

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi delle potenzialità di applicazione del concetto di Industria 4.0 nel
contesto manifatturiero italiano**



Relatori:

prof. Antonio Carlin

prof.ssa Anna Corinna Cagliano

Candidato:

Laura Vermiglio

Aprile 2019

ABSTRACT

Negli ultimi anni l'Italia ha assistito ad una considerevole espansione nel mercato della digitalizzazione industriale e in quasi tutte le realtà produttive si è diffusa la consapevolezza della portata del fenomeno "Industria 4.0" e la conoscenza delle tecnologie alla base del nuovo paradigma.

Tuttavia, le imprese italiane mostrano di accogliere e comprendere la significatività di tale rivoluzione solo in parte, servendosi dei nuovi strumenti e sistemi per ottenere una maggiore efficienza produttiva, ottimizzando i costi e riducendo gli errori sulla linea, trascurando il conseguimento di quei vantaggi strategici per la competitività aziendale, quali la possibilità di realizzare economie di varietà e personalizzazione del prodotto e l'ingresso in mercati diversi da quello di competenza.

L'obiettivo di questo studio è indagare tutti i principali fattori che influenzino la propensione delle imprese ad investire pienamente nell'Industria 4.0, dalle variabili geo-politiche, in cui figurano cultura e tradizione industriale, incentivi governativi ed organizzazioni a sostegno del cambiamento, alle strategie di pianificazione ed esecuzione della produzione interne all'azienda e relative conseguenze in termini di coordinamento e gestione della *supply chain*.

L'innovazione nei modelli di business e nelle dinamiche della creazione del valore riguarda una pluralità di attori e richiede in particolare un'efficace cooperazione tra fornitori di soluzioni, *partner* commerciali e clienti finali e l'evidenza di un ritorno positivo per tutti gli *stakeholder* coinvolti.

L'elaborato è strutturato come segue: il primo capitolo introduce il concetto di Industria 4.0, ricordandone le origini e definendone il significato attraverso un insieme di principi alla base della sua applicazione e riconoscendo le tecnologie fondamentali per la sua realizzazione, tramite analisi e selezione delle fonti letterarie più importanti.

Il secondo capitolo esamina le opportunità e le minacce ad esso connesse, ampiamente illustrate dalla letteratura competente, in virtù dei peculiari punti di forza e debolezza del contesto manifatturiero europeo, risultanti da studi sull'innovazione condotti dall'Unione Europea, consentendo di individuare le maggiori difficoltà riscontrate dalle imprese nell'adozione del nuovo paradigma industriale.

Il terzo capitolo tratta delle politiche continentali e nazionali che incentivano il cambiamento, confrontando in particolare i programmi attivi in Germania con le misure proposte dal governo italiano, al fine di caratterizzare benefici e limiti dell'approccio italiano al tema.

Il quarto capitolo approfondisce, mediante il contributo di diverse fonti letterarie, le variabili connesse al produttore utente delle tecnologie di Industria 4.0 che ne ostacolano e/o inibiscono l'integrazione, fornendo esempi concreti di realtà produttive italiane che hanno saputo orientare a loro vantaggio eventuali circostanze sfavorevoli e di corrispettive situazioni irrisolte, raccontate dalle principali testate giornalistiche online che trattano di Industria 4.0 in Italia.

Il quinto capitolo si concentra, viceversa, sulle responsabilità dei produttori che forniscono le soluzioni di Industria 4.0.

A questo proposito, essendo la letteratura contemporanea carente di un'analisi sul tema dal punto di vista del produttore di tecnologia, abilitante la trasformazione delle imprese in ottica 4.0, attraverso la conduzione di un'indagine su un campione di 26 imprese *solution provider*, sono emerse alcune importanti considerazioni in merito ai condizionamenti della domanda.

I risultati della ricerca chiariscono infatti come vi sia un discreto allineamento tra domanda ed offerta di beni per l'investimento in Industria 4.0, ma giustificano il sostanziale *focus* su sistemi di comunicazione intra-fabbrica ed applicazioni connesse al cloud per il controllo dei processi.

L'offerta limitata di beni iperammortizzabili per la gestione della qualità e della sostenibilità e di soluzioni per l'efficienza energetica degli impianti ed il recupero delle risorse impiegate in produzione riflette gli investimenti contenuti, ad opera delle imprese manifatturiere italiane, in sistemi per la riduzione dei consumi energetici e l'ottimizzazione del ciclo di vita del prodotto.

I nuovi incentivi previsti dalla Legge di Bilancio per il 2019 per la gestione della *supply chain* dovrebbero contribuire allo sviluppo e all'adozione di misure che interessino la filiera produttiva nel suo complesso e le grandi imprese, in particolare, saranno chiamate ad intervenire per migliorare le prestazioni ed i consumi dei loro impianti, in quanto obbligate dal Decreto Legislativo 102/14 ad eseguire la diagnosi energetica degli edifici entro dicembre 2019.

Indice

1	La definizione di Industria 4.0	1
1.1	Industria 4.0 tra continuità ed evoluzione	1
1.2	I principi fondanti dell'Industria 4.0	6
1.2.1	Integrazione del sistema	6
1.2.2	Virtualizzazione e <i>real time capability</i>	9
1.2.3	Modularità e personalizzazione di massa	10
1.2.4	Orientamento al servizio	12
1.2.5	Decentralizzazione	13
1.2.6	Interoperabilità	14
1.3	Tecnologie abilitanti	16
1.3.1	Cyber physical system e industrial internet of things	17
1.3.2	Cloud computing	18
1.3.3	Big data & analytics	19
1.3.4	Blockchain e cybersecurity	20
1.3.5	Advanced automation	22
1.3.6	Realtà aumentata e realtà virtuale	23
1.3.7	Additive manufacturing	25
1.3.8	Artificial intelligence	27
2	L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore	29
2.1	Il concetto di modulo della creazione del valore ed i relativi fattori interessati	29
2.2	Analisi SWOT per le industrie manifatturiere europee nella quarta rivoluzione industriale	36
2.3	Gli obiettivi di performance industriale	41
2.4	La difficile implementazione dell'Industria 4.0	44
3	Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa	53
3.1	Politiche europee per l'innovazione ed il coordinamento delle iniziative nazionali	54
3.2	Il caso tedesco	59
3.3	Il caso italiano	65
4	Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0	73
4.1	Le variabili dell'ambiente produttivo	74
4.1.1	Le caratteristiche del prodotto	74
4.1.2	Le caratteristiche del mercato	76
4.1.3	Le caratteristiche de processo	77
4.1.4	L'adattamento del paradigma di Industria 4.0 ad un'impresa ETO	79
4.2	La trasformazione digitale in Italia: il ruolo del contesto	83
4.2.1	Il binomio vincolo-opportunità	85
4.2.2	Il retrofit dei sistemi tecnologici obsoleti	89
5	La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0	93
5.1	Indagine su un campione di imprese: il metodo	94
5.2	Discussione dei risultati	98
5.2.1	Le opportunità offerte dall'Industria 4.0 per i <i>provider</i> di tecnologie abilitanti	98

5.2.2 L'offerta di prodotti e servizi per il mercato italiano	102
5.3 Direzioni strategiche future	107
6 Conclusioni 106.....	111
6.1 Implicazioni per la teoria.....	111
6.2 Limitazione del lavoro di tesi e passi futuri	113
Bibliografia.....	115
Sitografia	131
Appendice A Testo del questionario	137
Appendice B Registrazione ed elaborazione dei dati raccolti	149
B.1 Risposte relative alla sezione Profilo del questionario	149
B.1 Cont. Risposte relative alla sezione Profilo del questionario	150
B.2 Risposte relative alla sezione Strategia del questionario per i produttori e/o distributori di beni materiali	151
B.2 Cont. Risposte relative alla sezione Strategia del questionario per i produttori e/o distributori di beni materiali	152
B.3 Risposte relative alla sezione Strategia del questionario per i fornitori di software e servizi correlati	153
B.3 Cont. Risposte relative alla sezione Strategia del questionario per i fornitori di software e servizi correlati	154
B.4 Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario	155
B.4 Cont. Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario	156
B.5 Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i produttori e/o distributori di beni materiali	157
B.6 Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i produttori e/o distributori di sistemi per l'assicurazione della qualità e sostenibilità	158
B.7 Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i produttori e/o distributori di dispositivi per l'interazione uomo macchina	159
B.8 Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i fornitori di beni immateriali	160

1. La definizione di Industria 4.0

In assenza di una definizione universalmente accettata di Industria 4.0, risulta opportuno, in questo primo capitolo, precisare in quale momento e con quali prospettive questo argomento inizi a costituire tema di dibattito e confronto tra esponenti politici e uomini di scienza.

A tal fine, si rende necessario chiarire sotto quali profili tale concetto differisca dai termini digitalizzazione e produzione intelligente, comunemente associati al fenomeno di Industria 4.0, ed evidenziare sulla base di quali principi si fondi e quali tecnologie consentano l'espressione dei suoi ideali.

L'essenza di tale cambiamento paradigmatico si coglie esaminando i progressi conseguiti in relazione alle soluzioni tecniche ed organizzative adottate in passato, senza trascurare una visione di insieme, che consideri i legami di continuità con le applicazioni preesistenti.

L'evoluzione determinata da questa rivoluzione del modo di produrre ed organizzare l'impresa viene rappresentata, nei paragrafi che seguono, attraverso un'analisi puntuale dei principi caratterizzanti, che sono riconosciuti dalla letteratura come guida per le imprese che vogliono progettare e realizzare l'Industria 4.0 all'interno delle loro realtà produttive.

Segue un *focus* dettagliato sulle tecnologie che sono adottate per la prima volta o stanno trovando piena espressione esclusivamente in un ambiente che presenti tali peculiarità strutturali di riferimento.

1.1 Industria 4.0 tra continuità ed evoluzione

Il termine *Industry 4.0* fu introdotto dai ricercatori tedeschi Henning Kagermann, presidente della National Academy of Science and Engineering (Acatech), Wolf-Dieter Lukas, fisico ed alto funzionario del Ministero dell'istruzione e della ricerca, e Wolfgang Wahlster, direttore e CEO del German Research Center for Artificial Intelligence, in occasione della Hannover Trade Fair del 2011, come parte sostanziale della strategia nazionale per lo sviluppo dell'alta tecnologia ("High-Tech Strategy 2020 Action Plan"), per connotare una fase rivoluzionaria della produzione e dell'occupazione industriale, nella quale le sfide connesse all'efficienza energetica, alla produzione nel contesto urbano e al cambiamento demografico avrebbero trovato soluzione (Kagermann et al., 2013).

Nonostante la loro formazione tecnica, in quel frangente essi si concentrarono maggiormente sull'istituzione di un *network* di manager, politici, e figure di spicco, appartenenti ad organizzazioni imprenditoriali e sindacati, per sostenere una *vision* di Industria 4.0 in cui la tecnologia avrebbe contribuito ad esaltare la produttività e l'efficienza delle risorse dell'impresa e, allo stesso tempo, avrebbe permesso forme di organizzazione del lavoro più flessibili, in condizioni di maggiore sicurezza ed affidabilità (Pfeiffer, 2017).

Tali previsioni risultarono anche dal successivo comunicato del Ministero dell'istruzione e della ricerca "The new High-Tech Strategy Innovations for Germany" del 2014, in cui si riconobbero sei aree principali di intervento: *digital economy* e società, *sustainable economy* ed energia, nuovo mondo del lavoro, salute, mobilità intelligente e sicurezza. Il concetto di Industria 4.0 trovò inserimento nell'ambito della *digital economy*, dal momento che la possibilità di generare prodotti personalizzati, entro i confini di un ambiente altamente flessibile, il coinvolgimento di clienti e *partner* aziendali nei processi di design e creazione del valore e il collegamento tra

1. La definizione di Industria 4.0

produzione e servizi rappresentarono le caratteristiche chiave, che le imprese dovevano possedere, a sostegno della competitività dell'economia nazionale.

Il governo federale, nel fornire supporto ad aziende e centri di ricerca per l'implementazione dell'Industria 4.0, considerò, inoltre, le implicazioni in termini di sicurezza, relative alle tecnologie dell'informazione (*IT*) impiegate, e le conseguenze sul mercato del lavoro, in quanto il forte cambiamento paradigmatico nel modo di produrre e strutturare l'impresa, denominato per questa quarta rivoluzione industriale, pose le imprese per la prima volta di fronte a requisiti di interconnessione ed interdisciplinarietà avanzate.

Secondo le stime del Boston Consulting Group (BCG) illustrate in "Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries", condotte a partire dal 2015 su un orizzonte dai cinque ai dieci anni, le iniziative promosse dal piano strategico nazionale in ottica *Industry 4.0* comporteranno effettivamente una crescita del settore produttivo tedesco di 90-150 bilioni di Euro, elevando la produttività del 5-8% ed aumentando l'occupazione ed il PIL del 6% ed 1% rispettivamente (Gerbert *et al.*, 2015).

Simili risultati deriveranno, come illustrato da HfS Research in un estratto per Accenture, dal compimento di un processo di trasformazione incrementale, che si articola su cinque livelli, a seconda del grado di implementazione delle tecnologie che rendono possibile questo cambiamento (Jain *et al.*, 2017):

- 1) *Smart component* o livello di sottosistema: un componente che risponde ai *feedback* del sistema, basati su informazioni sensoriali, e può prendere decisioni di tipo predittivo o adattativo.
- 2) *Smart machine* o livello di sistema: una combinazione di più componenti intelligenti.
- 3) *Smart factory*: una combinazione di più macchine intelligenti. I macchinari ed il sistema produttivo, che ne fanno parte, sono intelligenti sia esaminati singolarmente che in connessione
- 4) *Connected factories*: una combinazione di più *smart factory* su territorio nazionale o regionale.
- 5) *Industry 4.0 enterprise: connected factories* integrate con altri *stakeholder* (fornitori, clienti, *designer* del prodotto, erogatori di servizi).

Industry 4.0 costituisce, pertanto, l'unica definizione che, diversamente da *industrial internet* o *smart manufacturing*, fornisce una rappresentazione completa del fenomeno. Con il termine *industrial internet*, la produzione industriale viene considerata in qualità di *early adopter*, mentre essa rappresenta il *focus* principale della quarta rivoluzione industriale.

L'espressione *smart manufacturing*, invece, comprende esclusivamente l'applicazione di sistemi per la connessione tra ambiente fisico e virtuale nei processi produttivi, trascurando alcuni aspetti rilevanti, tra cui la digitalizzazione, non solo del prodotto, ma anche dei servizi offerti e la realizzazione di nuovi modelli di business digitali, tali da generare ricavi aggiuntivi ed ottimizzare l'interazione e l'accesso al business per il cliente.

E' opportuno quindi sottolineare come l'Industria 4.0 rappresenti una realtà che si estende ben oltre i confini della virtualizzazione dei processi produttivi e dell'automatizzazione della fabbrica.

Il primo controllore logico programmabile, Modicon 084 (*Modular digital controller*), fu adottato infatti in produzione già nel 1969, dimostrando che la digitalizzazione costituisce un tratto distintivo della terza rivoluzione industriale, contraddistinta appunto dall'utilizzo dell'elettronica e delle *IT* in ambito produttivo, e funge da premessa necessaria per il *networking* nell'era del 4.0 (Schneider, 2018).

Il più profondo significato di Industria 4.0 si coglie proprio analizzando il legame di continuità con le soluzioni tecniche ed organizzative adottate a partire dal 1980, ovvero le prime applicazioni di microelettronica in prodotti e servizi, i flussi di produzione *just in time*, il coordinamento centralizzato ed il controllo destinato a tutti i contenuti, inclusi quelli remoti.

Diversamente dalle tre rivoluzioni industriali passate (Figura 1.1), infatti, la quarta non è trainata dall'avvento di una specifica tecnologia, ma è figlia della congiunzione di più tecnologie, alcune esistenti, altre del tutto nuove, che ora possono lavorare insieme.

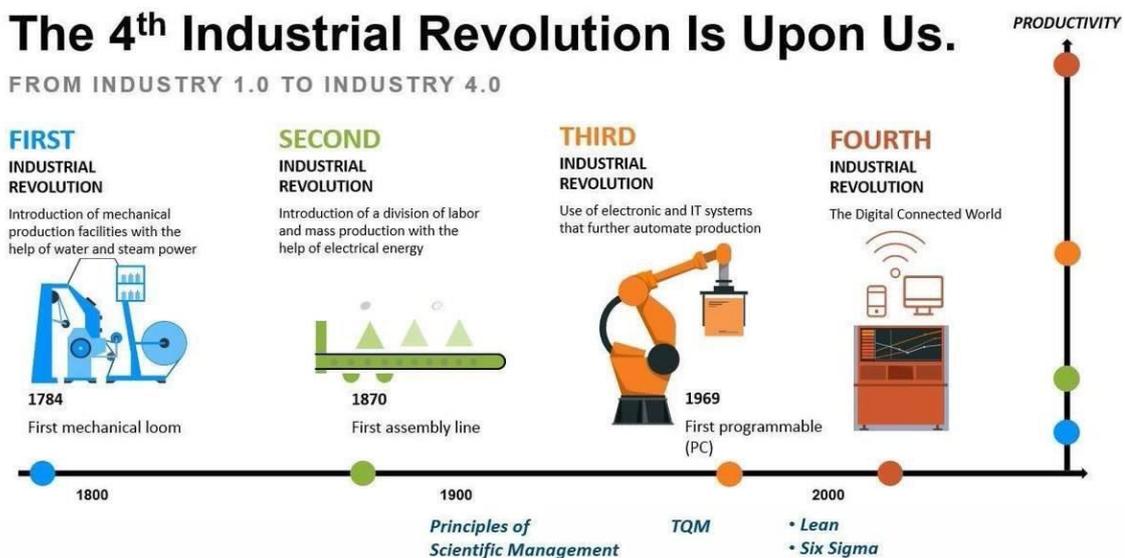


Figura 1.1: Cronologia delle rivoluzioni industriali [1].

I metodi *lean*, dagli anni '70 agli inizi degli anni 2000, si sono diffusi dal Giappone, in cui ebbero origine, in America, trovando successivamente applicazione anche nelle industrie occidentali.

Pur dimostrando di essere idonei per operare secondo qualità ed efficienza in crescita, riducendo il tempo di lancio sul mercato del prodotto e le dimensioni del magazzino ed ottimizzando le performance di consegna e il numero di componenti che aggiungono valore, tali strumenti manifestano alcune debolezze nel contesto di *Industry 4.0*.

Gli approcci *lean* raggiungono, nello specifico, il loro limite nella complessità richiesta dalle nuove dinamiche produttive e rappresentano un impedimento all'innovazione creativa.

Se la logica della produzione snella risiede nella minimizzazione delle risorse impiegate e nella standardizzazione dei processi, al fine di eliminare qualsiasi elemento non crei direttamente valore per il cliente, per tale ragione, identificato come spreco, l'Industria 4.0, invece, ambisce a sviluppare soluzioni *IT* per controllare e gestire nel modo ottimale la complessità dei flussi di materiali ed informazioni, dovuta alla loro flessibilità ed adattabilità alle variazioni della domanda (Rüttimann and Stöckli, 2016).

1. La definizione di Industria 4.0

Il *value stream mapping (VSM)*, in particolare, è un metodo di visualizzazione grafica, che fonda le proprie radici nella filosofia produttiva di Toyota, finalizzato all'abbattimento degli sprechi nei processi produttivi. Il *value stream* è costituito da tutte le attività richieste per tradurre le materie prime in prodotto finito, partendo direttamente dalla scelta del fornitore, passando per la trasformazione fisica sulla linea produttiva, per giungere alla consegna al distributore o al cliente finale e comprende, pertanto, sia il flusso di materiali che la trasmissione di informazioni necessarie.

La mappatura avviene in due stadi: *current state map* e *future state map*, dei quali il primo rappresenta una fotografia dello stato del prodotto all'interno della fabbrica, inclusa un'analisi dei tempi per la sua realizzazione e della disponibilità di scorte di materiali. Da un esame delle imperfezioni del flusso, emerge una seconda rappresentazione grafica, simile alla prima, ma privata dei suoi difetti.

Il *VSM* rende possibile identificare inefficienze sulla linea produttiva ed elaborare misure correttive per l'ottimizzazione del flusso di materiali ed informazioni, ma risulta inadeguato in un contesto produttivo in cui la catena del valore si modifica molto frequentemente, sia a causa delle fluttuazioni relative alla quantità degli ordini e alle varianti richieste dal consumatore, sia come conseguenza della riduzione del ciclo di vita dei prodotti. Investire nelle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 consente di superare i vincoli imposti dalla *lean production*: l'acquisizione in tempo reale di dati, relativi ai sistemi di esecuzione della produzione, combinata con le informazioni geo localizzate, attraverso sistemi di radiofrequenza, permette di visualizzare in modo permanente il flusso di valore così che colli di bottiglia e proposte di miglioramento vengano continuamente accertati.

Inoltre, la comparazione automatica dei dati acquisiti con i valori target dei parametri del processo produttivo e la simulazione dello stato futuro, che possa soddisfare requisiti del cliente e capacità dell'impresa, trasformano il *VSM* da strumento di supporto alla produzione e alla gestione statico in metodo dinamico (Lugert et al., 2018).

Si assiste ad una progressiva riduzione dei task effettuati manualmente dagli operatori e ad una conseguente crescita dell'autonomia dei macchinari all'interno della fabbrica, definendo tecniche di lavorazione intelligenti, per cui il contributo dell'uomo è importante, ma non essenziale come in passato. Inoltre, la necessità di un adeguamento del flusso di valore alle specifiche esigenze del cliente e la tendenza a realizzare prodotti con un minore ciclo di vita richiedono alle aziende di accostare alla *lean manufacturing* strategie orientate alla riduzione del proprio impatto ambientale.

La *smart factory*, che rappresenta il risultato di questo processo, appare quindi simultaneamente connessa con l'adozione di approcci *lean* ed un *focus* sulla sostenibilità, potendo così incarnare un contributo di valore per la soluzione dei problemi attuali nell'implementazione di programmi di *extended producer responsibility (EPR)*.

La definizione di *EPR* richiede, infatti, di acquisire dati relativi all'intero ciclo di vita di tutte le componenti elettriche ed elettroniche, che si evolvono in modo esponenziale, integrate nei prodotti realizzati, di favorire lo scambio di informazioni tra gli *stakeholder* autorizzati (produttori, fornitori, amministratori e legali) e di elaborare e memorizzare i dati in modo distribuito ed organizzato, per conseguire un sistema di gestione e controllo basato sui dati; obiettivi che risultano di più facile raggiungimento nel contesto di Industria 4.0.

