigma della “smart factory”, dedicando più di un terzo del budget complessivo degli investimenti al digitale. Il dato importante, che certifica un maggiore livello di maturità rispetto ad altre aree geografiche, è quello relativo agli ambiti in cui tali investimenti si sono concentrati: automatizzazione di magazzini e centri di distribuzione (57%), uso di sensori in grado di rilevare la qualità di un prodotto/processo aziendale (53%) e prodotti smart e interconnessi grazie a tecnologie di Internet of Things (40%). Propensione agli investimenti digitali che è confermata anche dall’indagine sull’Industria 4.0 presentata da “The Innovation Group” e “ContactValue” in cui si segnala che, attualmente, l’81% delle aziende manifatturiere ha già qualche iniziativa digitale, mentre solo il 6% delle aziende manifatturiere non ha lanciato progetti per la modernizzazione e digitalizzazione delle attività produttive. Interessante è anche il quadro dei principali benefici percepiti dalle aziende intervistate che si sono già impegnate in questo sforzo verso la digitalizzazione, da cui è emerso: maggiore efficienza operativa (76% delle risposte), monitoraggio in tempo reale delle macchine (61%), ottimizzazione e incremento della capacità produttiva (61%) e possibilità di interagire da remoto (49%). Ancora poco percepito invece il ritorno economico dell’Industria 4.0: l’aumento della marginalità non arriva al 20% delle risposte, mentre il ritorno degli investimenti in tempi brevi si ferma al 22%. Molto interessante è il dato riportato dall’osservatorio “Market Watch Pmi di Banca Ifis”, che dimostra quanto il fenomeno in esame non investa in maniera esclusiva le grandi imprese: secondo le rilevazioni di Banca Ifis, infatti, il 52% delle PMI ha introdotto almeno un’innovazione di prodotto, di processo o organizzativa tra il 2020 e il 2021. L’indagine, realizzata tra Marzo e Aprile 2021 in collaborazione con “Format Research” su un campione rappresentativo di 1.800 imprese italiane, testimonia una dinamica in crescita per tutto il campione analizzato: la stima è di un aumento del 6% delle PMI che investiranno entro il 2023. Quanto agli utilizzi, sul podio si piazzano la dotazione di macchinari (54%), la formazione per aumentare le competenze del personale (38%) e le infrastrutture digitali (26%). Le aree in cui le pmi prevedono i maggiori investimenti nell’arco del prossimo biennio sono la digitalizzazione dei processi (34%) e la sostenibilità (32%).

## 2. SCOPO E DOMANDA DI RICERCA

Le tecnologie abilitanti, che costituiscono l'ossatura di Industria 4.0, richiedono dunque diverse competenze specialistiche: ci vorranno ingegneri in grado di padroneggiare l'Intelligenza Artificiale, il Machine Learning, l'Analisi dei Big Data; tecnici che sappiano interagire con i Robot Collaborativi, con gli strumenti della Realtà Virtuale e della Realtà Aumentata, con la diffusione dell'IoT; operatori capaci di utilizzare al meglio il Cloud e sensibili al tema della Cyber-Security. Tutto questo però non basta per delineare i profili professionali adatti ad affrontare le sfide del cambiamento. Ci vorranno sempre più competenze trasversali, attitudini, polivalenti e flessibilità per seguire l'evoluzione dei processi e dei mercati. Una caratteristica essenziale, a tutti i livelli lavorativi, è identificata dalla parola **collaborazione**: l'industria del futuro abbandonerà le architetture gerarchiche per organizzarsi secondo strutture agili e collaborative, in grado di sfruttare al meglio le potenzialità offerte dalla digitalizzazione e dalla connettività. E non sarà solo questione di strutture: nel nuovo scenario produttivo, la collaborazione e la corresponsabilità saranno delle priorità in tutti i profili professionali; più in generale, diventeranno fondamentali le capacità 'relazionali' e l'abilità nello svolgere attività interattive. A ciò si aggiungerà l'importanza crescente - come segnalano i recenti studi di David H. Autor, economista del MIT - delle attività 'non routinarie', quelle che non potranno essere delegate alle macchine, neppure a quelle più sofisticate, molte delle quali richiedono competenze analitiche e di gestione dei dati come capacità decisionali sui big data. Da queste considerazioni nasce il punto di partenza di questo lavoro di tesi: il paradigma tecnologico di Industria 4.0 sta cambiando gli approcci di collaborazione tra fornitori e produttori, da qui l'esigenza di individuarne quelli più conformi al contesto, alla natura del business e della tecnologia. La tesi, a tal proposito, mira a indagare i sistemi di governance e il set di competenze più adatti a sfruttare al meglio le nuove tecnologie di Industria 4.0, al fine di migliorare le performance di costo aziendali. In particolare, l'obiettivo è analizzare come le due forme di tecnologie digitali, tecnologie di interfaccia fisico-digitale e tecnologie di rete, abilitano e richiedono pratiche di governance differenti tra partner tecnologici e produttori per trarre vantaggi per questi ultimi. L'obiettivo della tesi è, infatti, quello di esplorare come le tecnologie digitali consentono e richiedono modifiche agli approcci decisionali e alle pratiche di governance, e quali competenze richiedono al produttore di internalizzare al fine di aumentare l'efficienza delle aziende manifatturiere.

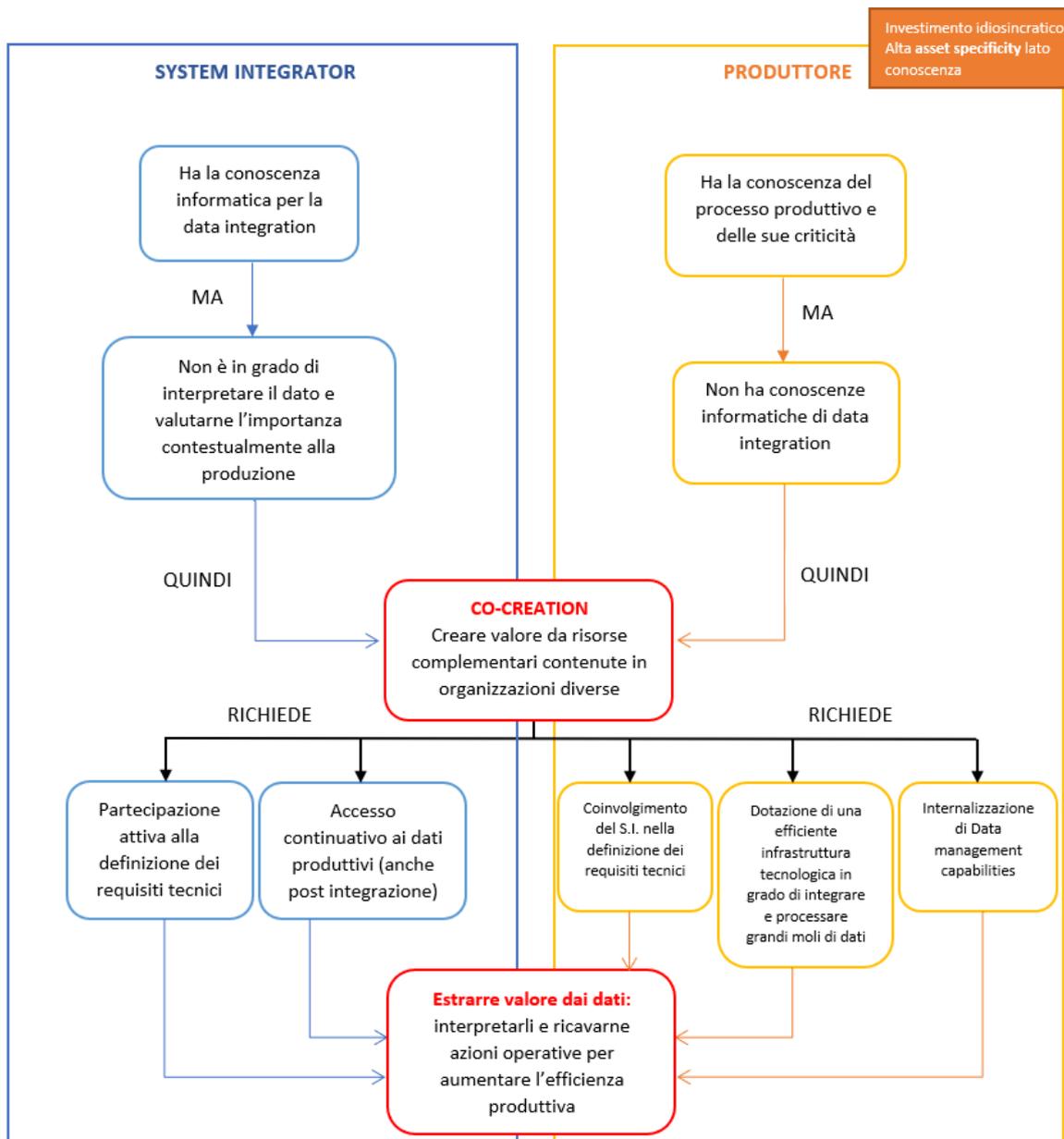
Pertanto, la domanda di ricerca di questo lavoro di tesi è la seguente:

*Quali pratiche di governance (transazionali vs relazionali) tra fornitori di tecnologia e aziende manifatturiere riducono l'incertezza interpretativa derivante dalle diverse forme di tecnologie digitali per trarre benefici che aumentano le prestazioni di costo dei produttori?*

In particolare, il focus è su 2 delle pratiche di governance relazionale nelle relazioni B2B: la co-creation e la relazione continua. La co-creation consente al partner tecnologico di conoscere le esigenze specifiche e definire meglio i requisiti di progettazione idiosincratici, con beneficio immediato per un'azienda manifatturiera in termini di chiarezza dei propri flussi di dati. Le collaborazioni a lungo termine consentono lo sviluppo della fiducia, il che è rilevante considerando che man mano che l'implementazione tecnologica si sviluppa, i partner possono fornire servizi di consulenza basati sulla condivisione dei dati (Susan Helper et al., 2019). Tra i vari partner tecnologici questa tesi si concentra sugli integratori di sistema, partner preziosi per le aziende manifatturiere in quanto possono rappresentare un unico punto di contatto e quindi sviluppare profonde collaborazioni con le stesse (Barbosa, Salerno, & Pereira, 2019; Lorenz et al., 2020) in accordo sia con la teoria dei costi di transazione (TCE) che con la Knowledge Based View (KBV). I primi sostengono che ogni volta che si verifica un costo di transazione di scambio,

le parti dovrebbero disciplinare la relazione in modo tale che tali costi di transazione siano ridotti al minimo. KBV adotta una prospettiva diversa riguardo allo scopo delle collaborazioni: essa sostiene che mantenere i costi di transazione il più bassi possibile con i meccanismi di governance è inutile a meno che le aziende non possano scambiare e integrare tecnologia e conoscenza durante la transazione. In questo lavoro di tesi, indichiamo con il termine *governance relazionale* quella forma di governo caratterizzata sia da co-creation che da collaborazione continua. Per rendere efficace la digitalizzazione, molte aziende manifatturiere si stanno affidando a poche e selezionate fonti di conoscenza e tecnologia esterne quando si concentrano su innovazioni di processo, poiché questo facilita lo scambio di conoscenza tacita e la sua ricombinazione con la conoscenza tecnologica (Lorenz et al., 2020; Terjesen & Patel, 2017; Trantopoulos et al., 2017). In particolare, data la loro capacità di combinare e integrare diverse tecnologie basate su elementi tecnologici hardware e software e di fornire dati di impianto e connettività di rete (Kahle, Marcon, Ghezzi, & Frank, 2020), i System Integrator (S.I) sono una soluzione sempre più ricercata dalle aziende del settore manifatturiero. L'implementazione delle tecnologie digitali è un'operazione dispendiosa a causa di conoscenze altamente specializzate che devono essere integrate, per cui ridurre l'incertezza interpretativa nella relazione diadica con il System integrator è essenziale per garantire la corretta implementazione di progetti industriali nel settore B2B. Mentre l'attuale letteratura discute dell'evoluzione delle pratiche di governance principalmente utilizzando una prospettiva basata sul tempo, la tesi farà leva sulle caratteristiche della tecnologia, come propone nei suoi studi Sjödin (2019). Nonostante i benefici che i System Integrator apportano alle aziende manifatturiere nel loro processo di digitalizzazione della produzione, rimane aperto un tema importante, che la tesi si propone di approfondire: se i S.I garantiscono un'efficace data integration al produttore, che non avrebbe le competenze informatico-architetturali per affrontarla, egli non è in grado di interpretare il dato, di per sé grezzo, e valutarne l'importanza in funzione della specifica produzione, cioè interpretarlo per trarne vantaggi operativi e creare valore; d'altro canto, poiché come sottolineato il produttore non ha competenze informatiche, non sarebbe in grado di leggere e interpretare in maniera immediata i dati provenienti dalle macchine senza il contributo del S.I, oltre a dover internalizzare competenze di Data Management che nel lungo periodo permetteranno di estrarre sempre più valore dai dati: l'ipotesi supportata dalla tesi è quella che ci sia bisogno di instaurare una **relazione collaborativa continua** tra i due attori. Infatti, nel contesto della digitalizzazione, competenze produttive e elaborazione delle informazioni sono complementari ma appartenenti a organizzazioni diverse; in particolare, mentre le tecnologie di integrazione e raccolta dati sono general purpose, la capacità di interpretare i dati è altamente idiosincratICA rispetto al processo produttivo, per cui rifacendoci alla Teoria dei Costi di Transazione (TCE) tale relazione, essendo idiosincratICA, non può essere gestita utilizzando il mercato, né essere interamente internalizzata, bensì risulta necessario stabilire una governance relazionale basata su un contratto di lungo periodo, con sviluppo di competenze interne da parte del produttore. Instaurare la relazione collaborativa teorizzata non è semplice, non solo per questione tecniche e "organizzative" (date le criticità che le relazioni inter-organizzative portano con sé), ma anche a causa di una resistenza da parte delle software house, che svolgono il ruolo di integratori di sistemi. C'è infatti un conflitto di base: il System integrator ha tutto l'interesse a proporre all'impresa manifatturiera un prodotto/sistema standard, una soluzione "di mercato", che gli garantisca economie di scala andando ad offrire uno stesso servizio a tante imprese diverse (fenomeno diffuso fino ad oggi); dall'altro lato, adattarsi ad una soluzione standard non è efficiente, data la specificità del proprio processo produttivo. Lato produttore si tratta, quindi, di una relazione altamente idiosincratICA per cui, in accordo con la teoria dei costi di transazione, essa non può essere gestita attraverso una governance di mercato, bensì attraverso una governance relazionale. Le nuove tecnologie digitali di Industria 4.0, dato il significativo livello di personalizzazione necessario per adattarle a sistemi e processi già presenti

nelle aziende a causa delle specificità che verranno trattate successivamente in questa tesi, stanno inasprando questa problematica lato produttore, rendendo sempre più complesso e specifico il precesso produttivo delle aziende, legittimando le richieste di queste ultime e “costringendo” le software house ad impegnarsi in questo tipo di relazioni, a discapito del mercato. Di seguito, la rappresentazione del framework riassuntivo della natura e dello scopo della tesi.



**Fig. 1: Framework dello scopo di ricerca**

La TCE ci dice che ogni volta che c'è un rapporto di scambio tra due parti, ci sono costi di transazione costituiti da spese che si verificano ex ante (ricerca di partner, la negoziazione dei costi, scrittura di contratti) ed ex post (far rispettare i contratti, monitorare le prestazioni, rinegoziazione ecc). In particolare, i costi di transazione, chiamati anche costi di governo, derivano da tre principali fattori transazionali: specificità dell'asset, incertezza e frequenza delle interazioni (Williamson, 1995). Analizzando con la lente TCE il framework dello scopo di ricerca in Fig.1, è facile notare la presenza di tutti e tre i fattori: mentre le tecnologie implementate dal S.I. sono general purpose, l'asset specificity in questa relazione è presente lato conoscenza, dal momento in cui il produttore dovrà effettuare investimenti idiosincratici per acquisire competenze di data management che gli permettano di interpretare i dati e prendere decisioni sulla base della

sua specifica (e unica) produzione; l'incertezza, sia interpretativa che comportamentale, è insita in qualsiasi rapporto fornitore-cliente (vedi capitolo 4) a causa di errata comprensione dei requisiti di progettazione idiosincratici, della mancanza di condivisione del giusto grado di conoscenza e della distanza tra i contesti (culturali, sociali, produttivi ecc) delle due parti, a cui si aggiunge l'incertezza tecnologica che si traduce sia in elevati costi di transazione che in costi di produzione a causa della differenza tra la progettazione del prodotto e la producibilità con successivi ritardi e rilavorazioni; frequenza delle interazioni, che impatta sulla fiducia, sull'opportunità e sulla condivisione di conoscenza e risorse, necessari per un rapporto che prevede continuità anche dopo la data integration, come quello teorizzato.

L'obiettivo di TCE è ridurre al minimo tali costi di transazione (derivanti da queste fonti) scegliendo il meccanismo di governance ottimo dal punto di vista dell'efficienza della catena di approvvigionamento (Ketokivi & Mahoney, 2020). In particolare, nel settore automobilistico, i fornitori sono più disposti a portare a nuove idee di riduzione dei costi dall'analisi del valore e dall'ingegneria del valore se i costi di transazione sono mantenuti bassi dai meccanismi di governance (Dyer, 1997). Data la necessità di investimenti idiosincratici lato conoscenza per il produttore, legati all'asset specificity del suo impianto, la necessità di un coinvolgimento del System Integrator sia attivo, nella definizione dei requisiti, che continuativo, monitoraggio e gestione dell'infrastruttura anche post integrazione, la TCE suggerisce una relazione basata su governance relazionale. La governance relazionale, infatti, implica una forma di "quasi integrazione", cioè una struttura di governance che indica una relazione stabile e a lungo termine e un'elevata dipendenza sia del fornitore che del cliente per le prestazioni aziendali, mentre le dimensioni del processo implicano sia norme relazionali volte alla collaborazione che fiducia (Artz & Brush, 2000), per aumentare l'incentivo dei fornitori a investire in miglioramenti delle prestazioni di costo (Helper et al., 2014).

Sulla base di quanto detto, la domanda di ricerca può essere scomposta nei due punti seguenti:  
*Chi sono i System Integrator? Quale forma di governance dovrebbe instaurare un'azienda manifatturiera con un System Integrator al fine di trarre benefici, in termini di performance operative, dalla digitalizzazione della produzione?*

*Quali competenze dovrà internalizzare l'azienda manifatturiera nella sua relazione con il System Integrator per massimizzare i benefici della stessa e migliorare le prestazioni di costo?*

Questo lavoro di tesi presenta, dapprima, una rassegna di letteratura sull'integrazione di sistema, sull'integrazione di filiera e sui meccanismi di governance nelle relazioni inter-organizzative B2B, per poi fare un focus sulla figura dei System Integrator e passare in rassegna le specificità delle nuove tecnologie digitali e delle competenze richieste dalle stesse; infine, dopo aver chiarito le ipotesi della ricerca, la tesi va ad analizzare i risultati di un'analisi quantitativa effettuata a partire da un database di più di 200 aziende automotive italiane e americane, al fine di indagare i risultati delle diverse modalità di collaborazione fra imprese e system integrators, cercando di dare un contributo all'attuale letteratura.

### 3. INTEGRAZIONE DI SISTEMI

Systems Integration (SI) implica la composizione efficiente di componenti/sottosistemi in un insieme che offre la funzionalità richiesta e raggiunge obiettivi specifici (NASA, 2010; Madni, 2012). Man mano che i sistemi continuano a crescere in scala e complessità e aumenta la necessità di adattabilità del sistema (Madni, 2012; Vuletid et al., 2005), l'integrazione di sistemi (SI) diventa una proposta sempre più sfidante (Neches e Madni, 2012). Oggi, i sistemi più grandi sono spesso composti da un insieme di soluzioni uniche che in genere si traducono in strutture altamente personalizzate e inflessibili. Inoltre, il processo di integrazione tende a essere inefficiente e poco flessibile, soprattutto quando sono necessari software e hardware personalizzati per ciascuna interfaccia. Alcuni sistemi impiegano livelli di integrazione per generalizzare il processo di integrazione e garantire flessibilità per future estensioni. Un livello di integrazione è un endpoint o un'interfaccia tra i componenti del sistema. Ad esempio, i livelli di integrazione possono essere implementati come servizi Web, J2EE, Internet Inter-ORB Protocol o con qualsiasi tecnica simile che supporti più protocolli. L'integrazione di sistema (SI) si occupa di formare un insieme coerente da sottosistemi di componenti (compresi gli esseri umani) per creare una capacità di missione che soddisfi le esigenze delle varie parti interessate. I componenti, una volta sviluppati, vengono integrati e infine testati nell'ambiente di distribuzione (Madni, Sievers, 2012). L'IS rimane in gran parte un processo ad hoc che ruota principalmente attorno alle esigenze degli stakeholder, alle tecnologie coinvolte e ai vincoli legacy (Madni, 2012). Ad esempio, i vincoli di costo e di pianificazione spesso entrano in conflitto con la necessità di condurre test approfonditi ad un determinato livello di integrazione prima di passare al livello successivo. Di conseguenza, i problemi di livello inferiore si propagano nella gerarchia di integrazione dove diventano più difficili e costosi da isolare e correggere. Nello specifico, è il livello di integrazione che costituisce la base della comunicazione tra le applicazioni, piuttosto che le applicazioni che comunicano direttamente tramite interfacce personalizzate. A questo proposito, i progettisti devono valutare fattori quali la quantità di dati da condividere e la velocità con cui devono essere spostati, quindi decidere quale livello di integrazione soddisfa meglio le esigenze e quali protocolli sono più adatti a ciascun percorso di comunicazione. Il servizio che fornisce l'integrazione e gli elementi che comunicano attraverso di esso sono assemblati da sotto elementi e testati per garantire che esista la funzionalità prevista e che le interfacce funzionino come richiesto. Poiché l'integrazione a strati fa uso di servizi e protocolli standard, ben testati e convalidati, la quantità e il tipo di test eseguiti è significativamente ridotto.

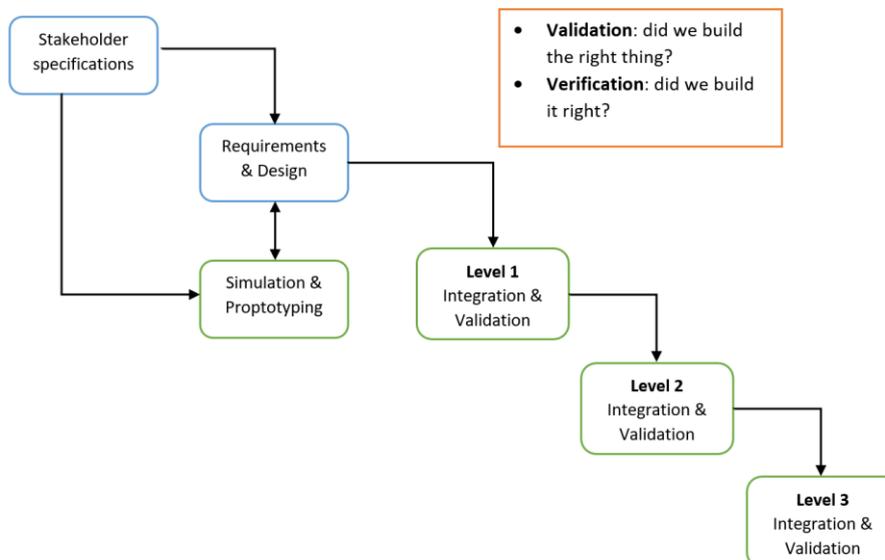


Fig. 2: Livelli di integrazione

Un'altra forma di SI è integrazione plug-and-play (PnP): in questa forma di integrazione, gli elementi vengono aggiunti man mano che diventano disponibili e quindi vengono integrati in un sistema. Il PnP richiede che il sistema e gli elementi che vi si collegano abbiano una policy concordata che consenta al sistema di riconoscere un nuovo elemento quando arriva e di disporre del tessuto software necessario per incorporare quell'elemento. Sebbene il modo in cui avviene l'integrazione differisca in qualche modo dal classico flowdown, è ancora una volta necessario sviluppare e testare la capacità PnP in termini di soddisfazione della funzionalità del sottosistema richiesta (Abel, Kilby & Davis, 2007). Lo sviluppo e il processo di implementazione nelle organizzazioni dei sistemi informativi automatizzati troppo spesso, ancora oggi, non parte dalle caratteristiche intrinseche dell'azienda, cioè non parte studiando le esigenze e le personalizzazioni necessarie al sistema, bensì si opta per soluzioni market-oriented, acquistando un sistema esterno, già sviluppato in maniera standard, ovvero un sistema già presente sul mercato, implementato su altre aziende o su condizioni totalmente standardizzate. Questa modalità era altamente diffusa quando ancora i sistemi informativi automatizzati e le tecnologie informatiche non erano così avanzate e diffuse nelle organizzazioni e sul mercato in generale, e viene definita da Francesconi "Best of Breed" (Francesconi A., 2011) ovvero "il meglio della razza", in quanto le aziende, anche se non implementavano su misura i sistemi informativi automatizzati, cercavano di acquisire il migliore presente sul mercato per poter essere più competitive possibili. Tuttavia, questo meccanismo di implementazione ha grandi lacune e difetti in quanto le organizzazioni si trovano ad avere, per diversi processi e aree funzionali aziendali, tanti sistemi automatizzati tra loro, anche spesso molto eterogenei e per niente integrabili, in quanto ogni sistema doveva essere alimentato autonomamente. L'integrazione è un obiettivo non sempre semplice da perseguire in quanto gli elementi che devono essere integrati tra loro sono molteplici. Ne deriva il fatto che l'integrazione non avviene mai in maniera standard e statica in tutte le aziende, ma che anzi sia necessario perseguire diverse tipologie di integrazione all'interno di una stessa azienda (Mertens, Bodendorf, Carignani, D'Atri, De Marco, König, Picot, Rajola, Rossignoli, Schumann, 2004). Quella su cui si focalizza questo lavoro di tesi è l'**integrazione dei dispositivi**: questa tipologia di integrazione riguarda i componenti materiali dei sistemi informativi, come ad esempio gli hardware e gli strumenti tecnici. Questi devono essere tra loro collegati e integrati in maniera logica per coprire ogni area aziendale (es. architettura Client-Server).