I programmi *EPR* consistono in una serie di requisiti obbligatori, tra i quali incoraggiare l'utilizzo di materiali riciclabili, ridurre le emissioni durante la produzione ed utilizzo e fornire linee guida per lo smaltimento, per gestire in modo efficiente il ciclo di vita dei prodotti considerati.

Per comprendere come le applicazioni di Industria 4.0 possano sostenere questo progetto, è utile valutare le possibili sinergie tra elementi del nuovo paradigma industriale e fasi principali del ciclo di vita del prodotto (Gu et al., 2018).

Attraverso la realizzazione di prodotti *smart*, che sono in grado di adattarsi alle nuove abitudini di consumo o anticipare i bisogni del cliente, grazie al coinvolgimento diretto del consumatore nel processo di design (*interactive design*), è possibile intervenire sullo sviluppo prodotto, in modo da allineare maggiormente domanda e offerta ed evitare sovrapproduzioni, in seguito ad un'errata interpretazione delle esigenze del mercato.

La *smart factory*, costituita da macchinari intelligenti che comunicano in qualsiasi momento il loro stato, in termini di capacità produttiva disponibile, potendo essere integrata con altre fabbriche intelligenti su scala regionale o nazionale, consente di distribuire le materie prime in modo ottimale e massimizzare l'efficienza energetica del processo produttivo.

La *smart home*, da intendersi come l'insieme dei dati generati dagli oggetti intelligenti, ovvero ad alto contenuto di *Information Communication Technology (ICT)*, presenti nelle case delle persone, può agevolare nell'identificazione dei possibili utilizzi del prodotto da parte dei consumatori e contribuire alla progettazione di prodotti e servizi sempre più personalizzati.

Infine la *smart logistics* consente di aumentare il livello di connessione e la tracciabilità tanto del flusso di informazioni, quanto di quello dei prodotti. La possibilità di collezionare dati relativi al consumo di un prodotto, in tempo reale per le aziende interessate, garantisce la sua disponibilità immediata presso i distributori, senza ricorrere ad elevati stock di magazzino.

Inoltre, veicoli autonomi ed intelligenti permettono di preservare la qualità dei prodotti, monitorando tramite appositi sensori in modo continuativo la temperatura e la pressione dell'abitacolo, e di ridurre le emissioni del trasporto, attraverso meccanismi che determinano in modo automatico i percorsi da seguire per ottimizzare i tempi di consegna (Ding, 2018).

La delineazione di un insieme di principi di design, che regolino l'implementazione dell'Industria 4.0, e di un set di tecnologie, proprie di questa nuova era industriale, offre alle imprese un importante sostegno nella ricerca e selezione delle soluzioni opportune per ogni caso applicativo.

1.2 I principi fondanti dell'Industria 4.0

Il concetto di Industria 4.0 è ostico da definire non solo per accademici e ricercatori, i quali riscontrano numerose difficoltà per assicurare la completa comprensione di questo tema, oggetto dei loro studi, ma costituisce una sfida anche per tutti coloro che vogliono implementare nelle loro aziende un possibile scenario, che risponda ai requisiti dell'Industria 4.0.

Da ciò deriva la necessità di definire il seguente set di principi alla base della realizzazione dell'Industria 4.0, denominati principi di design, dal momento che assistono i professionisti nell'ideazione e creazione di soluzioni interne alla loro impresa, conformi alle proprietà delle quali l'Industria 4.0 consente di beneficiare (Hermann *et al.*, 2015):

- Virtualizzazione
- *Real time capability*
- Modularità
- Orientamento al servizio
- Decentralizzazione
- Interoperabilità.

L'analisi delle pubblicazioni più recenti ha messo in luce alcune influenze e legami che interessano tali principi. Virtualizzazione e *real time capability* sono risultati tra loro estremamente connessi, in quanto l'Industria 4.0 è fondata su dati cumulabili estratti dal mondo reale in tempo reale e, d'altro canto, la *real time capability* è profondamente sostenuta dalle tecnologie proprie dell'*Industry 4.0*, quali l'*Internet of Things* (Sezione 1.3.1).

La modularità è emersa come condizione necessaria affinché la personalizzazione del prodotto sia possibile, dal momento che, per rispondere in modo dinamico ai cambiamenti del mercato, è richiesto il passaggio dalla produzione e pianificazione lineare ad un'organizzazione su tutti i livelli di tipo modulare, costruita su *supply chain* agili e flessibili (Ghobakhloo, 2018).

Profondamente caratterizzante il paradigma di Industria 4.0 è infine l'integrazione, delle componenti del sistema, verticale, orizzontale e di *end to end engineering* (Strandhagen *et al.*, 2017), descritta nel sottoparagrafo che segue, che figura nel report finale redatto nel 2013 dal gruppo di lavoro tedesco per l'Industria 4.0, coordinato dal Prof. Dr. Henning Kagermann, richiedendo pertanto di essere considerata come il primo dei capisaldi della trasformazione in ottica 4.0 (Ghobakhloo, 2018).

1.2.1 Integrazione del sistema

L'Industria 4.0 ambisce ad ottenere un flusso continuo di informazioni e pianificazione attraverso diversi livelli ed entità della creazione del valore industriale. A tal scopo, è richiesta l'integrazione verticale, strato dopo strato, della totalità dei sistemi e delle tecnologie che ne fanno parte.

Le *smart factory* non possono più lavorare in una condizione di isolamento, ma necessitano di essere messe in comunicazione verticalmente con *database* e processi di controllo, per merito di prodotti e sistemi intelligenti, ed essere connesse orizzontalmente con tutte le funzioni ed i dati (Figura 1.2), reperibili lungo la catena del valore, globalmente distribuita (Ghobakhloo, 2018).

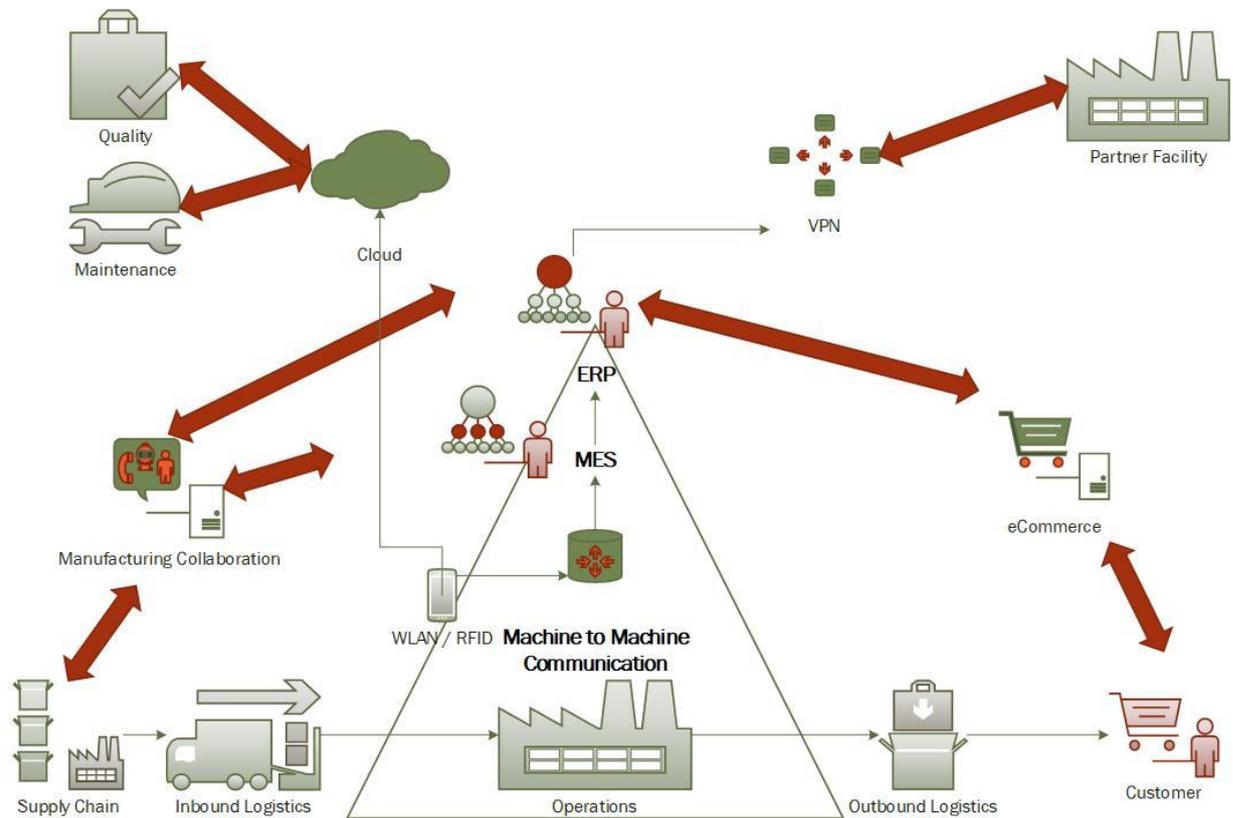


Figura 1.2: Integrazione verticale ed orizzontale in Industria 4.0 (elaborazione personale).

Il collegamento sicuro tramite *Virtual Private Network (VPN)*, in cui l'accesso alla rete è ristretto agli utenti autorizzati, con fornitori di impianti industriali e *partner* commerciali ed una gestione efficiente degli ordini dei clienti, a cura dell'azienda o da parte di business terzi, grazie agli attuali sistemi di *eCommerce*, consentono di stabilire e mantenere, laddove fosse già presente, una rete di relazioni che contribuisce a generare ed aggiungere valore all'interno dell'impresa.

A tal proposito, Dassault Systèmes, società europea del settore software, e BoostAeroSpace hanno lanciato una piattaforma di cooperazione per l'industria aerospaziale e della difesa europea. La soluzione, chiamata AirDesign, rappresenta uno spazio di lavoro comune per progettare e produrre in modo collaborativo (*manufacturing collaboration*) ed è disponibile come servizio su un cloud privato, rete proprietaria con accesso ad un numero limitato di persone. Esso costituisce un esempio di come possa essere affrontata la complessità insita nella condivisione di disegni *CAD (Computer-Aided Design)* ed altri dati relativi al prodotto e al processo produttivo tra più *partner*, geograficamente distanti (Gerbert *et al.*, 2015).

L'integrazione verticale di aggregati e livelli gerarchici di un modulo aziendale, da stazioni a celle produttive, linee, officine, aziende e reti, è realizzabile in virtù dei requisiti di autonomia delle *ICT*.

L'integrazione orizzontale di tutti i moduli, che partecipano alla catena del valore, estendendo le attività dell'azienda verso processi e *know how* affini alle caratteristiche tecnologico-produttive dell'azienda stessa, consente, inoltre, di affrontare la crescente pressione competitiva globale, rendendo più complesso per i *competitor* l'ingresso nel mercato, e gestire in modo più efficiente la contrazione del ciclo di vita dei prodotti ed il perpetuo sviluppo e rinnovo tecnologico (Qin and Cheng, 2017).

1. La definizione di Industria 4.0

All'origine la piramide dell'automazione era costituita da quattro livelli chiaramente definiti: il campo, ovvero il luogo del processo da controllare, provvisto di sensori per la misurazione delle grandezze di interesse, al fine di valutare lo stato di avanzamento e /o il corretto svolgimento del lavoro in esecuzione, il controllo, dove gli elaboratori, sulla base delle informazioni rilevate dai sensori, decidevano le azioni da intraprendere, la supervisione, con *personal computer* e sistemi deputati al monitoraggio e l'*enterprise*, dove risiedevano le altre attività aziendali.

Nel contesto di Industria 4.0 *device* e macchinari interagiscono direttamente tra di loro, scambiando informazioni in modo automatico e quindi senza il dovuto intervento dell'operatore, attraverso tecnologie e servizi di *machine to machine communication (M2M)*. Le principali applicazioni riguardano la gestione dei magazzini, per l'inventario del materiale in ingresso e in uscita, la sensoristica, per la rilevazione di parametri di pressione e temperatura delle macchine e la localizzazione, per monitorare posizione e stato degli oggetti sulla linea. I dati acquisiti dai sensori, che indicano la performance e la capacità delle macchine e le tolleranze degli strumenti, che operano all'interno della *factory*, sono solitamente trasferiti ad una piattaforma cloud, in cui eventuali errori e la necessità di riparazioni sono analizzati da fornitori di servizi di manutenzione predittiva e controllo qualità preventivo, che intervengono da remoto (Intel Corporation, 2017), e ai software di *Manufacturing Execution System (MES)*, che elaborano l'informazione, al fine di dare un significato in tempo reale ai dati acquisiti dagli impianti produttivi ed intervenire immediatamente per correggere problematiche di produzione e riconfigurare i processi, se necessario.

Sistemi gestionali di *Enterprise Resource Planning (ERP)* integrano, infine, tutti i processi di business che interessano l'azienda e le sue relazioni con l'esterno.

ERP, dotati di tecniche e metodologie per l'estrazione di informazioni rilevanti da grandi quantità di dati presenti nei *database* aziendali (*data mining*), creano una rappresentazione digitale dei comportamenti pregressi e presenti di un singolo oggetto così come di un intero nucleo produttivo, favorendo un alto grado di trasparenza dell'informazione e la connessione con i dati in tempo reale (Ghobakhloo, 2018).

La connessione in tempo reale di risorse, servizi e uomini avviene, inoltre, durante l'intero processo produttivo e lungo tutte le fasi del ciclo di vita di un prodotto, dall'acquisizione delle materie prime, necessarie alla sua realizzazione, alla produzione, dall'utilizzo fino allo smaltimento, secondo il principio di *end to end engineering* (Strandhagen *et al.*, 2017).

La combinazione di *lean product development* e tecnologie di Industria 4.0 funziona da amplificatore per l'ottimizzazione dell'efficienza dello sviluppo prodotto. La fase concettuale e lo stadio di ritiro dal mercato e ricondizionamento risultano particolarmente interessati dalla quarta rivoluzione industriale, nell'adattamento del processo al prodotto, nel veloce scambio di informazioni tra sviluppo prodotto e produzione, nel miglioramento delle performance produttive e nell'importanza acquisita dal tema dello sviluppo sostenibile. Il successo del processo di sviluppo prodotto è determinato dalla disponibilità di metodi per l'identificazione dei requisiti del cliente e rappresentazioni del prodotto, atte a supportare la comunicazione tra i vari *stakeholder* (Santos *et al.*, 2017).

1.2.2 Virtualizzazione e *real time capability*

Secondo il principio della virtualizzazione ogni elemento della catena del valore (il magazzino, l'officina, i macchinari e il prodotto stesso) possiede un corrispettivo digitale, che nasce dalla fusione tra dati acquisiti, mediante sensori, dal mondo reale e modelli virtuali e di simulazione. La rigida automazione, proposta ai tempi della terza rivoluzione industriale e della produzione di massa, viene sostituita tramite una nuova ondata di digitalizzazione, che permette di far fronte alla crescente complessità e flessibilità della produzione 4.0.

La creazione di un gemello virtuale dell'impresa consente di condurre valutazioni ed implementare azioni migliorative e correttive sulle funzionalità ed i flussi presenti, senza compromettere o ledere l'integrità dei processi fisici in corso d'opera.

Ne consegue che gli sprechi lungo la catena del valore, i difetti di produzione ed i tempi di inattività sulla linea risultano drasticamente ridotti e minimizzati.

Tale opportunità è subordinata ad un altro principio guida dell'Industria 4.0: *la real time capability*, la capacità di raccogliere dati, elaborare le informazioni che ne derivano e prendere decisioni, fondate su quest'ultime, in tempo reale (Ghobakhloo, 2018).

Non si può trattare effettivamente di Industria 4.0 se i prodotti realizzati non sono in grado di comunicare tempestivamente dove sono stati lavorati, la loro condizione attuale e le operazioni da svolgere per ottenere lo stato desiderato.

Il *cyber physical system (CPS)*, termine introdotto nel 2006 da Helen Gill della National Science Foundation, per indicare l'integrazione tra la potenza di calcolo (*computation*) dei computer ed i processi fisici (Sezione 1.3.1), colleziona i dati provenienti dal mondo reale attraverso i sensori, li processa con i software presenti nei controllori integrati, si serve di internet ed infrastrutture cloud per il reciproco scambio di informazioni tra i controllori ed interagisce nuovamente con il processo fisico, attraverso gli attuatori, quando necessario (Dallasega *et al.*, 2017).

I benefici auspicati sono evidenti: oggetti intelligenti ed interconnessi e sistemi di controllo autonomi sono in grado di riflettere la domanda del cliente in tempo reale.

Markus Weinländer, responsabile della gestione del prodotto di Siemens Process Industry and Drives, dichiara che Siemens ha da qualche anno sviluppato un *transponder ultra-high frequency (UHF)* con 4 kilobyte di capacità di memorizzazione, un'etichetta elettronica associata al prodotto che consente per la prima volta di archiviare ulteriori informazioni ad esso relative, quali esigenze specifiche per la produzione e piani di assemblaggio, che costituiscono una fonte di conoscenza importante nell'economia della personalizzazione di massa.

Gli scanner per la lettura di questi dati, installati su macchine o nastri trasportatori, permettono inoltre la consultazione in tempo reale delle istruzioni operative e di emettere i comandi corrispondenti a robot e sistemi logistici.

OPC Foundation, sviluppatore del protocollo per la comunicazione *M2M OPC Unified Architecture (OPC UA)*, sta ultimando la realizzazione di un'estensione *pub/sub* di tale protocollo, che, combinato con una rete che consente la connessione in tempo reale, permette una versione di *OPC UA* capace di lavorare in tempo reale. *Publish-subscribe* rappresenta un modello per la messaggistica, in cui il mittente può inviare informazioni a destinatari specifici attraverso un intermediario (*event bus*), che funge anche da tramite per la sola ricezione dei messaggi di interesse da parte dei destinatari. Esso rappresenta ormai una necessità in ambienti ad alto grado di connettività, su un numero elevato di computer, applicazioni e utenti, nei quali è importante fornire comunicazioni asincrone per la classe di sistemi distribuiti, che operano in modo flessibile e autonomo e che richiedono l'immunità dai guasti di rete.

1.2.3 Modularità e personalizzazione di massa

L'Industria 4.0, nella volontà di adeguarsi rapidamente ad ogni circostanza e variazione di prodotto, processo, risorse, materiali e macchinari, richiede sistemi di pianificazione, produzione e logistica meno rigidi e lineari, ma più flessibili e agili, sistemi modulari perfettamente scalabili, che permettono di reagire rapidamente ai cambiamenti della domanda, senza vanificare gli investimenti effettuati ed i costi affondati.

Il principio della modularità si esprime infatti ulteriormente nella personalizzazione del prodotto, rilettura dal punto di vista del cliente del concetto di customizzazione di massa.

Cyber physical system e internet of things (Sezione 1.3.1), architetture aperte, per facilitare l'aggiunta e l'aggiornamento di componenti, e tecniche di produzione, non più per asportazione del materiale dal pieno, ma basate su modelli virtuali tridimensionali stampati strato per strato, hanno reso possibile la riconfigurabilità del prodotto, secondo le preferenze del cliente in continua evoluzione (Ghobakhloo, 2018).

L'automazione in sé quindi appare non più sufficiente alle imprese per preservare la loro posizione competitiva sul mercato, ma risulta sempre più necessaria l'adozione di tecnologie più flessibili per gestire la complessità e la varietà dei prodotti in ottica 4.0.

Zalando ha recentemente impiegato all'interno del proprio magazzino di Erfurt in Germania due robot che interagiscono con l'ambiente circostante, chiamati TORU e realizzati dalla start up Magazzino, un'azienda con sede a Monaco specializzata nello sviluppo e nella produzione di robot collaborativi (Sezione 1.3.5), per svolgere la funzione di *picking*, ovvero di identificazione, recupero e trasporto di specifici articoli all'interno del magazzino [2].

Essi, dopo aver ricevuto le indicazioni relative a quali elementi prelevare, tramite un sistema di *Employee Relationship Management (ERM)* connesso, sistema informatico funzionale al monitoraggio delle attività svolte da tutti i collaboratori dell'azienda e strumento utile per la gestione e valorizzazione del personale, sono in grado di muoversi autonomamente nello spazio grazie ad una telecamera integrata. Nonostante tale applicazione presenti ancora alcuni limiti per quanto riguarda la velocità di movimento, attualmente pari ad un metro al secondo, e imputabili al meccanismo della pinza stesso, che consente di afferrare solo oggetti leggeri e di forma rettangolare (Ackerman, 2016), offre indiscutibili vantaggi in termini di flessibilità. Diversamente dalle precedenti proposte di automazione del magazzino, consente di realizzare soluzioni con un grado di automazione parziale, potendo inizialmente assumere, come nel caso di Zalando, anche solo uno o due robot, per sperimentarne i benefici.

Radwell International MRO, società svizzera specializzata in *Automation Supply & Repair*, ha scelto una soluzione automatizzata e modulare per il proprio magazzino, costituito da più di 12 milioni di *Stock Keeping Unit (SKU)*, ovvero di codici identificativi degli articoli a magazzino. I tradizionali scaffali sono stati sostituiti da un sistema automatizzato, costituito da una griglia tridimensionale espandibile o riducibile (Figura 1.3), che può essere anche disassemblata e trasferita altrove.



Figura 1.3: Magazzino automatizzato e modulare Swisslog per Radwell International [3].

Un modulo rappresenta un'unità standardizzata o un sottosistema, avente una determinata funzionalità, che può relazionarsi con altri per costruire un sistema più grande e capace di effettuare diverse combinazioni di attività. Esso risulta facile da configurare, da aggiornare ed espandere e da analizzare (Hammer, 2017).

I benefici della modularità possono essere raccolti sin dalla fase di pianificazione. Riutilizzare le informazioni relative ad un progetto passato, utili allo sviluppo di un nuovo prodotto o servizio, consente di accelerare la fase di ideazione e ridurre il *time to market*.

La realizzazione di impianti industriali modulari, costituiti da unità adattabili, assemblate per formare infrastrutture produttive multifunzione, e formati da singoli moduli intercambiabili, semplifica la manutenzione e l'assistenza e riduce i tempi di cambio delle componenti guaste o danneggiate.

Inoltre, i dati operativi, ottenuti durante la produzione, possono essere utilizzati direttamente dal progettista per definire strategie di manutenzione e per ottimizzare i moduli già pianificati per progetti futuri (Dechema, 2018).

Un design modulare ed intelligente garantisce quindi di utilizzare un prodotto o un sistema per un arco di tempo più ampio, in quanto consente che esso venga adattato alle continue innovazioni tecnologiche ed estetiche, grazie alla facilità di sostituzione dei singoli moduli e al continuo sviluppo di componenti aggiornate, di essere riparato senza conoscenze tecniche specifiche o costi elevati e di poter accogliere nuovi moduli progettati anche da parte di terzi.

L'ambiente naturale trae grande giovamento dal rinnovato processo di sviluppo prodotto, data la forte riduzione delle risorse necessarie per lo smaltimento dei prodotti e il minor numero di esemplari da produrre. Il design modulare si afferma quindi indiscutibilmente come portatore di una serie di valori legati alla sostenibilità e rappresenta una risposta efficiente, intelligente ed ecologica alle richieste di personalizzazione provenienti dal mercato dei beni di consumo e non solo.

Dividella, fornitore svizzero del servizio di confezionamento di prodotti dell'industria farmaceutica e delle biotecnologie, riconosce la modularità del design come elemento che ha permesso un continuo aggiornamento del processo, da confezionamento manuale di lotti di piccola dimensione a produzione completamente automatizzata ad alta velocità di più di 24

milioni di confezioni all'anno, servendosi di volta in volta di moduli con competenze specifiche.

1.2.4 Orientamento al servizio

Così come allo stato attuale è ormai inconcepibile pensare all'impresa come univocamente definita dai confini geografici del luogo di produzione, lo stesso prodotto trascende la propria dimensione tangibile, in seguito all'applicazione del concetto di *product as a service (PaaS)*.

Il prodotto come servizio fonde in sé oggetti fisici, servizi ausiliari, quali trasporto, manutenzione ed assistenza e software di monitoraggio, delineando un modello di offerta inedita, in cui l'acquirente non tende più ad appropriarsi definitivamente del bene oggetto di interesse, ma diventa fruitore di un servizio o protagonista di un'esperienza ibrida tra mondo fisico e virtuale.

Al posto di un'unica transazione, il cliente sottoscrive un abbonamento al prodotto corrispondente e si impegna a pagare una commissione ricorrente (Ghobakhloo, 2018).

Il singolo prodotto come unica fonte di valore per il cliente sta lasciando spazio a percezione del brand e scelta del consumatore fortemente condizionate dal canale di comunicazione e distribuzione adottato dall'azienda.

Sintomatico di questa tendenza è il caso rappresentato dall'azienda americana Dollar Shave Club, la quale ha da qualche anno messo in atto un nuovo modello di business, che prevede la vendita di rasoi da uomo sul web con spedizione direttamente al cliente per un mese al prezzo di un dollaro [4].

Le automobili stanno sempre più diventando piattaforme per l'erogazione di servizi. Abbonandosi al servizio Car-Net offerto da Volkswagen, i guidatori possono ricevere notifiche in tempo reale relative ad incidenti, assistenza in caso di furto del mezzo e la possibilità di ottenere uno *scheduling* automatico per la manutenzione del veicolo; allo stesso modo, Tesla ha introdotto funzionalità *on-demand* all'interno delle sue vetture.

La compagnia di assicurazioni Metromile ha messo in commercio un sensore che, integrato nelle automobili, consente di rilevare il chilometraggio e, in base ad esso, adeguare il premio assicurativo. In questo caso è il servizio garantito, più che il prodotto, a costituire una proposta di valore per il cliente [5].

Con il termine *manufacturing as a service (MaaS)*, invece, si intende l'uso collettivo di un'infrastruttura produttiva per la realizzazione dei prodotti, per cui l'orientamento al servizio riguarda non solo il risultato della produzione ma l'intero processo produttivo.

In questo ambiente, complesse attività produttive non sono da considerarsi a carico del singolo, ma possono essere svolte in modo collaborativo da diverse aziende, che forniscono il servizio di produzione (Ghobakhloo, 2018).

Il concetto di *MaaS* prevede che i produttori si servano di internet per acquisire e rendere disponibile capacità produttiva. Dal 2016 le possibilità di cogliere effettivamente le opportunità offerte dal *MaaS* risultano sempre più consistenti, in seguito all'emergere di tecnologie per l'accesso wireless 5G, come mostrato dal recente progetto SkyBender, testato da Google tramite droni ad alimentazione solare allo Spaceport America in New Mexico [6].

In principio, pertanto, vi era il *Software as a Service (SaaS)*, dove internet consentiva la distribuzione delle applicazioni, senza che queste dovessero essere necessariamente installate sul *device* del singolo utente, sollevandolo dall'obbligo di provvedere alla conseguente gestione dell'hardware e del software (Kulkarni *et al.*, 2012).

Oggi è ormai possibile ipotizzare la realizzabilità di modelli di *XaaS* o *Everything as a service*, in cui capacità produttiva, prodotti e processi aziendali escono dai silos e diventano servizi orizzontali, accessibili e sfruttabili attraverso i confini dell'organizzazione nel suo complesso. Bastano pochi upgrade tecnologici per trasformare il modulo di customer service nell'*ERP* aziendale in uno strumento disponibile a diversi dipartimenti aziendali: *IT* per le richieste all'help desk di supporto al cliente, risorse umane (*HR*) per la gestione dei clienti interni, logistica per il supporto da parte del *vendor* (Collins *et al.*, 2017).

1.2.5 Decentralizzazione

L'esigenza di una maggiore reattività del processo produttivo ed i lunghi tempi d'attesa, per la ricezione dei *feedback* del sistema di controllo centralizzato, hanno posto le basi per realizzare nell'Industria 4.0 la decentralizzazione del controllo.

I sistemi centralizzati dispongono di una capacità limitata che, una volta saturata, proibisce loro di espandersi in relazione a requisiti crescenti. Inoltre, qualora si verificasse un unico guasto all'interno del sistema, a causa della sua architettura centralizzata, esso risulta complessivamente compromesso [3].

I diversi componenti della *smart factory*, in virtù del potere ad essi delegato in termini di elaborazione dell'informazione ed autonomia decisionale, possono ora operare e prendere decisioni in modo indipendente, svincolati da qualsiasi unità di controllo superiore.

A tal fine, è essenziale che tutti gli elementi coinvolti godano dell'accesso all'informazione rilevante e della possibilità di comunicare reciprocamente e collaborare, con lo scopo di prevenire, non senza difficoltà, eventuali discostamenti dal perseguimento degli obiettivi strategici aziendali e dalle istruzioni operative comuni. Ciò implica che, in una situazione che lo preveda, un elemento si trovi a prendere una decisione subottimale per se stesso, di modo da raggiungere un risultato complessivo superiore.

Grazie al potere della comunicazione e alla decentralizzazione del *decision making*, che comporta un ridimensionamento dell'entità della decisione da prendere per i singoli, le stesse procedure decisionali risultano di più rapida esecuzione (Meissner *et al.*, 2017).

In particolare, veicoli con guida automatica e robot industriali, dotati di capacità di memorizzazione di dati da parte di particolari etichette elettroniche, chiamate *tag Radio-Frequency Identification (RFID)*, in grado di rispondere all'interrogazione a distanza proveniente da appositi apparati fissi o portatili, consentono, tra le altre applicazioni possibili, di semplificare la pianificazione ed il coordinamento dei processi di gestione del magazzino (Ghobakhloo, 2018).

Secondo la visione di Industria 4.0, inoltre, ogni prodotto è unico, in quanto rispondente a specifiche esigenze di personalizzazione dell'offerta di mercato, pertanto la capacità di gestione di flussi informativi da un estremo all'altro della comunicazione (*end-to-end*) consente una migliore condivisione dei dati con fornitori e distributori, permettendo una maggiore efficienza delle *operation*.

Nei settori con un'elevata proprietà di *asset*, come quello automobilistico, il controllo da remoto e la manutenzione predittiva, resi possibili dalla decentralizzazione dell'architettura del sistema, migliorano l'utilizzo degli *asset*.

I sistemi per la gestione della produzione futuri (*Manufacturing Operations Management* o *MOM*) estenderanno inoltre l'area del controllo e della pianificazione della produzione al fine di includere una pianificazione degli ordini basata sul consumo energetico, per garantire energia

flessibile e pianificazioni efficienti, nonostante il costo dell'energia in crescita (Filipov and Vasilev, 2016).

1.2.6 Interoperabilità

Il paradigma di Industria 4.0 richiede la disponibilità di informazione adeguata attraverso la catena del valore, in seguito all'aggregazione e alla fusione di dati aventi sorgente eterogenea. La complessità per gli architetti di sistema risiede nella ricerca di soluzioni, con costi di progettazione ragionevoli, che consentano l'interoperabilità sia sul piano sintattico che semantico (Pedone and Mezgár, 2018).

L'interoperabilità sintattica è la condizione da verificarsi affinché i sistemi siano in grado di scambiare dei dati in un formato noto ad entrambe le parti.

L'interoperabilità semantica, invece, consiste nell'interpretazione automatica dell'informazione condivisa, in modo accurato e significativo da parte di entrambi i sistemi. Tale requisito viene soddisfatto dall'adozione di un comune modello di riferimento (Laurini and Murgante, 2008).

L'interoperabilità non si concretizza, pertanto, nella sola standardizzazione dei dati, ma si compie nella piena comprensione del contenuto dell'informazione da parte di tutte le unità coinvolte.

Da ciò deriva l'effettiva possibilità di estendere l'autonomia di azione ed il potere di *decision making*, oltre il livello manageriale fino al substrato produttivo

La completa interoperabilità di un sistema si manifesta quindi nell'abilità di tutti i suoi componenti, siano essi risorse umane, prodotti, officine e tecnologie rilevanti, di connettersi, comunicare e collaborare tramite *industrial internet of things (IIoT)* (Sezione 1.3.1).

Dal momento che l'*IIoT* non dispone in sé di un protocollo applicativo universale, che preceda l'integrazione dei macchinari di diversi produttori ed il convergere dei diversi componenti della *smart factory* in una singola applicazione, le *semantic technologies* possono fornire uno standard comune per la comunicazione ed un linguaggio standardizzato per lo scambio di informazioni tra i diversi componenti dell'Industria 4.0.

Esse permettono l'interoperabilità tra i differenti *asset* ed i rispettivi servizi, di sovente forniti su diversi domini, e facilitano la comunicazione tra unità eterogenee nel contesto di Industria 4.0 (Ghobakhloo, 2018).

MTConnect è uno standard per la comunicazione aperto, utilizzato per alimentare la capacità di acquisizione dei dati di *device* ed applicazioni e promuovere il passaggio ad un ambiente *plug and play*, per ridurre i costi sostenuti nell'integrazione di queste informazioni. Tale standard consente di tradurre i dati raccolti da differenti dispositivi nel formato XML, che può essere adoperato dalla maggioranza degli applicativi software.

ISO 10303, anche conosciuto come STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*), è uno standard ISO, che alle sue origini si concentrava principalmente sulla codificazione dell'informazione relativa alle attività di design e produzione, ma che attualmente descrive i dati relativi al prodotto durante l'intero ciclo di vita (Zheng et al., 2017).

Sulla base di questi standard, i servizi di comunicazione riescono a creare una versione digitale di ogni componente critico del processo e forniscono dati in tempo reale ben formattati a varie applicazioni tramite internet.

Interoperabilità e sicurezza rappresentano due fattori chiave, che hanno da sempre condizionato il modo in cui i sistemi produttivi sono organizzati, i quali rivestono un ruolo fondamentale

nell'Industria 4.0, a causa della crescente interazione tra sensori, macchinari e uomini su scala globale.

Da questo ha avuto origine la proposta di un modello di architettura di riferimento specifico per l'Industria 4.0: RAMI 4.0 (Pedone and Mezgár, 2018).

I sei livelli verticali dell'architettura (Figura 1.4) esprimono la diversa natura delle componenti *IT* in ambito 4.0: applicazione aziendale, aspetto funzionale, gestione dell'informazione, comunicazione, capacità di integrazione ed abilità dell'*asset* nell'implementazione dell'Industria 4.0.

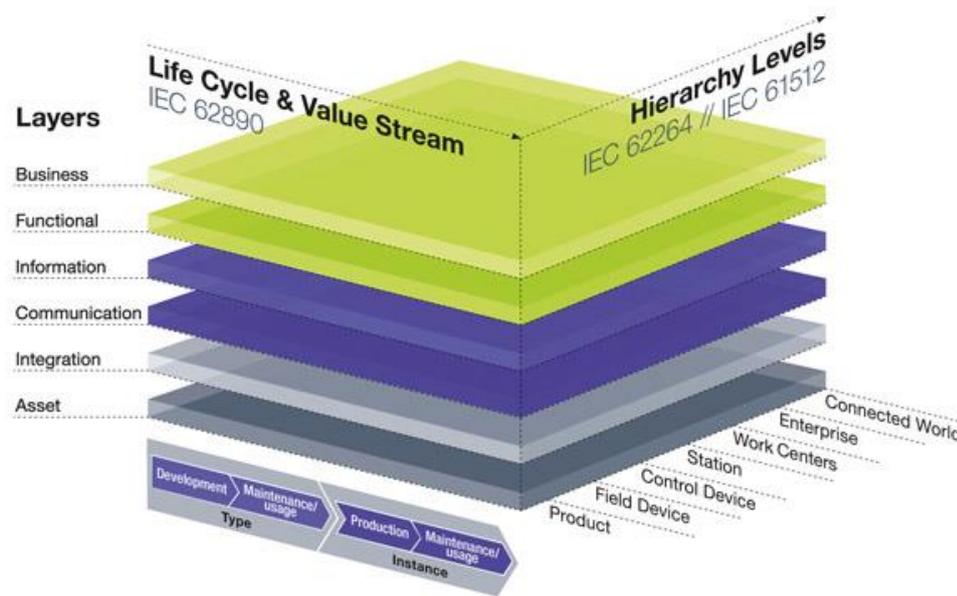


Figura 1.4: Modello dell'architettura RAMI 4.0 [7].

Il ciclo di vita di prodotti, macchinari, ordini o *factory* è rappresentato lungo l'asse *life cycle and value stream*, mentre i livelli gerarchici connotano le diverse funzioni dei sistemi informativi e di controllo dell'impresa, in parte già analizzati nella definizione della piramide dell'automazione.

Peter Adolphs, Managing Director/CTO presso Pepperl+Fuchs, alla guida del gruppo di lavoro che ha sviluppato il modello di riferimento RAMI 4.0, ha dichiarato che l'introduzione di gerarchie di gestione non costituisce un limite per la comunicazione *end-to-end*, ma rappresenta un accorgimento a suo vantaggio, permettendo il flusso di dati ed i diritti di accesso a diversi livelli, a seconda della pertinenza (Kegel, 2015).

1.3 Tecnologie abilitanti

L'Industria 4.0 è resa possibile dall'introduzione in ambito produttivo di tecnologie in evoluzione, il cui potenziale è destinato ad espandersi nel tempo, ma anche dalla rivalutazione e promozione di soluzioni e strumenti già conosciuti (Figura 1.5), che nel nuovo contesto possono rappresentare effettivamente una fonte di vantaggio competitivo per le imprese.

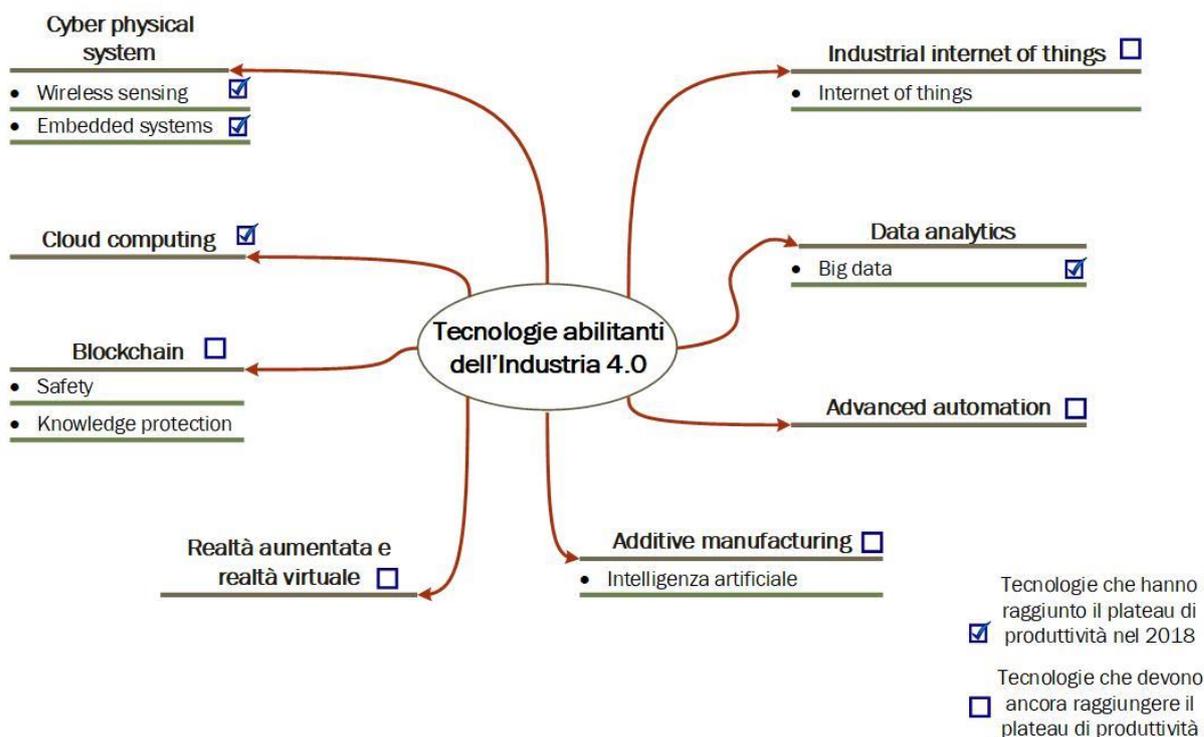


Figura 1.5: Mappa concettuale delle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 (elaborazione personale).

Da un'analisi dell'*hype cycle*, metodologia sviluppata da Gartner (società di consulenza e ricerca nel campo delle *IT*) per valutare la maturità e l'adozione di specifiche tecnologie, è emerso come, dal 2012, anno successivo all'inizio del dibattito sull'Industria 4.0, all'anno corrente (2018), nuove tecnologie si trovino al centro di progetti di ricerca e sviluppo e siano in corso iniziative per la realizzazione di applicazioni industriali fondate su di esse. A tal proposito, i trend maggiormente promettenti, che nel prossimo decennio verranno adottati su ampia scala (plateau di produttività), riguardano piattaforme abilitanti un ecosistema digitalizzato, al posto di infrastrutture tecniche a compartimenti, blockchain, in quanto punto di svolta per la gestione della sicurezza dei dati, robot intelligenti e veicoli a guida autonoma.

1.3.1 Cyber physical system e industrial internet of things

I sistemi integrati (*embedded systems*), i quali consistono nell'inclusione di tecnologie dell'informazione in prodotti e servizi dell'impresa, risultavano già adoperati dalla maggior parte delle aziende prima del 2011, data in cui il termine Industria 4.0 venne utilizzato per la prima volta in pubblico (Santos *et al.*, 2017). Essi sono rappresentativi, infatti, degli anni seguenti la terza rivoluzione industriale, in cui la produzione venne massicciamente computerizzata, lasciando, tuttavia, le unità operative ancora fortemente isolate e in grado di realizzare un numero limitato di applicazioni, prevalentemente relative al monitoraggio e controllo, non ancora in tempo reale, delle performance degli oggetti in cui tali sistemi erano integrati.

Il *cyber physical system (CPS)*, invece, incarna pienamente le volontà di interconnessione e trasparenza della quarta rivoluzione industriale, rappresentando un mezzo per collegare i sistemi integrati e fornire loro l'accesso ad un'infrastruttura di comunicazione: internet (Schneider, 2018).

Grazie alla pervasività di tale rete, l'informazione, oggetto di scambio, non è più solo frutto della conoscenza esplicita all'interno dell'impresa, ma deriva anche da quella informale e tacita, coesistente nel contesto produttivo, fin ad ora estremamente difficile da percepire e decifrare.

Come un ponte congiunge la riva alla sponda opposta, così il *CPS* avvicina ulteriormente mondo fisico e virtuale, integrando l'elaborazione di complesse informazioni, provenienti da più elementi fisici collegati.

La connessione in internet di impianti produttivi fisici, prodotti, magazzini e sistemi gestionali e di trasporto, le "cose" a cui il termine *internet of things (IoT)* fa riferimento, insieme a tecnologie per l'analisi dei dati nel mondo virtuale, ha determinato mezzi di produzione rivoluzionari, denominati *cyber-physical production systems (CPPSs)*, rappresentazione concreta in ambiente produttivo del concetto di *CPS*.

L'interconnessione e l'interoperabilità delle entità del *CPS* all'interno dell'officina, combinate a metodi per l'analisi dei dati e l'apprendimento automatico derivante dalla conoscenza, forniscono un supporto intelligente per prendere decisioni.

Attraverso *CPS* e *IoT*, i sistemi per il monitoraggio ed il controllo della produzione diventano infatti *smart*, in quanto, oltre a fornire una visualizzazione grafica dei dati, relativi a parametri quali temperatura, consumo elettrico, vibrazioni e velocità di esecuzione in tempo reale, possono ora segnalare, prima ancora che si verifichi, la probabilità di un guasto o di un malfunzionamento e fornire prestazioni di controllo qualità durante la produzione, eliminando la necessità di un'ispezione al termine del processo (Zheng *et al.*, 2018).

L'*industrial internet of things (IIoT)*, applicazione industriale dell'*IoT*, non si riferisce solo al collegamento di oggetti fisici in industria, ma comprende anche le rappresentazioni digitali di prodotti, processi ed infrastrutture produttive, una migliore visibilità e conoscenza delle *operation* aziendali ed *asset* opportuni per integrare e connettere i sensori delle macchine, il *middleware* (insieme degli intermediari tra applicazioni e software), i sistemi di trasporto e di sicurezza, software e cloud e strumenti per la gestione dei magazzini (Ghobakhloo, 2018).