### 3.1. Architettura Software

Storicamente, l'integrazione è un processo gerarchico in cui la struttura definisce le influenze che si applicano a uno specifico livello di integrazione. Cioè, i componenti sono strutturati a un livello particolare e quindi al livello superiore. Nella SI, i sottoelementi sono generalmente progettati per avere comunicazioni e semantica compatibili. La chiave è verificare che questi sottoelementi implementino correttamente i loro contratti di interfaccia. Altre opzioni per SI includono l'integrazione continua (integrazione build) e l'integrazione plug-and-play (Madni, Sievers, 2012). Nell'integrazione continua (CI), i membri di un team inviano i propri input a un processo di compilazione spesso automatizzato. CI è più spesso associata alle versioni software, ma potrebbe applicarsi anche a hardware riprogrammabili. Dopo che ogni nuova versione è stata creata, viene sottoposta a test che assicurano che tutte le funzioni precedenti funzionino ancora (test di regressione) e che tutte le nuove funzionalità siano implementate correttamente. SI può potenzialmente seguire una serie di percorsi che si adattano alle specifiche del sistema da integrare, alle parti interessate coinvolte e alle pratiche convenzionali all'interno di un'industria. Ad esempio, l'integrazione plug-and-play (PnP) richiede che gli elementi del sistema aderiscano a una serie di regole che consentono a un sistema di identificare gli elementi e il software necessario per la comunicazione. PnP richiede una struttura in cui gli agenti o le capacità equivalenti vengono distribuiti e gestiti man mano che gli elementi vengono aggiunti o rimossi.

Allo stesso modo, i livelli di integrazione implicano un'altra struttura che ha un insieme definito di servizi e protocolli. La base essenziale dell'Architettura Software, così intesa, è la preoccupazione per l'assemblaggio dei componenti, le cui proprietà sono in gran parte date. Quindi, un architetto del software quali un System Integrator (che funge da traduttore tra i concetti del dominio del problema del cliente e i concetti del dominio della soluzione del programmatore) si occupa dei problemi di derivazione delle proprietà complessive del sistema software da quelle dei componenti e delle questioni di compatibilità tra i componenti con il sistema software nel suo complesso (Ortega-Arjona, 2001). Bass, Clements e Kazman (1998) sembrano proporre l'approccio più chiaro all'architettura del software qui espresso, offrendo una definizione formale che si basa sui seguenti punti: [1] si tratta di sistemi software, che hanno alcune caratteristiche in comune, [2] tutti i componenti software di tali sistemi software hanno "integrità", nel senso che contribuiscono a un unico scopo e producono un insieme richiesto di output da determinati input, [3] tali sistemi software sono grandi in termini di numero di componenti software, costo e altri criteri affini, e [4] sono artefatti creati da una prospettiva aziendale, nel senso che sono interamente o ampiamente sviluppati come risultato di un ciclo economico, che include l'influenza umana.

### 3.2. Interoperabilità dei sistemi: una questione trasversale

Un sistema è raramente un'entità totalmente autonoma. In genere, i sistemi forniscono servizi agli utenti che potrebbero avere connessioni dirette, o indirettamente tramite altri sistemi. Il processo SI deve accogliere queste influenze e risorse esterne attraverso la progettazione del sistema e i meccanismi di integrazione selezionati. A questo proposito, l'interoperabilità guida le risorse di integrazione, le influenze esterne, la struttura e i meccanismi identificati nell'ontologia SI. **Interoperabilità** è la capacità di sistemi distinti di condividere informazioni semanticamente compatibili, cioè elaborare e gestire tali informazioni in modi semanticamente compatibili, consentendo agli utenti di svolgere attività specifiche (Ziegler e Mittal, 2008). L'interoperabilità si applica a sistemi disparati che non sono stati originariamente progettati pensando all'interoperabilità. È quindi una preoccupazione trasversale che si basa su accordi su etichette concettuali e sul fatto che una particolare "etichetta" significhi o meno la stessa cosa o cose diverse. Pertanto, l'interoperabilità va oltre lo scopo di un singolo sforzo di sviluppo del sistema, o organizzazione (Naudet et al., 2010). Pertanto, l'interoperabilità è più che far comunicare i sistemi tra loro. Richiede che le organizzazioni coinvolte utilizzino semantiche compatibili e interpretazioni comuni delle informazioni che scambiano, cercando di abbattere, in una relazione diadica in cui macchine e sistemi sono interconnessi tra loro, l'incertezza interpretativa tra fornitore e cliente. L'interoperabilità si ottiene in due modi: può essere progettata all'inizio del sistema oppure può essere adattata a un sistema esistente. Chiaramente, progettare l'interoperabilità in un sistema è più efficace, più facile e meno costoso, data la natura trasversale dell'interoperabilità. Tuttavia, la necessità di interoperabilità non è sempre evidente quando un sistema è progettato, il che porta alla necessità di raggiungere l'interoperabilità a posteriori. Sebbene possa essere utile adattare l'interoperabilità in questo modo, comporta uno sforzo enorme. La natura trasversale dell'interoperabilità richiede che venga introdotta in diversi aspetti di un sistema (ad es. interfacce esterne, interfaccia utente, uso di standard e protocolli di comunicazione, elaborazione interna, politiche e procedure per la gestione dei dati, privilegi di accesso ai dati). Indagare, ed eventualmente modificare, questi aspetti di un sistema esistente per renderlo interoperabile richiede in genere uno sforzo notevole. L'interoperabilità offre una serie di vantaggi, tra cui: (a) maggiore flessibilità, consentendo la miscelazione e l'abbinamento dei sistemi; (b) creazione di nuova capacità, componendo nuove funzioni da quelle esistenti; e (c) maggiore redditività, consentendo il riutilizzo di sistemi e capacità esistenti (Rothenberg, 2008). Allo stesso modo, l'interoperabilità può ridurre il costo della creazione di nuove funzionalità

consentendo il riutilizzo dei sistemi esistenti in più modi per molteplici scopi e, inoltre, un vantaggio inatteso dell'interoperabilità è che nasconde agli utenti la “complessità complessiva” del sistema, creando l'illusione di un sistema integrato (Rothenberg, 2008). L'interoperabilità viene solitamente realizzata attraverso un'interfaccia utente comune, una semantica uniforme e politiche e procedure uniformi. L'interoperabilità presenta anche alcuni svantaggi derivanti dall'aumento della complessità tecnica e dalla progettazione di sistemi "aperti" (Rothenberg, 2008). In particolare, quando i sistemi vengono resi interoperabili, sorgono problemi di privacy e sicurezza. Per quanto importante, i costi possono aumentare dal dover rendere i sistemi interoperabili. Infine, l'interoperabilità aggiunge complessità tecnica alla progettazione del sistema in quanto sono ora imposti nuovi requisiti di interoperabilità che il progettista deve soddisfare.

### 3.3. Sistemi integrati e Industria 4.0

I sistemi integrati sono sistemi informativi automatizzati totalmente centralizzati, cioè sistemi che comprendono al loro interno tanti moduli processuali che possono essere integrati tra loro e implementati nelle organizzazioni a seconda delle esigenze specifiche. Questi sistemi vengono normalmente chiamati ES, *Enterprise System*, e rappresentano la prima fase dei sistemi automatizzati integrati, in quanto sono stati i primi strumenti informatici in grado di consentire un minimo di integrazione nelle aziende. Facendo riferimento a sistemi integrati nel contesto Industry 4.0, il primo punto da sottolineare è che non esistono macchine 4.0, esistono macchine, impianti e dispositivi che sono predisposti tecnologicamente e possiedono quanto necessario per poter essere introdotti in un ambiente 4.0; ambiente in cui importante è la presenza di beni immateriali intangibili, in un contesto dove il “digital backbone”<sup>(1)</sup> consente di trarre il massimo vantaggio dall'interoperabilità di tutti i fattori produttivi e dallo sfruttamento in tempo reale dei dati. Data la centralità del dato, esso si configura come fattore differenziale di creazione del valore, unitamente alla struttura informativa necessaria alla gestione di quello che viene chiamato “l'ecosistema digitale esteso”, che diventa l'essenza stessa del sistema, in sostituzione al reparto produttivo. Due sono i requisiti che legano i sistemi integrati ad Industria 4.0:

1. L'**interconnessione** ai sistemi informatici di fabbrica, con caricamento da remoto di istruzioni e/o part program, è soddisfatta se il bene scambia informazioni con sistemi interni, quali il sistema gestionale, i sistemi di pianificazione, quelli di progettazione e sviluppo del prodotto, di monitoraggio, anche in remoto, e di controllo o con altre macchine dello stabilimento, il tutto per mezzo di un collegamento basato su specifiche documentate, disponibili pubblicamente e internazionalmente riconosciute (TCPIP, HTTP, MQTT, ecc.). Inoltre, il bene deve essere identificato univocamente, al fine di individuare l'origine delle informazioni, mediante l'utilizzo di standard di indirizzamento internazionalmente riconosciuti (ad es. indirizzo IP).
2. L'**integrazione automatizzata** con il sistema logistico della fabbrica o con la rete di fornitura e/o con altre macchine del ciclo produttivo, che specifica che la macchina/impianto debba essere integrata in una delle seguenti opzioni:
  - Con il sistema logistico della fabbrica: in questo caso si può intendere sia un'integrazione fisica (macchina/impianto asservita o in input o in output da un sistema di movimentazione/handling automatizzato o semiautomatizzato che sia a sua volta integrato con un altro elemento della fabbrica, ad es. un magazzino)

---

<sup>1</sup> Livello di comunicazione distribuito, “spina dorsale digitale” dell'automazione della produzione scalabile, in particolare in ambienti con un'elevata diversità di apparecchiature insieme a una varietà di sistemi distribuiti.

sia informativa (tracciabilità dei prodotti/lotti realizzati mediante appositi sistemi di tracciamento automatizzati, es. RFID).

- Con la rete di fornitura: in questo caso si intende che la macchina/impianto sia in grado di scambiare dati (ad es. gestione degli ordini, dei lotti, delle date di consegna, ecc.) con altre macchine o, più in generale, con i sistemi informativi della rete di fornitura nella quale questa è inserita. Per rete di fornitura si deve intendere sia un fornitore a monte che un cliente a valle.
- Con altre macchine del ciclo produttivo: in questo caso si intende che la macchina in oggetto sia integrata in una logica di integrazione e comunicazione M2M con un'altra macchina/impianto a monte e/o a valle (si richiama l'attenzione sul fatto che si parla di integrazione informativa, cioè scambio di dati o segnali, e non logistica).

Tali requisiti impongono la necessità della presenza di ulteriori asset esterni, materiali e immateriali, che abilitino il bene, inserito nel contesto produttivo, a realizzare un massiccio scambio di informazioni. Un ruolo centrale nell'architettura del sistema 4.0 è certamente assunto dai **sistemi MES** (acronimo di **Manufacturing Execution System**), quali elementi pivot di raccordo tra l'ambiente produttivo a valle (shop floor) e i sistemi gestionali a monte di tipo ERP.

### 3.3.1. Sistemi interconnessi: gli IIS

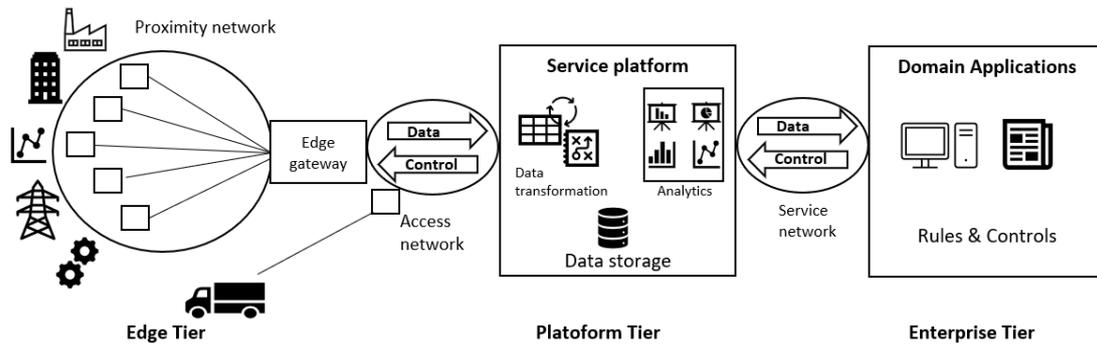
Al giorno d'oggi, ci sono molti sistemi industriali distribuiti che sono interconnessi (M2M) e combinano sensori, attuatori, componenti logici e reti per consentire loro di interconnettersi e funzionare. Gli **Internet Industrial Systems (IIS)** forniscono dati operativi, tramite sensori, ai sistemi di back-end aziendali per l'elaborazione avanzata dei dati, analisi storiche e predittive basate su cloud. I servizi cloud avanzati guideranno sempre più processi decisionali ottimizzati e garantiranno efficienza operativa, facilitando la collaborazione tra sistemi di controllo industriale autonomi. Per realizzare questi obiettivi, gli IIS richiedono un framework architetturale basato su standard, aperto e ampiamente applicabile. Fornendo un'architettura di riferimento, l'IIC (*Industrial Internet Consortium*) ha fornito i mezzi per accelerare la diffusione degli IIS, utilizzando un framework che può essere implementato con elementi costitutivi interoperabili e intercambiabili.

### 3.3.2. Topologia architettonica

L'IIC possiede convertitori di media gateway nelle aree di confine per convertire e tradurre protocolli e tecnologie eterogenei. Inoltre, dispone di una topologia di archiviazione multilivello in grado di supportare un modello di livello di prestazioni, livello di capacità e livello di archivio correlato rispettivamente a Fog e Cloud. Inoltre, l'architettura supporta anche la connettività diretta edge-to-cloud (Fog) e una topologia di analisi distribuita (Cloud). Un sistema IIoT (**Industrial Internet of Things**) è costituito da una topologia a tre livelli:

1. Il livello **Edge** è il luogo in cui i dati di tutti i nodi finali vengono raccolti, aggregati e trasmessi sulla rete di prossimità a un gateway di confine, dispositivi I/O remoti o convertitori di protocollo. Il livello Edge contiene le funzioni per il dominio di controllo.
2. Il livello **piattaforma** riceve i dati dal livello Edge sulla rete di accesso ed è responsabile della trasformazione e dell'elaborazione dei dati, oltre ad essere responsabile della gestione dei dati di controllo che fluiscono nella direzione opposta, ad esempio dall'azienda ai livelli Edge.
3. Il livello **aziendale** implementa l'applicazione e la logica di business per i sistemi di supporto alle decisioni e interfacce utente finale, ad esempio per gli specialisti delle

operazioni. Questo livello ospita la maggior parte delle funzioni dell'applicazione e del dominio aziendale. (4)



**Fig. 3: Topologia architetturale IIoT**

### 3.3.3. Comunicazione e connettività

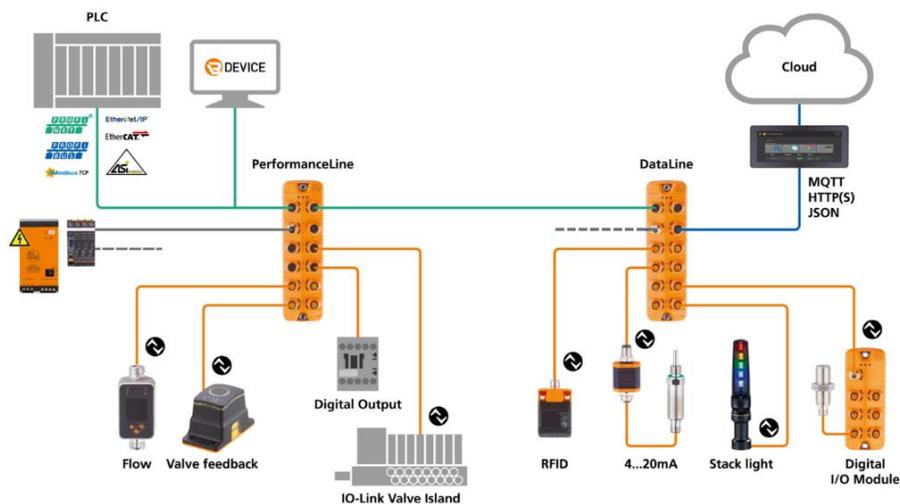
La **comunicazione** è fondamentale per una SI di successo ma anche alla radice del suo fallimento. Usiamo il termine "comunicazione" in senso lato per indicare il trasporto di informazioni tra sistemi e all'interno di un sistema, nonché le interazioni tra le parti interessate del sistema (Madni, Sievers, 2012). La comunicazione tra sistemi è facilitata da linguaggi di comando, definiti come mezzi per specificare le operazioni da eseguire (per completezza, notiamo che un linguaggio di comando potrebbe essere procedurale, specificando le operazioni da eseguire, o non procedurale, specificando i dati da consegnare). In molte aree industriali, non esiste un equivalente di uno standard di linguaggio di comando come SQL per la gestione dei dati e i linguaggi di comando tendono ad essere essenzialmente specifici di un sistema software. I formati per il comando e il trasferimento dei dati presentano problemi simili (Abel, Kilby & Davis, 2007). Significative sono anche le tipologie di comunicazione dati supportate dal componente. Un modulo semplice è l'esportazione e l'importazione, in cui i dati vengono copiati da un componente all'altro, tramite trasferimento di file, pipe UNIX, chiamate di procedure remote e così via. Questo modulo è tipicamente orientato al trasferimento di insiemi di dati, piuttosto che a singoli oggetti o proprietà. Una seconda forma è l'accesso diretto, tramite l'uso di un archivio dati persistente accessibile direttamente da più componenti, o tramite la memoria condivisa. Inoltre, in un sistema integrato un certo numero di entità controllate separatamente, ognuno con la propria struttura di controllo, si uniscono per fornire un risultato e l'accordo comune viene raggiunto solo tramite negoziazione e persuasione. Questo ci permette di capire quanto l'importanza della fiducia e della riservatezza sia fondamentale per un'efficiente comunicazione (Siemieniuch e Sinclair, 2000). In breve, senza fiducia in altri agenti e fiducia nella loro integrità e capacità di mantenere riservate le informazioni riservate, ci sarà poca o nessuna comunicazione, per quanto buona possa essere l'infrastruttura di comunicazione. E le comunicazioni, ai quattro livelli di transazioni, gestione delle operazioni, politiche e questioni strategiche, sono necessarie per garantire gli accordi di cooperazione necessari affinché un sistema federato funzioni bene. (Siemieniucha, Sinclair, 2005). La scelta della tecnologia di comunicazione influenzerà direttamente il costo, l'affidabilità e le prestazioni del sistema di interconnessione dei dispositivi. Tuttavia, poiché i progettisti di sistemi possono distribuire i dispositivi in così tanti modi, nessuna tecnologia è adatta a tutti gli scenari: non esiste una taglia adatta a tutti. Il modo in cui colleghiamo gli endpoint, come sensori e attuatori, all'interno dell'IIS può essere un problema semplice o estremamente complesso. Se è presente una connettività LAN locale come un bus di campo, Ethernet o Wi-Fi, è probabile che i problemi vengano risolti prontamente. Tuttavia, è un'altra questione quando si collegano sensori in aree remote in cui le opzioni di alimentazione e comunicazione possono essere limitate. Di conseguenza, è emersa una vasta gamma di tecnologie

di comunicazione per cercare di adattarsi a uno scenario o all'altro. Il ruolo architettonico svolto dalla connettività è fondamentale nel fornire comunicazioni tra i nodi finali e questo svolge un ruolo importante nell'interoperabilità, nell'integrazione e nella componibilità. Laddove l'integrazione richiede segnali e protocolli comuni, come Ethernet, l'interoperabilità richiede gli stessi formati di dati (sintassi) e un metodo comune per comprendere il significato dei simboli in un messaggio (semantica). Di conseguenza, quando parliamo di interoperabilità tecnica si intendono i bit e i byte che utilizzano un'interfaccia comune (wire o wireless). L'interoperabilità sintattica richiede l'utilizzo di un protocollo comune per comunicare tramite l'interfaccia comune (4). Non esiste un unico metodo per interfacciare i sistemi; inoltre, ogni dispositivo avrà le proprie caratteristiche di comunicazione dipendenti dal proprio ruolo e questo determinerà la frequenza e la quantità di dati che trasmetterà. È essenziale, quando si progettano dispositivi e sistemi di interconnessione, che si prendano in considerazione le caratteristiche fisiche e i requisiti prestazionali di ciascun dispositivo. Questi problemi determineranno quali metodi e protocolli di comunicazione sono adatti in ogni singolo caso. Progettare sistemi di interconnessione non è complesso e sono già disponibili gli strumenti corretti per ogni caso: si tratta “semplicemente” di far corrispondere i requisiti agli strumenti disponibili.

### **3.3.4. Requisiti, interfacce e protocolli**

I requisiti e le definizioni di interfaccia sono formalmente definiti come accordi verificabili che specificano i requisiti di funzionalità e prestazioni all'interno e tra i componenti del sistema. Le definizioni dei requisiti e delle interfacce derivano da un flusso di bisogni dell'utente e del cliente attraverso un processo di raffinamento e allocazione (Madni, Sievers, 2012). Ogni requisito e interfaccia viene verificata attraverso un processo che in genere prevede test, analisi, ispezione e/o dimostrazione. Invariabilmente, altri elementi del sistema influenzano i requisiti e le interfacce. I due sono intimamente collegati e molto spesso visti come la stessa cosa perché entrambi rappresentano contratti vincolanti. I requisiti sono un contratto tra uno sviluppatore e le parti interessate che interagiscono con lo sviluppatore. Le interfacce consentono la comunicazione e l'interazione tra gli elementi all'interno di un sistema, nonché tra il sistema e il suo ambiente. Includiamo esplicitamente una "proprietà interfaccia" nella nostra ontologia SI. Questa proprietà è uno stereotipo che può essere applicato alle porte di comunicazione in una rappresentazione SysML (Systems Modeling Language) del sistema. Lo stereotipo ha quattro proprietà: semantica, sintassi, unità e limiti. Questo stereotipo richiede ai progettisti di identificare in modo esplicito le proprietà chiave che molto probabilmente possono causare problemi di integrazione se non coerenti. Gli errori nel flusso dei requisiti a livelli inferiori potrebbero non essere rilevati fino a livelli di integrazione più elevati e il costo per l'individuazione e la correzione degli errori di progettazione aumenta notevolmente con l'aumento dei livelli di integrazione (Madni, Sievers, 2012). Per consentire la comunicazione end-to-end tra persone e macchine, una soluzione di officina connessa deve integrare protocolli diversi per comunicare con apparecchiature e strumenti. Qui, i protocolli aperti sono essenziali per l'integrazione trasparente di sensori e apparecchiature. Le nuove tecnologie IoT aiutano a sensorizzare e integrare l'officina con elettronica a basso costo che può connettersi nativamente al cloud. L'integrazione degli standard industriali è ancora importante, come i rinnovati protocolli OPC-UA adottati dai più comuni produttori OEM e PLC. E nella connessione cloud, la messaggistica leggera è importante a causa della bassa larghezza di banda e del consumo energetico. Negli ultimi anni, il principale ostacolo a una completa digitalizzazione dell'officina è stata l'ampia gamma di protocolli utilizzati dai diversi attori OT. L'officina della fabbrica è popolata da varie attrezzature di diversi produttori. Una digitalizzazione completa, con sistemi di esecuzione della produzione (MES) e altri, ha richiesto un'elevata integrazione nella configurazione di PLC, linee di collegamento e stazioni di cablaggio (4). Dunque, con riferimento al contesto Industria 4.0, il problema è che, con le

implementazioni IIoT dei trasduttori, non tutte le tecnologie e i protocolli si adattano a tutti gli scenari. Inoltre, ci sono problemi tecnici che creano confusione. Come esempio, si consideri un dispositivo (trasduttore) connesso tramite una topologia mesh o a stella: in che modo questo dispositivo comunicherà in modo efficace con altri dispositivi o con il dispositivo gateway edge? Un primo problema è la tecnologia del livello fisico adottata, ad esempio cablata o wireless. La tecnologia wireless (comunicazioni radio) deve soddisfare uno standard richiesto per l'implementazione. Dopotutto, è di scarsa utilità produrre un prodotto di avvio che utilizzi un'interfaccia non standard nel settore di destinazione. Qui, le moderne tecnologie sono diventate essenziali, ma richiedono un livello fondamentale: la **standardizzazione** dei dati delle apparecchiature (4). Sono stati compiuti progressi su tali obiettivi e l'OPC-UA (OPC-Unified Architecture) e persino l'approccio IoT (basato principalmente su MQTT) ne fanno sicuramente parte. L'OPC-UA aiuta nella comunicazione con diverse apparecchiature, mentre MQTT fornisce un protocollo robusto e a basso consumo energetico per inviare dati all'esterno della fabbrica. Dunque, gli standard sono importanti ma, nonostante ciò, risultano essere abbastanza “deboli”. Uno dei pochi standard ben consolidato è IEEE 1451, una famiglia di standard di interfaccia per trasduttori intelligenti, descrive un insieme di interfacce di comunicazione aperte, comuni e indipendenti dalla rete per il collegamento di trasduttori (sensori o attuatori) a microprocessori, sistemi di strumentazione e controllo/campo reti. Di seguito, un esempio di un'interfaccia standard per l'automazione, indipendente dal bus di campo, la quale permette all'operatore di realizzare un collegamento punto a punto senza indirizzamenti complessi.