1.3.2 Cloud computing

Il *National Institute of Standards and Technology (NIST)* ha definito il cloud computing come un modello per consentire l'accessibilità, *on-demand*, in qualsiasi momento (*ubiquitous*) e in modo conveniente, di risorse (reti, *server*, *database*, applicazioni e servizi) condivise e configurabili, che possono essere facilmente rese disponibili con ridotti costi di gestione e con un elevato grado di automazione.

Dal momento che la capacità delle singole imprese e la conoscenza in loro possesso risultano inadeguate a soddisfare la complessa domanda del cliente finale, questa tecnologia favorisce la collaborazione industriale tra differenti *partner* (Moeuf *et al.*, 2017).

Già negli anni '70 e '80 l'economista statunitense Williamson, insignito del Premio Nobel per l'economia nel 2009, aveva trattato l'affermarsi di forme ibride di organizzazione nel continuum tra mercato, situazione in cui il manager acquisisce da altre fonti risorse e componenti, ed imprese, in cui si utilizza la gerarchia interna per sviluppare le competenze necessarie. Il modello misto, così definito, è chiamato rete d'impresa e può essere considerato come l'antecedente delle reti oloniche, in grado di esprimere livelli più elevati di creatività, rapidità e flessibilità, in relazione agli improvvisi cambiamenti dell'ambiente economico (Provasi, 2003).

L'obiettivo delle imprese che aderiscono alla forma di aggregazione olonico-virtuale consiste nell'utilizzo delle conoscenze, accumulate grazie all'interazione su piattaforme digitali, al servizio di una determinata richiesta del mercato.

In un contesto di notevole flessibilità dei processi produttivi ed organizzativi e vista la crescente domanda di personalizzazione del prodotto da parte del consumatore nell'Industria 4.0, il cloud rappresenta il mezzo più idoneo per realizzare la collaborazione tra imprese e, una volta raggiunto l'obiettivo prefissato, consentire lo smantellamento di tali organizzazioni virtuali temporanee, in funzione di nuove ed eterogenee opportunità di business. La scalabilità della potenza di calcolo e della capacità di rete e di memoria, offerta dal cloud, permette infatti di gestire picchi improvvisi di attività, quali campagne pubblicitarie o fasi di produzione intensiva, con costi di investimento ridotti e spese per la gestione e la manutenzione dell'infrastruttura adoperata minime. Tale aspetto suscita particolare interesse soprattutto per le piccole e medie imprese (PMI), le quali possono disporre di capacità di elaborazione e memoria flessibili, senza dover sostenere costi elevati per l'installazione di un *data center* interno (Casali, 2018).

Le applicazioni di cloud computing forniscono ai produttori software basati su cloud, che rendono possibile archiviare e processare grandi quantità di dati in modo distribuito, *dashboard* per la gestione connesse alla rete e supporti per la collaborazione tramite cloud, permettendo l'integrazione di risorse produttive fisicamente lontane e la creazione di infrastrutture per la comunicazione flessibili, attraverso siti produttivi e di servizio geograficamente dislocati (Ghobakhloo, 2018).

La realizzazione di simili piattaforme comporta la riduzione del tempo di design, in quanto i dati relativi ai clienti vengono memorizzati e possono essere consultati all'occorrenza da ogni utente del cloud in tempo reale, e la semplificazione dell'esecuzione degli ordini, attraverso la sincronizzazione di tutti i processi produttivi necessari al loro soddisfacimento (Moeuf *et al.*, 2017).

1.3.3 Big data & analytics

L'utilizzo e l'analisi dei dati, al servizio del processo decisionale, ha già trovato terreno fertile in industria a partire dal 1990, evolvendosi con il tempo da supporto alla decisione a sostegno all'esecuzione delle decisioni, concentrandosi sull'elaborazione dei dati ed il *decision making* a livello di *top management*.

Strumenti software per l'analisi di dati multidimensionali e *business tool* intelligenti per la reportistica hanno permesso di approfondire ulteriormente il modo in cui i dati possono agevolare le dinamiche decisionali. Un grande contributo è stato offerto anche dai sistemi di *analytics*, che svolgono analisi matematiche sui dati raccolti (Hammer *et al.*, 2017).

Tale classe di modelli per l'analisi dei dati è conosciuta con il nome di *predictive analytics*, in quanto si serve di tecniche matematiche, quali regressione, *forecasting* e modelli predittivi, per fornire previsioni future basate sui dati. L'Osservatorio Big Data Analytics & Business Intelligence del Politecnico di Milano ha recentemente evidenziato che nelle grandi imprese italiane (con più di 250 dipendenti) l'analisi di tipo descrittivo, ovvero dello stato attuale dei processi aziendali, è ormai consolidata, essendo presente nell'89% delle aziende intervistate, mentre la *predictive analytics*, per quanto di grande interesse, risulta ancora confinata ad alcuni ambiti applicativi (30%) o in fase di progetto pilota (28%).

Dal momento che sensori e sistemi di radiofrequenza nel contesto di Industria 4.0 collezionano quotidianamente dati relativi non solo al prodotto in lavorazione e al processo produttivo, ma anche riguardo la condizione dei macchinari, lo stato dell'operatore e l'ambiente, tecnologie apposite, per la raccolta e l'analisi di dati non strutturati e in rapida evoluzione, risultano di prima necessità.

Attraverso opportuni strumenti per la gestione dei *big data*, le imprese possono effettivamente estrarre valore economico dalle operazioni di acquisizione ed elaborazione di grandi volumi e varietà di dati, essendo in grado di identificare possibili scenari futuri e quali azioni intraprendere per ottimizzare i risultati.

Big data e analytics consentono nello specifico di migliorare l'efficienza e le performance degli *asset*, supportare la customizzazione del prodotto, prevenire guasti e tempi di inattività improvvisi dei macchinari, attraverso pratiche di manutenzione predittiva, e porre le basi per velocizzare il processo produttivo e rendere più efficace la gestione della catena di fornitura (Ghobakhloo, 2018).

Queste tecnologie, partendo da un insieme di dati apparentemente vago e poco significativo, consentono alle imprese di effettuare una vera e propria metariflessione sui processi produttivi in corso, finalizzata ad ottenere una visione comune dell'azienda, trovare la causa di eventuali inefficienze e prospettare possibili eventi futuri, identificando modelli ricorrenti ed interdipendenze.

Il produttore tedesco di semiconduttori Infineon Technologies ha ridotto i guasti del prodotto, correlando i dati acquisiti nella fase di test alla fine del processo di produzione con le informazioni raccolte in precedenza durante il *wafer testing*, ovvero il test relativo ad ogni componente "wafer" di ogni circuito integrato presente nel semiconduttore.

In questo modo, risulta possibile riscontrare eventuali difetti nelle fasi iniziali del processo di produzione e migliorare la qualità del prodotto e del processo di fabbricazione, evitando che wafer o piastrine (*die*) difettose vengano assemblati (Gerbert *et al.*, 2015).

1.3.4 Blockchain e cybersecurity

La blockchain, anche conosciuta con il nome di registri distribuiti, costituisce una tecnologia alla base della criptovaluta, ma le sue potenzialità risultano in parte ancora inesprese. Rendendo possibile agli *smart device* effettuare transazioni finanziarie o qualsiasi altra tipologia di trasferimento di informazioni digitali, le tecnologie di blockchain sono sicuramente uno strumento critico per sviluppare relazioni affidabili ed autonome tra i diversi componenti di una *smart factory* (Ghobakhloo, 2018).

La blockchain consiste nella creazione di un grande *database* distribuito, strutturato in blocchi, per gestire le transazioni correnti tra più nodi di una rete. Ogni partecipante alla rete gestisce tramite crittografia i dati relativi alla transazione (vengono realizzate delle *cryptographic key* in preparazione alla transazione) e viene generata una copia di tutti i blocchi e rispettivi dati di ciascuna transazione all'interno di ogni nodo. In questo modo l'avvio di una nuova transazione richiede l'approvazione della rete (Figura 1.6), così come per modificare alcune informazioni, archiviate in un blocco, è necessario il consenso di tutti i nodi della rete (Bellini, 2018).

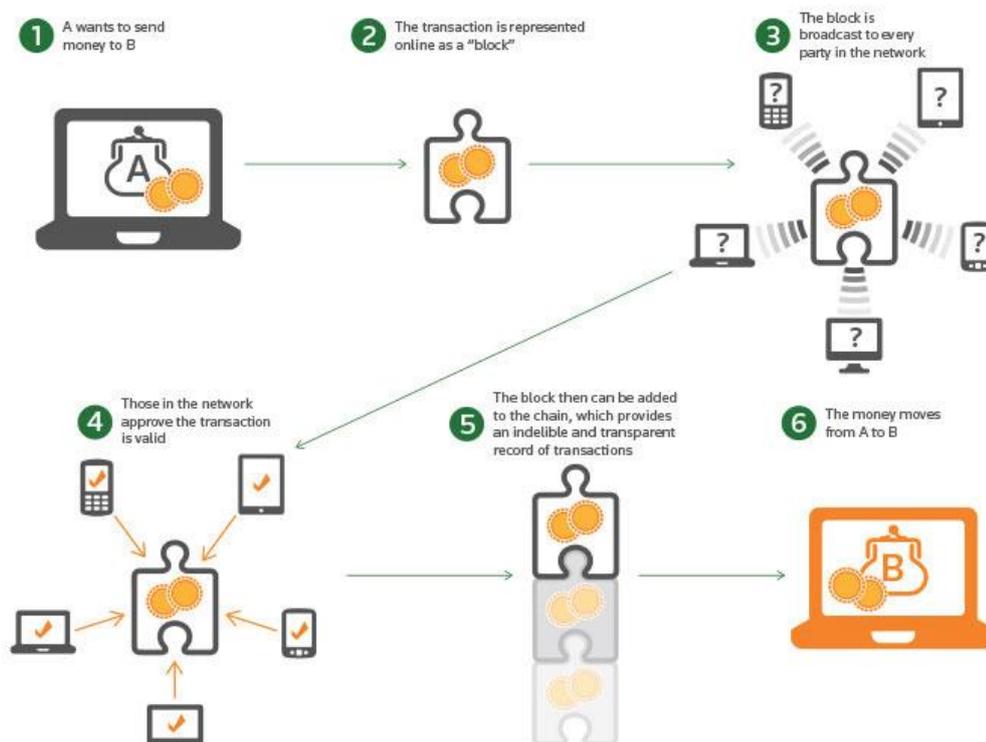


Figura 1.6: Funzionamento della blockchain (fonte: Financial Times, Technology: Banks seek the key to blockchain, 2015).

Se in un ambiente tradizionale terze parti agivano da intermediari della transazione, come le banche nel caso delle transazioni finanziarie, la blockchain è una tecnologia *open-source*, in cui la funzione dell'intermediario è sostituita dalla verifica collettiva dell'ecosistema, permettendo un grado maggiore di tracciabilità, sicurezza e velocità (Trujillo et al., 2017).

Dal momento che le piattaforme dell'*IoT* sono in continua espansione, lo scambio dei dati in condizioni di sicurezza acquisisce sempre più importanza. La blockchain potrebbe a tal fine registrare uno storico dei dati, trasmessi da sensori e *device*, e, grazie alla sua automaticità, consentire lo sviluppo di macchinari intelligenti di livello superiore. I *dash button* lanciati da Amazon sono bottoni virtuali che, una volta selezionati, consentono di inviare immediatamente

un ordine relativo ai prodotti per la casa preferiti, rappresentando un caso applicativo delle potenzialità della blockchain nel contesto dell'*IoT* (Hwang, 2017).

Un'applicazione industriale della blockchain di particolare rilevanza è rappresentata da *IBM Food Trust*, risultato della *partnership* tra IBM e Walmart, una soluzione che favorisce la collaborazione tra grossisti, distributori, responsabili della lavorazione, *retailer* ed altri *stakeholder* dell'industria agroalimentare per tracciare il percorso del prodotto all'interno della *supply chain* e garantire la sua conformità, offrendo la reperibilità *end-to-end* dei dati e delle certificazioni ad esso inerenti (IBM Corporation, 2018).

Al momento queste tecnologie soffrono ancora di alcuni problemi sistemici, tra i quali la congestione della rete, per cui non possono elaborare più di un numero limitato di transazioni al secondo (Marr, 2018).

Per questo motivo IOTA, token crittografico di nuova generazione, è stato creato appositamente per l'utilizzo nell'*IoT*, contrariamente alle criptovalute basate su blockchain, che sono nate per scopi diversi.

Pur mantenendo la visione legata ad un consenso distribuito, è risultato necessario un approccio diverso per rendere il *network* scalabile nell'ambito di un ecosistema di *IoT*, in cui risultano presenti decine di miliardi di dispositivi connessi.

Il prodotto di questa ricerca è Tangle, un protocollo software basato su grafici aciclici diretti (DAG), il quale prevede che ogni partecipante alla rete confermi altre due transazioni, se desidera eseguirne una (Figura 1.7).

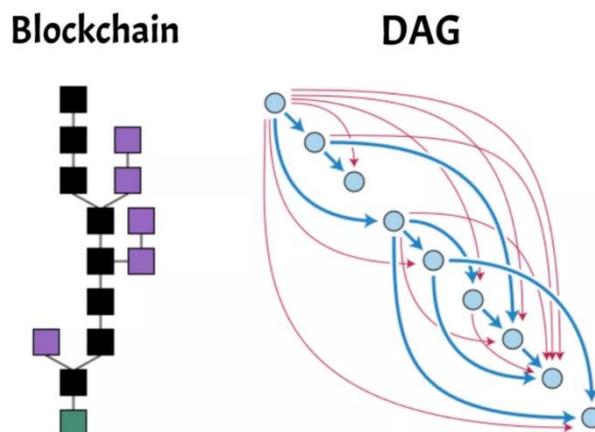


Figura 1.7: Blockchain e DAG, due tecnologie a confronto [8].

In questo modo, le transazioni vengono gestite in parallelo, eliminando i vincoli sulla capacità della rete [9].

Tali strumenti all'avanguardia permettono di controllare in modo sicuro i macchinari e le attrezzature dell'impresa, fornendo nuovi modelli di servizio lungo la rete e supportando interazioni protette tra i fattori della creazione di valore.

Il grande numero di entità connesse nel contesto di Industria 4.0 richiede, infatti, che i punti di contatto sulla linea siano opportunamente sorvegliati, di modo da garantire l'integrità della trasmissione dei dati.

E' di estrema importanza che tutte le decisioni ed azioni, adottate sulla base di questa conoscenza, si fondino su informazioni fidate ed appositamente autorizzate (Ghobakhloo, 2018).

Durante gli ultimi anni, diversi fornitori di infrastrutture e macchinari per applicazioni industriali hanno infatti stretto collaborazioni con compagnie di *cybersecurity* (Gerbert *et al.*,

2015), come la recente acquisizione di Duo Security da parte di Cisco, azienda multinazionale specializzata nella fornitura di apparati di *networking*.

1.3.5 Advanced automation

Analogamente a quanto constatato in merito all'applicazione dei sistemi integrati nei processi produttivi, anche per quanto concerne l'impiego di sensori e robot industriali in produzione, si dispone di testimonianze nella letteratura accademica e scientifica che fanno riferimento ad architetture e layout precedenti il fenomeno di Industria 4.0, come nel caso esplicativo dello standard CIM (*Computer integrated manufacturing*).

Tuttavia, anche in questo caso risultano riscontrabili solo alcune analogie superficiali.

Secondo il modello della produzione integrata di fabbrica, le officine dovrebbero essere deserte, in quanto completamente automatizzate, avvalorando un tesi poco realistica e desiderabile, sia sul piano tecnologico che economico.

Il potenziale offerto dall'Industria 4.0 risiede, infatti, nella possibilità di migliorare le dinamiche interattive uomo-macchina, attraverso una nuova generazione di robot, collaborativi e capaci di apprendere in modo automatico, in piena corrispondenza con la visione di impresa *human-centered*, adottata nella nuova era industriale (Schneider, 2018).

Con il termine *human-centered design* si definisce un approccio al design e allo sviluppo dei sistemi finalizzato a migliorare la loro fruibilità ed utilità, focalizzandosi sull'utilizzo a cui vengono destinati dall'operatore e sui requisiti dei nuovi ambienti industriali.

Questi metodi di design consentono di ottenere sistemi più efficienti ed efficaci, considerando anche salute, sicurezza e soddisfazione personale degli operatori.

I cobot (*collaborative robot*), differentemente dai robot tradizionali, permettono infatti di supportare l'operatore in molteplici e differenti *task* (Fernández-Caramés and Fraga-Lamas, 2018); alcuni sono dotati di sensori in corrispondenza delle mani, per cui l'operatore può istruirli sul grado di pressione da esercitare sugli oggetti manipolati per non danneggiarli, altri sono in grado di percepire la vicinanza ad ostacoli ed operatori e modulare la velocità di spostamento per evitare l'impatto, motivo per cui non necessitano più di una gabbia di sicurezza entro cui operare (Figura 1.8).



Figura 1.8: Cobot realizzato da KUKA Roboter GmbH, utilizzato per installare ammortizzatori su Ford Fiesta [10].

Essi risultano inoltre facili da programmare, sono configurabili in poche ore e contraddistinti da una maggiore leggerezza e capacità di movimento, che li rende adattabili a diversi contesti applicativi (Marr, 2018).

Secondo questa prospettiva, i componenti fisici risultano quindi completati e potenziati da sensori, attuatori, software integrati, che consentono loro di processare e comunicare dati in modo più efficiente.

L'automazione in ottica 4.0 non è orientata alla progressiva sostituzione del capitale umano con macchine e *tool*, per contrarre le tempistiche di produzione ed organizzazione, bensì prevede un migliore *trade-off* tempo, costi e qualità, riservando a strumenti e macchinari le attività più ripetitive e routinarie, a sostegno delle risorse umane, che possono ora focalizzarsi maggiormente sullo sviluppo di competenze di alto livello, risultando, quindi, non più minacciate, ma valorizzate dal processo di automatizzazione e digitalizzazione della fabbrica (Stock *et al.*, 2018).

Il collegamento ottenuto attraverso i sensori, infatti, non si limita ai soli mezzi di produzione, ma coinvolge anche prodotti e persone, lunga la catena del valore estesa su scala globale.

L'adozione di robot industriali permette di ridurre il tempo necessario alla realizzazione di un componente, di ottenere qualità ed affidabilità del prodotto finito superiore, di minimizzare gli sprechi ed ottimizzare l'utilizzo degli spazi durante il processo produttivo (Ghobakhloo, 2018).

1.3.6 Realtà aumentata e realtà virtuale

L'utilizzo di strumenti di modellizzazione digitale e di simulazione 3D di prodotti, materiali e processi produttivi, durante l'ideazione di prodotti complessi, è già in vigore da tempo e permette la riduzione delle tempistiche di sviluppo e l'ottimizzazione del consumo delle risorse. Più recenti sono invece gli studi orientati ad un'applicazione di tale tecnologia all'interno dell'impianto produttivo (Gerbert *et al.*, 2015).

Il gemello virtuale di ogni componente della *factory* ha origine nel concetto di *digital shadow*, l'impronta digitale costituita dalla registrazione dello stato operativo e dei dati di processo, relativi al prodotto in fabbricazione ed ai macchinari, responsabili della sua lavorazione.

Le informazioni archiviate, messe tra loro in relazione mediante i modelli di simulazione, generano una replica digitale dell'elemento a cui si riferiscono (Stock *et al.*, 2018).

I modelli di simulazione, che raccolgono dati del mondo fisico in tempo reale per realizzarne una copia virtuale, permettono quindi agli operatori di testare virtualmente le impostazioni dei macchinari, relativamente al prodotto successivo da lavorare, prima del suo passaggio effettivo sulla linea, riducendo, come nel caso di Siemens, il tempo di *set up* di più dell'80% (Gerbert *et al.*, 2015).

Pertanto la simulazione consente, in aggiunta alla prevenzione degli errori in una fase primordiale della progettazione, di ottimizzare in corso d'opera gli impianti di produzione adottati (Ghobakhloo, 2018).

Raccogliere ed elaborare dati in tempo reale, con lo scopo di ottimizzare il *decision making* e le istruzioni operative, è reso ancor più facile da una classe di tecnologie relativamente nuova: la realtà virtuale (VR) e la realtà aumentata (AR) (Gerbert *et al.*, 2015), il cui valore secondo l'International Data Corporation è destinato a raddoppiare annualmente fino al 2021.

La VR è scientificamente definita come l'applicazione della tecnologia del computer per creare un effetto di ambiente tridimensionale interattivo. Un ambiente sintetico, ovvero interamente generato al computer, con un sistema di proiezione stereoscopica, per fornire profondità allo

1.La definizione di Industria 4.0

spazio e far scaturire nell'utente il senso di appartenenza alla scena virtuale, rappresenta, pertanto, il prerequisito di ogni soluzione di VR.

Esistono essenzialmente tre possibili varianti, in ordine di immersività crescente: proiezione attiva con occhiali, proiezione passiva con occhiali polarizzati (Figura 1.9) e proiezione personale.

Nell'ultimo caso, l'utente indossa un elmetto o casco, con due differenti schermi all'altezza degli occhi, riflettenti due immagini separate per ottenere la stereoscopia, dotato di localizzatore GPS che consente di variare la vista osservata in corrispondenza dei movimenti della testa effettuati.

Un'altra possibilità prevede che l'utente si trovi all'interno di una stanza intelligente sui cui muri vengono proiettate delle immagini, la cui tridimensionalità è permessa dall'utilizzo di speciali occhiali.



Figura 1.9: Occhiali polarizzati per la realtà virtuale [11].

Le tecniche di VR hanno trovato principale applicazione nella fase di prototipazione e *testing*, che, grazie al loro ausilio, è stata velocizzata e resa più efficiente ed affidabile; così la realizzazione di un modello *CAD* di una sezione produttiva della *factory*, insieme all'impiego di visori e strumenti di realtà virtuale per rilevare i movimenti delle braccia degli operatori, ha permesso di testare anche la sicurezza delle interazioni indirette tra due postazioni di lavoro vicine e la loro ergonomia (Grajewski *et al.*, 2013).

Diversamente dalla realtà virtuale in cui sia l'ambiente che gli elementi informativi sono virtuali (Caramés and Lamas, 2018), la realtà aumentata è invece definita da Gartner come l'utilizzo in tempo reale di informazione testuale, grafica o sonora o di qualsiasi altra forma di comunicazione ad integrazione degli oggetti fisici.

La realtà aumentata è da considerarsi quindi in qualità di supplemento dell'ambiente fisico, sovrapponendogli dati e contenuti generati digitalmente, con l'obiettivo di semplificare l'esperienza utente e potenziare le interazioni con il mondo reale.

In questo modo, la realizzazione di macchine e *device* con supporto dell'AR consente di presentare il progetto di un prototipo virtuale di una macchina nell'ambiente reale, favorendo una completa interazione con il prototipo da parte dell'operatore e permettendo di contrarre i costi ed i tempi di analisi e simulazioni (Grajewski *et al.*, 2013).

Inoltre, la possibilità di sostituire documenti cartacei e file PDF, relativi alle istruzioni di lavorazione e montaggio delle componenti, con disegni tecnici e tutorial, consultabili tramite comando vocale direttamente nel campo visivo dell'operatore attraverso occhiali specifici per la realtà aumentata (Figura 1.10), è ritenuta da Ash Eldritch, CEO e co-fondatore di Vital Enterprises (sviluppatore di software per l'AR) uno dei principali vantaggi offerti dall'AR, rispetto ai precedenti supporti garantiti dalla VR.



Figura 1.10: AR per il *training* dell'operatore [12].

Parallelamente, la visualizzazione nell'ambiente reale delle istruzioni dettagliate, da compiere per svolgere uno specifico *task*, permette la formazione in tempo reale degli operatori, relativamente all'esecuzione di attività fino a quel momento sconosciute (Schneider, 2018). La realtà aumentata è stata infine similmente adottata in attività di manutenzione e controllo qualità, come nel caso di Mitsubishi Electric, la quale ha realizzato, a questo scopo, una tecnologia basata su un modello 3D, che permette all'operatore di confermare l'avvenuta esecuzione di un'ispezione ed inserire i relativi risultati, tramite comando vocale su un display di AR (Wright, 2017).

1.3.7 Additive manufacturing

L' *additive manufacturing* (AM) è una tecnologia che permette la realizzazione di oggetti tridimensionali, a partire da un modello virtuale, senza l'utilizzo di utensili ma attraverso speciali macchine, dette stampanti 3D.

Realizzare componenti, prototipi e prodotti finiti tramite tecnologia additiva consente di abbandonare l'utilizzo di stampi e matrici per lo stampaggio (Dudek and Zagórski, 2016). Il materiale (metallo, leghe, polimeri, ceramica, cemento, legno, fibre e materiali compositi) è infatti apportato punto a punto e strato su strato, secondo la geometria definita da un modulo CAD, analogamente a quanto accade per la stampa digitale di un documento (Ghobakhloo, 2018).

Esistono diverse tecniche per implementare questa tecnologia, in relazione al differente stato fisico del materiale utilizzato, tra cui:

1. La definizione di Industria 4.0

- Deposizione di materiale fuso (*FDM*), in cui un filamento plastico è srotolato da una bobina, che fornisce il materiale ad un ugello di estrusione (riscaldato per poter sciogliere il materiale) in grado di muoversi sia in direzione orizzontale che verticale, seguendo il percorso tracciato da un software *Computer-aided manufacturing (CAM)*.
- Sinterizzazione laser (*SLS*), in cui le particelle metalliche o polimeriche di un letto di polvere vengono fuse in seguito all'esposizione ad una sorgente laser, controllata da computer. Il piano di lavoro su cui è situato il letto di polvere si muove lungo l'asse delle z e, prima di ogni spostamento verticale, la sezione di materiale portata a fusione dal raggio laser viene fatta aderire allo strato precedente.
- Polyjet, in cui vengono depositati strati di fotopolimeri liquidi (resine termoindurenti) mediante testine di stampa multi-ugello, ovvero con ugelli alternati tra materiale del pezzo e materiale del supporto, contemporaneamente solidificati tramite due lampade a raggi UV soprastanti (Iuliano, 2017).

L'*AM* rappresenta una tecnologia rivoluzionaria in quanto conferisce ai *designer* di prodotto una libertà costruttiva fin ad ora inimmaginabile. Attraverso la riduzione delle componenti ad incastro in un unico pezzo, vengono infatti minimizzate le fasi di assemblaggio e montaggio intermedie ed i corrispettivi costi (Horst *et al.*, 2018), permettendo di realizzare in modo rapido ed economico architetture di prodotto complesse ed eterogenee.

Le tecnologie di *AM* forniscono infatti una serie di validi metodi per supportare la crescente tendenza alla personalizzazione del prodotto nell'era 4.0.

Osservando le fasi iniziali del processo di sviluppo prodotto (concezione, progettazione preliminare e test e prototipazione), risulta infatti evidente come la maggior parte delle imprese abbia adottato queste tecnologie per ottenere migliori risultati.

Tuttavia, per quanto riguarda il processo di fabbricazione nella sua interezza e le applicazioni connesse alla distribuzione, i casi concreti di utilizzo dell'*AM* sono ancora limitati e costituiscono allo stato attuale poco più che un'intuizione (Minguella-Canela *et al.*, 2017).

Matsuura Machinery Corporation, un'azienda giapponese specializzata nella costruzione di macchinari produttivi, ha recentemente sviluppato un sistema che combina, all'interno della stessa macchina, la tecnologia di sinterizzazione laser con un meccanismo per la fresatura ad alta velocità del pezzo stampato, eliminando la problematica necessità di post trattamento al termine dello stampaggio tramite fabbricazione additiva.

L'abilità di progettare un pezzo e realizzarlo in qualsiasi parte del mondo, grazie all'impiego delle stampanti 3D, potrebbe così essere interpretata come la possibilità per uniformare la capacità produttiva su scala globale e vanificare disuguaglianze tecnologiche attualmente esistenti.

L'azienda Local Motors, a tal proposito, sta promuovendo l'implementazione di un modello economico di *open-innovation* in cui ogni fase del processo produttivo, dalla progettazione dei componenti e dei complessivi, fino alla scelta dei materiali e alla fabbricazione, può essere dislocata nel mondo senza incontrare barriere (Babu *et al.*, 2016).

Alcune aziende del settore aerospaziale, compresa GE Aviation, dello stesso gruppo dell'azienda statunitense General Electric, stanno già integrando l'*AM* in produzione per la

costruzione di aeromobili più leggeri e con costi dei materiali, rispetto al titanio, minori (Gerbert *et al.*, 2015).

Nel 2018 anche la società Audi Ag, con sede in Germania, ha deciso di ampliare la gamma di opportunità offerte dall'AM, impiegata all'interno dei suoi processi produttivi, collaborando con uno specialista nella produzione di additivi metallici: SLM Solutions Group AG.

Presso Audi, la fusione laser selettiva viene ora utilizzata per produrre sia prototipi che pezzi di ricambio su richiesta, in particolare quando essi risultano rari e di piccole dimensioni, per trarre il massimo beneficio da queste tecniche produttive meno convenzionali (Ghobakhloo, 2018).

La produzione su richiesta consente infatti di garantire l'approvvigionamento con pezzi di ricambio originali in modo economico e sostenibile, per quelle componenti alle quali è associata una domanda di mercato specifica.

Infine Roberto Napione, *Manager of Machine Center of Excellence SKF*, durante un evento organizzato da Il Sole 24 Ore tenutosi nel mese di novembre a Torino presso l'Unione Industriale, racconta di come nello stabilimento SKF di Göteborg la robotica impiegata non effettui esclusivamente il montaggio dei cuscinetti ma si occupi anche del cambio dell'attrezzatura, non più in metallo pesante ma costituita da pezzi stampati tramite fabbricazione additiva.

Il vincolo sul peso trasportabile dai robot avanzati non rappresenta pertanto un limite, ma offre l'opportunità per ridurre il tempo richiesto dal processo di cambio dello strumento, grazie alla leggerezza delle componenti in plastica.

1.3.8 Artificial intelligence

Con il termine *artificial intelligence (AI)* si denotano, secondo la definizione del *computer scientist* Kris Hammond, quei sistemi, adottabili anche nel contesto produttivo, che sono in grado di produrre risultati, i quali potrebbero essere indiscutibilmente considerati il frutto di un'intelligenza umana (Guszcza, 2018).

Secondo un recente studio condotto da BCG e MIT Sloan Management Review, l'AI contribuirà a rafforzare, invece che sostituire radicalmente, le leve adoperate dai produttori, tra cui automazione e *lean management*, per incrementare la produttività (Ransbotham *et al.*, 2017).

L'ottica in cui l'AI verrà adoperata risulta però del tutto nuova. Se fino ad oggi robot e tecnologie di automazione avanzate sono stati utilizzati per velocizzare le *operation*, relativamente a *routine* e scenari fissi e consolidati, negli anni a venire l'intelligenza artificiale permetterà di automatizzare processi e macchinari per rispondere a situazioni non familiari o inaspettate, rendendo possibile prendere decisioni in modo intelligente.

Allo stato attuale un robot tradizionale non è in grado di prelevare componenti in modo selettivo da un contenitore in cui sono presenti pezzi con diverse tipologie di orientamento, a causa dell'approccio basato su regole e algoritmi di programmazione attualmente adottato.

Qualora fosse provvisto di intelligenza artificiale esso, invece, sarebbe capace di discriminare le varie componenti e servirsi esclusivamente di quelle necessarie (Küpper *et al.*, 2018).

In questo modo robot, *device*, macchinari non rappresenteranno più la spasmodica ricerca di raggiungere l'abilità umana, ma saranno depositari di competenze e capacità di livello superiore (Guszcza, 2018).

1.La definizione di Industria 4.0

Pertanto, attraverso la progettazione generativa, i cui algoritmi esplorano tutte le possibili soluzioni progettuali sulla base di obiettivi e vincoli definiti, vengono elaborate scelte di design in grado di ottimizzare i processi, difficilmente individuabili applicando la ragione ed i costrutti degli esseri umani.

L'intelligenza artificiale consentirà, inoltre, alle macchine di diventare sistemi auto-ottimizzati, che regolano i loro parametri in tempo reale, analizzando e imparando continuamente dai dati attuali e storici. Alcuni produttori di acciaio stanno già utilizzando l'intelligenza artificiale per consentire ai forni di ottimizzare autonomamente le proprie impostazioni, identificando la composizione del materiale ferroso in ingresso e scegliendo automaticamente la temperatura più bassa per garantire condizioni di processo stabili, riducendo così il consumo energetico complessivo (Küpper *et al.*, 2018).

Siemens ha riscontrato come i sistemi di *AI* consentano una riduzione delle emissioni delle turbine a gas del 10-15 % superiore, rispetto a quella proposta dagli esperti, e ha constatato come essi siano anche in grado di gestire le valvole del carburante, in modo tale da mantenere le condizioni ottimali per la combustione, al variare dei fattori metereologici e dello stato dei macchinari (Walker, 2018).

Investire nell'intelligenza artificiale consente infine di valutare in modo approfondito quali sono i limiti e le debolezze delle risorse umane, per utilizzare la tecnologia a fini compensativi e non distruttivi. Robot equipaggiati con sensori ultra sensibili, in grado di percepire luci, suoni, odori e temperature, che l'uomo, per sua natura, non è in grado di cogliere, permettono la realizzazione di un concetto ancora più profondo dell'internet delle cose, l'internet delle abilità (*IoA*) (Kazutoshi, 2017).

2. L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Il nuovo paradigma industriale ed i cambiamenti tecnologici e relativi alle logiche produttive, che ne conseguono, stanno visibilmente modificando le modalità della creazione del valore, innescando complesse trasformazioni delle organizzazioni, determinando la nascita di ambienti maggiormente collaborativi ed un notevole miglioramento nelle relazioni con il cliente finale e nella proposta di prodotti e servizi offerti (Ibarra *et al.*, 2018).

Per mantenere livelli di performance competitivi in un ecosistema del tutto nuovo, le imprese devono essere disposte ad implementare strategie d'innovazione e variare la composizione dei propri portafogli e le caratteristiche dei modelli di business adottati, ridefinendo il modo in cui generano valore per ogni *stakeholder* coinvolto; una sfida ardua, soprattutto per le aziende mature con procedure fortemente consolidate, che sono contraddistinte da inerzie organizzative nei confronti dei mutamenti mirati a sconvolgere lo status quo (Hansell *et al.*, 2017).

Nei paragrafi che seguono, vengono riportati i fattori interessati dalle nuove dinamiche per la creazione del valore e viene approfondito l'impatto dell'Industria 4.0 su questi elementi, non solo in linea teorica ma anche alla luce delle particolari caratteristiche socio-politiche ed economiche europee.

Il contesto geografico ed il patrimonio culturale delle nazioni europee si traducono infatti nell'identificazione di approcci e comportamenti peculiari nei confronti delle opportunità e minacce presentate dal fenomeno 4.0, comportando inediti benefici, non senza difficoltà e parziali incompatibilità tra tali nuove possibilità e le strategie di successo proprie della tradizione.

2.1 Il concetto di modulo della creazione del valore ed i relativi fattori interessati

Per comprendere e ponderare l'impatto dell'Industria 4.0 sulle aziende e le reti di imprese è necessario differenziare attentamente gli elementi che potrebbero essere influenzati rispetto alle condizioni al contorno, che non intervengono direttamente nelle dinamiche della creazione del valore.

Da questa esigenza deriva probabilmente l'introduzione del concetto di modulo della creazione del valore da parte di Tim Stock (Stock *et al.*, 2018).

Esso può essere definito come un nucleo produttivo (*manufacturing module*) caratterizzato dai seguenti fattori:

- I macchinari, i mezzi e gli strumenti adottati per creare valore.
- Le persone, chi genera valore.
- L'organizzazione, il luogo fisico preposto ed i tempi previsti per aggiungere valore all'interno dell'impresa.
- Il processo, le modalità della creazione del valore e le istruzioni da seguire a tal proposito.

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

- Il prodotto, la proposta di valore per il cliente finale.

I moduli produttivi o moduli della creazione del valore, secondo la definizione di Tim Stock, rappresentano più nel dettaglio delle unità funzionali, considerate esaminando diversi livelli di integrazione. Pertanto può essere reputato un modulo l'insieme di fattori destinati ad un'operazione elementare (per es. il taglio), così come la totalità dei fattori appartenenti al reparto produttivo, all'officina, all'azienda, all'impresa o alla rete di imprese (Jovane *et al.*, 2017).

I moduli della creazione del valore interferiscono con l'intero ciclo di vita del prodotto e si relazionano con altri moduli, relativi alla catena di valore di prodotti adiacenti a quello considerato. Dall'interconnessione di tali moduli, ha origine una rete della creazione del valore (Figura 2.1), responsabile della definizione di un ambiente dinamico e favorevole all'ideazione di nuovi modelli di business (Stock and Seliger, 2016), orientati al raggiungimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile, indicati nel programma Agenda 2030 delle Nazioni Unite (Stock *et al.*, 2018).

L'evoluzione nell'ottica della sostenibilità è in esso descritta attraverso il soddisfacimento di tre criteri (Schneider, 2018):

1. Economia, poiché, mediante il coinvolgimento del cliente nelle fasi primordiali dello sviluppo prodotto, è possibile configurare, tramite software, prodotti customizzati in modo rapido ed efficiente, sostenendo costi marginali prossimi allo zero.
2. Ecologia, dal momento che, virtualizzando i processi ed incrementando la trasparenza dei dati scambiati tra i vari *partner* interessati, si riducono i potenziali danni all'ambiente da parte delle *supply chain*, minimizzando le interazioni fisiche ripetute, tramite un migliore coordinamento delle azioni e una gestione più efficiente delle risorse.
3. Società, in quanto alle imprese è ora concesso utilizzare nuove forme di interfaccia uomo-macchina, in funzione di una sicurezza sul lavoro superiore e al fine di realizzare postazioni di lavoro ergonomiche.

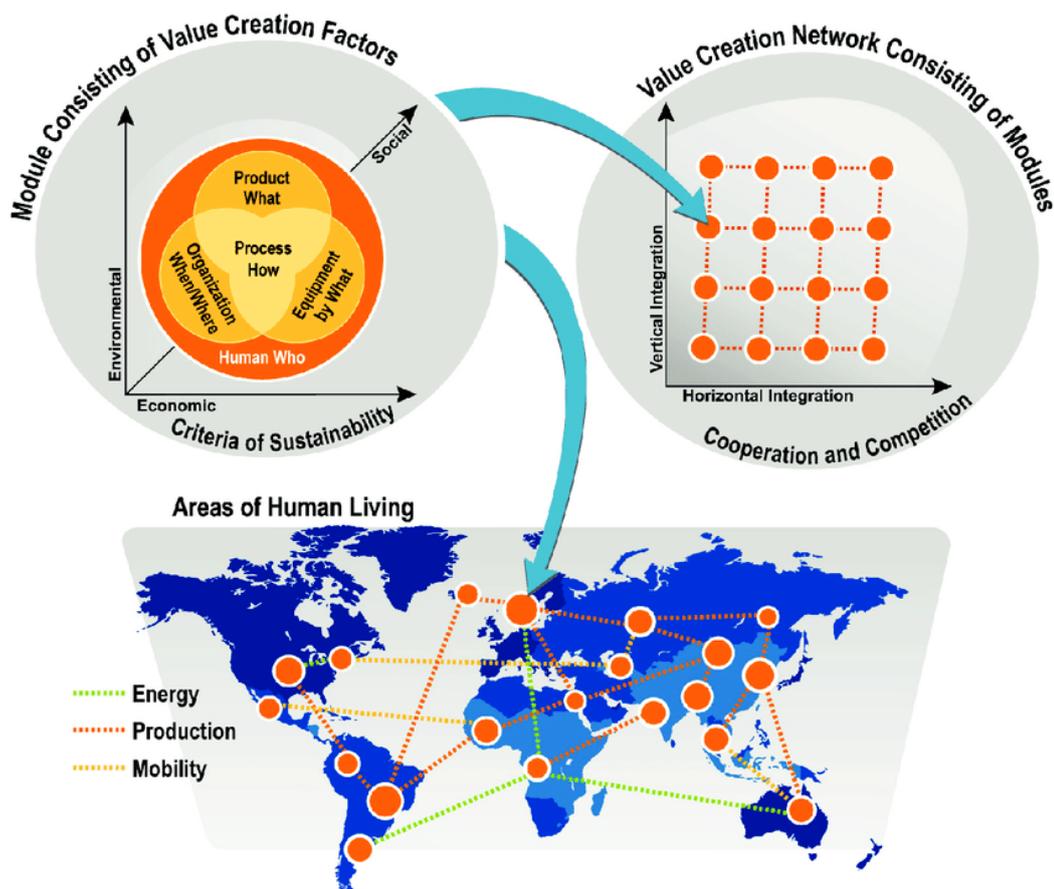


Figura 2.1: Moduli e reti della creazione del valore (fonte: Jovane, 2017).

Durante la fase iniziale del ciclo di vita del prodotto, il flusso di informazioni, relative al design del prodotto e del processo, è da tempo supportato in modo adeguato tramite sistemi *CAD/CAM* e di *Product Data Management (PDM)*, per gestire disegni ed informazioni quali calcoli e risultati di test, relativi alle singole componenti progettate, che potrebbero rivelarsi utili nel momento della fabbricazione (Huhtala *et al.*, 2014) e sistemi di *Knowledge Management (KM)*, per la consultazione e la compilazione di *database* contenenti linee guida per gli operatori, basati sulle lezioni apprese (*“lessons learned” repositories*).

Tendenzialmente però, al termine della produzione, la trasmissione di dati, relativi all'uso del prodotto e alle condizioni per lo smaltimento, risulta sensibilmente inferiore, complicando il processo che conduce dalla fine del ciclo di vita di un prodotto ad una sua nuova vita.

A tal proposito, l'introduzione di un approccio di *Product Lifecycle Management (PLM)* consente di integrare le informazioni connesse ai fattori dei moduli della creazione del valore distribuiti e supportare la comunicazione tra queste unità durante tutto il ciclo di vita del prodotto, anche successivamente al lancio sul mercato.

Inoltre le imprese manifatturiere hanno iniziato ad utilizzare, congiuntamente all'adozione del *PLM*, un altro strumento, fino a quel momento sconosciuto o impiegato prevalentemente nell'ambito dell'urbanistica: il *Geographical Information System (GIS)*.

La mappatura geografica dei fattori che riguardano la creazione del valore rappresenta un supporto per la pianificazione e il *decision making*, potendo valutare l'impatto che ogni elemento della catena del valore ha sull'ecosistema naturale, sui trasporti e sulle comunità demografiche (Vadoudi *et al.*, 2014).

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Il collegamento dei moduli della creazione del valore all'interno delle reti della creazione del valore nell'Industria 4.0 permette un efficiente coordinamento dei flussi di materiali, energia ed acqua durante il ciclo di vita dei prodotti ed offre, di conseguenza, nuove opportunità per l'ottenimento di prodotti il cui ciclo di vita viene esteso, mediante multiple fasi di utilizzo, in seguito a ricondizionamento o riprogettazione (Figura 2.2), per recuperarne la base ai fini delle rifabbricazioni successive (Stock and Seliger, 2016).

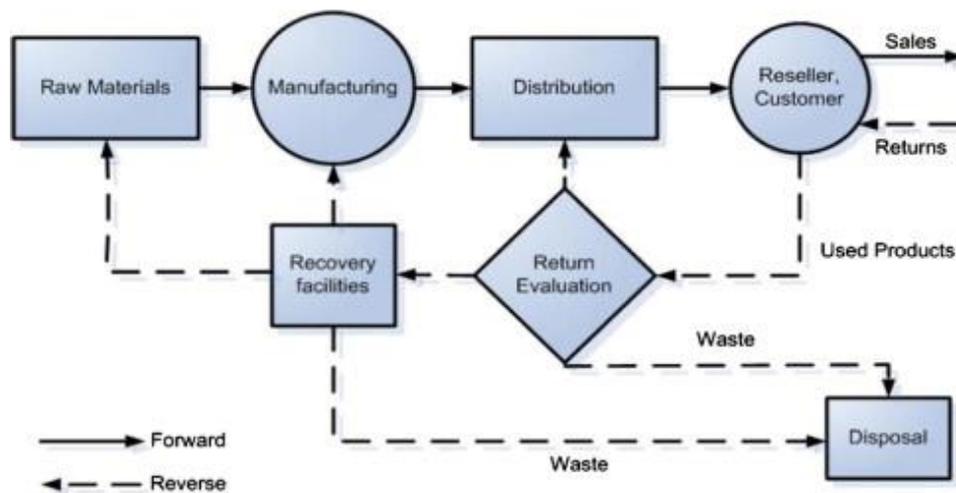


Figura 2.2: Closed-loop supply chain (fonte: Govindan, 2015).