**Fig. 4: Interfaccia standard di comunicazione**

Poiché per la trasmissione dei dati si possono utilizzare cavi industriali standard, la varietà dei cavi necessari è ridotta. L'interfaccia garantisce la sostituzione dei sensori tramite plug & play, resa possibile dall'identificazione univoca del dispositivo tramite ID del fornitore e del dispositivo. La trasmissione dati, che, si è detto, può essere realizzata con cavi industriali standard, si basa su un segnale a 24 V ed è puramente digitale, quindi priva di conversione e perdite dei valori di misura. I sensori possono determinare più di un valore di processo e trasmetterlo in maniera digitale. Nel settore manifatturiero o in altri settori, i guasti operativi o di sistema possono costare milioni di dollari in mancati guadagni. Questo ovviamente rende l'IIoT allo stesso tempo estremamente attraente ma anche un enorme rischio. Quando consideriamo l'Internet industriale, non è così semplice selezionare un protocollo comune, come IPv6, per l'intera rete perché dobbiamo prendere in considerazione come integreremo le numerose e diverse tecnologie di comunicazione legacy. Questo è importante perché molti dispositivi esistenti, in particolare i sensori, saranno dispositivi passivi senza la capacità di ospitare uno stack IP, ad esempio.

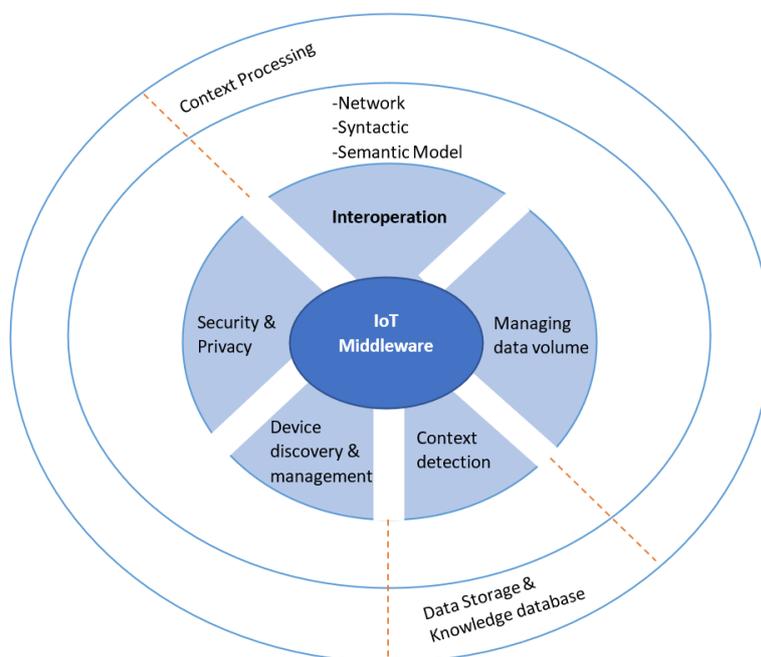
Probabilmente questi dispositivi saranno stati configurati per essere collegati direttamente via cavi ad un PCB o ad un PC, magari utilizzando una connessione seriale RS232. Oltre i protocolli di comunicazione “classici”, quali RS232, 40-20ma current Loop, tecnologie field Bus, tra quelli moderni figurano Ethernet industriale e tecnologie Field Bus Incapsulate. La pleora di comunicazioni wireless negli ultimi due decenni è stata uno dei fattori trainanti per l'adozione dell'Internet of Things da parte di consumatori e industrie. Tuttavia, e questo è un tema ricorrente, non esiste uno standard wireless adatto a tutti gli scopi. Tra le più utilizzate abbiamo: ZigBee, ZigBee IP, Z-Wave, RFID, NFL ecc (4). Va inoltre sottolineato che determinare quando le attività SI possono effettivamente iniziare dipende da fattori esterni che sono strettamente correlati alle risorse di integrazione richieste dalla stessa, cioè risorse tecniche, gestionali, i budget e gli accordi necessari per l'integrazione. Ad esempio, l'implementazione di un sistema potrebbe dipendere da un particolare protocollo definito da un'organizzazione internazionale di standard. Sebbene l'integratore di sistema possa avere una certa influenza sulle decisioni dell'organismo internazionale, l'integratore potrebbe non essere in grado di modificare aspetti del protocollo scomodi o inefficienti per i particolari meccanismi previsti per il sistema. In questo caso, l'organismo internazionale è un'influenza esterna sulla progettazione e sull'integrazione del sistema.

### 3.4. Il Middleware

Come definizione operativa, consideriamo il problema dell'integrazione dei sistemi come affrontare l'accoppiamento di sistemi preesistenti (i componenti del sistema integrato) per fondere un insieme desiderato di capacità con un certo grado di usabilità del sistema integrato. Sebbene i componenti stessi debbano essere considerati come non modificati, l'integrazione dei sistemi in genere implica la progettazione di alcuni componenti specializzati di collegamento dei componenti per facilitare l'accoppiamento. L'identificazione dei tipi di componenti di collegamento necessari è quindi una questione centrale nel problema dell'integrazione dei sistemi. (Abel, Kilby & Davis, 2007). La facilitazione dell'integrazione di sistemi o applicazioni già esistenti può essere ottenuta installando un prodotto **Middleware**, al di sopra del quale le applicazioni esistenti sono installate. Questo middleware prodotto è conforme a una pre-standard sull'architettura dei sistemi informativi (Madni, Sievers, 2012). Il middleware è un insieme di programmi informatici che fungono da intermediari tra diverse applicazioni e componenti software. Spesso utilizzati come supporto per sistemi distribuiti complessi con architetture multitier, l'integrazione dei processi e dei servizi, residenti su sistemi con tecnologie e architetture diverse, è un'altra funzione delle applicazioni middleware, aiutando gli sviluppatori a creare le applicazioni in modo più efficiente, agendo come un tessuto connettivo tra applicazioni, dati e utenti. Può rendere conveniente lo sviluppo, l'esecuzione e la scalabilità di applicazioni alle organizzazioni con ambienti multicloud e containerizzati. In realtà, costruire un'infrastruttura di rete IIoT è un compito oneroso e altamente complicato poiché stiamo integrando molte tecnologie e protocolli diversi, oltre a dover trovare un modo per amministrare, aggiornare e creare report su queste reti eterogenee. Tuttavia, esistono soluzioni che possono facilitare la complessità dell'implementazione e fornire non solo il collante per connettere tutti i componenti, ma anche uno specchio che ci consentirà di visualizzare la rete nella sua interezza: questa è una piattaforma middleware IIoT. (4) Lo sviluppo di middleware nel dominio dell'IoT è un'area di ricerca attiva. Esso è caratterizzato dall'interoperabilità tra dispositivi eterogenei che servono diversi domini di applicazioni, adattamento, consapevolezza del contesto, rilevamento e gestione dei dispositivi, scalabilità, gestione di grandi volumi di dati e privacy, aspetti di sicurezza dell'ambiente IoT (S. Bandyopadhyay, M. Sengupta, S. Maiti, S. Dutta, 2011). Il middleware per IoT è necessario per vari motivi:

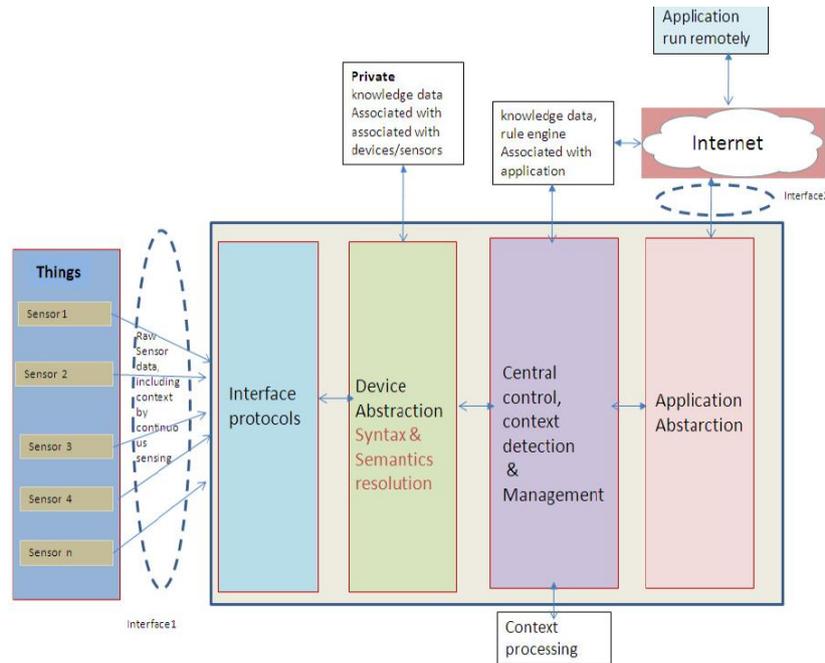
- Difficile definire e applicare uno standard comune tra tutti i diversi dispositivi appartenenti a domini diversi nell'IoT.
- Il middleware agisce come un legame che unisce i componenti eterogenei.
- Le applicazioni di domini diversi richiedono un livello di astrazione/adattamento.
- Il middleware fornisce API (interfaccia di programmazione delle applicazioni) per le comunicazioni a livello fisico e i servizi richiesti alle applicazioni, nascondendo tutti i dettagli della diversità.

Le ragioni sopra esposte generano la necessità di vari componenti funzionali che un **IoT Middleware** deve supportare. I componenti funzionali del middleware qui proposti sono illustrati in Fig. 1. Il cerchio più interno mostra i blocchi funzionali richiesti. Il secondo cerchio comprende l'ulteriore divisione dei blocchi funzionali e il cerchio più esterno mostra i moduli importanti che interagiscono con i vari componenti funzionali, ma non fanno parte del middleware, ad esempio elaborazione del contesto, archiviazione dei dati e database della conoscenza. Le componenti funzionali sono interoperabilità, rilevamento del contesto, rilevamento e gestione dei dispositivi, sicurezza e privacy, gestione del volume di dati (S. Bandyopadhyay, M. Sengupta, S. Maiti, S. Dutta, 2011).



**Fig.5. Componenti funzionali di IoT-Middleware**

La Fig. 2 presenta una vista a più livelli dell'architettura middleware IoT. I livelli fondamentali sono i protocolli di interfaccia, l'astrazione del dispositivo responsabile della fornitura dell'interoperabilità, la risoluzione della sintassi e della semantica associate ai dispositivi, il modulo centrale e di gestione, componente principale che esegue il rilevamento del dispositivo, la gestione e il rilevamento del contesto. Il modulo di astrazione dell'applicazione fornisce l'interfaccia con l'applicazione locale e remota. Le applicazioni locali vengono eseguite principalmente come servizi basati su eventi. Gli altri componenti come l'analisi del contesto, il database della conoscenza possono risiedere in un sistema remoto generando essenzialmente un'esigenza di architettura distribuita (S. Bandyopadhyay, M. Sengupta, S. Maiti, S. Dutta, 2011).



**Fig.6. Componenti funzionali di IoT-Middleware (2)**

In genere, una piattaforma middleware IIoT dovrebbe riunire sistemi eterogenei, fornire integrazione e interoperabilità senza soluzione di continuità e allo stesso tempo garantire la trasparenza operativa a livello di applicazione. Per ottenere questo middleware, sia esso IT o IIoT, è necessario un meccanismo per la comunicazione tra tecnologie e protocolli diversi, astruendo le complessità sottostanti di hardware, software e protocolli di comunicazione. Le grandi moli di dati gestite da una piattaforma middleware potrebbero fluire dai sensori e dai prodotti in produzione, o dal feedback dei processi operativi, persino dell'ambiente operativo. Tuttavia, i dati non hanno senso senza la capacità di trasformare quei bit e byte in conoscenza e quindi comprensione. La sfida è quella di trasformare i dati, quei bit e byte grezzi, in conoscenza tecnologica. Tuttavia, ogni sfida rappresenta anche un'opportunità e molti fornitori stanno lavorando per produrre piattaforme middleware compatibili con IIoT per fornire la colla per collegare tutti questi trasduttori disparati, applicazioni e database. (4)

### 3.5. Dati a supporto delle decisioni: analisi avanzata

Esistono molti modi per estrarre valore dai dati che si traducono in miglioramenti significativi dell'efficienza operativa all'interno di settori come la produzione industriale, l'aviazione, le utility intelligenti, l'assistenza sanitaria e i trasporti. Tuttavia, ci sono ancora problemi che derivano dalla rapida crescita della quantità dei dati generati e le esigenze aziendali di agilità ed esecuzione dei processi. Quali sono quindi i vincoli che il middleware IIoT deve superare? L'elaborazione degli eventi è un elemento importante in una piattaforma Internet of Things; questo perché grandi quantità di dati possono fluire dai sensori, quindi, è importante comprendere quali dati sono importanti e quali no. Dopotutto, non ha molto senso inviare gli stessi dati continuamente da un dispositivo limitato su un collegamento di comunicazione wireless limitato se i dati non cambiano. Tuttavia, i sistemi industriali devono sapere immediatamente quando cambia lo stato di un nodo finale, con limiti accettabili, in modo che possano intraprendere azioni immediate e appropriate. Pertanto, le aziende tecnologiche industriali e operative tendono a utilizzare lo streaming e l'analisi dei dati in tempo reale poiché richiedono un feedback istantaneo per stabilizzare un processo che potrebbe vagare fuori dai limiti accettabili. Di conseguenza, una piattaforma middleware IIoT dovrebbe essere progettata per restituire gli indicatori chiave di prestazione richiesti dagli scenari industriali (4). Come tante tecnologie o tecniche nell'Internet

industriale, l'analisi avanzata non è qualcosa di nuovo, infatti il concetto esiste da molti decenni e solo gli algoritmi e i metodi sono cambiati. Il punto in cui l'interesse per l'analisi avanzata è cresciuto improvvisamente è con l'introduzione dei Big Data e dell'Internet of Things. In precedenza, l'interesse per gli algoritmi avanzati era limitato ad alcuni settori di attività quali assicurazioni, marketing e finanza, in cui il rischio e l'opportunità erano i fattori chiave. Tuttavia, ciò ha comportato un cambiamento epocale rispetto alla business intelligence tradizionale, che si concentra maggiormente sull'analisi descrittiva che utilizza i dati storici per determinare cosa è successo. Invece, i leader aziendali stanno cercando analisi avanzate, che integrano l'analisi descrittiva con una diagnostica, chiedendo non solo cosa è successo, ma perché è successo. Inoltre, utilizza l'analisi predittiva per chiedere cosa accadrà e quella prescrittiva per chiedere cosa dovresti fare. Mentre l'analisi descrittiva di base fornisce un riepilogo generale dei dati storici, l'analisi avanzata offre una visione più approfondita dei dati e, in definitiva, la conoscenza da un'analisi dei dati più granulare utilizzando un pool di campioni più ampio. I vantaggi del processo decisionale basato sui dati non solo riducono il rischio e migliorano la probabilità di risultati aziendali di successo, ma possono anche scoprire correlazioni nascoste all'interno dei dati (4). Tuttavia, estrarre valore dai dati richiede una serie di competenze che coprono l'integrazione e la preparazione dei dati, la creazione di modelli di database e ambienti informatici, il data mining e lo sviluppo di algoritmi intelligenti specifici. Questo perché dare un senso ai dati non è un compito banale. L'Internet industriale richiede il rilevamento e la reazione in tempo reale in ambienti, tuttavia, con così tanti sensori da monitorare, come possiamo farlo? Il metodo tradizionale consiste nell'interrogare i dispositivi e richiedere il loro stato o semplicemente leggere un valore da un pin su un circuito integrato. Il progettista dovrà decidere il tempo di polling corretto e configurare quasi tutti i sensori - e potrebbero essercene migliaia, monitorando fumo, movimento, livelli di luce, ecc. - per essere interrogato in un momento prestabilito. Questo non è molto efficiente, infatti, è irto di difficoltà nel mantenere il sistema, figuriamoci nell'espanderlo aggiungendo nuovi sensori e circuiti. La seconda opzione è che un cambiamento di stato a livello di sensore/dispositivo attivi un evento. In questo modello guidato dagli eventi, l'applicazione non deve occuparsi del monitoraggio dei sensori, poiché verrà informata quando si è verificato un evento, che verrà comunicato immediatamente grazie ad un rilevamento e reazione in tempo reale. Il progettista in un modello event driven non deve più decidere quando interrogare in sicurezza un sensore: il dispositivo di gestione del sensore comunicherà all'applicazione operativa e di gestione quando si è verificato un evento, ovvero un notevole cambiamento di condizione.

### **3.6. Criticità nell'integrazione dei sistemi**

#### **3.6.1. Incertezza interpretativa**

Un obiettivo chiave di SI è assicurare che le interfacce semantiche e sintattiche tra gli elementi componenti del sistema funzionino come specificato dai "contratti" tra gli elementi. Un obiettivo complementare è assicurare che le interfacce possano essere adattate in modi ben compresi con uno sforzo relativamente modesto. Un'interfaccia semantica affronta il significato e l'uso delle informazioni mentre un'interfaccia sintattica fornisce i mezzi con cui viene consegnato il contenuto semantico. Sebbene sia possibile sviluppare, integrare e testare sistemi banali senza documentazione scritta, ci si può aspettare che l'integrazione di sistema (SI) per sistemi complessi fallisca senza documentazione scritta perché i clienti e gli sviluppatori non possono identificare e scambiare informazioni pertinenti abbastanza spesso da evitare errori (Madni, 2012). Quasi tutti i guasti SI si verificano alle interfacce principalmente a causa di specifiche incomplete, incoerenti o fraintese, che alimentano l'incertezza interpretativa (cosa vogliono dire queste informazioni?). Invariabilmente, le cause profonde del fallimento tendono ad essere l'integrazione ad hoc e l'incapacità di sviluppare e aderire a concetti e relazioni semantici formalmente definiti (Madni, Sievers, 2012). Una metodologia di integrazione sistematica avrebbe potuto prevenire

tali fallimenti? Data la crescente complessità dei sistemi odierni e l'impossibilità di eseguire test esaustivi (ovvero test in tutte le possibili condizioni operative), nessuna metodologia può garantire un'integrazione e un funzionamento totalmente privi di errori. Tuttavia, dato che l'integrazione è principalmente un problema di comunicazione, lo sviluppo e l'adesione a un'ontologia di integrazione dei sistemi (SI), garantita da un System Integrator, può informare e guidare la progettazione e l'integrazione del sistema, garantire una comunicazione coerente tra le parti interessate e applicare interfacce fisiche e logiche coerenti all'interno del sistema. In particolare, la quantità e la qualità dei dati possono essere influenzate da una serie di azioni, ad esempio rimozione del rumore, conversione dei dati in moduli leggibili da una macchina e collegamento di diversi set di dati (R. Kitchin, 2014), che influenzano anche la qualità del processo decisionale sui big data (M. Janssen, H. van der Voort, A. Wahyudi, 2017). L'altro problema significativo è l'effetto dell'"immortalità" del sistema: i progettisti e gli operatori umani non rimarranno in azienda per più di 40 anni, ed è probabile che la maggior parte si sarà trasferita entro 20 anni. Questo ha due effetti: in primo luogo, l'accesso alla conoscenza tacita utilizzata per la progettazione e il funzionamento del sistema può essere interrotto, a meno che non vi sia un processo di supporto per ovviare a ciò, e in secondo luogo privilegia la buona documentazione del software, che dovrebbe essere completa e dovrebbe essere ancora disponibile (Siemieniucha e Sinclair, 2000). In più, i requisiti per il sistema si evolveranno man mano che il sistema progredisce nel suo ciclo di vita. Allo stesso modo, l'architettura del prodotto può cambiare, poiché i componenti vengono progressivamente sostituiti. Dal punto di vista dell'integrazione dei sistemi, il concetto di immortalità del sistema enfatizza diverse cose:

- L'importanza della gestione della conoscenza, per affrontare gli inevitabili cambiamenti del personale e dell'organizzazione.
- Standardizzazione nella progettazione, per alleviare i problemi di disgregazione della filiera.
- Design modulare, per risparmiare sui costi delle risorse degli aggiornamenti futuri per il sistema.
- L'uso di un approccio di progettazione basato sul modello, per accelerare il processo di progettazione, per utilizzare al meglio le apparecchiature commerciali standard (COTS) e per ridurre lo sforzo dell'aggiornamento che avverrà.
- L'inclusione di componenti "comprovati migliori della classe", perché è probabile che siano più disponibili e probabilmente svolgano i loro ruoli più a lungo prima dell'aggiornamento. Nota che i componenti non devono essere "best-in-class"; ci sono molti problemi di integrazione derivanti da diverse interpretazioni di standard comuni, quindi a volte è meglio non essere i primi a utilizzare i componenti migliori.
- L'utilizzo di componenti basati su IT piuttosto che componenti hard-engineered, perché è probabile che lo sforzo di aggiornamento e la logistica siano inferiori e perché è probabile che ci sia un'ulteriore integrazione dei sistemi con il passare del tempo in cui l'ambiente operativo cambia.
- L'importanza della progettazione incentrata sull'uomo, per ridurre i requisiti operativi per gli specialisti e quindi ampliare il pool di selezione, per rendere la formazione per operatori e manutentori più comprensibile ed efficiente e per rendere più facile fornire la formazione sul "perché" e "come" (Siemieniucha e Sinclair, 2000).

### **3.6.2. Completezza informativa**

Non può esserci alcuna garanzia che un modello di implementazione possa essere rappresentato utilizzando i costrutti di un altro modello di implementazione, come ha mostrato Kemp (1992). L'ambiente hardware e software di un componente imporrà, in alcuni casi, restrizioni alle forme

di interazione con gli altri, inibendo la possibilità di un'integrazione completa. Ad esempio, tutti i componenti potrebbero non essere implementati sullo stesso sistema operativo, quindi è necessario considerare le possibili forme di trasferimento di dati e comandi tra sistemi operativi. In casi estremi, il trasferimento dei dati potrebbe essere limitato ai file e ciò inibirebbe l'usabilità del sistema integrato. Più precisamente, le differenze nelle rappresentazioni interne (ad esempio, di valori numerici a valori reali o di blob di byte) potrebbero limitare la fattibilità del trasferimento di dati in forme binarie (Abel, Kilby & Davis, 2007). Come è ben noto negli ambienti ingegneristici, a causa dell'interconnessione dei componenti all'interno dei sistemi, è possibile che un evento in una parte del sistema influisca su altre parti in modi non intenzionali, attraverso canali. Ciò può essere dovuto al fatto che i componenti sono strettamente connessi o perché ci sono ingressi comuni (ad esempio tutti i componenti attingono alla stessa fonte di alimentazione o a tutti gli operatori umani è stata data la stessa descrizione leggermente obsoleta del sistema) o una serie di altre cause. Sfortunatamente, i problemi di modalità comune tendono ad essere sottili nei loro effetti e le interazioni potenzialmente disastrose possono essere trascurate. Pertanto, è necessario incorporare lezioni da altri sistemi simili e sistemi precursori, per sviluppare prototipi il prima possibile ed effettuare analisi esaurienti dei rischi e prove di integrazione e certificazione. (Siemieniucha, Sinclair, 2005). Il cosiddetto "principio delle tenebre" afferma che "nessun sistema può essere conosciuto completamente". Anche se questo non è dimostrabile, è probabilmente vero e può essere dimostrato da un semplice calcolo; supponiamo che ci siano 10 componenti interconnessi in un sistema e supponiamo inoltre che ciascuno si trovi in uno dei due stati: "funzionante" o "non riuscito". Quindi, per verificare tutti i possibili stati saranno necessari 512 controlli. Se includiamo una sola classe di guasti intermittenti, il numero di controlli richiesti si avvicina a 20.000. Man mano che la complessità del sistema aumenta, le risorse necessarie per eseguire questi controlli vanno oltre le capacità di un team di progettazione. Dal punto di vista dell'integrazione dei sistemi, questo problema è rilevante. L'integrazione dei sistemi implica la fusione di due sistemi esistenti; se ciascuno ha il proprio 'bacino di stabilità' (Ashby, 1962), allora la fusione può creare instabilità cronica del sistema allargato (per esempio, poiché ciascuno dei suoi sottosistemi costituenti manipola i parametri del giunto per raggiungere la sua stabilità precedente). Di conseguenza, è necessaria una modellazione estensiva dei sistemi e periodi di transizione durante i quali il sistema allargato può dimostrare la sua stabilità e presentare almeno alcune delle sue sorprese intrinseche (Siemieniucha e Sinclair, 2000).