Se si considerano i moduli della creazione del valore come rappresentativi di diverse imprese dislocate nel mondo, si ha immediato riscontro della fattibilità delle iniziative di simbiosi industriale, nate nel momento in cui la relazione tra risorse naturali e sistemi produttivi ha perso la sua linearità.

Nel 1989, a causa della limitatezza delle risorse, due imprese di Kalundborg, in Danimarca, hanno iniziato a scambiare e condividere risorse; da quel momento, attraverso interazioni spontanee e/o pianificate tra le aziende, è risultato evidente come le sinergie basate sulle risorse regionali consentano un uso più produttivo dei materiali, dell'acqua e dell'energia presenti in natura.

L'acqua usata può essere in gran parte riutilizzata per scopi di raffreddamento all'interno delle industrie, i sottoprodotti dei processi di fabbricazione, per es. vapore e calore residuo, vengono sfruttati per produrre elettricità ed alcuni dei rifiuti non più utilizzabili potrebbero servire ad altri sistemi produttivi, pertanto, è opportuno effettuare questo tipo di verifiche prima di procedere con lo smaltimento (Islam *et al.*, 2016).

International Synergies sta attualmente adoperando *Big Data* ed *ICT* per dare luogo ad una piattaforma dedicata alla gestione del riutilizzo delle risorse per consentire la simbiosi industriale. Tale piattaforma aiuta le imprese ad individuare le tecnologie idonee, il potenziale di investimento interno e quello delle esportazioni e costituisce uno strumento per quantificare i flussi di risorse.

L'obiettivo ultimo è identificare ed attuare modalità commercialmente valide per lo scambio di risorse tra i differenti moduli della creazione del valore, andando a risolvere in un ciclo,

all'interno delle reti formate da questi moduli, i flussi di materiali e prodotti che conducono dai rifiuti alle risorse.

Lo spreco di un modulo della creazione del valore, per esempio di una fabbrica, serve come input prezioso per un altro modulo, ovvero un'altra fabbrica. A livello di rete questo comporta la realizzabilità di un programma di sviluppo sostenibile per azzerare i rifiuti (Stock *et al.*, 2018).

Sussiste quindi un'effettiva garanzia per il coordinamento efficiente dei flussi di prodotti, materiali, energia ed acqua, in ogni fase del ciclo di vita del prodotto in esame, tra i moduli della creazione del valore ed i rispettivi fattori, aventi sede in differenti officine ed aziende su scala regionale o nazionale (Stock and Seliger, 2016).

Sistemi di produzione passivi lasciano il posto a macchinari ed infrastrutture produttive autonome e capaci di adattarsi ai cambiamenti che interessano altri fattori della creazione del valore (Stock *et al.*, 2018).

Sensori, attuatori e dispositivi per il controllo vengono installati su macchine già esistenti, prolungando la loro vita utile e rappresentando, specialmente per le PMI, un'alternativa *low cost* all'approvvigionamento di nuove attrezzature (Stock and Seliger, 2016).

Tuttavia, l'integrazione dei sistemi in adozione con ulteriori *ICT* comporta un aumento della quantità di materiale utilizzato e determina un maggiore consumo di energia primaria, imputabile sia alla produzione dei sensori sia all'attività di acquisizione e trasmissione, all'interno della rete, di dati relativi al processo (Stock *et al.*, 2018).

Inoltre la transizione graduale da vecchie tecnologie produttive ad Industria 4.0 è un compito complesso, dal momento che strutture produttive, processi aziendali e sistemi *IT* si sono sviluppati nel tempo e, in relazione ad essi, le imprese adoperano già prodotti alternativi e mutualmente incompatibili provenienti da diversi *vendor* o versioni differenti a cura dello stesso (Schneider, 2018).

In seguito all'impiego di strumenti per la produzione altamente automatizzati e robot collaborativi, si assiste ad una progressiva riduzione dei posti di lavoro e/o trasformazione da lavoro manuale in lavoro cognitivo, caratterizzato da attività che si articolano su un orizzonte di breve periodo e difficili da programmare.

Risulta, però, fortemente ottimizzata la formazione dei dipendenti, che beneficiano ampiamente delle informazioni apprese tramite visori e supporti della realtà aumentata.

Essi, inoltre, godono di inediti incentivi a sostegno dello sviluppo della creatività e del coinvolgimento personale nelle loro mansioni, attraverso l'implementazione del concetto di *gamification* (Stock and Seliger, 2016).

La *gamification*, definita da Deterding *et al.* come l'inserimento degli elementi legati al design del gioco all'interno di contesti lontani da questa realtà, specialmente se contraddistinti da attività ripetitive e routinarie, stimola l'efficienza organizzativa e l'innovazione.

Il *training* rappresenta un primo campo di applicazione per i principi del gioco, in cui i risultati attesi vengono definiti in termini di obiettivi da raggiungere, le sfide intellettuali figurano come ostacoli lungo il percorso e la formazione di classi consente di instaurare relazioni di tipo collaborativo e competitivo per il completamento delle attività previste (Reiners *et al.*, 2015).

Adottando le dinamiche del gioco a fini educativi, i partecipanti ai corsi di formazione risultano maggiormente interessati e produttivi, così come nella fase di *brainstorming* all'interno del processo decisionale appaiono migliorati sia le tempistiche che gli esiti del *decision making*.

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Ogni soggetto è stimolato nella ricerca di soluzioni ottimali per il problema in questione, tramite la costante valutazione del suo stato di avanzamento verso l'obiettivo, percepito come raggiungibile attraverso il superamento di sfide e livelli successivi di difficoltà crescente, e mediante meccanismi di remunerazione, che conferiscono all'utente con la migliore proposta premi o riconoscimenti, atti ad elevare la sua reputazione all'interno del *team* (Potente *et al.*, 2013).

Per responsabilizzare i dipendenti e legarli maggiormente alla visione del brand, HP ha chiesto ad AllenComm, un'agenzia specializzata nella creazione di programmi per l'apprendimento personalizzati, di sviluppare un portale affinché le risorse in HP potessero valutare autonomamente l'effetto della loro condotta sugli obiettivi dell'azienda e la loro fedeltà ai valori del marchio.

Essi sono chiamati a rispondere ad un set di domande, di volta in volta differenti, relative a possibili richieste del cliente. A seconda di quanto i dipendenti HP abbiano deluso le aspettative dei potenziali clienti o abbiano contribuito a fidelizzare i consumatori dei loro prodotti (Figura 2.3), essi riceveranno diversi riconoscimenti, interni all'organizzazione.

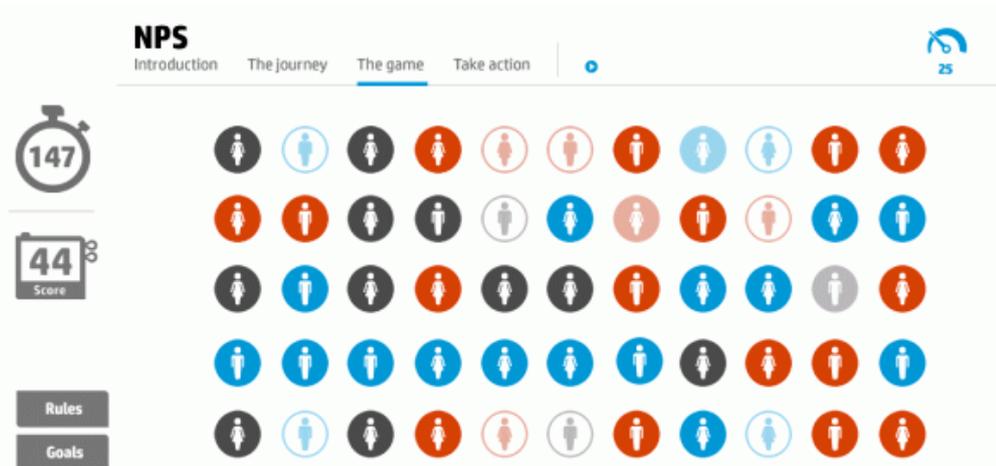


Figura 2.3: Il Net Promoter System adottato da HP [13].

Il timore di acquisire un'immagine negativa presso colleghi e dirigenti, in seguito alla preponderanza di clienti insoddisfatti (gli HP *detractor* di colore rosso), diventa lo strumento per un miglioramento continuo delle performance in termini di customer satisfaction.

Tali strumenti sono di grande utilità, se si considera la notevole complessità strutturale del sistema produttivo 4.0, in cui risulta impraticabile prevedere un organo decisionale centralizzato. Le varie entità decentralizzate ricoprono, quindi, funzioni decisionali, sulla base dell'informazione da loro reperibile localmente su richiesta ed in tempo reale (Stock *et al.*, 2018).

La natura decentralizzata dell'organizzazione all'interno della *smart factory* consente un'efficiente allocazione di prodotti, materiali, energia ed acqua, tenendo conto della dinamicità del CPS, evidente nella logistica, che, a causa della volatilità della produzione e delle variazioni del mercato, non ha più una configurazione stabile nel lungo periodo, ma è contraddistinta dalla mobilità e riconfigurabilità dei nodi del sistema, nella rete intelligente per la trasmissione dei dati e nella gestione dei fornitori e della domanda (Stock and Seliger, 2016), anche se questo

comporta parimenti elevati consumi di energia, a causa del massiccio utilizzo di *ICT*, piattaforme cloud e computer (Stock *et al.*, 2018).

I processi produttivi, in seguito all'introduzione delle tecnologie di *AM*, assistono invece ad una riduzione del consumo energetico, in quanto rendono possibile realizzare oggetti complessi ma allo stesso tempo leggeri, annullando l'impatto ambientale associato alle fasi intermedie per la fabbricazione dei componenti ed eliminando strumenti e scarti di produzione tipici dei processi produttivi convenzionali.

Ciò nonostante, l'efficienza energetica di queste tecnologie, specialmente in caso di utilizzo di sorgenti laser, costituisce ancora un limite alla loro applicabilità, in quanto il riscaldamento della camera per la *SLS* risulta particolarmente *energy-intensive*, servendosi del 50% della potenza totale richiesta (Dudek and Zagórski, 2016).

I risultati ottenuti con la fabbricazione additiva possono però rispondere positivamente alla forte esigenza di personalizzazione del prodotto espressa dal consumatore.

L'impiego di queste tecniche in produzione e l'utilizzo di sistemi di identificazione del prodotto consentono di supportare la progettazione per il benessere del cliente e l'offerta di prodotti-servizi su misura per il consumatore (Stock and Seliger, 2016).

Le aziende sono fornite di sistemi per il sostegno alle relazioni con il cliente, che permettono promozioni sul prezzo *on-demand* in tempo reale e la creazione di esperienze per il consumatore *in-store*, per accompagnarlo nel processo di acquisto.

Inoltre, i servizi, di cui il cliente usufruisce, sono parte integrante del prodotto, a cui conferiscono valore aggiunto, poiché rendono possibile per il consumatore accedere, in qualsiasi momento e in modo agevole, alle funzionalità dei prodotti di interesse, connettendosi alla rete.

Tali servizi, che generano ricavi aggiuntivi per le imprese, e la costante connessione del prodotto al cloud, per reperire dati ad esso relativi e guidare in modo opportuno il processo di fabbricazione e distribuzione, determinano d'altro canto un aumento dei consumi e della quantità di materiale utilizzato, per equipaggiare i prodotti intelligenti ed i sistemi di trasporto con opportuni sensori (Stock *et al.*, 2018).

L'integrazione dei trasmettitori, potenzialmente in ogni oggetto, richiede pertanto che venga ridotta la loro dimensione, il loro peso, il loro consumo e prezzo, al fine di poter realizzare la *vision* di *internet of everything*.

Come conseguenza del fatto che ogni oggetto nell'era del 4.0 può essere connesso ad una piattaforma online ed essere collegato con altri elementi, i modelli di business sono quindi riprogettati, fondandosi sui concetti di internet e connessione (Roblek *et al.*, 2016).

2.2 Analisi SWOT per le industrie manifatturiere europee nella quarta rivoluzione industriale

L'Industria 4.0 non mette solamente a dura prova la capacità d'innovazione delle imprese, ma richiede che esse dispongano delle competenze necessarie alla realizzazione di nuove strategie e modelli organizzativi profondamente trasformati, imponendo consistenti cambiamenti dell'infrastruttura fisica, delle *operation*, delle tecnologie adottate e nella gestione delle risorse umane. Tale imperativo preoccupa principalmente i piccoli produttori, ma anche quelli più affermati trovano grandi difficoltà nell'intraprendere un processo di rivoluzione tecnologica ed organizzativa, temendo di non riuscire a realizzare ogni applicazione e soddisfare ogni principio fondante dell'Industria 4.0 (Ghobakhloo, 2018).

Secondo le scienze sociali contemporanee, il progresso tecnologico deve essere analizzato tenendo in considerazione sia fattori storici che sociali; pertanto, l'evoluzione nel contesto di Industria 4.0 risulta nella convergenza di conoscenza, dispositivi e soluzioni operative e manageriali in buona parte "ereditate" dal *background* personale (Salento, 2017).

Dalla condivisione di questa riflessione, emerge quindi l'esigenza di valutare le opportunità ed i rischi comportati dalla quarta rivoluzione industriale, alla luce dei punti di forza e delle debolezze delle industrie manifatturiere europee.

Il report European Innovation Scoreboard 2018 illustra i risultati di uno studio sull'andamento di 27 indicatori del rendimento delle imprese manifatturiere europee, confrontando tali conclusioni con quelle ottenute nella precedente versione, datata 2017, e rappresentando la loro variazione nell'ultimo decennio.

Si nota come di questi parametri sono alcuni abbiano mostrato una crescita del loro valore rispetto alle stime pregresse e siano destinati ad un ulteriore incremento. Pertanto, esclusivamente questi aspetti possono essere considerati allo stato attuale dei punti di forza per le imprese manifatturiere europee.

Un indicatore soggetto ad un aumento superiore al 10% è il tasso di diffusione della banda larga, in virtù del quale un sempre più elevato numero di imprese dispone di connessione internet tale da garantire una velocità di download di almeno 100 Mb/s, permettendo di creare in Europa un ambiente favorevole all'innovazione, caratterizzato da grande capacità di interazione e reattività dei sistemi dislocati nel territorio.

Una crescita, seppur moderata, interessa inoltre la percentuale della popolazione compresa tra i 25 e 34 anni con formazione universitaria, il numero di dottorati di ricerca e di co-pubblicazioni scientifiche, ovvero di pubblicazioni scientifiche in cui almeno uno degli autori non risiede nell'Unione Europea. Tale riscontro mette in evidenza come la presenza di risorse di qualità e di sistemi di ricerca attrattivi costituisca un elemento di valore per le imprese europee (Publications Office of the European Union, 2018).

Il loro prestigio e la competitività nel mercato globale dipendono infatti dall'esistenza in Europa di una cultura industriale di lunga durata, che ha indotto negli anni la formazione di numerosi *network* per il collegamento di fornitori, produttori, erogatori di servizi e società, dalla disponibilità di capacità di ricerca all'avanguardia in tutti gli Stati Membri e dai notevoli investimenti in paradigmi di produzione e consumo sostenibili.

Da un sondaggio, realizzato nella seconda metà del 2017 a cura di Deloitte e Forbes Insight, si evince, infatti, come una percentuale medio-alta di dirigenti aziendali della regione dell'*EMEA (Europe, Middle East and Africa)* esprima interesse per i risvolti socio-ambientali, derivanti dall'Industria 4.0. Dal momento che rispettivamente il 74% ed il 67% dei soggetti intervistati riconoscono il ruolo sociale delle organizzazioni aziendali pubbliche e private, vi sono buone probabilità affinché essi si adoperino per definire la responsabilità delle imprese nella realizzazione di un mondo egualitario e più stabile.

Inoltre, l'elevata percentuale di PMI nel territorio europeo consente di sviluppare maggiore flessibilità, agilità e spirito innovativo, favorendo meccanismi di competizione parallelamente alla diffusione di pratiche di *cooperation*.

Il numero di PMI europee che dispone di accordi di cooperazione o risulta già impegnato in attività in collaborazione con altre imprese o istituzioni rappresenta un altro degli indicatori con una variazione positiva secondo l'analisi effettuata dal *Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT)* (Publications Office of the European Union, 2018).

Le intrinseche differenze storico-culturali nazionali e regionali costituiscono poi un ulteriore input all'imprenditorialità (Flegel, 2004).

Una ricerca condotta dall'*Australian Institute of Company Directors* nel 2016 mostra infatti come la diversità dei punti di vista e delle competenze agevoli lo sviluppo di soluzioni innovative del 20 % e riduca la probabilità di accadimento di rischi e fallimenti del 30 %.

La diversità, sia da intendersi come eterogeneità della formazione sia come appartenenza a differenti gruppi demografici, rappresenta una fonte inestimabile di ricchezza, in quanto stimola curiosità e confronto interpersonale.

Un lavoro complesso richiede infatti di adottare vari approcci e di attingere da diversi schemi mentali, un requisito impossibile da soddisfare per un singolo nucleo di persone.

La complementarietà dei *team*, che lavorano ad uno stesso progetto, rappresenta la soluzione al problema (Bourke and Dillon, 2018).

Ciò nonostante, si assiste ad una ancor limitata conversione di idee innovative in prodotti e processi rivoluzionari, determinando una lenta crescita della produttività europea (Flegel, 2004).

L'*International Labor Organization* mostra, in un'indagine sulla crescita della produttività annuale media, svolta dal 2010 al 2017, come nell'area europea solo Spagna e Russia abbiano assistito ad una crescita marginale della produttività rispetto al periodo precedente (1991-2007), in confronto alle performance nell'area asiatica e del Pacifico, alle quali è associato un aumento dell'8-4% (Majumdar, 2017).

La mancanza di un sistema efficiente per l'inclusione degli elementi della diversità può essere considerata una causa plausibile del gap produttivo che interessa l'Europa.

L'elevato numero di PMI che collaborano in progetti innovativi con altre imprese, secondo le valutazioni del *MERIT*, non si traduce nella realizzazione effettiva di innovazioni di prodotto o di processo.

Il numero di PMI ad aver introdotto almeno un prodotto o processo innovativo all'interno dei confini dell'impresa o direttamente sul mercato dal 2017 si è infatti ridotto dell'1-5% e simili risultati riguardano le innovazioni di tipo organizzativo o commerciale.

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Con innovazione organizzativa si intende l'ideazione ed implementazione di un nuovo metodo organizzativo nelle pratiche aziendali dell'impresa o la realizzazione di soluzioni per l'organizzazione dei posti di lavoro o la gestione delle relazioni con l'esterno non ancora utilizzate dall'impresa (Publications Office of the European Union, 2018).

E' importante infatti che i leader dei progetti innovativi siano in grado di incentivare l'inclusione, praticando l'uguaglianza ed il rispetto nei confronti di ogni membro del *team*, valorizzando i contributi di tutti i partecipanti e facendo scaturire in loro un senso di appartenenza e di reciproco beneficio dalla collaborazione.

Soltanto l'effettiva integrazione della diversità, produce un aumento delle performance del *team* percepite, della qualità del *decision making* e della cooperazione (Bourke and Dillon, 2018).

Inoltre, è opportuno esaminare come l'educazione e l'istruzione in alcune nazioni europee sembri costituire la ragione di una scarsa attitudine al rischio e alla sperimentazione.

Gli investimenti in ricerca e sviluppo nel settore privato europeo, ad alto rischio e rendimento indispensabili per produrre nuova conoscenza, non risultano in crescita, ma appaio ancora stabili e non vi sono evidenze di un'inversione di tendenza imminente, secondo quanto sostenuto dalla ricerca condotta dal MERIT (Publications Office of the European Union, 2018).

La Germania, pur avendo dato i natali al termine Industria 4.0, forma i suoi lavoratori nel rispetto del principio zero-difetti, privilegiando rigore e precisione rispetto a risk-taking ed apprendimento legato all'esperienza, formata inevitabilmente da successi ma anche da esiti fallimentari (Schneider, 2018).

Allo stesso modo, la prevalenza nel territorio tedesco di produttori di piccole-medie dimensioni, la cui proposta di valore dipende quasi totalmente dalle attività interne, chiamati *value creation champions*, è una delle principali motivazioni della competitività dell'industria tedesca e dell'attrattività del lavoro in Germania.

Simili imprese, molto caute nelle decisioni di *outsourcing* e con un elevato indice di esportazione, rischiano però di affrontare situazioni di carenza di competenze critiche per l'innovazione, in quanto esse risultano in possesso di un numero limitato di dipendenti (Kinkel *et al.*, 2017).

L'aumento del potere contrattuale dei pochi talenti creativi, così come di quello dei consumatori, sempre più in grado di condizionare l'offerta di prodotti delle imprese, potrebbe provocare, come nel caso americano, un debole *Return On Assets (ROA)*, malgrado i continui investimenti per favorire una crescita della produttività (Pfeiffer, 2017).

Un caso emblematico, di come il bagaglio di conoscenze e di modelli di riferimento regionali possa compromettere l'integrazione di diverse unità in un sistema, risale al 2011, anno in cui, in occasione del *World Economic Forum (WEF)*, fu presentata una revisione della strategia "*CopyEXACTLY!*", ideata da Intel.

Per espandere la capacità produttiva globalmente, la multinazionale americana aveva proposto di realizzare una copia esatta delle linee produttive, in uso nella sede americana, in altri centri sparsi per l'Europa.

I tecnici e gli ingegneri europei non apprezzarono assolutamente tale direttiva, in quanto copiare fedelmente sistemi produttivi già esistenti non rientrava nella loro etica professionale, fondata sul continuo miglioramento.

Tale considerazione dipende nuovamente dalle caratteristiche dei sistemi educativi europei, che istruiscono i futuri lavoratori a pensare in modo indipendente ed evitare una pura replica delle soluzioni note (Pfeiffer, 2017).

Un' ulteriore questione complessa che l'Europa potrebbe trovarsi ad affrontare (Figura 2.4) è inerente all'impatto dell'automazione sull'occupazione.

Secondo le previsioni del *European Innovation Scoreboard (EIS)*, nel 2017 il numero di imprese impegnate in attività di formazione del personale, relativamente alle competenze richieste dal ricorso alle *ICT*, sarebbe dovuto crescere moderatamente.