### 3.6.3. Sistemi legacy

Diversi problemi reali sorgono durante l'integrazione con i sistemi legacy. Prendiamo in considerazione l'integrazione con un sistema relativamente vecchio e con poca documentazione che ne dettaglia i limiti e le capacità. Ad esempio, un sistema legacy potrebbe essere stato progettato per elaborare fino a un numero fisso di transazioni simultanee; al nuovo sistema potrebbe essere richiesto di gestire un numero maggiore di transazioni. Se tale limite non è noto ai progettisti e agli integratori di sistema, è probabile che si manifestino comportamenti imprevisti che potrebbero richiedere un notevole debug e uno sforzo correttivo. Un'importante complicazione è la **mancanza di un linguaggio comune** per la comunicazione tra le discipline. La situazione è più o meno la stessa quando si tratta di descrizioni di sistema motivate da framework architetturali come DoDAF, linguaggi di modellazione come SysML e UML e linguaggi e ontologie specifici del dominio (Madni, Sievers, 2012). I sistemi legacy sono un esempio particolare di entropia dei sistemi in azione. Si tratta di sistemi esistenti, spesso ben utilizzati e integrati nei processi fondamentali dell'organizzazione, che nel corso degli anni sono stati modificati, adattati, aggiornati e persuasi a fare cose per cui non erano stati originariamente progettati. In linea di principio, tutti questi cambiamenti saranno documentati e tutta la conoscenza accumulata e associata sarà portata avanti; più comunemente,

i documenti chiave vengono persi o smarriti, altri sono su supporti che non si possono più leggere; non tutti i documenti sono stati completati in primo luogo e quelle persone che sapevano come funzionava il sistema e che avevano la tacita conoscenza che deriva dal funzionamento potrebbero benissimo essere andate via o andate in pensione. In breve, il sistema legacy potrebbe funzionare bene, ma nessuno sarà sicuro del perché, e ancora meno persone saranno disposte a manometterlo (Siemieniucha e Sinclair, 2000). I sistemi legacy sono spesso risorse organizzative critiche che riflettono la conoscenza accumulata di un'organizzazione (Chowdhury e Iqbal, 2004). L'uso di sistemi legacy influenza principalmente il rischio, la struttura e le risorse di integrazione nell'ontologia SI. L'integrazione, la modernizzazione o persino la sostituzione di un sistema legacy può essere irto di rischi. Oggi più che mai, i sistemi legacy devono essere integrati con altri sottosistemi/ applicazioni all'interno delle imprese. Ci sono diverse sfide che devono essere affrontate durante l'integrazione o la modernizzazione dei sistemi legacy. Per cominciare, raramente esiste una specifica completa di un sistema legacy. Essi spesso tendono ad essere inestricabilmente intrecciati con i processi aziendali che supportano, pertanto, se un sistema legacy deve essere sostituito, anche i processi aziendali interessati devono cambiare, con costi potenzialmente imprevedibili e conseguenze rilevanti (Madni, 2012). La sfida durante l'integrazione di sistemi legacy consiste nel comprendere la funzionalità, il design, il funzionamento e le prestazioni del sistema e nell'anticipare i tipi di modifiche richieste durante le fasi di integrazione. Questa sfida solleva preoccupazioni quali: formato in cui i dati vengono scambiati, come un'applicazione interpreta i messaggi inviati ad essa; impatto della modifica di una definizione di messaggio su altre applicazioni/sottosistemi; interfacciarsi con ogni applicazione, in base ai requisiti sintattici e semantici di ciascuna applicazione; comprensione dei meccanismi di sicurezza del sistema legacy e delle vulnerabilità che rappresentano ecc. Esistono fondamentalmente due approcci per incorporare i sistemi legacy: reingegnerizzazione e integrazione (Madni, Sievers, 2012). L'integrazione è più veloce e molto meno costosa della reingegnerizzazione: essa richiede la definizione dei ruoli di ciascun sottosistema, le interfacce per ciascun sottosistema e la creazione di un "wrapper" per ciascun sottosistema (ovvero per incapsulare il sistema).

### **3.7. Problemi di integrazione e governance inter-organizzativa**

La letteratura è ancora un po' scarsa su argomenti come le configurazioni della conoscenza organizzativa (chi dovrebbe sapere cosa?), sulla gestione della conoscenza tacita e sulla memoria aziendale. Attualmente, la situazione sembra essere che la configurazione sia determinata dalle conoscenze e abilità che possono essere identificate dai processi su cui un individuo lavora (ma sorgono i problemi di indeterminatezza e incompletezza di cui sopra), e un affidamento su "esperienza" e gruppi di pari per affrontare la dimensione della conoscenza tacita. Ci sono due aspetti per l'integrazione del sistema che dovrebbero essere considerati; in primo luogo, qual è la migliore governance e conseguente struttura di responsabilità? La letteratura accademica abbonda di discussioni a livello di consiglio di amministrazione, ma al di sotto di quel livello non c'è quasi nulla riguardo a cose come la governance ingegneristica, problema che è, essenzialmente, la consapevolezza della situazione a ciclo lungo (Siemieniuch e Sinclair, 2004). In secondo luogo, non sembra esserci nulla che risponda alla domanda "quanta governance è sufficiente?". Più nel dettaglio, questo potrebbe essere espresso come "Dove sono i confini tra disordine, buon governo e irreggimentazione?"; la pervasività della tecnologia dell'informazione in tutta l'organizzazione significa che, se questa lo desidera, la governance potrebbe micro-gestire tutti gli aspetti dei processi dell'organizzazione. Evidentemente, questo non è saggio, ma tutti i famigerati disastri (ad esempio Chernobyl, Tenerife, Bhopal, Three Mile Island, Esso Longford, ecc.) hanno una cattiva governance all'interno dell'organizzazione come una delle principali cause scatenanti. Quindi, ci rimane un problema: quali (e quante) sono le 'regole d'oro' per la governance, e come

dovrebbero essere esercitate? Questi sono problemi che gli integratori di sistemi dovranno affrontare, senza molti consigli a disposizione (Siemieniucha e Sinclair, 2000).

#### 4. GOVERNANCE INTER-ORGANIZZATIVE E INCERTEZZA INTERPRETATIVA

L'implementazione delle tecnologie digitali (ovvero l'innovazione dei processi digitali) comporta un significativo grado di incertezza tra i vari partner, a causa di conoscenze altamente specializzate che devono essere integrate per ottenere i benefici tecnologici (Kostis & Ritala, 2020). Le relazioni interorganizzative implicano potenzialità duali, nel senso che le imprese sono soggette, contemporaneamente, alle potenzialità sia positive che negative delle loro interazioni. Le relazioni interorganizzative possono supportare le aziende ad accedere a risorse scarse, impegnarsi in processi di apprendimento ed entrare in nuovi mercati (Doz & Hamel, 1998) ma comportano anche potenzialità negative (Oliveira & Lumineau, 2018), possono causare conflitti disfunzionali (Mo, Booth e Wang, 2012), comportare la perdita di conoscenze proprietarie (Gulati, 1995) e persino portare a una diminuzione dei rendimenti finanziari (Luo, 2007). Ciò significa che mentre le relazioni interorganizzative sono mezzi importanti per raggiungere obiettivi strategici impegnativi (Gulati, 1998; Cropper, Ebers, Huxham, & Ring, 2008), sono anche instabili (Das & Teng, 2000) e incerte, perché è difficile per le aziende prevedere come si svilupperanno le loro interazioni. L'incertezza inter-partner è la difficoltà che le aziende hanno nell'allineare le loro opinioni e aspettative (Vlaar, Bosch, & Volberda, 2006; Weber & Mayer, 2014), nel comprendere e anticipare il comportamento futuro dei loro partner (Das & Teng, 1999; 2001; de Uomo e Roijakker, 2009) e nel prevedere le potenzialità delle loro interazioni dovute all'influenza del più ampio contesto relazionale. Nelle relazioni interorganizzative, l'incertezza tra i partner è stata principalmente attribuita alle preoccupazioni sull'opportunismo del partner, che è il "comportamento di un'azienda partner che è motivata a perseguire il proprio interesse con l'inganno per ottenere guadagni a spese dell'altro membro dell'alleanza" (Das & Rahman, 2010, pag. 57). La cooperazione può fornire vantaggi unici, tra cui una maggiore capacità innovativa delle aziende partner (Gnyawali & Park, 2011; Park, Srivastava & Gnyawali, 2014) ma comporta anche incertezza tra i partner data l'elevata probabilità di perdita di conoscenza (Rouyre & Fernandez, 2019) e imitazione delle pratiche aziendali e del know-how da parte del partner (Fernandez, Le Roy, & Gnyawali, 2014; Ritala & Hurmelinna-Laukkanen, 2009). L'incertezza nelle relazioni B2B produttore-fornitore di tecnologia è stata studiata per quanto riguarda incertezza comportamentale e rischi di scambio associati a opportunismi e razionalità limitata (Kostis & Ritala, 2020). Tuttavia, nelle relazioni industriali contemporanee che implicano lo scambio di tecnologia e conoscenza (Robertson, Casali e Jacobson, 2012), gran parte dell'incertezza è associata a una differenza nei quadri cognitivi riguardanti definizioni, ipotesi e aspettative del lavoro collettivo tra i vari partner (Weber & Mayer, 2014). Questo tipo di incertezza, definita come **incertezza interpretativa** (Weber & Mayer, 2014), deriva non dalle caratteristiche della transazione (cioè specificità dell'asset, frequenza delle interazioni) come per l'incertezza comportamentale, ma da diverse caratteristiche relazionali dei partner (cioè gli attributi delle parti l'una rispetto all'altra) come l'appartenenza al settore e paradigma tecnologico. I partner che cooperano in relazioni inter-organizzative, infatti, devono confrontarsi con "problemi di comprensione" che nascono dalle differenze tra i partner in termini di cultura, esperienza, struttura e industria, e dall'incertezza e ambiguità che i partecipanti alle relazioni inter-organizzative sperimentano nelle prime fasi della collaborazione (Paul W.L. Vlaar, Frans A.J. Van den Bosch and Henk W. Volberda, 2006). Inoltre, soprattutto nelle prime fasi della cooperazione, livelli di ambiguità e incertezza sono elevati (Carson et al. 2006). Ciò porta i partecipanti a tali relazioni a sviluppare interpretazioni e comprensioni distinte degli stessi fenomeni (Porac et al. 2002; Vaara 2003) e aumenta la probabilità che si verifichino interpretazioni errate e incomprensioni (Shankarmahesh et al. 2004). Di conseguenza, i partecipanti potrebbero non comprendere appieno le reciproche competenze, punti di forza e di debolezza, e potrebbero avere difficoltà a prevedere i risultati previsti delle relazioni (Jap 2001; Jap e Ganesan 2000). Inoltre, possono incontrare difficoltà nell'apprezzare il potenziale per le

transazioni reciproche (Ariño e Ring 2004) a causa dell'assenza di unità di intenti e aspettative (Mjoen e Tallman 1997). I problemi di comprensione tendono anche a prevalere quando le relazioni collaborative sono incorporate in contesti rischiosi e incerti e quando coinvolgono obiettivi aziendali non standard (Jap 2001; McGinn e Keros 2002). In tali casi, devono essere sviluppate intese comuni o congruenti per consentire la cooperazione e la creazione congiunta di valore (Balogun e Johnson 2004; Weick 2001; White e Lui 2005). Dunque, l'incertezza interpretativa genera visioni diverse dalle stesse informazioni e transazioni (Arindam Das and Dimple Grover, 2018). Ciò si traduce in decisioni che potrebbero essere subottimali e soggette a rischi e che potrebbero facilmente comportare costi di transazione aggiuntivi. Queste incertezze sono diverse dai rischi tradizionali dell'economia dei costi di transazione, che derivano da caratteristiche di transazione note (Weber e Mayer, 2014).

#### 4.1. La servitizzazione digitale

L'incertezza interpretativa aumenta i costi di transazione (Weber & Mayer, 2014), a causa di una comprensione errata dei requisiti di progettazione idiosincratici da parte del partner tecnologico e della mancanza di condivisione della conoscenza (Rönnerberg Sjödin, Frishammar, & Eriksson, 2016). Pertanto, le aziende manifatturiere dovrebbero gestire correttamente la loro relazione con i loro partner industriali per ridurre l'incertezza interpretativa per trarre benefici dalle tecnologie digitali (Kamalaldin et al., 2020; Kostis & Ritala, 2020). Tra le pratiche di governance dovrebbero essere evitate le relazioni di mercato o puramente contrattuali in quanto non consentono di allineare i quadri cognitivi e ridurre l'incertezza interpretativa (Weber & Mayer, 2014). La diffusione delle tecnologie I4.0 supporta la **servitizzazione**, ovvero “il processo attraverso il quale le imprese si prefiggono di creare maggior valore aumentando i servizi che offrono” (Vendrell-Herrero *et al.*, 2017, P. 71). In particolare, innesca una servitizzazione basata su I4.0, un approccio strategico per raggiungere la differenziazione del mercato e aumentare la competitività dell'impresa facendo leva sulle nuove tecnologie che la letteratura ha chiamato “**Digital Servitization**” (Coreyen *et al.*, 2017; Sklyar *et al.*, 2019). Tale approccio, che può avvenire attraverso la combinazione di diversi livelli di servitizzazione e digitalizzazione (Frank *et al.*, 2019), influenza notevolmente le performance aziendali (Kohtamäki *et al.*, 2019) e modelli di business delle imprese manifatturiere (Paiola e Gebauer, 2020). La letteratura precedente riporta che la servitizzazione digitale, inoltre, trasforma l'ecosistema aziendale (Sklyar *et al.*, 2019), le sue catene di approvvigionamento e le sue relazioni commerciali. Nella servitizzazione digitale basata su I4.0, quindi, la creazione di valore del fornitore dipende dalla sua capacità di condurre il proprio cliente al successo (Rymaszewska *et al.*, 2017) offrendo servizi a valore aggiunto attraverso una varietà di modelli di business digitali e orientati al cliente (Martín-Peña *et al.*, 2018; Kohtamäki *et al.*, 2019; Paiola e Gebauer, 2020). Il fenomeno della “servitizzazione digitale” è centrale nello studio delle pratiche di governance B2B tra partner tecnologici e produttori per la fornitura di tecnologie digitali e innovazione dei servizi. Nonostante gli studi attuati sono principalmente qualitativi e dalla generalizzabilità limitata, fondati principalmente sulla prospettiva dei fornitori di tecnologia piuttosto che su quella dei clienti, recentemente è stato dimostrato che man mano che le capacità di digitalizzazione complementari evolvono nella relazione diadica B2B, le pratiche di governance dovrebbero evolvere dalla governance contrattuale a quella **relazionale** (Kamalaldin et al., 2020). Capacità di digitalizzazione complementari sono, infatti, il principale trigger per avviare un rapporto di servitizzazione digitale e preservarlo nel tempo. Per passare a una fase più avanzata del rapporto di servitizzazione digitale, i partner devono continuare a investire in risorse digitali specifiche per la relazione e migliorare routine di condivisione delle conoscenze abilitate digitalmente al fine di massimizzare il potenziale di generazione di valore (A. Kamalaldin, L. Linde, D. Sjödin, V. Parida, 2020). Oltre alle capacità di digitalizzazione complementari, le forme delle tecnologie

digitali e le relative sfide – in termini di complessità, personalizzazione e novità - svolgono un ruolo chiave nel determinare il meccanismo di governance relazionale, riducendo l'incertezza interpretativa derivante dal lavoro industriale collettivo (E. Paolucci, E. Pessot, R. Ricci; 2021).

A. Kamaladin et al., 2020

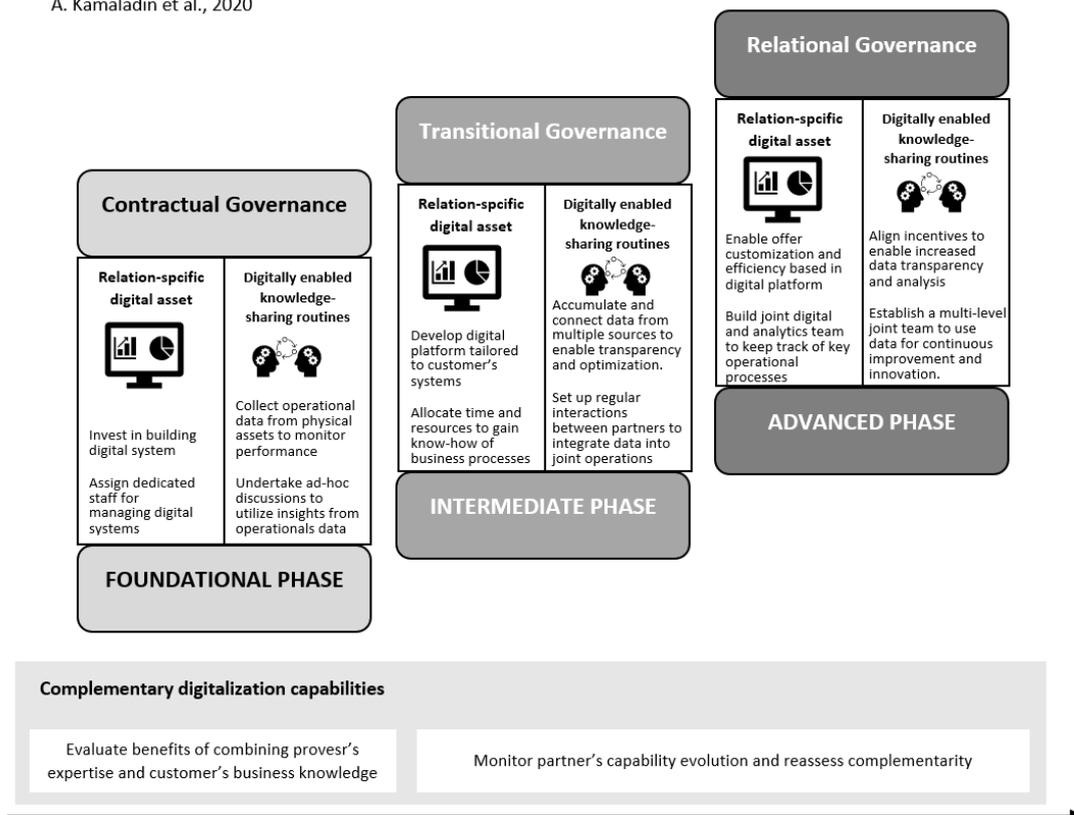


Fig.7: Fasi dei rapporti di servitizzazione digitale

In particolare, la raccolta completa dei benefici della creazione di conoscenza non richiede solo le capacità di integrazione e meccanismi di governance appropriati, poiché tali meccanismi richiedono combinazioni complesse attraverso relazioni mediate (Frank G. Adams, Kenneth W. Graham, 2016). Ad esempio, Håkansson e Waluszewski (2007) scoprono che man mano che le aziende interagiscono e combinano le risorse esistenti, emergono nuove risorse uniche. Ciò suggerisce che la questione di come i partner B2B raggiungono risultati di performance attraverso la creazione di conoscenza è, almeno in parte, una funzione di (a) come sono strutturate le relazioni B2B e (b) come le aziende partner sfruttano le conoscenze, risorse e capacità di integrazione per arrivare a soluzioni innovative. Tuttavia, non è chiaro cosa scateni il passaggio alla *governance relazionale* nelle relazioni interorganizzative B2B. Inoltre, c'è la necessità di aumentare la generalizzabilità dei risultati che dimostrano che la governance relazionale combinata con l'adozione delle tecnologie digitali è decisiva per aumentare le prestazioni di costo dei produttori (Kamaladin et al., 2020): la tesi mira a colmare queste lacune indagando il ruolo delle tecnologie digitali nel determinare il passaggio necessario dalla governance transazionale a quella relazionale per trarre benefici dalle tecnologie digitali.

#### 4.2. Governance e tecnologie digitali

All'intersezione tra servitizzazione e tecnologie digitali, la **servitizzazione digitale** coniuga la concretezza e la fisicità del prodotto al valore dei prodotti intelligenti e connessi, utilizzando le tecnologie digitali per fornire servizi quali manutenzione remota, formazione, consulenza, servizi sostitutivi: il prodotto non viene più venduto in una transazione tradizionale ma l'azienda vende ore macchina con alcuni accordi sul livello di servizio durante il suo funzionamento (Cusumano,

Kahl, & Suarez, 2015; AG Frank, Mendes, Ayala, & Ghezzi, 2019). La servitizzazione è dunque un processo che richiede alle imprese di cambiare struttura e organizzazione, trasformandosi di fatto in un sistema capace di vendere, insieme al prodotto, anche servizi a valore integrati nel prodotto stesso, servizi che diventano elemento centrale dell'offerta stessa. Le forme di governance richieste dalla servitizzazione, come specificato in precedenza, devono essere progettate al fine di ridurre l'incertezza interpretativa. Oltre alle differenze relazionali, analizzate con la lente della teoria TCE, questa tesi analizza come la natura e le caratteristiche della tecnologia alimentano l'incertezza interpretativa. Infatti, l'implementazione di nuove tecnologie va ad impattare sulle misure da adottare per renderle compatibili allo specifico sistema produttivo, sul grado di conoscenza del produttore della tecnologia in esame, sull'interdipendenza con le altre parti del sistema; a tal proposito una prospettiva miope potrebbe essere quella di sviluppare una sorta di integrazione peer-to-peer tra ogni nuova applicazione e tutte le applicazioni già installate con cui deve essere integrata, il che sarebbe ingestibile poiché ogni volta che viene distribuita una nuova applicazione, anche tutte le vecchie applicazioni devono essere aggiornate per integrarsi con quella nuova. Per tale motivo, le aziende di assemblaggio avranno bisogno di capacità per affrontare potenziali squilibri nelle prestazioni dei componenti e per sperimentare nuove architetture di sistema, che rende necessaria una sovrapposizione cognitiva tra assemblatori e fornitori (Stefano Brusoni, Andrea Prencipe, Keith Pavitt, 2001). In particolare, Brusoni, Prencipe e Pavitt, hanno ipotizzato che le dimensioni tecnologiche e di prodotto svolgano un ruolo chiave nell'influenzare l'emergere di diverse forme organizzative e che sono in gioco altre variabili correlate a condizioni di appropriabilità nonché alla percezione delle imprese di tecnologie specifiche, a loro volta legate a investimenti passati in progetti di R&S, all'emergere di coalizioni organizzative con interessi particolari e simili. Al giorno d'oggi le relazioni di alta qualità tra fornitore e cliente sono fattori determinanti di competitività che le aziende manifatturiere possono sfruttare tramite Internet e le tecnologie digitali (Gaiardelli *et al.*, 2014). Tuttavia, non è chiaro se i meccanismi portino a un'elevata qualità della collaborazione tra le imprese manifatturiere industriali e il cambiamento attraverso le varie forme, modelli di business e applicazioni della servitizzazione digitale (Kohtamäki *et al.*, 2019; Frank, 2019). L'accesso ai clienti e ai dati è fondamentale per abilitare servizi digitali avanzati e per migliorare la qualità delle relazioni; i livelli di intimità relazionale e apertura informativa portano a due livelli successivi di efficienza ed efficacia data-driven, con un impatto significativo sulla qualità della relazione e consentendo l'innovazione relazionale (Grandinetti, Ciasullo, Paiola, Schiavone, 2020). Dunque, le aziende manifatturiere industriali desiderose di implementare la servitizzazione basata su I4.0 non possono concentrarsi solo sullo sviluppo e sull'espansione delle proprie capacità tecnologiche, bensì dovrebbero apprendere e sviluppare anche capacità relazionali e collaborative efficaci al fine di gestire questi cambiamenti socio-tecnici (Polese *et al.*, 2011; Barnett *et al.*, 2013), ad esempio attraverso la predisposizione di specifici programmi di formazione e apprendimento per quei dipendenti interni che non vogliono essere ricollocati all'interno dell'organizzazione per l'implementazione delle attività legate alla servitizzazione. Una seconda intuizione per gli studiosi della servitizzazione basata su I4.0 è che un'implementazione efficace e vigorosa di tale fenomeno influisce positivamente sulla qualità delle relazioni B2B. Tuttavia, questo processo non è sempre interessante o valido per tutte le imprese manifatturiere poiché, in alcuni casi, potrebbero preferire PSS (product-service systems) più semplici e standardizzati e relazioni più deboli, che richiedono minori investimenti di risorse e rischi. Pertanto, gli studiosi interessati alla servitizzazione co-creata (Green *et al.*, 2017) basati su tecnologie I4.0 dovrebbero considerare di sviluppare alcuni framework o modelli specifici utili per identificare in quali condizioni strategiche, tecnologiche, organizzative e ambientali è meglio per fornitori e clienti implementare marginalmente, mediamente o fortemente tale fenomeno.

## **5. INTEGRAZIONE DI FILIERA (SCI): IL RUOLO DI SCA E DELLE CAPACITÀ DECISIONALI SUI BIG DATA**

La Supply Chain Integration (SCI) descrive il livello di collaborazione con i partner chiave nella catena di approvvigionamento (Flynn, Huo e Zhao, 2010). Secondo Wiengarten et al. (2014), tale collaborazione migliora l'efficienza e l'efficacia dell'utilizzo delle risorse da parte di tutti i membri della catena di approvvigionamento. La SCI può assumere molte forme, che vanno dall'integrazione interna (interdipartimentale o interfunzionale) a quella esterna (con attori a monte o a valle) (Frohlich e Westbrook 2001). Tuttavia, determinare un livello ottimale di SCI e stabilirne una misura universale può essere difficile nella pratica. L'integrazione attraverso la catena di approvvigionamento può essere misurata dal grado in cui i flussi di informazioni, dati finanziari e materiali vengono scambiati tra l'azienda focale e i suoi partner (Rai, Patnayakuni e Seth 2006). In questo contesto, lo scambio di informazioni può essere realizzato adottando sistemi informativi digitali per connettere le catene di approvvigionamento in modi innovativi (Kim e Schoenherr 2018). I rapidi progressi tecnologici consentono inoltre alle aziende di integrare perfettamente alcune funzioni interne con partner esterni al fine di migliorare le proprie prestazioni attraverso un efficiente coordinamento delle attività e dei flussi di materiali (Ellram e Cooper, 2014). Nell'industria manifatturiera, dove la rapida globalizzazione ha portato a catene di approvvigionamento altamente complesse che si estendono oltre i confini nazionali, la SCI è di fondamentale importanza (Moyano-Fuentes, Sacristán-Díaz e Garrido-Vega, 2016). Le tecnologie digitali, che nell'industria manifatturiera contemporanea sono strettamente legate all'Industria 4.0, consentono la comunicazione e la connessione in tempo reale di oggetti (ad esempio dispositivi, macchine, stazioni) che sono incorporati con software e sensori (Hahn 2020; Parente et al., 2020). Le tecnologie dell'Industria 4.0 spaziano dalle "tecnologie di base", tra cui Internet of Things (IoT), cloud computing, big data e analisi, alle "tecnologie front-end", tra cui smart working, produzione, prodotti e catene di approvvigionamento (Frank, Dalenogare, e Ayala, 2019). Tra gli svariati vantaggi, consentono alle aziende di utilizzare i dati digitalizzati per migliorare i processi attuali, ma offrono anche nuove opportunità per creare valore per il cliente (de Vass, Himanshu e Shah, 2018), con considerevole impatto sulle catene di approvvigionamento e sulle loro prestazioni. Basandosi su prove empiriche provenienti da altri campi, si può presumere che le tecnologie digitali potrebbero svolgere un ruolo importante nel sostenere il vantaggio competitivo delle imprese attraverso pratiche migliorate della catena di approvvigionamento, in quanto possono consentire un'automazione intelligente e un uso più efficiente delle risorse lungo la catena stessa (Verdouw et al. 2016). Possono fornire le informazioni in tempo reale necessarie per processi efficienti di analisi dei dati e prendere decisioni cruciali per creare valore attraverso capacità dinamiche (cfr. Eisenhardt e Martin 2000). Tuttavia, per beneficiare appieno delle tecnologie digitali dell'Industria 4.0, i membri della catena di approvvigionamento devono affrontare diverse questioni importanti relative a questi processi, come la gestione dei dati, il data mining, la sicurezza dei dati e gli errori dei dati (Lee e Lee 2015) e dotarsi degli strumenti e delle competenze analitiche necessarie, oltre a importanti capacità di archiviazione architetturale per gestire un'elaborazione efficiente.

### **5.1. Supply Chain Agility**

Le modifiche ai requisiti dei clienti devono essere comunicate il più rapidamente possibile lungo la catena di approvvigionamento per consentire un'azione tempestiva. Con i frequenti cambiamenti del mercato che si verificano in un ambiente altamente competitivo, le relazioni strategiche di collaborazione con i partner della catena di approvvigionamento possono aiutare le aziende manifatturiere ad adattarsi a questi cambiamenti in modo più efficiente (Ying et al., 2016). L'evidenza empirica indica che quando i partner della catena di approvvigionamento

comunicano, interagiscono, coordinano e condividono le conoscenze pertinenti in modo tempestivo e trasparente, è possibile prendere decisioni migliori in un tempo più breve (Verdouw et al., 2016). Tale stretta collaborazione, tuttavia, richiede la condivisione di informazioni sia formali che informali (Tuan 2016), che può assumere la forma di regolari attività congiunte di risoluzione dei problemi, pianificazione e definizione degli obiettivi, preparandosi così in modo proattivo a eventuali cambiamenti del mercato. Pertanto, la costruzione di relazioni a lungo termine con i partner della catena di approvvigionamento migliorerà la **Supply Chain Agility** (SCA), definita come la capacità di rispondere in modo efficiente ed efficace ai cambiamenti e alle turbolenze del mercato, che a sua volta consentirà reazioni più rapide alle mutevoli esigenze del mercato (Matawale, Datta e Mahapatra, 2016). Nell'industria manifatturiera, l'agilità si ottiene integrando tutti i processi interorganizzativi, che vanno dalla progettazione del prodotto ai servizi al cliente (Gunasekaran 1999). Di conseguenza, la SCA può essere realizzata solo attraverso un regolare coordinamento interno, nonché attraverso una stretta collaborazione con i principali attori a monte e a valle. Pertanto, SCI è un antecedente naturale a SCA (Braunscheidel e Suresh 2009). Inoltre, stretti rapporti di lavoro tra i partner della catena di approvvigionamento aiutano le aziende a prepararsi e a reagire ai cambiamenti del mercato, ad esempio condividendo dati rilevanti come previsioni, tempi di consegna e livelli di scorte. Gunasekaran (1999) ha sostenuto che l'uso delle tecnologie, degli strumenti e delle attrezzature digitali dell'Industria 4.0, nonché delle strategie integrate della catena di approvvigionamento, può essere fondamentale per raggiungere livelli più elevati di agilità. Le tecnologie digitali dell'Industria 4.0: consentono la fornitura e l'accesso a dati in tempo reale relativi alle entità e ai flussi della catena di approvvigionamento, delle cui iniziative supportano la natura integrativa per essere più agili e reattive alle incertezze, consentendo la semplificazione e la razionalizzazione dei processi che supportano la condivisione delle risorse finanziarie, la pianificazione strategica e la consegna just-in-time tra i partner della catena di approvvigionamento; aiutano a migliorare la visibilità e la trasparenza lungo la catena di approvvigionamento fornendo identificazione, monitoraggio e tracciamento degli articoli, che sono fattori chiave per ottenere SCA tramite SCI (Dubey et al., 2018). Pertanto, le tecnologie digitali dell'Industria 4.0 hanno il potenziale per facilitare non solo la creazione di informazioni, ma anche la condivisione e l'integrazione delle stesse (Ben-Daya, Hassini e Bahroun, 2019). Di conseguenza, possono svolgere un ruolo di supporto nel migliorare la "velocità" nella reazione alle incertezze, che è fondamentale per SCA, in particolare per le aziende che hanno già un potenziale integrativo più elevato o quelle che hanno incorporato SCI a livello di sistema. Pertanto, si può affermare che nelle aziende che hanno adottato tecnologie digitali Industria 4.0, l'effetto di SCI su SCA sarà intensificato (M. H. Eslami, H. Jafari, L. Achtenhagen, J. Carlbäck, A. Wong, 2021).

## **5.2. Sviluppo di capacità per affrontare la sfida della digitalizzazione**

La visione delle capacità dinamiche (DC) suggerisce che le organizzazioni dovrebbero essere in grado di rinnovare e ricreare le proprie capacità strategiche per soddisfare i requisiti di ambienti in evoluzione (D.J. Teece, 2007; G. Linden, D.J. Teece, 2018). Gli investimenti in tecnologia da soli non bastano a creare vantaggi competitivi, le organizzazioni devono anche sviluppare capacità che le aziende rivali non possono facilmente imitare (M. Gupta, J.F. George, 2016; G.P. Pisano, 2017). La teoria delle Dynamic Capabilities è fondamentalmente un'estensione della visione delle organizzazioni basata sulle risorse (D.J. Teece, G. Pisano, A. Shuen, 1997), che suggerisce che le risorse eterogenee di un'impresa determinano i suoi vantaggi competitivi sostenibili (J.B. Barney, D.J. Ketchen Jr, M. Wright, 2011). Tuttavia, negli ambienti turbolenti e dinamici di oggi, questa teoria è messa in discussione, il che incoraggia gli studiosi ad estendere la visione basata sulle risorse a quella delle DC. Le Dynamic Capabilities si riferiscono alla capacità di un'azienda di integrare, riconfigurare e costruire le competenze necessarie per

rispondere ad ambienti aziendali in rapida evoluzione (G. Linden, D.J. Teece, 2018). La vista basata sulle risorse invita all'uso di pratiche manageriali per creare nuove capacità, mentre la vista DC suggerisce l'uso di strategie di gestione per rinnovare le competenze in base ai cambiamenti nell'ambiente. In quest'ultimo punto di vista, il termine "capacità" enfatizza il ruolo chiave svolto dal management e dalla leadership nell'adattamento, integrazione e riconfigurazione delle capacità organizzative, delle competenze funzionali e delle risorse al fine di rimanere compatibili con un ambiente in evoluzione. Nel contesto della digitalizzazione, le aziende si sforzano di diventare più orientate ai dati e considerano il processo decisionale sui big data cruciale per le loro prestazioni (A. McAfee, Brynjolfsson, T.H. Davenport, 2012). I big data stanno rapidamente cambiando il modo in cui le aziende prendono decisioni poiché, nell'era dei big data, sono necessarie diverse capacità decisionali per prendere decisioni di qualità (M. Janssen, H. van der Voort, A. Wahyudi, 2017). Nell'attuale economia digitale basata sui dati, infatti, le organizzazioni si sforzano di sfruttare la potenza dei big data per prendere decisioni migliori ed efficientare il processo produttivo. Accanto a opportunità senza precedenti, i big data presentano anche nuove complessità (Wang, Kung, Wang e Cegielski, 2018) che richiedono nuove capacità e competenze. Per sviluppare le capacità necessarie per trarre vantaggio dai big data, le aziende hanno bisogno di risorse sia tangibili che intangibili, ad esempio risorse umane (HR), cultura, tecnologia e competenze manageriali e tecniche (H. Chen, R.H. Chiang, V.C. Storey, 2012). I big data consentono ai decisori di decidere sulla base di "ciò che fanno" invece di "ciò che pensano" (A. McAfee, E. Brynjolfsson, T.H. Davenport, 2012) e migliorano anche le loro conoscenze. Il termine "big data" si riferisce a set di dati molto elevati in termini di velocità, volume e varietà, il che li rende incompatibili con le tecniche e gli strumenti tradizionali. L'uso efficace di set di dati in rapido movimento e su larga scala può trasformare l'approccio decisionale adottato dalle organizzazioni. L'uso dei big data per un migliore processo decisionale presenta alcune importanti sfide gestionali, ad esempio, attrarre le persone giuste con le giuste competenze (P. Tambe, 2014; P. Gamage, 2016).

### **5.2.1. Capacità decisionali sui big data**

Sulla base di Janssen et al. (2017), è possibile definire le capacità decisionali sui big data come la capacità di un'azienda di prendere decisioni di alta qualità basate sui dati, gestendo efficacemente una catena di big data. Secondo tali studi, la gestione efficace di una catena di big data richiede alle aziende di sviluppare le proprie capacità di gestione e analisi dei dati (Y. Chen, T. Hsieh, 2017). La letteratura sull'elaborazione dei dati mostra anche che la capacità di un'impresa di elaborare le informazioni può influire sulle sue prestazioni e che è probabile che la capacità di elaborazione e analisi dei big data influenzi la capacità di un'azienda di prendere decisioni di qualità (Akter et al., 2017). Per gestire efficacemente una catena di big data e prendere decisioni di qualità, le aziende hanno bisogno di governance contrattuale e relazionale, capacità di analisi dei big data, scambio di conoscenze, collaborazione, integrazione dei processi, routine, infrastruttura flessibile, fonti di dati di qualità e qualità del decisore (M. Janssen, H. van der Voort, A. Wahyudi, 2017). La governance contrattuale si riferisce alla formalizzazione di accordi con fornitori di big data volti a migliorare la qualità dei dati. La governance relazionale, che include la comunicazione e lo scambio di conoscenze per la comprensione e l'elaborazione dei dati, garantisce la fiducia tra le entità organizzative. Per creare una catena di big data e superare la frammentazione, è necessaria la collaborazione tra i diversi attori che fanno parte dell'ambiente decisionale guidato dai big data, ad esempio fornitori di big data, analisti di big data e decisori, tra gli altri fattori. L'integrazione di processi e attività è importante anche per ridurre il costo dei big data e delle relative analisi. Le attività coinvolte in una catena di big data devono far parte della routine organizzativa, poiché ciò migliorerà la velocità dei dati. La flessibilità dell'infrastruttura, inoltre, facilita la gestione e l'elaborazione dei dati. L'accuratezza dei dati,

correlata al valore del fornitore di dati, è richiesta anche per evitare di prendere decisioni sbagliate, che si rivelano molto costose. Inoltre, per migliorare le capacità decisionali basate sui dati di qualità, i decisori dovrebbero avere la capacità di interpretare i risultati di analisi dei big data e comprenderne le implicazioni (M. Janssen, H. van der Voort, A. Wahyudi, 2017). Nell'attuale era dei big data, le aziende stanno cercando di determinare come sfruttare al meglio i dati per il processo decisionale (L.L. Visinescu, M.C. Jones, A. Sidorova, 2017). L'esperienza manageriale, integrata con strumenti di business intelligence, può migliorare la qualità del processo decisionale (P.B. Seddon, D. Constantinidis, T. Tamm, H. Dod, 2017). La qualità del processo decisionale, ovvero l'efficacia, può essere valutata dalla soddisfazione dei decisori nel raggiungimento dei risultati desiderati (M. Kaltoft, M. Cunich, G. Salkeld, J. Dowie, 2014), mentre l'efficienza del processo decisionale considera le risorse coinvolte, ovvero tempo, costi, ecc. La teoria dei DC sostiene che il rinnovamento e la creazione di nuove capacità forniscono alle imprese vantaggi competitivi sostenibili. La letteratura esistente suggerisce che la capacità di un'azienda di gestire le informazioni influisce sulle sue prestazioni, sulle capacità di gestione dei clienti e dei processi, che in ultima analisi determinano i risultati e l'efficacia (S. Mithas, N. Ramasubbu, V. Sambamurthy, 2011). Si può sostenere che il raggiungimento di risultati ed efficacia migliori è il risultato di un processo decisionale di qualità facilitato dalle capacità di gestione delle informazioni. Allo stesso modo, i big data consentono anche ad un'azienda di decidere sulla base di informazioni accurate, influenzando la capacità decisionale. Le capacità di data management dell'azienda, comprese competenze e processi, devono essere coltivate e internalizzate durante il rapporto collaborativo col System Integrator, in modo da poter cogliere la giusta interpretazione nel set di dati, che il SI avrà provveduto a fornire al produttore attraverso quell'infrastruttura congiuntamente progettata con il produttore, e tramite quei KPI opportunamente strutturati in funzione delle esigenze condivise dal produttore: le capacità di data management all'interno di una governance relazionale tra produttore e System Integrator possono influenzare il risultato per un valore maggiore (M. Wade, J. Hulland, 2004).

### **5.3. Gestione delle risorse: i ruoli richiesti dalla digitalizzazione**

Prendendo in considerazione l'importante ruolo dei talenti, McAfee et al. hanno suggerito che l'uso dei big data può essere potenziato da un'adeguata gestione dei talenti. Poiché i dati sono ora più accessibili per le organizzazioni, i complementi dell'analisi dei dati, ad esempio i data scientist, sono diventati più preziosi (A. McAfee, E. Brynjolfsson, T.H. Davenport, 2014). Il crescente valore degli esperti di big data rende estremamente importante per le organizzazioni conservarli (P. Tambe, 2014). L'uso dei big data richiede anche le abilità coinvolte nella pulizia e nella visualizzazione dei dati, il che suggerisce che le organizzazioni devono coltivare i talenti chiave (D. Angrave, A. Charlwood, I. Kirkpatrick, M. Lawrence, M. Stuart, 2016). Angrav et al., ha notato l'importante ruolo svolto in un ambiente di big data da professionisti e talenti delle risorse umane, che sono in grado di parlare la lingua del business e quindi facilitano i leader nella formulazione di modi per affrontare i big data. La letteratura riconosce il ruolo cruciale svolto dal capitale umano nelle aziende di successo, in particolare nel settore dell'alta tecnologia (Colombo & Grilli, 2010). Questa situazione rende cruciale per le organizzazioni acquisire le competenze necessarie per gestire i big data. Questa corsa per assicurarsi il talento giusto per gestire i big data non sembra destinata a rallentare finché il mercato del lavoro rimarrà incapace di gestire la domanda in crescita esponenziale (De Mauro et al., 2018). I tratti necessari per affrontare i big data possono essere classificati in due gruppi, ovvero le capacità tecnologiche e metodologiche atte a trasformare i big data in insight di business e la capacità di trasformare tali insight in creazione di valore organizzativo, che coinvolge le persone giuste e i processi core business di un'organizzazione (De Mauro et al., 2018). I ruoli tecnologici e metodologici includono esperti di strumenti per i big data, data manager e strategist, data ethethical manager (Miller, 2014),

programmatori, data hacker (Davenport & Patil, 2012), statistici/analisti quantitativi (Davenport, 2014) e auditor (Mayer -Schönberger & Cukier, 2013). Quelli della seconda categoria, che trasformano le intuizioni in valore aziendale, sono gli esperti di visualizzazione (Davenport & Patil, 2012; Provost & Fawcett, 2013), i comunicatori (Wixom et al., 2014). Questa situazione rende cruciale la gestione dei talenti. Nell'era dell'economia dell'informazione, c'è una guerra globale per i talenti e la capacità delle aziende di sfruttare i big data dipenderà molto dall'efficacia della loro gestione dei talenti. Janssen et al. (2017), a conferma di quanto indicato, ha anche affermato che il processo decisionale sui big data richiede decision maker di qualità e analisti esperti di big data. Quest'ultimo non dovrebbe solo eseguire l'analisi dei dati, ma anche occuparsi della governance contrattuale e relazionale per migliorare la collaborazione sui dati e lo scambio di conoscenze all'interno e all'esterno dei confini aziendali, il che può influire sulla qualità delle decisioni sui big data. Tuttavia, la mancanza di talenti dedicati è stata percepita come la principale barriera per acquisire valore dai big data (P. Tambe, 2014; McKinsey, 2016).

## 6. SYSTEM INTEGRATOR

Letteralmente si traduce come “integratore di sistemi informatici” e si può descrivere anche come azienda o specialista nell'integrazione dei sistemi. Entrando nel merito, con System Integration, si intende "la capacità di combinare diverse basi di conoscenza e componenti fisiche in sistemi funzionanti" (Davies, Brady, Prencipe, & Hobday, 2011, p. 3), per far comunicare e dialogare correttamente diversi sistemi informatici eterogenei, ed impianti. Nel nuovo scenario di Industria 4.0 descritto in precedenza, risulta difficile per le aziende riuscire a combinare la parte software e quella hardware (sensori) al fine di trovare l'applicazione giusta per il proprio business. Le aziende (intese come clienti finali B2B) sono in grado di pensare al risultato che desiderano dalla soluzione combinata, ma non a come ottenerlo. In questo contesto, alla luce della definizione data, le aziende di System Integrator stanno giocando un ruolo chiave. Gli integratori di sistema sono organizzazioni che realizzano sistemi da una varietà di componenti diversi, in grado di creare soluzioni che richiedono competenze hardware, software e di rete in diversi ambienti. Queste aziende stanno contribuendo alla diffusione delle tecnologie digitali, infatti, negli ultimi anni, gli integratori di sistema sono stati la chiave per le imprese e i governi per l'implementazione del giusto sistema tecnologico e l'individuazione delle loro applicazioni (E. Paolucci, E. Pessot, R. Ricci 2021). Il ruolo dei System integrator si sta, infatti, evolvendo in conseguenza della diffusione di nuove tecnologie dirompenti, come Blockchain e AI. Lo scopo di tali intermediari è, quindi, quello di creare un nuovo sistema funzionale che possa utilizzare le potenzialità degli impianti d'origine, aggiungendo funzionalità originariamente non presenti. Questo richiede l'abilità di connettere parti apparentemente distanti, come ad esempio un software e un hardware provenienti da fornitori diversi, dando vita ad una struttura funzionale nuova e personalizzata attraverso le proprie competenze e abilità. Nello specifico, i System Integrator gestiscono l'approvvigionamento hardware e software necessario al soddisfacimento della specifica domanda, coordinando capacità distributive di progettisti specializzati, fornitori di attrezzature e produttori di componenti (Brusoni et al., 2001). Si tratta, quindi, di un'impresa responsabile della progettazione, dell'integrazione e dell'implementazione di prodotti e servizi, forniti dall'esterno, in un sistema per un singolo cliente (Davies, Coole e Smith, 2017). Una letteratura diversa dagli studi sull'innovazione ha enfatizzato i vantaggi dell'integrazione dei sistemi rispetto alle tradizionali strutture integrate verticalmente (Brusoni, Prencipe, & Pavitt, 2001; Prencipe, Davies e Hobday, 2003; Hobday, Davies e Prencipe, 2005). L'integratore di sistemi che coordina l'integrazione dei componenti forniti da ditte esterne, si distingue dal venditore di sistemi verticalmente integrati che produce tutti i componenti di prodotto e servizio in un sistema, diventando sempre meno dipendente dalle ampie capacità interne dei componenti dei prodotti. Un integratore di sistemi puro si concentra sul compito di integrazione dei componenti, coordinando le attività di molti fornitori esterni. Questa rete esterna amplia le capacità e la gamma di componenti che possono essere combinati per creare valore per i propri clienti (Galbraith, 2002). La tendenza verso la modularità e gli standard aperti nelle industrie manifatturiere ha aumentato le possibilità per le aziende di specializzarsi nella fornitura di componenti e/o nell'integrazione di sistemi, infatti, negli ultimi anni, un numero crescente di grandi produttori di beni strumentali è passato dall'essere integrati verticalmente all'essere un integratore delle attività (A. Davies, T. Brady, M. Hobday, 2007). Il fatto che tali organizzazioni si siano concentrate su attività di integrazione di sistemi a più alto valore aggiunto già svolte internamente (ad es. Brusoni et al., 2001) non deve ingannare circa la varietà delle stesse: ci sono molti esempi di aziende tradizionalmente basate su servizi senza capacità di produzione interna che hanno anche iniziato a concentrarsi sull'essere integratori di sistemi di componenti provenienti da una varietà di fornitori (Davies, 2004). Le aziende svolgono anche ruoli diversi nei progetti: un'azienda può essere un integratore di sistemi su un progetto, mentre svolge il ruolo di fornitore di componenti per un integratore di sistemi su un altro progetto. Come indicato da Levitt già negli

anni 80, i servizi che consentono ai clienti di ottenere vantaggi dal sistema stanno diventando più importanti della tecnologia sottostante, per cui la maggior parte delle attività svolte internamente si sta spostando verso la componente di servizio dell'offerta di soluzioni integrate di ciascuna azienda. Un fattore abilitante l'affermarsi della figura del System Integrator è il fatto che, con l'avvento delle nuove tecnologie digitali, i clienti richiedono soluzioni più complesse, che incorporino tecnologie, prodotti e servizi specializzati forniti da numerosi fornitori esterni, per cui la capacità di integrare una gamma di componenti da una varietà di fornitori interni ed esterni sta diventando un'attività sempre più a valore aggiunto, necessaria per fornire soluzioni integrate. Infatti, i vantaggi tradizionali del venditore di sistemi integrati verticalmente che offre sistemi standard progettati da un unico fornitore non sono più una fonte importante di vantaggio competitivo in molti settori. Queste organizzazioni rivolte ai clienti sono responsabili della gestione degli impegni strategici con ciascun cliente, dello sviluppo di proposte, dell'integrazione dei sistemi e dell'organizzazione della fornitura di servizi operativi (Davis, Brady, Hobday; 2005). In risposta a tali richieste, le aziende senza legami con tecnologia o prodotti interni hanno creato nuove organizzazioni per svolgere il ruolo di puro integratore di sistemi (Davis, 2005).

### **6.1. Governance relazionale con il System Integrator**

Per quanto riguarda la digitalizzazione, gli integratori di sistemi sono stati considerati partner preziosi per affrontare il nuovo paradigma, proprio grazie alla loro capacità di combinare componenti hardware e componenti software di automazione, fornendo servizi associati come programmazione PLC, sensori e installazione di visione artificiale, configurazione di interfaccia uomo-macchina, configurazione dei sistemi di esecuzione della produzione (MES) e integrazione con apparecchiature e comunicazione machine-to-machine (Barbosa et al., 2019, Kahle et al., 2020). Dall'installazione fisica di apparecchiature e assistenza varia, gli integratori di sistema forniscono sempre più tecnologie di rete e servizi di analisi dei dati ai produttori come: l'archiviazione e la pulizia dei dati; profilazione dei dati e strumenti di mining, che consentono ai produttori di creare uno stock completo dei loro dati critici e identificare catene di effetti causali e potenziali problemi alla radice; strumenti di visualizzazione; strumenti di monitoraggio (Helper et al., 2019). Helper et al., (2019) hanno dimostrato che Industry 4.0 sta guidando gli integratori di sistemi a far evolvere la loro proposta di valore verso le aziende manifatturiere, offrendo soluzioni "one-stop-shopping" che vanno dall'implementazione della tecnologia digitale alle soluzioni di analisi dei dati e consulenza sulla reingegnerizzazione dei processi aziendali. Dunque, come emerso parzialmente nel paragrafo precedente, i System Integrator, a causa dell'integrazione di grandi flussi di dati e della connessione di apparati e sistemi informativi che comportano significative integrazioni e cambiamenti sistemici nell'infrastruttura tecnologica delle imprese, stanno perdendo quel potere contrattuale che le ha contraddistinte negli ultimi decenni in cui hanno operato come sporadici fornitori di soluzioni tecnologiche per le imprese, impegnandosi in governance contrattuali/transazionali e generando economie di scala dalla vendita massiva di prodotti standard, per iniziare ad instaurare relazioni di lungo periodo, soprattutto nel settore automotive in cui maggiore è il grado di specializzazione e maggiore è il livello di complessità del prodotto, per cui aumenta l'esigenza di un adattamento coordinato (T. Gurcaylilar-Yenidogan, F. Survan, 2011). In questo contesto la co-produzione è essenziale e supporta l'acquisizione e lo sviluppo di nuove idee di servizio attraverso l'innovazione aperta (Barbosa, 2019). Ciò implica che il fornitore di servizi primari deve co-progettare e co-produrre un'innovazione di servizio con altri fornitori e gestire una rete di alleanze in cui coinvolgere i clienti, nella co-produzione e nella progettazione di innovazioni di servizio. Gli integratori devono essere in grado di gestire e orchestrare queste reti di alleanze e, quindi, investire in un pool di potenziali partner che potrebbero essere necessari immediatamente o in futuro per creare nuove esperienze e soluzioni di servizi. Per esemplificare questa capacità, una tale partnership

può comprendere produttori, installatori, consulenti, altre società di ingegneria di conoscenza specifica, ecc. riconoscendo sempre il valore della rete dei partner (Barbosa, Salerno, Perez; 2019). Altro punto rilevante è lo sviluppo di conoscenza da parte dell'impresa produttrice nella relazione con il System Integrator, quindi la capacità dell'azienda di creare e acquisire nuova conoscenza di data management durante l'evolversi del rapporto. Questa formazione è correlata alla gestione della conoscenza e la sua sfida principale consiste nell'assicurare l'ottenimento di nuove conoscenze e competenze potenzialmente rilevanti, la comprensione del suo potenziale e la ricerca delle opportunità che ne derivano. Allo stesso tempo, i System Integrator svolgono attività di routine relative all'acquisizione di nuove conoscenze attraverso l'esposizione delle aziende a nuove forme di servizi e progressi tecnologici, potenziale che deve essere portato nell'archivio delle conoscenze dell'azienda. Il beneficio di una governance relazionale continua sarebbe, dunque, condiviso pienamente. In particolare, parliamo di combinazione di conoscenze in riferimento alla capacità con cui le risorse basate sulla conoscenza del repository dell'azienda vengono combinate e integrate per formare capacità organizzative. Queste capacità saranno realizzate solo se, attraverso la gestione della conoscenza, le risorse di conoscenza acquisite possono essere analizzate e quindi combinate per influenzare un'offerta al mercato (Barbosa, Salerno, Perez; 2019). Con l'avvento del nuovo paradigma tecnologico che sta portando alla digitalizzazione della produzione e ad un approccio sempre più data-driven, il dato è sempre più sinonimo di verità, non lascia spazio ad opinioni e su di esso si basano le decisioni: ad oggi, in qualsiasi contesto produttivo e non, il dato è potere. Esistono diverse tecnologie che permettono di immagazzinare e gestire le grandi masse di dati che arrivano al Unified Corporate System, cioè ad un Data Lake<sup>2</sup> (il linguaggio SQL per interrogare il Data Lake, Machine Learning con Python per prevedere i guasti dei macchinari ecc) ma ciò che è importante è chi, in che modo e per quanto tempo, potrà accedere ad esso, che dipenderà dal tipo di governance concordata tra produttore e System Integrator. Questa tesi supporta l'ipotesi per la quale il System integrator debba essere coinvolto sia nella fase progettuale di sviluppo dell'infrastruttura tecnologica, sia nella fase di "running" per gestire le pipelines di dati (insieme di elementi di elaborazione dati collegati in serie, in cui l'output di un elemento è l'input di quello successivo) e assicurare un attento monitoraggio dell'andamento dei dati. Questo tipo di relazione è caratterizzato da due aspetti. Da un lato, il System Integrator, nello sviluppo e l'implementazione del Data Lake, dovrà partecipare alla definizione dei requisiti insieme al produttore, che dunque dovrà dividerli e non adattarsi ad una soluzione standard utilizzando il mercato: è quindi richiesta **Co-creation**. Dall'altro lato, il System Integrator dovrà continuare ad avere accesso, insieme al produttore, all'infrastruttura sviluppata, per poter aggregare i dati grezzi provenienti dai sensori a livelli più alti, generando KPI comprensibili al produttore, che potrà ricavarne vantaggi operativi; questo avverrà attraverso una procedura automatica che il System Integrator implementa per generare diversi strati di data pipelines, procedura che dovrà essere monitorata e aggiornata continuamente (ci sono catene che a cadenza periodica aggiornano specifiche funzioni richieste dai dati), in funzione delle mutevoli necessità e criticità della produzione: questo aspetto implica la necessità di una **collaborazione continua** tra i due attori.