Le *ICT skill* sono infatti indispensabili per consentire l'innovazione in un contesto di economia digitale e sono rappresentative dell'evoluzione complessiva delle figure professionali.

Tuttavia la percentuale di imprese che si è occupata della preparazione al digitale dei propri dipendenti non solo non è aumentata, ma è diminuita dell'1-5%, creando un forte disallineamento tra le richieste del mercato, che esige imprese sempre più digitalizzate non solo da un punto di vista tecnologico ma soprattutto in termini di processi ed organizzazione, e l'attuale proposta delle aziende, in uno stato di arretratezza sia per quanto riguarda le soluzioni tecniche che le competenze (Publications Office of the European Union, 2018).

Circa il 54 % dei dipendenti potrebbe essere licenziato a causa della computerizzazione dei processi produttivi ed organizzativi (Kovacs, 2018).

I lavoratori giovani, pertanto non ancora specializzati, sembrano essere maggiormente esposti a tale rischio, congiuntamente ad una cospicua riduzione dei salari (un robot per 1000 lavoratori dovrebbe comportare salari più bassi dallo 0.25 allo 0.5%), esacerbando preesistenti disuguaglianze interne.

Ne conseguirebbe, infatti, una ancor più netta polarizzazione delle competenze, in quanto i lavoratori inesperti potrebbero difficilmente ottenere una formazione adeguata ed ambire a posizioni più prestigiose con ridotte disponibilità economiche (Salento, 2017).

Le industrie europee si trovano infatti ad operare in condizioni di disoccupazione giovanile in aumento e ad assistere ad una fase di stallo, relativamente all'impiego dei lavoratori con esperienza, in possesso di competenze di basso livello.

Se l'eccesso di forza lavoro non dovesse essere assorbito, comporterebbe una nuova crescita dell'indebitamento del settore privato ed un aumento dell'indice NPL (*non-performing loan*), ovvero della percentuale di prestiti la cui riscossione è a rischio (crediti deteriorati) sul totale dei crediti delle banche (Kovacs, 2018).

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

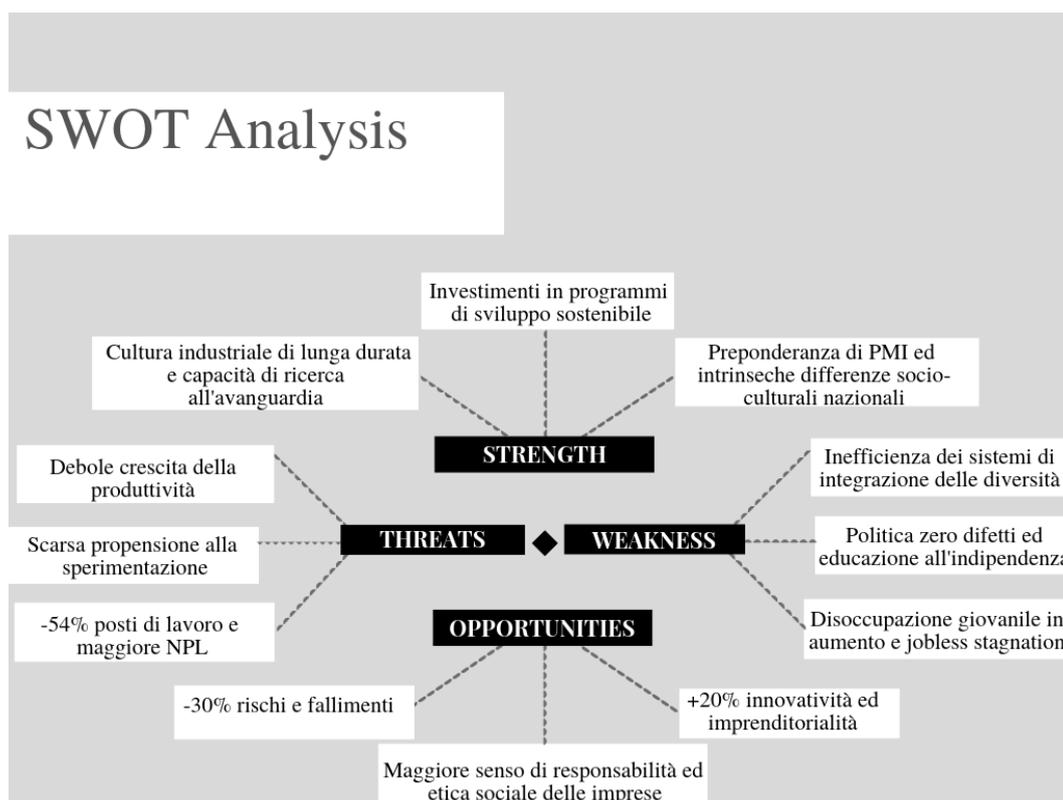


Figura 2.4: SWOT Analysis per le industrie manifatturiere europee nel contesto di *Industry 4.0* (Elaborazione personale).

Deloitte e Forbes Insight hanno interpellato i dirigenti di circa 1600 industrie manifatturiere su scala globale e hanno potuto constatare come, nell'area dell'*EMEA*, approssimativamente il 50% degli intervistati condivide tale visione apocalittica dell'automazione e digitalizzazione delle fabbriche, mentre l'altro 50% propende per una teoria radicalmente diversa, secondo la quale risorse umane e macchine intelligenti collaborano e quest'ultime aumentano le facoltà e le abilità degli operatori.

Il termine lavoro digitale e la definizione di una forza lavoro "mista", in cui la tecnologia non costituisce solo un set di strumenti fisici, ma interviene in qualità di nuovo collega all'interno delle dinamiche lavorative, rendono sempre più complicata la distinzione tra capitale variabile e fisso, così come tra uomini e macchine.

Entrambi confluiscono allo stesso modo ed in egual misura in una rete globale, in cui le componenti individuali sono utilizzabili all'interno di sistemi di cooperazione altamente efficienti ed autonomi, rendendo tuttavia difficile l'evoluzione delle qualifiche degli operatori, promessa dalla quarta rivoluzione industriale.

Se l'integrazione all'interno del sistema è tale da non riuscire a discernere le risorse umane dalle macchine intelligenti, è consequenziale domandarsi, infatti, come sia possibile che agli operatori venga permesso focalizzarsi maggiormente sugli "elementi umani" del loro lavoro, come il *problem-solving* creativo e la collaborazione (Pfeiffer, 2017).

Inoltre, fino a quando rimane dominante la logica della crescita sfrenata dell'efficienza dei macchinari, impiegati in produzione, e della massimizzazione dell'utilizzo degli impianti e delle infrastrutture produttive, anche il perseguimento degli obiettivi di sviluppo sostenibile viene meno.

L'incremento della domanda di sensori, attuatori, server, memorie, router e moduli integrati, comporta una rapida espansione dell'industria delle componenti elettriche ed elettroniche (*EEE*). Robotica intelligente, dispositivi indossabili e veicoli a guida automatica sono tecnologie che si evolvono ad un tasso esponenziale e, in maggioranza, si fondano su *ICT* riciclate in percentuali limitate e caratterizzate da una domanda in aumento.

Dal momento che il ciclo di vita delle *EEE* è sempre più breve, la sostenibilità di tale industria è fortemente minacciata (Gu *et al.*, 2018).

In seguito ad un ulteriore deprezzamento dei sensori micro-elettromeccanici dal 30 al 70%, le spese complessive, sostenute dalle aziende nelle componenti dell'*IoT* fino al 2025, supereranno le già elevate previsioni di 11 trilioni di dollari, quantificate dalla società di consulenza McKinsey nel 2015.

Un simile calo dei prezzi, associati ad una componentistica così rara e prestigiosa, potrebbe sfociare in un drastico aumento dei rifiuti elettronici, già pari a 42 milioni di tonnellate nel solo 2014, contro ogni ambizioso intento di ridurre a zero gli scarti dei processi produttivi (Pfeiffer, 2017).

2.3 Gli obiettivi di performance industriale

Nonostante le opportunità offerte dall'Industria 4.0 siano classificabili in tre categorie differenti, strategia, *operation* ed ambiente e società (Müller *et al.*, 2018), le imprese europee adottano le tecnologie dell'Industria 4.0 principalmente aspettandosi un ritorno positivo nell'operatività quotidiana.

Mentre i dirigenti delle imprese americane sono più propensi ad adottare strategie di trasformazione e *disruption* delle correnti procedure organizzative e degli attuali sistemi produttivi, nell'*EMEA* permane quasi un unico interesse: ridurre il tempo necessario al lancio sul mercato del prodotto, preservando l'efficienza produttiva e contraendo i costi operativi (Deloitte and Forbes Insight, 2017).

L'impiego di piattaforme cloud, funzionale alla collaborazione tra *partner* commerciali, e di algoritmi per l'ottimizzazione della pianificazione della produzione comporta una maggiore reattività e flessibilità delle imprese, in relazione alle variazioni del mercato.

La digitalizzazione della *factory* ed una più efficiente condivisione di informazioni con fornitori e clienti, consentendo un migliore allineamento dell'offerta alla domanda, inducono una riduzione dei costi della manodopera e per la gestione del magazzino (Moeuf *et al.*, 2017).

Le tecnologie digitali inoltre rendono possibile minimizzare i tempi di attesa in produzione ed ottimizzare l'utilizzo degli *asset* e la qualità del prodotto, risparmiando, secondo i soggetti intervistati da PwC in un sondaggio indirizzato a 2000 partecipanti di nove settori industriali ed appartenenti a 26 paesi diversi, approssimativamente 421 miliardi di dollari fino al 2020 (Geissbauer *et al.*, 2016).

Il costo delle comunicazioni a lunga distanza e della consegna dei prodotti digitali è prossimo allo zero, pertanto la distanza costituisce un fattore ininfluenza da un punto di vista economico.

L'ampio ricorso a piattaforme digitali per la condivisione di informazioni (Google e Facebook) e per la proposta di servizi (Airbnb e Uber) e prodotti (Ebay e Amazon) ha consentito di

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

facilitare scambi e transazioni e sfruttare in modo più efficiente la capacità inutilizzata, senza tuttavia impedire la dispersione dei prezzi (OECD report to G-20 Finance Ministers, 2018).

Infine la riconfigurabilità dei processi produttivi, il controllo qualità dei flussi di materiali tramite *RFID*, integrate nelle componenti a diretto contatto con gli strumenti per la lavorazione, e la digitalizzazione degli ordini dei clienti si traducono, rispettivamente, in un incremento atteso della produttività, in un aumento dell'affidabilità del sistema e in una riduzione dei tempi di completamento del prodotto (Moeuf *et al.*, 2017).

Un'indagine effettuata da HfS Research per Accenture, relativamente all'adozione delle tecnologie di Industria 4.0 all'interno delle aziende manifatturiere, conferma come l'implementazione del 4.0 si focalizzi, in particolare, sull'evoluzione delle performance dell'impresa.

I processi produttivi digitalizzati consentono, per quanto riguarda l'abilità di generare ed analizzare i dati relativi alle *operation*, un'*OPERating EXpense (OpEx)* inferiore, grazie all'impiego di tecniche di analisi predittiva e metodi di *forecasting* e l'ottimizzazione del carico di lavoro, accrescendo sia l'efficienza energetica che la produttività degli operatori.

Una migliore formazione e tutela delle risorse, così come una più efficace manutenzione degli *asset* ed un *testing* del prodotto più affidabile sono i presupposti che l'Industria 4.0 consente di realizzare, estendendo la presente capacità di simulazione e visualizzazione di prototipi, macchinari e prodotti finiti.

In relazione al monitoraggio delle attività produttive, l'obiettivo consiste nell'armonizzazione dei processi produttivi, che hanno luogo nei diversi impianti integrati, tramite controllo continuo da remoto, per realizzare prodotti con un indice di conformità alle richieste del mercato superiore (Jain *et al.*, 2017).

Dal momento che la frazione del capitale, associata ai beni intangibili, risulta predominante ed il costo per la replicazione del prodotto appare significativamente basso ed intorno allo zero, le dinamiche di entrata e competizione all'interno del mercato sono profondamente influenzate.

Il cloud computing ha permesso alle PMI di dotarsi di capacità di calcolo e memoria senza sostenere a monte cospicui investimenti, allo stesso modo la possibilità di effettuare pubblicità e distribuzione dei prodotti digitali online ha reso possibile una notevole riduzione dei costi di *marketing*.

Pertanto si assiste ad un fenomeno di "*scale without mass*", il quale prevede che i differenti *player* possano costruire ampie reti ed istituire mercati anche molto estesi in breve tempo e ricorrendo ad un numero essenziale di dipendenti ed *asset* fisici.

Simultaneamente vi sono gli estremi per la realizzazione di elevate economie di scala, in cui il primo soggetto ad entrare sul mercato ha il diritto di appropriarsi della maggior parte delle risorse globalmente presenti, potendo in seguito beneficiare del potere della reputazione e degli effetti di rete, esasperando la concentrazione del mercato (OECD report to G-20 Finance Ministers, 2018).

L'implementazione dell'Industria 4.0 finalizzata ad aumentare la produttività e ridurre i costi complessivi sostenuti dall'impresa, induce anche le altre organizzazioni ad impegnarsi in simili azioni aggressive.

La massimizzazione della produttività in un mercato, diventato estremamente competitivo, suscita notevoli pressioni sui margini realizzati dalle imprese.

Nel lungo periodo è pertanto richiesto alle imprese di affiancare alle strategie di ottimizzazione delle performance aziendali anche operazioni di esplorazione e sfruttamento di nuovi mercati, per non incorrere nel sottoutilizzo dei sistemi produttivi e in un probabile aumento dei costi di inventario (Agrawal *et al.*, 2018).

Da una ricerca condotta su scala globale da Deloitte e Forbes Insight nella primavera del 2018, emerge come, seppur il 94 % degli intervistati riconosca l'importanza strategica della trasformazione digitale, gli stessi soggetti non esplorino realmente le possibilità che ne conseguono.

Per quanto concerne le iniziative di Industria 4.0, i dirigenti delle imprese interpellate dichiarano pertanto di investire in media il 30 % del loro budget in *operation* ed *IT* e meno della metà in attività di ricerca e sviluppo. Inoltre, circa il 30 % confessa di dubitare della criticità delle nuove tecnologie per l'aumento della produttività ed il mantenimento della propria posizione competitiva.

Un simile paradosso caratterizza il ruolo strategico ed il potenziale innovativo della *supply chain*.

Il 62 % dei rispondenti al sondaggio dichiara che *supply chain* e pianificazione hanno diritto ad investimenti prioritari rispetto alle altre funzioni aziendali; tuttavia godono di uno status marginale come fonte di innovazione.

Il ruolo acquisito della moderna *supply chain* ha infatti richiesto l'introduzione di una figura nuova, il *Chief Supply Chain Officer (CSCO)*, incaricato sia della supervisione delle operazioni giornaliere sia della gestione della catena, in relazione all'organizzazione nel suo complesso.

Data la posizione influente di tale responsabile, suscita particolare stupore la conclusione emersa dalla ricerca di Deloitte e Forbes Insight, secondo la quale il *CSCO* verrebbe consultato, ai fini delle decisioni d'investimento nelle tecnologie di trasformazione digitale, soltanto nel 22% dei casi.

Affinché le imprese possano sopravvivere in un mercato in continua trasformazione, è essenziale che siano disposte a concepire soluzioni innovative ed eseguire decisioni coraggiose, sulla base di una scrupolosa valutazione delle competenze in loro possesso e delle strategie già pianificate.

L'effettivo riconoscimento del nuovo paradigma industriale obbliga, infatti, sia ad un processo di adeguamento dei piani in uso sia all'elaborazione di nuove direzioni strategiche, richiedendo un impegno che va al di là dell'adozione di misure più o meno consolidate per incrementare i ricavi e ridurre i costi.

Ideare una strategia idonea nel contesto dell'Industria 4.0 significa anche studiare con quali modalità accrescere il valore del brand, consentire una maggiore penetrazione nel mercato di riferimento, supportare l'ingresso in nuovi segmenti di mercato ed adoperarsi per ottenere finanziamenti governativi ed ampliare la propria rete di conoscenze e collaborazioni.

In seguito agli sconvolgimenti che hanno interessato il lato della domanda e l'ambiente tecnologico, aziende come Nokia e Kodak hanno pagato con il fallimento l'assenza di una linea imprenditoriale e strategica chiara e consapevole.

Per Kodak, il timore che l'apertura verso il mondo della fotografia digitale potesse compromettere il proprio business originario, incentrato sulla produzione e distribuzione dei rullini fotografici e le tensioni tra figure di esperienza, legate alla tradizione, ed i nuovi membri del team di gestione, che promuovevano la necessità di investire in progetti di ricerca per

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

preservare la competitività del marchio, si rivelarono fatali e la obbligarono, in seguito, ad entrare in un nuovo mercato: quello delle stampanti multifunzione.

Nokia invece, leader fino al 2008 della tecnologia mobile, venne in breve tempo superata da Samsung, che, prevedendo le opportunità derivanti dalla presenza in mercati diversificati, seppe sfruttare in modo proficuo sia le proprie competenze in ambito logistico che le indiscusse conoscenze tecnologiche.

Il rischio di ricoprire una posizione irrilevante, a causa di una mancata o scarsa progressione quando il mercato lo richiede, pesa sulle sorti dell'azienda molto di più degli investimenti del capitale per lo sviluppo (Agrawal *et al.*, 2018).

Risulta pertanto necessario esaminare i limiti, riscontrati nell'implementazione del 4.0, per comprendere le ragioni profonde degli scrupolosi investimenti in ricerca e sviluppo per i progetti di Industria 4.0, al fine di realizzare le dovute condizioni per beneficiare pienamente delle opportunità proposte dalla quarta rivoluzione industriale.

2.4 La difficile implementazione dell'Industria 4.0

Il possesso di conoscenze implicite e non trasferibili, nate dall'esperienza, è cruciale per l'innovazione, così come la sempre più frequente dissoluzione dei confini tra produzione, customer service ed amministrazione richiede la disponibilità di competenze varie e multidisciplinari (Kinkel *et al.*, 2017).

Se il costo necessario all'integrazione delle tecnologie di Industria 4.0 e allo sviluppo interno di queste abilità sovrasta i potenziali benefici, che ne conseguono, è preferibile ricorrere a fornitori di servizi di Industria 4.0 e concedere in *outsourcing* tali requisiti, osservando ed apprendendo le conoscenze esternamente (Agrawal *et al.*, 2018).

E' necessario, quindi, che le imprese lavorino sulla comprensione del contesto lavorativo e procedano con una valutazione dei ruoli e dei requisiti di tutti gli attori che operano lungo la catena del valore.

Qualora le risorse interne non fossero dotate degli strumenti e delle caratteristiche di cui si abbisogna, le imprese devono superare, se il caso lo richiede, ogni resistenza all'esternalizzazione di compiti e funzioni e vincere il timore di sviluppare una rischiosa dipendenza dai *partner* aziendali (Kinkel *et al.*, 2017).

Le industrie del settore meccanico ed impiantistico, in cui la componente hardware, i macchinari e la tangibilità del prodotto sono predominanti, si confrontano con l'insufficienza delle tecnologie dell'informazione in loro dotazione e l'inadeguatezza della conoscenza del software, da parte delle risorse di cui dispongono, avvertendo con preoccupazione il bisogno di affidarsi ad altri per guadagnare le competenze di cui sono sprovvisti (Müller *et al.*, 2018).

Servirsi di tecnologie di rete e maturare capacità di *networking* è il primo *step* per facilitare l'introduzione di una cultura dell'innovazione, anche all'interno delle aziende più restie e conservative.

Comunità di pratica ed apprendimento interno sono di più facile realizzazione, in quanto permettono di integrare la diffusione e l'acquisizione delle conoscenze, critiche per l'innovazione, nell'operatività quotidiana, mentre *community online* o *Q&A (Questions & answers)* forum rappresentano il mezzo più idoneo per la ricerca di talenti all'interno della rete di relazioni dell'azienda (Kinkel *et al.*, 2017).

Allo stato attuale, come evidenziano i risultati della ricerca condotta nel 2016 da PwC, riguardo le principali difficoltà riscontrate nell'implementazione del 4.0, metà delle imprese riconoscono come prime responsabili la mancanza di una visione relativa all'introduzione del digitale in azienda e l'assenza di opportuna formazione preliminare (Figura 2.5).

Lack of digital culture and training is the biggest challenge facing companies

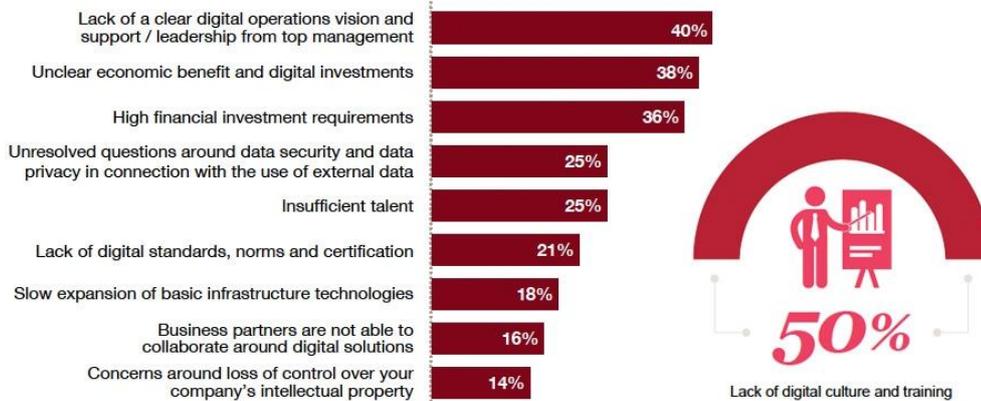


Figura 2.5: Le sfide affrontate dalle imprese durante la quarta rivoluzione industriale (Fonte: Global Industry 4.0 Survey PwC, 2016).

Nello stesso anno McKinsey sottolinea che le aziende manifatturiere a non avere riscontrato alcun progresso dalla trasformazione in ottica 4.0, nella sola Germania, ammontano ad un 44%. I loro dirigenti infatti, affezionati alle *operation* tradizionali, discutono all'interno dell'organizzazione prevalentemente dello sviluppo di prodotti e servizi e delle misure da adottare per incrementare la produttività, dimostrando invece poca confidenza con i temi appositamente introdotti dalla quarta rivoluzione industriale, soprattutto per quanto riguarda la necessità di accogliere il clima di cambiamento e *disruption*, prevedendo però delle contromisure per garantire una parziale stabilità alle nuove figure professionali (Deloitte and Forbes Insight, 2017).