---

<sup>2</sup> Repository centralizzato che consente di archiviare, analizzare e correlare grandi quantità di dati nel loro formato nativo, provenienti da molte fonti diversificate e disomogenee.

## 7. SVILUPPO DI IPOTESI

L'Industria 4.0 è una combinazione di molti elementi, tra cui intelligenza distribuita, sicurezza di rete, enormi quantità di dati, cloud computing e analisi, tra le altre cose. Tali elementi sono fondamentali per la "fabbrica digitale", un termine recentemente introdotto da molte aziende che indica un portafoglio completo di hardware, software e servizi basati sulla tecnologia perfettamente integrati, con l'obiettivo di migliorare la produttività della produzione e migliorare l'efficienza. Le tecnologie introdotte e/o valorizzate da Industria 4.0 hanno l'obiettivo di digitalizzare e automatizzare la produzione, rendendola sempre più data-driven. L'accesso a grandi insiemi di dati e potenti capacità di elaborazione, combinato con metodologie dipendenti dalla situazione o dal contesto e automazione dell'analisi di rete su larga scala, facilita le valutazioni e le capacità di previsione. Dati accurati e tempestivi sono essenziali per un processo decisionale responsabile e perspicace, che è la chiave per la sopravvivenza organizzativa in un ambiente competitivo e globale. Con il progredire della gestione dei dati, è aumentato anche il potenziale del suo contributo. Le sfide tradizionali della gestione dei dati sono la semantica, la struttura, la sintassi e la situazione dei dati. Fondamentalmente, i dati devono essere corretti e rappresentati correttamente (sintassi e struttura) e riflettere l'applicazione del mondo reale che viene modellata (semantica per una data situazione o dominio applicativo). I programmi applicativi sono necessari per riassumere, classificare, astrarre e presentare i dati. L'utente, o decisore, alla fine, decide come utilizzare i dati per prendere decisioni e inferenze (Storey, 2019). Al fine di identificare le discontinuità tecnologiche, alcuni studiosi hanno puntato sull'idea di General Purpose Technologies (GPT) come discusso da Bresnahan e Trajtenberg (1995) e Jovanovic e Rousseau (2005). L'intelligenza artificiale, il cloud computing e i sistemi cyber-fisici odierni sembrano essere GPT (Brynjolfsson et al., 2010, 2017), ma sono necessarie ulteriori prove per suffragare tali idee. Inoltre, molti elementi distintivi di Industria 4.0 non sono una pura novità. Diverse tecnologie abilitanti chiave si sono sviluppate almeno negli ultimi 20 anni, ad esempio le prime applicazioni dell'intelligenza artificiale risalgono agli anni '50, la stampa 3D agli anni '80, l'Internet of Things agli anni '90 (Li et al., 2017). Ciò su cui la letteratura è ancora carente è la correlazione tra tali tecnologie e la forma di governance instaurata con il fornitore di tali soluzioni tecnologiche. Come già specificato, questo lavoro di tesi mira proprio a colmare questo vuoto e a chiarire quali siano le migliori forme di governance che un'impresa manifatturiera debba implementare con il proprio fornitore di soluzioni digitali, data la presenza di competenze analitiche e di gestione dei dati interne e con riferimento alle due forme di tecnologia abilitanti l'Industry 4.0: tecnologie di interfaccia fisico-digitale e tecnologie di rete. Di seguito, si passano in rassegna le principali caratteristiche delle tecnologie citate e delle competenze richieste dalle stesse, per poi avanzare le ipotesi che hanno guidato la ricerca su cui tale lavoro di tesi si basa.

### **Tecnologie di interfaccia fisico-digitale**

Le tecnologie di interfaccia fisico-digitale includono principalmente un insieme di componenti hardware per identificare ogni dispositivo fisico in modo univoco e in tempo reale (Kallinikos et al., 2013; Youngjin Yoo et al., 2012), tracciandone lo stato (e il cambiamento in esso) mentre si muove lungo il processo produttivo (Lasi et al., 2014). In altre parole, consentono la piena **tracciabilità** dei dati relativi al prodotto e al processo, collegando il cyber-spazio con la realtà di macchine, prodotti e persone al lavoro. Il cluster include sistemi cyber-fisici (Lee e Lee, 2015), concetto simile di Internet of Things (Lee e Lee, 2015; Atzori et al., 2017) e tecnologie di visualizzazione come la realtà aumentata, virtuale e mista (Chrysolouris et al., 2009). Collegata alla tracciabilità degli oggetti fisici, siano essi apparecchiature o componenti di prodotto, è la seconda proprietà delle tecnologie di interfaccia fisico-digitale: la **virtualizzazione**. In tale contesto, virtualizzazione è definita come la capacità di rappresentare e simulare fedelmente i comportamenti di un dispositivo fisico o di un processo (Bailey et al., 2012). La

virtualizzazione può variare da un approccio semplice, in cui solo un insieme di dati viene raccolto e reso disponibile nel mondo virtuale, ad approcci più complessi, in cui vengono simulati oggetti o processi fisici per prevederne dinamiche e comportamenti (Tao & Zhang, 2017). La virtualizzazione è la capacità di creare un gemello digitale di un dispositivo o processo fisico (Tao et al., 2018). La virtualizzazione consente processi di comprensione, interazione e previsione del comportamento di oggetti o processi fisici. Dal funzionamento attraverso modelli virtuali per controllare macchine e processi produttivi, le tecnologie di interfaccia fisico-digitale consentono sempre più di operare entro modelli digitali per consentire la comprensione, lo studio e la sperimentazione. D'altra parte, la virtualizzazione determina un aumento del sovraccarico cognitivo, un aumento del lavoro "informato", e può causare una mancanza di fiducia nei modelli o nelle rappresentazioni digitali (Bailey et al., 2012). Le tecnologie di interfaccia fisico-digitale sono caratterizzate da: prevedibilità, modularità e riconfigurabilità, trasparenza. La *prevedibilità* si riferisce principalmente all'applicazione di tecniche di analisi e simulazione dei big data come il gemello digitale per monitorare le prestazioni di macchine e prodotti connessi, aprendo opportunità per la manutenzione predittiva (ad es. Dobos et al., 2018). *Modularità* e *riconfigurabilità* si applicano a una configurazione dinamica dei vari elementi dei processi aziendali (Fatorachian e Kazemi, 2018) nonché alle linee di produzione grazie a macchine programmabili interconnesse con agenti mobili e robot (Rojko, 2017). *Trasparenza* delle informazioni in tempo reale e rappresentazione virtuale del mondo reale sono funzionalità tipiche delle tecnologie di interfaccia fisico-digitale in quanto la connettività avanzata garantisce acquisizioni di dati dalle macchine e feedback di informazioni dal cyber-spazio (es. Lee e Lee, 2015; Vaidya et al., 2018). L'implementazione delle tecnologie di interfaccia fisico-digitale è focalizzata sugli asset (ad esempio la manutenzione predittiva) e richiede connettività solo per gli asset corrispondenti (Fetterman, 2019). Il fatto che la loro attuazione non richieda modifiche sistemiche in altre parti del sistema di produzione significa che la complessità della loro attuazione può essere considerata bassa. Allo stesso modo, il livello di adattamento alla personalizzazione di queste tecnologie è basso poiché l'implementazione di sensori, telecamere di visione artificiale o RFID può essere installata con una logica plug-and-play. Queste tecnologie sono piuttosto generiche e possono essere adattate a un'ampia varietà di applicazioni (Kahle et al., 2020; Saarikko, Westergren e Blomquist, 2017). Poiché queste tecnologie sono disponibili immediatamente, come tecnologie generiche, non richiedono necessariamente pratiche di governance basate sulle relazioni come la co-creazione e pratiche di collaborazione continua, bensì potrebbero essere basate su una governance di mercato. Infatti, per un'efficace implementazione di queste tecnologie, collaborare attivamente allo sviluppo delle tecnologie o avere una storia precedente di relazioni con i system integrator potrebbe non essere particolarmente utile.

### **Tecnologie di rete**

Affinché i diversi centri di produzione condividano le informazioni, i nodi di rete devono essere fisicamente interconnessi tramite reti di comunicazione dati. Ciò consentirà di condividere e ordinare enormi quantità di informazioni (generate da sensori industriali) utilizzando vari tipi di protocolli di comunicazione. Lo standard Industry 4.0 utilizza TCP/IP, il protocollo Internet più comune, per collegare diversi miliardi di dispositivi (Singh, Al-Mutawaly, Wanyama, 2015). Lo sviluppo di tecnologie di rete innovative riduce al minimo i ritardi nella trasmissione di una quantità enorme di informazioni dai sensori, consentirà la raccolta dei dati della situazione circostante in tempo reale e previsione del futuro attraverso l'analisi dei big data per un controllo di robot, automobili e simili (Fujino, Ogawa, Minowa, 2016). Una volta raccolti i dati necessari sui dispositivi fisici, le tecnologie di rete forniscono l'integrazione necessaria (e idealmente senza soluzione di continuità) per rendere i dati di prodotto e processo analizzabili, accessibili e

facilmente scambiabili all'interno e attraverso i confini dell'organizzazione (Culot et al., 2020). Esse includono principalmente un insieme di componenti software con l'obiettivo di integrarsi in modo rapido, affidabile e sicuro verticalmente (attraverso le fasi di produzione, ovvero dalla pianificazione della produzione, programmazione, manutenzione, controllo di qualità alla produzione effettiva) e orizzontalmente (attraverso le fasi del ciclo di vita del prodotto). Le tecnologie di rete raccolgono, integrano ed elaborano dati sensoriali da apparecchiature e componenti del prodotto (sia dati storici che in tempo reale), dati di prodotto (ad es. parametri di progettazione da un file CAD, file G-code da un file CAM), dati di produzione (ad es. informazioni sull'ordine di processo), e dati aziendali (es. dati di vendita dal sistema CRM, dati contabili da ERP, SCM, ecc.) comunemente gestiti nei sistemi informativi aziendali come MES, ERP, PLM, CRM (E. Paolucci, E. Pessot, R. Ricci 2021). Rispetto alle tecnologie di interfaccia fisico-digitale, le tecnologie di rete sono relativamente nuove per le aziende manifatturiere poiché richiedono grandi capacità di archiviazione, elaborazione, trasformazione e integrazione di dati che sono quasi carenti in tutte le aziende (Agarwal & Brem, 2015). Le tecnologie di rete mostrano alti livelli di complessità nella loro implementazione a causa della combinazione richiesta di diverse tecnologie basate su elementi tecnologici hardware e software e diversi gradi di connettività di rete (Bosman, Hartman e Sutherland, 2019; Culot et al., 2020). Alcune tecnologie di big data open source (es. Apache Hadoop, Spark per citarne alcune), basate su standardizzazione, modularità e interoperabilità, puntano a ridurre tale complessità e si stanno gradualmente consolidando nell'industry. Tuttavia, sono necessarie capacità di integrazione del sistema per integrare diversi stack o moduli dell'architettura dei dati. Le proprietà di accessibilità e sincronizzazione delle tecnologie di rete richiedono che diversi dispositivi fisici (ad es. apparecchiature, componenti di prodotti) e sistemi informativi siano collegati e integrati per collegare i flussi di dati, aumentando così la complessità della loro implementazione (E. Paolucci, R. Ricci, E. Pessot, 2021). Le tecnologie di rete consentono **accessibilità**, ovvero la capacità di fornire un facile accesso a un pool eterogeneo e comune di dati provenienti da dispositivi digitalizzati e sistemi informativi aziendali come i dati sensoriali e aziendali di diversi dipendenti, dipartimenti e partner commerciali (es. clienti, integratori di sistemi, fornitori). L'accessibilità è simile al concetto di *comunanza* purché l'accesso ai dati sia fornito attraverso un pool di dati comune e integrato (Phang et al., 2015). Mentre diversi attori hanno diverse funzioni oggettive, esigenze e punti di vista (Lenz et al., 2018), la caratteristica di accessibilità delle tecnologie di rete migliora il livello di integrazione (Culot et al., 2020; Fatorachian & Kazemi, 2018). Avere accesso a tutti i dati disponibili crea l'opportunità di svelare nuovi modelli che erano nascosti nei dati (Lenz et al., 2018) aumentando così *generatività*, ovvero la creazione di nuova conoscenza (Youngjin Yoo et al., 2012). Inoltre, l'accessibilità fornisce *agilità*, intesa come capacità di rispondere a mercati turbolenti e volatili in modo economico ed efficiente (Blome, Schoenherr e Rexhausen 2013) adattandosi in modo flessibile alle mutevoli esigenze del mercato (Qrunfleh e Tarafdar 2014), fondamentale per le aziende che operano in ambienti imprevedibili caratterizzati da rapide fluttuazioni della domanda e dell'offerta, consentendo loro di adattarsi rispondere ai cambiamenti nelle aspettative dei clienti (Christopher e Towill, 2001). L'accessibilità delle tecnologie di rete aumenta anche l'*efficienza*, evitando ridondanze di dati e conoscenze, riduce l'*equivocità*, cioè interpretazione multiple e conflittuali tra diversi attori, aumenta il livello di *coordinazione e collaborazione* tra i partner della supply chain (Chatterjee, Segars, & Watson, 2006; Farahani, Meier, & Wilke, 2016), ma anche nuovi meccanismi di collaborazione con integratori di sistemi basati più sul servizio che sulla fornitura di prodotti standard (Kamalaldin et al., 2020), anche se lascia spazio a comportamenti opportunistici, quale utilizzo inopportuno di dati condivisi. Le tecnologie di rete consentono la **comunicazione sincrona** tra dispositivi digitalizzati e sistemi informativi aziendali (Fatorachian & Kazemi, 2018). La **sincronizzazione** assicura che i dati nei sistemi informativi aziendali siano sempre aggiornati e in tempo reale,

aumentando così le opportunità di ottimizzazione e automazione della fabbrica (Cui et al., 2020; Porter & Heppelmann, 2015). Assicura, quindi, maggiore *automazione* e *ottimizzazione* delle attività, ad es. pianificazione e programmazione della produzione, collegando macchine e sistemi informativi, e costituisce un legame diretto tra design del prodotto da un lato e producibilità e controllo qualità dall'altro. Mentre le tecnologie di interfaccia fisico-digitale possono essere semplicemente acquistate in commercio e implementate con una logica plug-and play, gli elevati livelli di incertezza interpretativa e complessità che caratterizzano le tecnologie di rete richiedono alle aziende pratiche di governance relazionale, ovvero co-creazione e collaborazione continua (E. Paolucci, R. Ricci, E. Pessot, 2021). Partendo dalla co-creazione, essa è necessaria per colmare le lacune nelle capacità tecnologiche dovute alle caratteristiche di novità e per garantire l'integrazione delle tecnologie di rete nel sistema di produzione del cliente (Goduscheit & Faullant, 2018; Kahle et al., 2020). In secondo luogo, la co-creazione facilita lo sviluppo da parte degli integratori di sistemi di capacità all'avanguardia nella comprensione dei problemi e delle esigenze dei clienti relative all'integrazione dei flussi di dati e alla fornitura di analisi dei dati (Goduscheit & Faullant, 2018; Kamalaldin et al., 2020). A questo proposito, gli integratori di sistema dipendono dall'accesso alla conoscenza dei propri clienti per personalizzare una soluzione di processo, proprio a partire dai requisiti di progettazione idiosincratici del cliente. Riguardo la collaborazione continuativa, essa riduce l'incertezza interpretativa innanzitutto perché, attraverso la continua collaborazione, le aziende possono sviluppare un vocabolario specialistico condiviso che assume importanza soprattutto quando i System Integrator arrivano da un dominio di conoscenza lontano rispetto ai produttori. La mancanza di un tale terreno di conoscenza comune tra le imprese manifatturiere e i loro fornitori di soluzioni digitali è stata indicata come uno dei motivi per cui gli investimenti in sistemi informativi e software in Italia non hanno portato a una crescita del valore economico e della produttività (Neirotti, Paolucci, & Raguseo, 2011). Inoltre, considerando che l'utilizzo di tecnologie di rete può implicare lo scambio di dati con fonti di integratori di sistema, la collaborazione continua facilita lo sviluppo della fiducia (Athaide & Zhang, 2011; Gulati, 1995), requisito fondamentale per una collaborazione efficace soprattutto per le PMI (S. Lee, Parco, Yoon e Parco, 2010), e favorisce lo scambio di conoscenza tacita che è fondamentale per le innovazioni di processo (Terjesen & Patel, 2017). A questo proposito, la collaborazione continua facilita l'applicazione delle tecnologie di rete nelle innovazioni processo (E. Paolucci, R. Ricci, E. Pessot, 2021). In questo lavoro di tesi, indichiamo con il termine *governance relazionale* quella forma di governo caratterizzata sia da co-creation che da collaborazione continua.

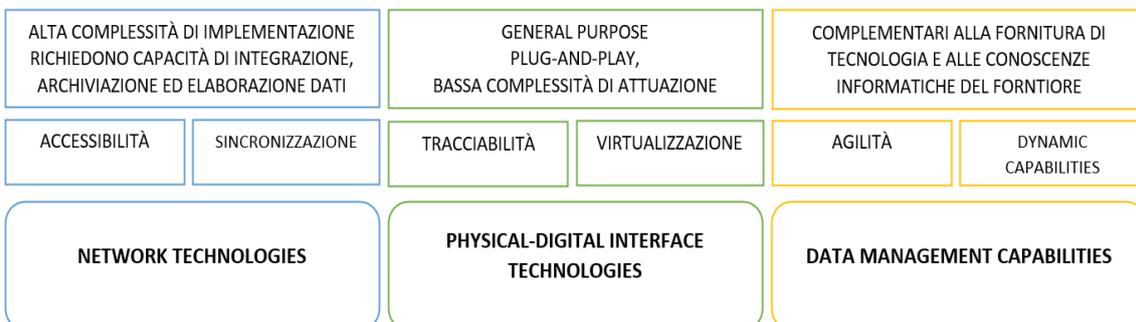
### **Data Management Capability**

Il concetto di Industria 4.0 descrive la crescente digitalizzazione dell'intera catena del valore e la conseguente interconnessione di persone, oggetti e sistemi attraverso lo scambio di dati in tempo reale (Dorst W., Glohr C., Hahn T., Knafl F., et al, 2015). Nonostante gli enormi progressi nel settore, i manager devono costantemente affrontare nuove sfide. Industria 4.0 crea molte nuove opportunità per le aziende, ma allo stesso tempo diverse sfide derivanti dalla continua automazione e digitalizzazione (Hecklau F., Galeitzke M., Flachs S., Kohl H., 2016). La digitalizzazione della produzione sta ottimizzando l'officina con tecnologie integrate e tecnologie di comunicazione. Con questi nuovi sistemi integrati, è possibile per la fabbrica del futuro essere adattiva rispetto alla produzione di prodotti personalizzati in piccoli lotti. L'automazione sarà sempre più importante, di conseguenza anche le qualifiche e le competenze della manodopera, necessarie per svolgere i compiti della fabbrica del futuro, differiranno (Katarzyna, Łupicka A., 2017). Coerentemente con la teoria del sistema sociotecnico e la visione basata sulle competenze, è stato affermato che la tecnologia di norma non offre soluzioni pronte per l'uso e non ci si può aspettare un aumento significativo della produttività a meno che non vengano attuate

congiuntamente modifiche ai processi aziendali e alle pratiche di lavoro (Schuh et al., 2014; Brynjolfsson et al., 2017). Nell'Industria 4.0, processi aziendali e ingegneristici dinamici consentono modifiche dell'ultimo minuto alla produzione e offrono la capacità di rispondere in modo flessibile alle interruzioni. La produzione compatibile con l'idea Industria 4.0 è una struttura teleguidata, autonoma e robotizzata. In queste strutture è necessario elaborare e analizzare grandi quantità di dati in tempo reale (Zwolińska B., 2017), avere competenze di data mining, sicurezza dei dati e rilevamento degli errori dei dati (Lee e Lee, 2015). Infatti, mentre la rivoluzione digitale continua, la digitalizzazione delle attività umane genera grandi quantità di dati, che hanno il potenziale per essere sia dirompenti che trasformativi (Larsen, 2016). Pertanto, il successo della digitalizzazione si basa sulla capacità di gestire i dati, siano essi tradizionali o di grandi dimensioni, di nuova generazione o riadattati, dati strutturati o non strutturati, dati numerici o di testo. La corretta gestione dei dati è quindi fondamentale, così come l'archiviazione dei dati per un uso futuro (Storey, Woo, 2018). Ad esempio, poiché le tecnologie digitali dell'Industria 4.0 generano grandi quantità di dati, richiedono una notevole capacità di archiviazione architetture per gestire un'elaborazione efficiente (cfr. Núñez-Merino et al., 2020). Allo stesso modo, le aziende manifatturiere potrebbero non avere gli strumenti e le competenze analitiche necessarie per il data mining che consentirebbero alle aziende di passare dalle routine semplici, esperienziali e iterative che tipicamente caratterizzano le capacità delle aziende in mercati altamente dinamici, verso la gestione di processi più complessi (cfr. Eisenhardt e Martino, 2000). Poiché lo sviluppo di competenze core interne spesso porta a migliori prestazioni finanziarie (Rajaguru e Matanda 2019), le aziende possono utilizzare le proprie risorse e capacità interne per raggiungere tale obiettivo. Per questo, attraverso l'integrazione strategica con i loro fornitori di soluzioni tecnologiche, le aziende possono capitalizzare le loro risorse combinate a beneficio di tutte le parti coinvolte (Wiengarten et al. 2014), investendo in dynamic capabilities. L'approccio della capacità dinamica è stato ampiamente utilizzato nella ricerca OSCM (Halldórsson, Hsuan e Kotzab 2015; Chahal et al. 2020). I risultati ottenuti indicano che le capacità dinamiche potrebbero essere generate all'interno di un'azienda focale in collaborazione a lungo termine con altri partner, per cui le routine operative vengono riconfigurate per migliorare l'efficacia. Nella gestione della catena di approvvigionamento, questo processo richiede l'acquisizione delle capacità necessarie per rispondere adeguatamente all'ambiente in evoluzione e alle esigenze del mercato. In un mondo sempre più interconnesso, ciò implica l'adozione delle tecnologie digitali dell'Industria 4.0 per massimizzare l'utilizzo delle risorse aziendali, esplorando al contempo le opportunità di condividere le informazioni con i partner della catena di approvvigionamento per reagire meglio ai cambiamenti del mercato e quindi superare la concorrenza (Akter et al. 2016; Wamba et al. 2020). Warner e Wäger (2019) sottolineano l'importanza delle capacità dinamiche, in particolare dell'agilità, nel processo di trasformazione digitale. L'**agilità**, definita in senso lato come la capacità di rispondere in modo efficiente ed efficace ai cambiamenti e alle turbolenze del mercato, è diventata determinante per la sopravvivenza dell'impresa (Altay et al. 2018). In linea con le tecnologie digitali di Industria 4.0, Rajaguru e Matanda (2019) hanno studiato come le aziende che si affidano sia all'analisi dei big data che alla Supply Chain Agility (SCA) in una collaborazione continua con i suoi fornitori, potrebbero aumentare il loro vantaggio competitivo. Allo stesso modo, Dubey et al. (2019) hanno identificato un impatto positivo dell'analisi dei big data sulla performance finanziaria, mentre Tarafdar e Qrunfleh (2017) hanno trovato supporto per l'impatto condizionale della capacità IT dell'azienda produttrice sulla relazione SCA con le prestazioni. Infine, la qualità delle decisioni basate sui dati non dipende esclusivamente dai dati stessi, ma è anche collegata alle strategie impiegate per la raccolta e l'analisi dei dati. L'analisi delle relazioni nascoste negli insiemi di dati richiede esperti di diverse discipline con competenze e capacità diverse (M. Janssen, H. van der Voort, A. Wahyudi, 2017; P. Tambe, 2014). Janssen et al. ha inoltre affermato che il coinvolgimento di più organizzazioni

nel processo si traduce in una catena di attività nota come catena di big data, che comprende le fasi e i punti di trasferimento della raccolta dei dati, della preparazione dei dati, dell'analisi dei dati e del processo decisionale.

Di seguito, si presenta un quadro riassuntivo e rappresentativo delle tre dimensioni principali della ricerca, su cui saranno basate le ipotesi.



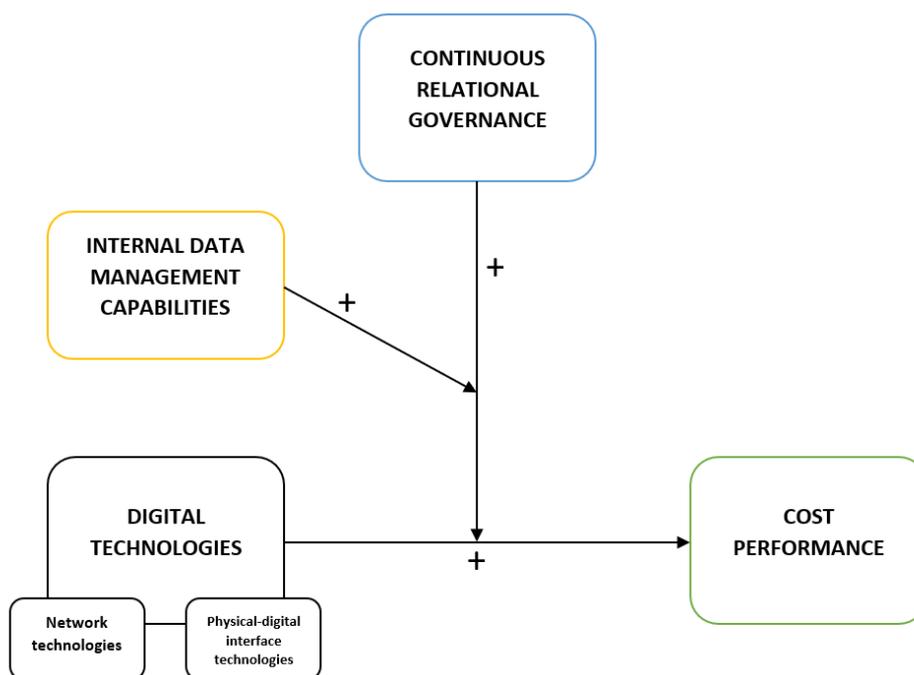
**Tabella I: Caratteristiche delle variabili distintive dello studio**

Quanto riportato, sottolinea dunque la necessità di affiancare lo sviluppo di consocenza interna circa la gestione dei dati alla creazione di una relazione collaborativa continua con il fornitore di soluzioni digitali per valorizzare l'implementazione delle nuove tecnologie digitali; si avanzano, dunque, le seguenti ipotesi:

HP1: *Nell'implementazione di tecnologie di interfaccia fisico-digitale, le aziende capaci di instaurare una governance relazionale con il System integrator e di sviluppare competenze di data management interne ottengono migliori performance di costo.*

HP2: *Nell'implementazione di tecnologie di rete, le aziende capaci di instaurare una governance relazionale con il System integrator e di sviluppare competenze di data management interne ottengono migliori performance di costo.*

Di seguito, un framework riassuntivo delle ipotesi alla base della ricerca.



**Fig. 8: Framework di ricerca**

## 8. METODO DI RICERCA

Il lavoro di ricerca, alle cui domande la tesi cerca di dare una risposta quantitativamente significativa, è stato affrontato analizzando aziende produttrici del settore automotive italiano e statunitense. L'industria automobilistica è tra i settori più consolidati, con una sovraccapacità globale di circa il 30%. Il mercato è piuttosto saturo e la domanda è trainata dalla sostituzione del prodotto. Il margine di profitto sulle auto nuove è relativamente basso, in particolare nei segmenti di mercato a basso prezzo/alto volume (Golińska P., Kawa A., 2011). In particolare, il motivo per cui si è scelto il settore automotive come oggetto di ricerca è che esso rappresenta uno dei più importanti driver mondiali di crescita e occupazione, oltre che di innovazione tecnologica e manageriale (Relich M., Pawlewski P. 2014). L'industria automobilistica è un mercato altamente competitivo con un diffuso uso di nuove tecnologie, crescenti investimenti in innovazioni di prodotto e di processo, un forte orientamento al miglioramento continuo delle competenze e un alto livello di occupazione; il settore automobilistico, inoltre, rappresenta una buona fetta del PIL dei principali paesi industrializzati, ad esempio in Italia. Il fatturato dell'industria automobilistica ammonta al 5,9% del PIL (Barazza & Coccimiglio, 2019). La continua necessità di innovare i processi produttivi è dovuta all'elevata pressione competitiva del settore, i cui prodotti industriali sono soggetti a elevati livelli di standard internazionali, qualità ed efficienza (Liao, Deng, Liao e Zhang, 2020; Qamar, Hall, & Collinson, 2018), che sta portando le imprese del settore a adottare nuove soluzioni tecnologiche.

### 8.1. Popolazione e campione di riferimento

Il metodo di ricerca si è basato su un'indagine quantitativa multi-rispondente, somministrata tramite questionario a responsabili HR, responsabili impianto e responsabili vendite di aziende di componenti automobilistici tra Marzo 2019 e Febbraio 2020, sia sul territorio italiano che statunitense. L'unità di analisi per questa indagine è stata lo stabilimento industriale. Prima della fase di raccolta dei dati, il questionario è stato pre-testato per garantire accuratezza e chiarezza. Il gruppo di ricerca in Italia, composto da ricercatori e professori del Politecnico di Torino, ha inviato via e-mail una bozza del questionario a cinque responsabili risorse umane, stabilimento e commerciale di cinque diversi stabilimenti, seguita da interviste approfondite con gli stessi informatori. Dopo aver raccolto alcuni preziosi feedback, alcune domande sono state leggermente modificate per aumentare l'accuratezza e la chiarezza del questionario. Per il territorio italiano, partendo da una popolazione di circa 2200 imprese, aggiornata annualmente dalla Camera di Commercio di Torino e dall'ANFIA (Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica) e con il supporto di tali enti, il gruppo di ricerca ha iniziato a raccogliere dati da un sottocampione di imprese che partecipano annualmente a un'indagine descrittiva sulle l'industria automobilistica, condotta dalle suddette organizzazioni, e che si sono dichiarate disponibili a partecipare alla ricerca (circa 600 aziende). Prima di inviare il questionario via e-mail, il team di ricerca ha contattato telefonicamente ciascuna delle aziende per garantire il loro impegno nella ricerca e per stabilire il numero di stabilimenti che avrebbero potuto partecipare alla ricerca. Le aziende target sono state quindi ampliate per coinvolgere quelle incluse nel database ma al di fuori di questo sottocampione. Il campione è stato stratificato considerando tre caratteristiche principali: (i) la dimensione dell'impresa; (ii) la posizione nella catena di approvvigionamento; (iii) la regione italiana. Durante la raccolta dei dati, il gruppo di ricerca ha assicurato che queste tre variabili fossero rappresentative della popolazione dei fornitori automobilistici italiani. Al sondaggio hanno partecipato un totale di 102 stabilimenti di fornitori di auto. Il tasso di risposta è stato del 16,8% rispetto al quadro di campionamento e del 4,5% rispetto alla popolazione. I partecipanti erano principalmente PMI (81%), costituendo un campione rappresentativo della popolazione in termini di dimensione degli stabilimenti, area geografica e posizione di filiera. Parallelamente, un'indagine del tutto comparabile è stata

condotta dalla Case Western University sulle aziende statunitensi attive nel settore automotive, dalla New York Stern University e da associazioni automobilistiche locali, raggiungendo un bacino di 178 imprese. Negli Stati Uniti, un'impresa è considerata "PMI" quando ha meno di 500 dipendenti, mentre in Italia tale definizione riguarda le imprese con meno di 250 dipendenti. Secondo questa definizione, il campione è composto dal 70% (USA) e dall'83% (Italia) PMI. Mentre se si guarda alle imprese con meno di 250 dipendenti, il campione è del 42% negli USA e dell'83% in Italia. In linea con la popolazione, il numero medio di addetti per stabilimento analizzato è di 405 per le imprese statunitensi e di 109 per le imprese italiane.

## 9. RISULTATI

Per mettere alla prova le ipotesi ricavate da una rassegna della letteratura sui temi evidenziati, si è proceduto ad esaminare due filoni di regressione logistica, entrambi organizzati su due gruppi di modelli. Uno di essi (Tabella III per il filone 1, tabella VI per il filone 2) prende in considerazione le tecnologie di interfaccia fisico-digitale, il secondo (tabella IV per il filone 1, tabella VII per il filone 2) prende in considerazione le tecnologie di rete. Entrambi, hanno l'obiettivo di identificare gli effetti delle variabili indipendenti e di controllo sulla performance di costo del produttore, utilizzata come variabile indipendente. Prima di analizzare i risultati, si presenta uno schema descrittivo delle variabili utilizzate.

Variabile dipendente	Descrizione	Tipo	Contenuto e valori
<i>Cost Performance</i>	(Reverse) Variazione percentuale media annua dei costi unitari negli ultimi 3 anni	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Decreased (>10%) 5= Increased (>10%)
Variabili indipendenti	Descrizione		
<i>Physical digital interface technologies</i>	Tecnologie di interfaccia fisico-digitale utilizzate nell'impianto. Somma di:	Continua	Valori elevati sono associati ad alti livelli di technology intensive del produttore
	Sensori	Binaria	1= using, 0=not using
	Machine vision	Binaria	1= using, 0=not using
	Automated parts tracking	Binaria	1= using, 0=not using
<i>Network technologies</i>	Tecnologie di rete utilizzate nell'impianto. Somma di:	Continua	Valori elevati sono associati ad alti livelli di technology intensive del produttore
	Sensori inviano dati ad un unico sistema integrato	Binaria	1=Si, 0=No
	(Reverse) Dati rimangono in "Silos" (difficoltà di collegare dati da sistemi diversi)	Binaria	1=Si, 0=No
<i>Increase of process engineers</i>	Incremento del numero ingegneri di processo nell'impianto negli ultimi 3 anni	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
<i>On-going relationship</i>	Indica la presenza di una governance relazionale tra produttore e System Integrator	Binaria	1=Si, 0=No
<i>Firm's approach to interpretative uncertainty</i>	Incertezza nell'interpretazione dei dati a causa di "eccessiva fiducia" nei sistemi informatici	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
Variabili di controllo	Descrizione		
<i>Collaboration with Integrator firm</i>	Indica se il produttore si è avvalso della collaborazione di un S.I.	Binaria	1=Si, 0=No
<i>Shop workers improvement</i>	Miglioramenti apportati dagli operai alle procedure operative	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
<i>US</i>	Paese in cui opera l'impresa	Continua	Input - Testo
<i>Company size</i>	Numero totale di dipendenti	Continua	Input - Numero
<i>Enterprise information system</i>	Utilizzo di un sistema informativo aziendale come ERP	Binaria	1= using, 0=not using
<i>Informal work arounds for IT</i>	Azioni atte ad aggirare i sistemi IT con soluzioni temporanee alternative di tipo informale, poiché inadeguati o difficili da usare.	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
<i>Ship directly to automaker</i>	Posizione nella filiera: collegamento diretto con il cliente	Binaria	1=Si, 0=No

**Tabella II: Variabili di ricerca**

Per valutare la presenza e il tipo di relazione che il produttore instaura con il System Integrator, sono state inserite due apposite domande nel questionario. La variabile “*Collaboration with System Integrator*”, usata come variabile di controllo, fa riferimento alla prima domanda, in cui il sondaggio chiede se le aziende si siano avvalse del servizio di un integratore di sistemi per l’integrazione e automazione dei sistemi informativi. Tra quelli che rispondono “sì”, il sondaggio chiede quale sia stato il grado di coinvolgimento degli integratori di sistema nella progettazione e realizzazione dei progetti di integrazione. La variabile “*On-going relationship*”, utilizzata nel modello come regressore indipendente, sta ad indicare la presenza di una **governance relazionale** tra produttore e System Integrator, valorizzata dai rispondenti che hanno optato per l’alternativa “We typically have an *on going relationship* with the integrator to help us improve the way the automation function”. Per monitorare il grado di competenze analitiche e di processo interne all’azienda viene utilizzata la variabile indipendente “*Increase of process engineers*”, direttamente legata alle competenze di data management degli ingegneri dell’impianto, avendo chiesto esplicitamente se il numero di tali figure tecniche sia cresciuto negli ultimi anni. Insieme a quest’ultima, le altre tre variabili indipendenti sono i due tipi di tecnologie digitali e quella che misura l’incertezza interpretativa. La scelta delle cinque variabili indipendenti presentate è giustificata dallo scopo della tesi, che mira a identificare gli effetti delle stesse, e della loro interazione, sulle prestazioni di costo dei produttori. Da sottolineare il rilievo della variabile *Firm’s approach to interpretative uncertainty*, ampiamente trattata nella tesi, legata al quesito “We have found that use of Information Technology (IT) reduces the need for shop-floor workers to have analytical skill”: affidarsi al responso di strumenti informativi, senza adeguate competenze analitiche, potrebbe portare a errata interpretazione dei dati. Oltre a quelle citate, sempre in linea con lo scopo della tesi e volendo testare i contenuti presenti in letteratura, si è scelto di includere anche le seguenti variabili di controllo: miglioramenti degli operai nella definizione delle procedure di lavoro, paese in cui è ubicato l’impianto per poter effettuare confronti tra Italia e USA, presenza di un sistema informativo aziendale con più moduli (es. ERP), tentativo di “aggirare” i sistemi IT aziendali, posizione del produttore nella filiera.

Di seguito, si presentano i risultati del Filone 1 di modelli di regressione, trattando prima i modelli relativi alle tecnologie di interfaccia fisico-digitale, poi i modelli relativi a quelle di rete.

	<b>Dependent Variable (Cost Performance)</b>		
	(1) Coefficient (Std. Err.)	(2) Coefficient (Std. Err.)	(3) Coefficient (Std. Err.)
Physical digital interface technologies	0.0843 (0.166)	0.0347 (0.180)	0.0761 (0.176)
Increase of process engineers	-0.0272 (0.0749)	-0.0241 (0.0806)	-0.0184 (0.0789)
Physical digital interface technologies # Increase of process engineers	0.00994 (0.0418)	0.0100 (0.0431)	0.00661 (0.0424)
On-going relationship	2.927 (1.844)	2.716 (1.812)	2.830 (1.717)
On-going relationship # Physical digital interface technologies	<b>-1.503<sup>+</sup></b> <b>(0.836)</b>	<b>-1.401<sup>+</sup></b> <b>(0.809)</b>	<b>-1.442<sup>+</sup></b> <b>(0.769)</b>

On-going relationship # Increase of process engineers	<b>-0.685<sup>+</sup></b> <b>(0.386)</b>	<b>-0.680<sup>+</sup></b> <b>(0.383)</b>	<b>-0.619<sup>+</sup></b> <b>(0.373)</b>
On-going relationship # Physical digital interface technologies # Increase of process engineers	<b>0.364<sup>*</sup></b> <b>(0.180)</b>	<b>0.332<sup>+</sup></b> <b>(0.181)</b>	<b>0.335<sup>+</sup></b> <b>(0.172)</b>
Firm's approach to interpretative uncertainty		-0.0535 (0.0744)	-0.0587 (0.0761)
Collaboration with Integrator Firm	<b>-0.350<sup>+</sup></b> <b>(0.193)</b>	-0.320 (0.208)	<b>-0.406<sup>+</sup></b> <b>(0.209)</b>
Informal work arounds for IT			-0.0797 (0.0600)
US		<b>0.295<sup>+</sup></b> <b>(0.173)</b>	<b>0.282<sup>+</sup></b> <b>(0.172)</b>
Constant	2.989** (0.352)	3.104** (0.352)	3.233** (0.366)
Observations	132	130	126
R-squared	0,0726	0,0950	0,1344
Root MSE	0,8280	0,82289	0,81205

Standard errors in parentheses;

<sup>+</sup>  $p < 0.1$ , <sup>\*</sup>  $p < 0.05$ , <sup>\*\*</sup>  $p < 0.01$

**Tabella III: Risultati regressione logistica (1) - Filone 1**

Osservando la Tabella III, l'ipotesi H1, che afferma che *nell'implementazione di tecnologie di interfaccia fisico-digitale, le aziende capaci di instaurare una governance relazionale con il System integrator e di sviluppare competenze di data management interne ottengono migliori performance di costo*, risulta supportata in tutti e tre i modelli, che differiscono per le variabili di controllo: i risultati mostrano un coefficiente positivo e significativo in relazione a questa triplice interazione, dimostrando che i benefici in termini di efficienza operativa sono percepiti solo nel caso di co-presenza di tutte e 3 le variabili complementari; infatti, i risultati mostrano che l'impatto che ha la complementarità tra la governance relazionale e una sola delle altre due variabili, quando la terza è nulla, è negativo e significativo. Inoltre, nei modelli 2 e 3, la variabile US presenta un coefficiente positivo e significativo, indicando una maggiore efficienza operativa delle imprese statunitensi rispetto a quelle italiane. Nei modelli 1 e 3 il coefficiente di *Collaboration with System Integrator* è negativo e significativo, sottolineando che usufruire del servizio di un integratore di sistemi non basta per migliorare le prestazioni di costo, bensì è necessario instaurare un rapporto collaborativo di lungo periodo (coefficiente di *On-going relationship* positivo ma non significativo).

**Dependent Variable (Cost Performance)**

	(1) Coeff. (Std. Err.)	(2) Coeff. (Std. Err.)	(3) Coeff. (Std. Err.)	(4) Coeff. (Std. Err.)
Network technologies	-0.0152 (0.280)	0.180 (0.295)	-0.0476 (0.307)	0.0936 (0.285)
Increase of process engineers	-0.0249 (0.0803)	0.00185 (0.0810)	-0.0138 (0.0891)	-0.0103 (0.0743)

Network technologies # Increase of process engineers	0.0295 (0.0803)	0.0203 (0.0822)	0.0303 (0.0869)	0.0403 (0.0817)
On-going relationship	0.134 (0.405)	0.451 (0.461)	0.144 (0.439)	<b>0.741<sup>+</sup></b> <b>(0.427)</b>
On-going relationship # Network technologies	<b>-0.956<sup>+</sup></b> <b>(0.554)</b>	<b>-1.160<sup>*</sup></b> <b>(0.501)</b>	<b>-0.830<sup>+</sup></b> <b>(0.479)</b>	<b>-1.371<sup>**</sup></b> <b>(0.469)</b>
On-going relationship # Increase of process engineers	-0.0964 (0.140)	-0.205 (0.143)	-0.107 (0.130)	<b>-0.275<sup>+</sup></b> <b>(0.142)</b>
on-going relationship # Network technologies # Increase of process engineers	<b>0.285<sup>+</sup></b> <b>(0.148)</b>	<b>0.331<sup>*</sup></b> <b>(0.132)</b>	<b>0.266<sup>*</sup></b> <b>(0.126)</b>	<b>0.397<sup>**</sup></b> <b>(0.139)</b>
Firm's approach to interpretative uncertainty	-0.110 (0.0691)	-0.0793 (0.0646)	-0.0959 (0.0677)	<b>-0.117<sup>+</sup></b> <b>(0.0674)</b>
Collaboration with Integrator Firm	-0.202 (0.173)	-0.180 (0.216)	-0.335 (0.214)	-0.212 (0.187)
Ship directly to automaker				-0.208 (0.190)
US		<b>0.519<sup>*</sup></b> <b>(0.228)</b>		<b>0.653<sup>**</sup></b> <b>(0.193)</b>
Informal work arounds for IT			<b>-0.102<sup>+</sup></b> <b>(0.0618)</b>	-0.0648 (0.0633)
Shop workers improvement		<b>0.103<sup>+</sup></b> <b>(0.0624)</b>		
Company size		0.0388 (0.0827)	<b>0.139<sup>*</sup></b> <b>(0.0669)</b>	
Enterprise info system		-0.142 (0.267)	-0.145 (0.275)	
Constant	3.354 <sup>**</sup> (0.313)	2.488 <sup>**</sup> (0.459)	3.048 <sup>**</sup> (0.449)	3.278 <sup>**</sup> (0.368)
Observations	128	125	121	119
R-squared	0,0560	0,1615	0,1428	0,1694
Root MSE	0,83166	0,79871	0,80073	0,79663

Standard errors in parentheses;

<sup>+</sup>  $p < 0.1$ , <sup>\*</sup>  $p < 0.05$ , <sup>\*\*</sup>  $p < 0.01$

**Tabella IV: Risultati regressione logistica (2) - Filone 1**

Osservando la Tabella IV, l'ipotesi H2, che afferma che *nell'implementazione di tecnologie di rete, le aziende capaci di instaurare una governance relazionale con il System integrator e di sviluppare competenze di data management interne ottengono migliori performance di costo*, risulta supportata dai risultati, in particolare nel modello 4 con una significatività dell'1%: anche per le tecnologie di rete, la governance relazionale, se combinata solo con l'implementazione di tali tecnologie o solo con competenze di data management interne, ha un effetto negativo e

significativo sulle prestazioni di costo, che diventa positivo e significativo in presenza della combinazione di tutte e tre le variabili, sottolineando il beneficio della loro complementarità. Inoltre, i risultati del modello 2 mostrano un effetto positivo e significativo della variabile *Work Shop Improvements* sulla *Cost Performance*, indicando che i miglioramenti che la forza lavoro apporta al suo metodo lavorativo ha dei benefici operativi tangibili, oltre ad una migliore efficienza operativa delle imprese statunitensi rispetto a quelle italiane, essendo il coefficiente di *US* positivo e significativo sia nel modello 2 (al 5%) che nel 4 (1% di significatività). Nel modello 3, i risultati sottolineano che azioni volte ad aggirare i sistemi informatici hanno un impatto negativo sulla performance di costo, essendo il coefficiente di *Informal work arounds for IT* negativo e significativo, così come significativa (al 5%) è l'effetto della dimensione dell'azienda, indicando una maggiore efficienza operativa delle aziende con maggior numero di dipendenti. Un ulteriore risultato molto importante, che conferma i tanti postulati presenti in letteratura sul tema, è presente nel modello 4, in cui il coefficiente di *Firm's approach to interpretative uncertainty* risulta negativo e significativo. Infine, il modello 4 restituisce un risultato interessante: l'impatto della variabile *On-going relationship* sulle performance di costo del produttore è positivo e significativo indicando che, anche in assenza di elevata network-technology intensive e di alti livelli di data management competences (tecnicamente, quando queste due variabili sono nulle), instaurare una relazione collaborativa di lungo periodo con il System Integrator migliora le prestazioni di costo dell'azienda. Di seguito, in tabella VI e tabella VII, sono stati effettuati ulteriori due modelli, appartenenti al filone 2 di modelli di regressione, uno per le tecnologie di rete e uno per quelle di interfaccia fisico-digitale, in cui è stata utilizzata una variabile diversa legata alle competenze analitiche e di gestione dei dati dell'azienda produttrice, in sostituzione di *Increase of process engineers*, e due nuove variabili di controllo, in aggiunta a quelle utilizzate nel primo filone. Le nuove variabili sono di seguito descritte:

Variabile indipendente	Descrizione	Tipo	Contenuti e valori
<i>Internal Data Management Capabilities</i>	Grado di competenze analitiche e di gestione dei dati interne. Somma di:	Continua	Valori crescenti sono associati a crescenti livelli di competenze di data management interne
	Increase of process engineers	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
	Data Management. Media tra:	Continua	1= using, 0=not using
	Utilizzo dati storici relativi a cause di difetti per modificare i processi produttivi	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
	Esecuzione di piani periodici di manutenzione preventiva	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
	Maggiore attenzione negli anni all'analisi formale dei dati per migliorare i processi e le procedure	Discreta	Scala Likert da 1 a 5: 1= Totale disaccordo 5= Totale accordo
Variabili di controllo	Descrizione	Tipo	Contenuti e valori
<i>Formal Lean Production Program</i>	Programmi formali di lean production per gli operai	Binaria	1=Si, 0=No
<i>Data Driven Decision Making</i>	Decisioni basate sull'analisi quantitativa dei dati	Binaria	1=Si, 0=No

**Tabella V: Variabili di ricerca (2)**

Si presenta, dunque, il secondo filone di modelli, in cui è utilizzata la variabile *Internal Data Management Capabilities* in sostituzione di *Increase of process engineers* e le due variabili di controllo *Formal Lean Production Program* e *Data Driven Decision Making*

<b>Physical digital interface technologies</b>	
<b>Dependent Variable (Cost Performance)</b>	<b>(1) Coeff. (Std. Err.)</b>
Physical digital interface technologies	0.0953 (0.269)
Internal Data Management Capabilities	-0.00666 (0.0677)
Physical digital interface technologies # Internal Data Management Capabilities	0.000633 (0.0373)
On-going relationship	2.617 (4.163)
On-going relationship # Physical digital interface technologies	-1.632 (1.630)
On-going relationship # Internal Data Management Capabilities	-0.328 (0.480)
On-going relationship # Physical digital interface technologies # Internal Data Management Capabilities	0.213 (0.193)
Collaboration with Integrator Firm	<b>-0.383<sup>+</sup></b> <b>(0.207)</b>
US	<b>0.412<sup>*</sup></b> <b>(0.176)</b>
Formal Lean Production programs	-0.0410 (0.107)
Data-Driven Decision Making	<b>0.591<sup>*</sup></b> <b>(0.289)</b>
Constant	2.565 <sup>**</sup> (0.568)
Observations	117
R-squared	0,1512
Root MSE	0,78856

Standard errors in parentheses  
<sup>+</sup>  $p < 0.1$ , <sup>\*</sup>  $p < 0.05$ , <sup>\*\*</sup>  $p < 0.01$

**Tabella VI: Risultati regressione logistica (1)**  
**- Filone 2**

<b>Network technologies</b>	
<b>Dependent Variable (Cost Performance)</b>	<b>(1) Coeff. (Std. Err.)</b>
Network technologies	-0.0759 (0.468)
Internal Data Management Capabilities	-0.0362 (0.0597)
Network technologies # Internal Data Management Capabilities	0.0449 (0.0689)
On-going relationship	1.119 (1.341)
On-going relationship # Network technologies	<b>-2.381<sup>*</sup></b> <b>(1.192)</b>
On-going relationship # Internal Data Management Capabilities	-0.185 (0.200)
On-going relationship # Network technologies # Internal Data Management Capabilities	<b>0.337<sup>*</sup></b> <b>(0.171)</b>
Firm's approach to interpretative uncertainty	-0.102 (0.0735)
Collaboration with Integrator Firm	-0.263 (0.202)
Ship directly to automaker	-0.273 (0.191)
US	<b>0.646<sup>**</sup></b> <b>(0.209)</b>
Formal Lean Production programs	0.0988 (0.107)
Constant	3.289 <sup>**</sup> (0.464)
Observations	109
R-squared	0,1750
Root MSE	0,79731

Standard errors in parentheses  
<sup>+</sup>  $p < 0.1$ , <sup>\*</sup>  $p < 0.05$ , <sup>\*\*</sup>  $p < 0.01$

**Tabella VII: Risultati regressione logistica**  
**(2) - Filone 2**

Dai risultati in Tabella VII si evince che, anche utilizzando la variabile *Internal Data Management Capabilities* per valutare le competenze analitiche e di processo del produttore, e utilizzando come variabile di controllo *Formal Lean Production programs*, oltre a quelle già utilizzate nei precedenti modelli, l'ipotesi H2 è supportata, essendo il coefficiente dell'interazione *On-going relationship\*Network technologies\*Internal Data Management Capabilities* positivo e significativo. In tabella VII, nel modello relativo alle tecnologie di interfaccia fisico-digitale in cui si è utilizzata anche la variabile di controllo *Data-Driven Decision Making* oltre alla la nuova variabile indipendente, l'ipotesi H1 non è più supportata, essendo il coefficiente dell'interazione tra le tre variabili positivo ma non significativo, aprendo spunti di riflessione; inoltre, in questo modello in tabella VII, oltre a confermare il fatto che una generica relazione (non collaborativa e continua) con il System Integrator non basta ad efficientare la produzione e che le imprese statunitensi mostrano un'efficienza superiore a quelle italiane (vedi coefficienti *Collaboration with Integrator Firm e US*), il coefficiente di *Data-Driven Decision Making* risulta essere positivo e significativo, a conferma del fatto che basare le decisioni operative su un'accurata analisi quantitativa e analitica dei dati ha un impatto positivo sulla performance di costo del produttore.

Di seguito, la tabella VIII riassume i risultati dello studio di ricerca, in riferimento alle due ipotesi avanzate dalla tesi.

Filone	Interazione testata	Modello	Ipotesi			
			H1		H2	
			<i>Nell'implementazione di tecnologie di interfaccia fisico-digitale, le aziende capaci di instaurare una governance relazionale con il System integrator e di sviluppare competenze di data management interne ottengono migliori performance di costo</i>		<i>Nell'implementazione di tecnologie di rete, le aziende capaci di instaurare una governance relazionale con il System integrator e di sviluppare competenze di data management interne ottengono migliori performance di costo</i>	
1	Increase of process engineers*Technology* Realtional governance	(1)	Supportata	Tab IV	Supportata	Tab III
		(2)	Supportata		Supportata	
		(3)	Supportata		Supportata	
		(4)			Supportata	
2	Internal Data Management Capabilities*Technology* Realtional governance	(1)	Non Supportata	Tab VI	Supportata	Tab VII

**Tabella VIII: Risultati della ricerca**

Come è possibile notare dalla Tabella VIII, l'ipotesi H2 relativa alle tecnologie di rete è sempre supportata, per i modelli di entrambi i filoni, confermando la complementarità di tali tecnologie con l'internalizzazione di capacità analitiche di gestione dei dati e con l'instaurarsi di una relazione collaborativa di lungo periodo col System Integrator. L'ipotesi H2 relativa alle tecnologie di interfaccia fisico-digitale, invece, non è supportata nel modello del filone 2, lasciando spunti di ricerca sul fatto che una governance relazionale con l'integratore di sistema sia effettivamente efficiente per un'impresa manifatturiera nell'implementazione di tali tecnologie, come ripreso nel capitolo successivo.

## 10. CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi si è giunti a teorizzare i requisiti che un'impresa manifatturiera dovrebbe possedere nel suo tentativo di digitalizzare la produzione in maniera efficiente ed efficace. Attraverso una rassegna della letteratura, dopo una breve introduzione sulla sfida della digitalizzazione che il nuovo paradigma di Industria 4.0 sta imponendo alle imprese, si sono evidenziate le criticità del processo di integrazione dei sistemi da un punto di vista puramente informatico-architetturale, andando poi a rilevare le principali criticità delle relazioni interorganizzative che le imprese possono affrontare nell'instaurare una collaborazione di medio-lungo periodo con un partner commerciale nel tentativo di ottenere migliori performance operative, per andare, infine, ad approfondire le specificità delle nuove tecnologie digitali e delle capacità di gestione dei dati che queste ultime richiedono. Tuttavia, dalla letteratura passata in rassegna non risulta evidente quando la collaborazione con fonti di conoscenza esterne aumenti le prestazioni in termini di costi delle imprese manifatturiere (Lorenz et al., 2020). Inoltre, gli studi sulle relazioni interorganizzative B2B riguardanti la servitizzazione digitale si sono concentrati principalmente sui fornitori di soluzioni tecnologiche, approfondendo solo parzialmente le modifiche necessarie alla governance (Kamalaldin et al., 2020; Kowalkowski et al., 2017). Per questo motivo, questo lavoro di tesi discute l'interazione tra le pratiche di governance, che sorgono tra integratori di sistema e aziende manifatturiere, l'adozione di differenti forme di tecnologia digitale e l'internalizzazione di competenze analitiche e processuali nella gestione dei dati, nello sforzo delle imprese manifatturiere di trarre benefici dalle nuove tecnologie, aumentando le prestazioni di costo.

Lo studio fornisce importanti contributi teorici e pratici.

**Contributi teorici.** Fornendo un nuovo quadro teorico basato su prove quantitative, questa ricerca fornisce un importante contributo agli studi sulle pratiche di governance e sulla conoscenza della creazione di valore dai big data nelle economie emergenti nell'era del mondo digitalizzato. Nello specifico, questo studio ha analizzato l'interazione a tre vie tra governance relazionale, implementazione di tecnologie digitali e sviluppo di data management capabilities da parte del produttore, dimostrando che l'impatto della collaborazione continua tra System Integrator e produttore, basata su co-creation, nell'implementazione delle tecnologie di rete o di interfaccia fisico-digitale, risulta positivo solo in presenza di competenze interne del produttore, dunque solo quando la terza variabile dell'interazione è diversa da zero, aumentando le prestazioni di costo dello stesso. Questo risultato arricchisce la letteratura sulle relazioni interorganizzative, sottolineando l'importanza di implementare forme di governance relazionale nella relazione diadica con un provider nel tentativo di digitalizzare la produzione: esse favoriscono lo scambio di conoscenza e la creazione di reciproca fiducia e, supportate dalla dotazione di competenze analitiche interne che aumentano le possibilità del produttore di collaborare attivamente col System Integrator, riducono l'incertezza interpretativa, migliorando le performance operative.

**Contributi pratici.** I risultati forniscono prove empiriche sul fatto che il riconoscimento delle opportunità digitali, sia nella progettazione del prodotto che nei processi di produzione, richiede una profonda collaborazione nel processo di innovazione per catturare le esigenze aziendali e creare fiducia reciproca tra le parti, ma i benefici di questa collaborazione risultano evidenti soltanto se l'impresa investe in capacità analitiche e decisionali sui big data. Tale risultato è assolutamente coerente con la *teoria dei costi di transazione* (TCE): dovendo i produttori gestire una relazione che, data la specificità del proprio processo produttivo, prevede investimenti altamente idiosincratici, per la TCE, la forma di governo adatta non è il mercato, bensì una collaborazione di lungo periodo, che potrebbe anche portare ad una parziale intergrazione verticale o alla creazione di una joint venture, il che rende ancor più necessaria l'internalizzazione

di competenze per gestire al meglio la relazione, come ampliamento sottolineato da questo lavoro. Questi risultati dovrebbero spingere i manager delle aziende manifatturiere a valutare le sfide tecnologiche della digitalizzazione, definendo il meccanismo di governance più adatto, prima di implementare le nuove tecnologie, valutando l'assetto più consono a garantire la migliore integrazione dei sistemi coinvolgendo tutti i processi aziendali. Inoltre, dovrebbero affiancare alla collaborazione di lungo termine con integratori di sistemi assunzioni di ingegneri di processo ed esperti di big data, insieme a corsi di formazione interni che garantiscano lo sviluppo di un adeguato grado di competenze analitiche e gestionali che permettano di ricavare direttamente dai dati, organizzati e strutturati dall'integratore di sistemi, iniziative operative volte all'efficientamento della produzione.

**Limiti e ricerche future.** Due sono i principali limiti della ricerca su cui si basa questo studio. In primo luogo, esso non ha valutato l'efficacia della governance contrattuale durante l'implementazione delle tecnologie digitali (Kamalaldin et al., 2020). Clausole contrattuali opportunamente definite potrebbero aumentare la volontà delle aziende manifatturiere di intensificare la condivisione dei dati verso i system integrator, determinando una salvaguardia per comportamenti opportunistici. Inoltre, nei modelli non è stata inclusa una misura dell'intensità e regolarità dello scambio dati tra produttore e fornitori di impianti e macchinari o integratori di sistemi informativi (a causa di collinearità), che verosimilmente può avere implicazioni sulla qualità del rapporto collaborativo dal momento in cui la frequenza delle transazioni è importante in relazione agli aspetti comportamentali della governance, come la fiducia, e migliora le possibilità di lavorare in modo integrato (Rosell, Lakemond e Wasti, 2014).

Come si evince dalla Tabella VIII, l'ipotesi H1 per il secondo filone di modelli, che differisce dal primo per l'utilizzo della variabile *Internal Data Management Capabilities* in sostituzione di *Increase of process engineers*, non è supportata. Essendo questa seconda variabile probabilmente più accurata per la misura del grado di competenze analitiche e processuali interne all'impresa, tale risultato apre uno spunto di riflessione: in riferimento alle tecnologie di interfaccia fisico-digitale, la governance relazionale, combinata con l'implementazione di tali tecnologie e lo sviluppo interno di competenze di gestione dei dati, potrebbe non essere necessaria, aprendo la possibilità ai produttori di optare piuttosto per una market governance, soluzione che potrebbe rivelarsi più efficiente. Tale aspetto caratterizza uno spunto di ricerca che richiederebbe un adeguato approfondimento in futuro.

L'altro spunto di riflessione riguarda la figura dei System Integrator. Questo lavoro di tesi ha sottolineato l'importanza e i benefici che tali attori apportano alle imprese manifatturiere nel processo di digitalizzazione della produzione, benefici che, dai risultati ottenuti, si manifestano soltanto se, in presenza dell'implementazione di nuove tecnologie digitali e sviluppo di competenze di data management interne, tali imprese sono capaci di instaurare una collaborazione di lungo periodo con il System integrator, basata su scambio di informazioni, fiducia e co-creation. Il quadro descritto contiene importanti indicazioni sull'evoluzione del ruolo di questi attori all'interno della filiera. Se questo studio è generalizzabile, per le criticità evidenziate in precedenza e in accordo con la teoria TCE, le necessità che il paradigma Industria 4.0 sta palesando ai produttori, relative al fatto che le nuove tecnologie comportano significativi cambiamenti sistemici nell'infrastruttura tecnologica, portano a ridurre il bisogno di una relazione sporadica (all'occorrenza, non regolare) di mercato con una software house, che gestisca una specifica consulenza fornendo al cliente (l'azienda manifatturiera) un prodotto standard, dunque una soluzione market-oriented: i System Integrator, dunque, potrebbero evolvere nei prossimi anni in cui le tecnologie di Industria 4.0 saranno implementate in maniera sempre più

generalizzata, passando da fornitori occasionali in una relazione di mercato, a preziosi partner commerciali. Tale aspetto necessita di ulteriori approfondimenti.

**Nuova prospettiva di collaborazione.** Dunque, questo lavoro di tesi apre ad una nuova prospettiva: data la necessità di efficientare un processo produttivo che la digitalizzazione rende sempre più complesso da gestire a causa di un grado di automazione e interconnessione che andrà a crescere sempre di più, le aziende manifatturiere non potranno più “accontentarsi” di una soluzione di mercato standard, quella preferita dal System Integrator che andrebbe a incrementare gli effetti di scala vendendo lo stesso prodotto a tante imprese, bensì una governance relazionale in cui il valore è nella collaborazione e nella complementarità tra risorse e conoscenze dei due attori: il System Integrator, con le sue competenze informatico-architetturali, si occuperebbe della data integration per il produttore, solo dopo aver concordato con lo stesso i requisiti tecnici dell’infrastruttura da realizzare, requisiti che saranno idiosincratici rispetto allo specifico processo produttivo dell’azienda. Questo tipo di governance presuppone una collaborazione continua di lungo periodo, che non si arresti all’implementazione della nuova infrastruttura tecnologica, ma prosegua nell’obiettivo di garantire un continuo monitoraggio dei dati attraverso dei KPI che, sulla base delle necessità della specifica produzione, il System Integrator si impegna a realizzare ad hoc per il produttore, che andrà a interpretarli per trarne azioni operative grazie all’internalizzazione di capacità di data management, capacità che risultano dunque essenziali per garantire l’efficacia di questo tipo di collaborazione. Tale collaborazione, dati i postulati emersi dalla letteratura passata in rassegna in questa tesi, sarà tutelata e porterà a benefici per entrambe le parti solo in funzione di creazione di fiducia, costante scambio di informazioni, condivisione di conoscenza e risorse, in modo da abbattere l’incertezza interpretativa e comportamentale, salvaguardare da comportamenti opportunistici e garantire adattamento a cambiamenti nell’ambiente.

## RIFERIMENTI

- (1) A. Davies, T. Brady, M. Hobday (2007). "Organizing for solutions: Systems seller vs. systems integrator". *Industrial Marketing Management* 36 (2007) 183–193.
- (2) A. Hanelt, R. Bohnsack, D. Marz & Antunes Marante (2020). "A Systematic Review of the Literature on Digital Transformation: Insights and Implications for Strategy and Organizational Change". *Journal of Management Studies Volume 58, Issue 5*.
- (3) A. Kamalaldin, L. Linde, D. Sjödin, V. Parida (2020). "Transforming provider-customer relationships in digital servitization: A relational view on digitalization". *Industrial Marketing Management*.
- (4) A. M. Madni, M. Sievers (2013). "Systems Integration: Key perspectives, experiences, and challenges". *Systems Engineering*.
- (5) Alasdair Gilchrist (2016). "The Industrial Internet of Things" (*Apress*).
- (6) Arindam Das, Dimple Grover (2018). "Biased decisions on IT outsourcing: how vendor selection adds value". *Journal of Business Strategy*.
- (7) B. Ashani, S. C. Henneberg, P. Naudé, A. Francescucci (2016). "Inter-personal and inter-organizational trust in business relationships: an attitude–behavior–outcome model". *Industrial Marketing Management*.
- (8) Björkdahl, J. (2020). "Strategies for Digitalization in Manufacturing Firms". *California Management Review*.
- (9) B. Park, M. Srivastava & D. Gnyawali (2014). "Walking the tight rope of coopetition: Impact of competition and cooperation intensities and balance on firm innovation performance". *Industrial Marketing Management*, Volume 43, Issue 2.
- (10) L. Weber, K. Mayer (2014). "Transaction cost economics and the cognitive perspective: investigating the sources and governance of interpretive uncertainty". *Academy of Management Review*, 39(3), 344-363.
- (11) C. Saunders, Yu "Andy" Wu, Yuzhu Li, S. Weisfeld (2004). "Interorganizational Trust in B2B Relationships". *ACM Journals*.
- (12) C. E. Hull, S. Rothenberg (2008). "Firm performance: the interactions of corporate social performance with innovation and industry differentiation". *Strategic Management Journal/Volume 29, Issue 7*.
- (13) C.E. Siemieniuch, M.A. Sinclair (2006). "Systems Integration". *Applied Ergonomics*.
- (14) D. J. Abel, P. J. Kilby, J. R. Davis (1994). "The systems integration problem". *International Journal of Geographical Information*.
- (15) E. Paolucci, E. Pessot, R. Ricci (2021). "The interplay between digital transformation and governance mechanisms in supply chains: evidence from the Italian automotive industry". *International Journal of Operations & Production Management*.
- (16) E. Pernot, F. Roodhooft (2008). "Management control of supplier relationships in manufacturing: A case study in the automotive industry". *Vlerick Leuven Gent Working Paper Series 2008/23*.
- (17) F. G. Adams, K. W. Graham (2016). "Integration, knowledge creation and B2B governance: The role of resource hierarchies in financial performance". *Industrial Marketing Management*.
- (18) G. Culot, G. Nassimbeni, G. Orzes, M. Sartor (2020). "Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions". *International Journal of Production Economics*.

- (19) Gulati, R. (1995). "Does familiarity breed trust? The implications of repeated ties for contractual choice in alliances". *Academy of management journal*, 38(1), 85-112.
- (20) Helper, S., Martins, R., & Seamans, R. (2019). "Who Profits from Industry 4.0? Theory and Evidence from the Automotive Industry". *Theory and Evidence from the Automotive Industry (January 31, 2019)*.
- (21) Jorge L. Ortega-Arjona (2003). "Defining software architecture as an emerging discipline for software design". *Conference: 6o Workshop Iberoamericano de Ingeniería de Requisitos y Ambientes Virtuales (IDEAS 2003)*.
- (22) Kahle, J. H., Marcon, É., Ghezzi, A., & Frank, A. G. (2020). "Smart Products value creation in SMEs innovation ecosystems". *Technological Forecasting and Social Change*, 156.
- (23) K. Kyu Kim, N. S. Umanath, B. Hun Kim (2006). "An assessment of electronic information transfer in b2b supply-channel relationships". *Journal of Management Information Systems*.
- (24) Keith Pavitt (2002). "Systems Integrators as "post-industrial" firms?". Draft of *What are advances in knowledge doing to the large industrial firm in the new economy?* presented on 6 June, 2002, at the DRUID Summer Conference on *Industrial Dynamics of the New and Old Economy – who embraces whom?*
- (25) Lorenz, R. Benninghaus, C., Friedli, T., & Netland, T. H. (2020). Digitization of manufacturing: the role of external search. *International Journal of Operations and Production Management*
- (26) M. H. Eslami, H. Jafari, L. Achtenhagen, J. Carlbäck, A. Wong (2021). "Financial performance and supply chain dynamic capabilities: the Moderating Role of Industry 4.0 technologies". *International Journal of production research*.
- (27) Martínez-Caro, Cegarra-Navarro e Alfonso-Ruiz (2020). "Digital technologies and firm performance: The role of digital organisational culture". *Technological Forecasting and Social Change*.
- (28) M. Janssen, H. van der Voort, A. Wahyudi (2017). "Factors influencing big data decision-making quality". *Journal of Business Research*, Volume 70.
- (29) M. C. Lacity, L. P. Willcocks (1995). "Interpreting information technology sourcing decisions from a Transaction Cost perspective: findings and critique". *Accounting, Management and Information Technologies*.
- (30) M. Maiwald, P. Gräßer, L. Wander, N. Zientek, S. Guhl, K. Meyer, S. Kern (2017). "Strangers in the night - smart process sensors in our current automation landscape". *Presented at the Eurosensors 2017 Conference, Paris, France, 3–6 September 2017*.
- (31) Marcos T.J. Barbosa, M. S. Salerno, S. L. Pereira (2019). "Innovation framework for control system integrators: a pathway to seize new services opportunities in the context of Industry 4.0". *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, 11(4), 337-359.
- (32) P. J. Toussaint, A. R. Bakker, L. P.J. Groenewegen (2000). "Integration of information systems: assessing its quality". *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 64 (2001) 9–35.
- (33) P. Neirotti, E. Paolucci, & E. Raguseo (2011). "IT based capabilities in SMEs: Technological, organizational and environmental influence". Paper presented at the Proceedings of the IADIS Int. Conf. ICT, Society and Human Beings 2011, Proceedings of the IADIS International Conference e-Democracy, Equity and Social Justice 2011, Part of the IADIS, MCCSIS 2011.

- (34) P. Ratnasingam (2005). "Trust in inter-organizational exchanges: a case study in business to business electronic commerce". *Decision Support Systems*.
- (35) Paul W.L. Vlaar, Frans A.J. Van den Bosch, Henk W. Volberda (2006). "Coping with problems of understanding in interorganizational relationships: using formalization as a means to make sense". *Organization Studies*.
- (36) R. Grandinetti, M. Vincenza Ciasullo, M. Paiola, F. Schiavone (2020). "Fourth industrial revolution, digital servitization and relationship quality in Italian B2B manufacturing firms. An exploratory study". *The TQM Journal*.
- (37) S. Bandyopadhyay, M. Sengupta, S. Maiti, S. Dutta (2011). "Role of Middleware for Internet of Things: a study". *International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES) Vol.2, No.3*
- (38) S. Baldi, H. P. Borgan (2001). "Consortium-Based B2B e-Marketplaces – A case study in the Automotive Industry". *14th Bled Electronic Commerce Conference*.
- (39) S. Brusoni, A. Prencipe, K. Pavitt (2001). "Knowledge specialization, organizational coupling, and the boundaries of the firm: why do firms know more than they make?". *Administrative Science Quarterly*.
- (40) Sjödin, D. (2019). "Knowledge processing and ecosystem co-creation for process innovation: Managing joint knowledge processing in process innovation projects". *International Entrepreneurship and Management Journal*, 15(1), 135-162.
- (41) Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). "Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies". *Research Technology Management*, 61(5), 22-31.
- (42) S. Shamim, Jing Zeng, S. Muhammad Shariq, Z. Khan (2019). "Role of big data management in enhancing big data decision-making capability and quality among Chinese firms: A dynamic capabilities view". *Information & Management*.
- (43) T. Eifert, K. Eisen, M. Maiwald, C. Herwig (2020). "Current and future requirements to industrial analytical infrastructure—part 2: smart sensors". Part of the collection *Advances in Process Analytics and Control Technology in Analytical and Bioanalytical Chemistry*.
- (44) T. Gurcaylilar-Yenidogan, F. Survan (2011). "Governance Mechanisms and Transaction Costs in the Automotive Supply Networks: A Conceptual Framework Proposal". *International Journal of Business and Social Science*
- (45) T.K. Das & B. Teng (1999). "Managing risks in strategic alliances". *Academy of Management Perspectives*, Vol. 13, No.4.
- (46) T.K. Das & B. Teng (2001). "Cognitive Biases and Strategic Decision Processes: An Integrative Perspective". *Journal of Management Studies* / Volume 36, Issue 6
- (47) Deloitte "L'importanza di un approccio ecosistemico alle iniziative di Industry 4.0: una fotografia del settore manifatturiero italiano"

## FIGURE

1. Figura 1: Framework dello scopo di ricerca.....	6
2. Figura 2: Livelli di integrazione.....	8
3. Figura 3: Topologia architettonica IIoT.....	13
4. Figura 4: Interfaccia standard di comunicazione.....	15
5. Figura 5: Componenti funzionali di IoT-Middleware.....	17
6. Figura 6: Componenti funzionali di IoT-Middleware (2) .....	18
7. Figura 7: Fasi dei rapporti di servitizzazione digitale.....	26
8. Figura 8: Framework di ricerca.....	41

## TABELLE

1. Tabella I: Caratteristiche delle variabili distintive dello studio.....	41
2. Tabella II: Variabili di ricerca. ....	44
3. Tabella III: Risultati regressione logistica (1) - Filone 1. ....	46
4. Tabella IV: Risultati regressione logistica (2) - Filone 1. ....	46
5. Tabella V: Variabili di ricerca (2). ....	48
6. Tabella VI: Risultati regressione logistica (1) - Filone 2. ....	49
7. Tabella VII: Risultati regressione logistica (2) - Filone 2. ....	49
8. Tabella VIII: Risultati della ricerca.....	50

## RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare tutte le persone che hanno reso possibile, e meno sofferto, questo traguardo.

Ringrazio il Prof. Emilio Paolucci per il prezioso e indispensabile supporto fornitomi, con costanza e grande professionalità, una vera e propria guida in questo lungo lavoro che mi ha fatto crescere tanto sotto il profilo professionale.

Ringrazio il Dott. Riccardo Ricci per la sua grande disponibilità, per avermi guidato sin dai primi passi di questo lavoro, fornendomi idee e supporto ogni qualvolta ce ne sia stato bisogno.

Ringrazio i miei genitori, senza i quali questo grande risultato non si sarebbe mai concretizzato, e i miei fratelli; li ringrazio per il rispetto avuto per le mie scelte, che hanno sempre appoggiato non senza dei sacrifici, la loro grande fiducia in me è sempre stato motivo di orgoglio, lo stesso orgoglio che spero oggi possano provare per questo mio traguardo.

Ringrazio Mariapia, il mio punto di riferimento, il mio posto sicuro in cui le mie paure e ansie più grandi hanno sempre trovato conforto, trasformandosi in fiducia e speranza grazie a quella dolcezza ed empatia che la contraddistinguono da sempre. La sua presenza nella mia vita è imprescindibile e rende tutto più facile.

Ringrazio i miei nonni e i miei zii, i miei più grandi sostenitori; a prescindere dal risultato, qualsiasi nuova notizia sul mio percorso basta a riempirli di orgoglio e di gioia. Il vostro supporto è stato (e sarà) indispensabile per me.

Ringrazio i miei amici, quelli di una vita, con cui sono cresciuto e ho condiviso i momenti più belli; li ringrazio per esserci sempre, anche a chilometri di distanza. Più in generale, ringrazio il mitico “Mercato di Milito”, la mia seconda famiglia.

Ringrazio i miei amici-colleghi che hanno condiviso questo percorso universitario con me, siamo stati un gruppo super coeso dal primo giorno in cui ci siamo conosciuti, condividendo dolori, ansie, frustrazioni e fortunatamente anche gioie, supportandoci sempre a vicenda.