Barbara Dyer, direttore esecutivo della “*good companies and good jobs initiative*” al MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), ha sottolineato l'importanza dell'inserimento nella cultura organizzativa di *navigational skill*, competenze che i talenti 4.0 devono sviluppare, per adattarsi con consapevolezza e serenità ad un contesto economico interessato da continue variazioni e rapide transizioni.

Circa il 61% delle imprese, intervistate da Deloitte and Forbes Insight nel 2017, ritiene che l'Industria 4.0 le porterà a rivoluzionare i rapporti contrattuali con la forza lavoro, propendendo per forme di collaborazione temporanea e di impiego ad hoc e ricorrendo in misura maggiore a lavoratori fuori sede e liberi professionisti; un dato che richiede una completa riprogettazione di ogni tipologia di impiego e la revisione della concezione dell'essenza dell'occupazione e della pianificazione della forza lavoro.

Diversamente le imprese, sprovviste del coraggio per raggiungere gli obiettivi tecnologici ed organizzativi richiesti dal nuovo paradigma industriale e delle qualità per rendere efficaci le applicazioni di Industria 4.0, rischierebbero di vedersi paralizzate dalla mancanza di fiducia nei confronti dei potenziali nuovi collaboratori.

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Le realtà maggiormente promettenti sono invece caratterizzate da problematiche, che emergono a valle dell'integrazione e del *networking* di risorse interne ed esterne all'organizzazione.

La scarsa consapevolezza delle attività differenzianti dai *competitor* per l'impresa potrebbe, infatti, determinare decisioni di *make or buy* errate, inducendo potenzialmente ad esternalizzare competenze *core* e a mantenere al proprio interno delle *commodity* (McKinsey, 2016).

Rinunciare all'interazione diretta con il consumatore, individuando nelle piattaforme dell'Industria 4.0 un nuovo spazio per il collegamento tra clienti e fornitori delle soluzioni richieste, potrebbe rivelarsi dannoso per quelle imprese che fanno della customer relationship il proprio business.

Esse, facenti parte di un ecosistema radicalmente trasformato, in cui le imprese emergenti riscontrano minori barriere all'ingresso, poiché per accedere al mercato non risulta più necessario dotarsi di un intero sistema, si troverebbero a realizzare margini molto più bassi.

Prima di scegliere quali applicazioni di Industria 4.0 sviluppare, con quali fornitori collaborare e quali qualifiche ricercare, è ragionevole stimare come queste iniziative determineranno un'espansione del mercato di pertinenza e quale effetto produrranno sulla creazione e l'appropriazione del valore da parte dell'impresa (Schneider, 2018).

Un sociologo italiano, Luciano Gallino, ha infatti precisato che sostenere una visione esclusivamente virtuosa della connessione tra sviluppo tecnologico e dinamiche dell'occupazione non è, nell'epoca contemporanea, più condivisibile.

Un numero sempre maggiore di aziende si trova ad assistere ad un ampliamento tanto del mercato interno quanto di quello delle esportazioni al di sotto delle aspettative. Una percentuale inferiore del valore aggiunto si traduce in aumento della domanda di beni e servizi e in investimenti produttivi e la forza lavoro eccedente non può servire ad altri settori, a causa della pervasività della digitalizzazione (Salento, 2017).

Il *top management*, incaricato della definizione degli obiettivi aziendali e delle azioni gestionali per il loro perseguimento, riveste quindi una posizione delicata nelle scelte di investimento e nel coinvolgimento e coordinamento di tutte le risorse interessate.

Il percorso evolutivo, che conduce dalla fabbrica automatizzata all'Industria 4.0, incontra un primo grande ostacolo nella mancanza di assenso e supporto da parte del manager, che determina l'insorgere di progetti di ricerca a cura delle unità decentralizzate, privi di una direzione strategica univoca.

Senza l'avvallo da parte di dirigenti e responsabili di gestione, tali iniziative hanno difficilmente seguito, incontrando resistenze e perplessità ad ogni livello gerarchico.

Gli ingegneri meccanici mal interpretano la crescente importanza della componente software e delle competenze *soft* all'interno dell'azienda, mentre gli operatori sperimentano sentimenti di confusione ed alienazione in seguito alla dematerializzazione e virtualizzazione dei processi produttivi (Schneider, 2018).

Sono da considerarsi anche le implicazioni dell'informatizzazione delle *operation* sullo stato mentale delle persone coinvolte.

Le *ICT* hanno reso i dipendenti disponibili 24 ore al giorno ed i metodi di analisi dei processi, basati sui dati disponibili in tempo reale, di cui si servono, possono elevare le aspettative dei dirigenti in merito all'efficienza e alla rapidità dimostrata dagli operatori, nel rispondere alle richieste dei sistemi e nel prendere decisioni quando necessario.

Se l'introduzione di supporti automatizzati intelligenti e robot collaborativi rappresenta un'occasione per potenziare ed assistere i lavoratori nell'esecuzione delle loro attività, vi è, allo stesso tempo, la possibilità che il confronto con macchine avanzate e braccia meccaniche sempre più sensibili degeneri in consistenti pressioni nei confronti degli operatori.

La diffusione di nuove forme di impiego, che possono essere svolte direttamente all'interno delle mura domestiche, ed il telelavoro possono poi costituire la causa di disagi e frustrazioni, derivanti dall'impossibilità di separare il contesto lavorativo dalla dimensione privata e personale (Kovacs, 2018).

Al fine di conseguire un maggiore allineamento strategico, ogni membro dell'organizzazione dovrebbe avere coscienza dei benefici economici e non, derivanti dagli investimenti nei progetti di ricerca e sviluppo dell'Industria 4.0, mentre HfS Research sottolinea come a condizionare maggiormente le imprese nella *Industry 4.0 readiness* oggi sia proprio la carenza di chiarezza in merito ai suoi risvolti positivi.

I ritardi nell'adozione del 4.0 e la lentezza, che contraddistingue il processo di integrazione delle *ICT* nei sistemi preesistenti, congiuntamente alle incerte prospettive per l'innovazione, sostenute dai paesi avanguardisti, si riflettono in una debole crescita del PIL nell'ultimo decennio (Figura 2.6).

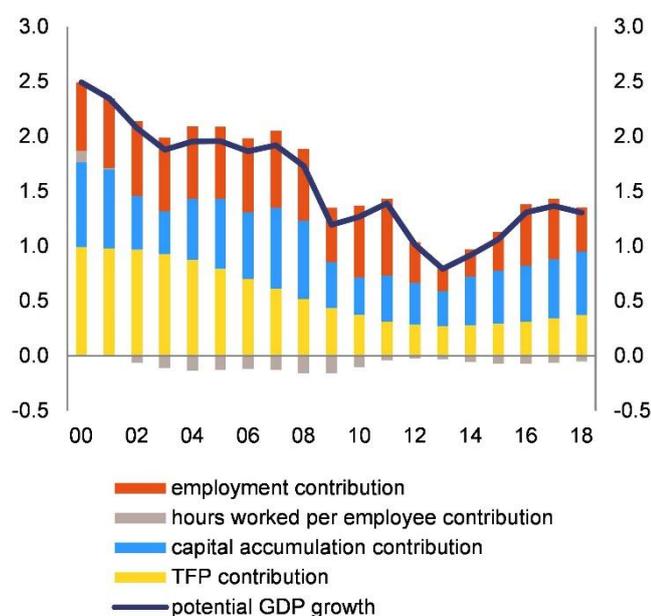


Figura 2.6: Crescita del PIL in relazione all'intensificazione del capitale ed all'efficienza economica (Fonte: European Commission – Country Report Belgium 2017).

Questo risultato sottende anche un minimo aumento del capitale impiegato in impresa disponibile per ogni lavoratore (intensificazione del capitale) ed una impercettibile crescita della produttività totale dei fattori (TFP), parte residua di output, eccedente gli input di lavoro e capitale.

Un numero consistente di imprese nelle regioni economicamente sviluppate vanta la presenza di connessione a banda larga e di siti e pagine web dedicate per le loro attività, mentre una netta minoranza, prevalentemente costituita da imprese con più di 250 dipendenti, dispone di ancora marginali applicazioni avanzate in termini di software *ERP*, cloud computing e *big data* (OECD report to G-20 Finance Ministers, 2018).

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Molte imprese produttive sono ancora agli albori dell'introduzione di sistemi avanzati per la raccolta e l'utilizzo dei dati durante l'esecuzione dei processi, in quanto dispongono di informazioni esigue e poco chiare a livello di officina.

Il sistema *ERP*, senza la sincronizzazione con opportuni dispositivi per la rilevazione, basata sulle radiofrequenze, presenti sulla linea, offre una visibilità limitata dei flussi informativi, che riguardano la criticità delle risorse, e dei materiali e semilavorati, che transitano da una cella produttiva ad un'altra (Dallasega *et al.*, 2017).

Si avverte l'urgenza di politiche a sostegno della competitività ed agevolazioni fiscali, che consentano alle imprese più arretrate un iniziale finanziamento in equity, per colmare il divario tra *innovators* e *laggards*, ancora astenuti dagli investimenti negli *asset* complementari e nel capitale della conoscenza (ricerca e sviluppo, *database*, proprietà intellettuale).

In nazioni come Grecia, Italia, Spagna e Portogallo la percentuale di investimenti in software e ricerca sviluppo risulta inferiore al 5% del valore aggiunto lordo (Figura 2.7), rappresentando una condizione difficile per l'inserimento di tecnologie poco familiari nel contesto locale.

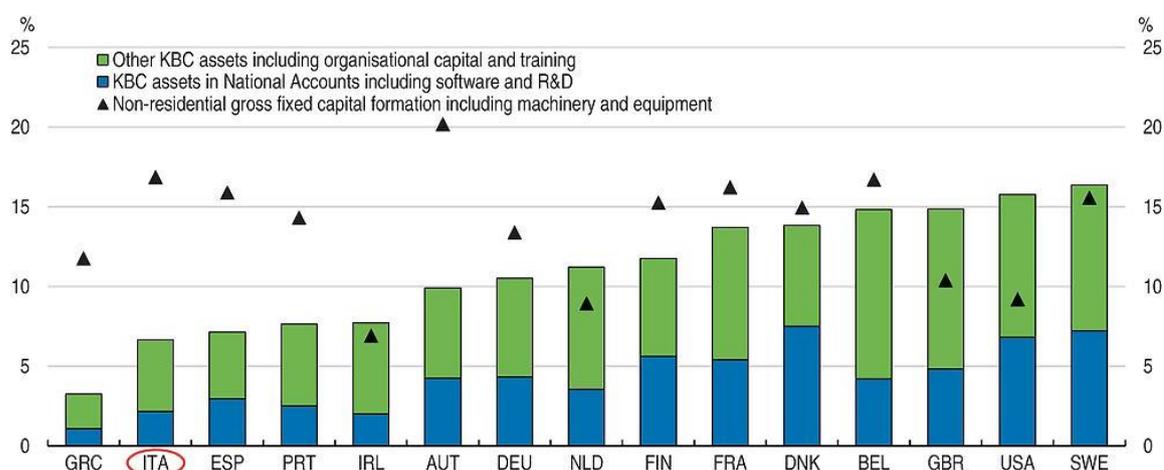


Figura 2.7: Investimento in capitale fisso e della conoscenza (fonte: OECD Economic Surveys: Italy 2017).

Tale situazione viene poi ulteriormente aggravata da alcune conseguenze della riconfigurazione delle catene del valore globali.

La robotica, l'automazione, la produzione computerizzata e l'intelligenza artificiale potrebbero in futuro ridurre i benefici della delocalizzazione della produzione in paesi con manodopera a basso costo, mentre tecnologie come la stampa 3D potrebbero porre le basi per la fabbricazione in loco su piccola scala, fino alla realizzazione di prodotti in lotti di dimensione unitaria.

Di conseguenza, le nuove tecnologie potrebbero erodere il vantaggio competitivo, che risiede nell'esternalizzazione della produzione in paesi in cui sono reperibili risorse produttive più convenienti, ostacolando l'evoluzione delle imprese emergenti (OECD report to G-20 Finance Ministers, 2018).

Questo avvenimento sarebbe all'origine delle difficoltà riscontrate, in modo particolare, dalle economie in via di sviluppo, la cui crescita, specialmente per quanto riguarda le attività di *manufacturing*, dipende fortemente dalla disponibilità di forza lavoro economica.

Il costo proporzionalmente più elevato dell'automazione e delle altre tecnologie contribuisce a scoraggiare e ritardare l'investimento nelle applicazioni di Industria 4.0, reso già complicato

dall'instabilità politica ed economica, esistente in questi paesi, e dalla povera qualità dell'istruzione e delle istituzioni dedicate alla ricerca (Dalenogare *et al.*, 2018).

Se le capacità organizzative e le risorse finanziarie rappresentano la sfida maggiore per le imprese che entrano per la prima volta in contatto con un cambiamento di questa portata, i limiti tecnologici, in merito alla sicurezza delle informazioni, all'affidabilità del sistema e alla qualità dei dati, costituiscono, invece, le principali lacune per le realtà più mature in termini di adozione del 4.0 (Müller *et al.*, 2018).

Un 25 % delle imprese del campione considerato da PwC annovera, infatti, alcune problematiche irrisolte in termini di *data security* tra le barriere che impediscono la completa espressione delle potenzialità delle applicazioni di Industria 4.0.

L'implementazione del 4.0 richiede spesso di lavorare con tecnologie e software di terze parti e fornitori di servizi, ma molte aziende sono ancora riluttanti a condividere i propri dati, per mancanza di fiducia nei confronti dei *partner* scelti e perché temono perturbazioni dei dati e manipolazioni indesiderate durante il processo di trasmissione (McKinsey, 2016).

Tale questione non deve essere sottovalutata, dal momento che, al crescere dell'infrastruttura di rete dell'impresa, si moltiplica anche il numero dei punti in cui viene generata e scambiata informazione, i quali potrebbero essere soggetti ad una probabilità più o meno elevata di subire attacchi, provenienti dall'esterno.

Per le aziende risulta di primaria importanza impedire che eventuali violazioni della *cybersecurity* impongano un arresto forzato delle stazioni produttive coinvolte e che si manifesti il rischio della responsabilità connessa alla perdita di dati.

Inoltre, conformemente alle loro disponibilità, esse devono proibire l'estrazione arbitraria e la modifica non autorizzata di informazioni sensibili ed inerenti al *know how* aziendale ed evitare che si verifichino situazioni ambigue, che potrebbero ledere la reputazione e l'immagine dell'impresa (Geissbauer *et al.*, 2016).

Un sondaggio condotto dall'Università di Chapman nel 2016 ha dimostrato che le aziende americane, caratterizzate da una maggiore propensione al rischio e disponibilità ad integrarsi con unità esterne rispetto alle corrispettive europee, nutrono il timore di essere danneggiate da corruzione e cyber terrorismo.

Nella lista delle loro principali preoccupazioni figuravano, in questo ordine, l'incapacità nella gestione dei dati sia a livello aziendale che all'interno delle istituzioni governative, il pericolo di furto di dati personali e di frode con carte di debito e credito (Kovacs, 2018).

In aggiunta alle incertezze relative alla sicurezza informatica, i produttori sono infatti turbati dall'eventualità di perdere la proprietà dei dati, quando lavorano con tecnologie e software, messi a disposizione da terze parti per realizzare le applicazioni dell'Industria 4.0.

Inoltre la definizione della proprietà dei dati del produttore, nei contratti sottoscritti con l'*Original Equipment Manufacturer (OEM)* corrispondente, è di difficile realizzazione e spesso determina un potere discrezionale, sulle informazioni generate, limitato per lo stesso produttore (McKinsey, 2016).

Jeffrey Ritter, esperto di sicurezza dei dati e docente presso la John Hopkins University e la University of Oxford, e Anna Mayer sostengono l'inadeguatezza dell'attuale quadro normativo per proteggere i dati nell'economia dei *Big data*.

Le enormi collezioni di dati industriali hanno infatti poco in comune con i beni artistici e creativi, la cui proprietà è tutelata dalla legge sul copyright.

2.L'impatto dell'Industria 4.0 sui moduli della creazione del valore

Creare un diritto per la salvaguardia della proprietà dei dati sembra, pertanto, estremamente complesso, in quanto risulterebbe necessario, ai fini della sua applicazione, definire tali dati, di natura non univoca e generati da vaste reti di sensori, che monitorano e registrano le informazioni relative ad interi sistemi, così come riguardanti la più piccola unità di una *supply chain* globalmente estesa e di notevoli dimensioni.

Queste informazioni sono poi spesso toccate da molteplici interessi, alcuni in reciproca contraddizione.

Stabilire se il diritto di appropriarsi di una determinata conoscenza e deliberare in merito alla sua gestione spetti alla fonte dell'informazione o alle risorse, che hanno investito affinché essa potesse essere raccolta e definita, è un problema a cui potrebbero essere destinate diverse combinazioni di soluzioni possibili (Scassa, 2018).

Per alcune imprese, nello specifico quelle appartenenti al settore farmaceutico, i dati trattati fanno riferimento oltre che alla proprietà intellettuale, all'azienda e ai suoi processi, alla composizione dei farmaci e ai progetti di ricerca e sviluppo anche ad informazioni private e strettamente personali, connesse alla salute dei pazienti, richiedendo massima attenzione e sicurezza nelle operazioni di trasferimento dei dati (Ding, 2018).

Inoltre, le rivendicazioni del diritto di proprietà sui dati sono molteplici non solo da parte di chi genera e codifica l'informazione, ma anche per chi la utilizza.

Imporre dei vincoli legali alla consultazione e al libero scambio dell'informazione, prodotta dall'azienda, tra gli utenti del sistema potrebbe costituire un freno all'innovazione e allo sviluppo di nuova conoscenza.

Oltre alle discussioni che riguardano la definizione dei diritti e l'allocazione della proprietà, il mantenimento di un adeguato equilibrio tra diritti di proprietà ed interesse pubblico nella promozione dell'innovazione e della ricerca e nel sostegno alla critica e alla libertà di espressione sottopone una nuova sfida agli enti normativi (Scassa, 2018).

Restrizioni eccessive rispetto alle modalità con cui risorse ed utenti adoperano dati ed informazioni relative a uomini, prodotti e processi potrebbero giocare un ruolo chiave nella gestione della complessità e della flessibilità all'interno dell'azienda.

Un altro aspetto critico, relativamente al binomio rigore-agilità, da trattare per le organizzazioni, è l'esito effettivo delle operazioni di previsione degli eventi futuri, fondate sui dati acquisiti in tempo reale, anche per questa ragione denominata *nowcasting*.

Se attraverso il monitoraggio continuativo in tempo reale dei processi si ottiene certamente una quantità superiore di dati, si moltiplicano di conseguenza anche i "falsi dati", secondo Nassim Nicholas Taleb, Professore di Gestione del Rischio dell'Università di New York.

Aumentando il numero di variabili osservate, le cui relazioni reciproche vengono calcolate dagli algoritmi di *analytics*, cresce anche la possibilità di incontrare delle correlazioni spurie, casi in cui due variabili risultano avere erroneamente un'elevata correlazione.

La capacità di calcolo e memoria offerta dalle tecnologie di Industria 4.0 deve essere opportunamente mediata per non trasformarsi da supporto al *decision making* ad ulteriore strumento di disturbo ed alterazione dell'informazione (Kovacs, 2018).

L'elevata complessità dei processi, che interessano le nuove organizzazioni, richiede un ridimensionamento del volume dei dati e la loro strutturazione, tramite l'applicazione di metodi che filtrino e selezionino le informazioni utili, per prendere decisioni relative alla pianificazione e schedulazione della produzione (Ding, 2018).

In alcune realtà manifatturiere, inoltre, la registrazione delle informazioni che riguardano il numero di pezzi lavorati, la qualità dei dati rilevati e il livello di *WIP (Work In Progress)* avviene ancora tramite fogli cartacei e schede.

Quando viene richiesta una riprogettazione del design, operatori macchina, ingegneri tecnici, *chief engineer* e supervisor dell'officina si incontrano per condividere le informazioni in loro possesso e, sulla base di queste, elaborare soluzioni idonee.

Queste discussioni, a causa dell'elevato numero di persone coinvolte e della mole di documenti da esaminare, durano nella maggioranza dei casi un'intera giornata lavorativa.

Intervenire sui processi per ottimizzarli, previa consultazione di questi archivi, comporta quindi un consistente consumo di tempo e risulta nell'obsolescenza dei dati interessati (Zheng *et al.*, 2018).

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

L'Industria 4.0 rientra nelle responsabilità delle politiche per l'innovazione, un ambito che interessa trasversalmente altre aree della politica, a livello regionale, nazionale ed europeo.

Per questo motivo il concetto stesso di politica per l'innovazione viene declinato in modo differente, a seconda di quanto venga compreso in profondità il significato di innovazione e in relazione agli obiettivi specifici che si vogliono raggiungere.

L'innovazione può essere concepita, nell'accezione più letterale, come progresso tecnologico, che interessa le imprese in qualità di singoli attori, o, in senso lato, come comprensiva di progetti finalizzati all'innovazione organizzativa per la crescita e l'eliminazione delle disuguaglianze sociali (Buhr and Stehnken, 2018).

Nel novembre del 2014 è stato lanciato il Piano di Investimenti per l'Europa, il *Junker Plan*, con l'obiettivo di invertire la tendenza europea a sottoinvestire in ricerca e sviluppo e favorire la ripresa economica in tutti gli Stati Membri.

Il piano si è rivelato di successo in quanto è stato recentemente superato l'obiettivo pianificato di 315 bilioni di Euro con un valore attuale dell'investimento pari a 335 bilioni, di cui due terzi derivano da risorse private, consentendo al Fondo Europeo per gli Investimenti Strategici (*EFSD*) di creare 1,4 milioni di posti di lavoro e provocare entro il 2020 un aumento del PIL europeo dell'1,3% (Commissione Europea News, 2018).

Se questi dati infondono certamente grande speranza per gli investimenti e le innovazioni future, anche ad opera delle PMI, si avvisa ancora una parziale mancanza di coesione ed uniformità nei programmi nazionali e regionali e risultano necessarie diverse misure per conferire massima priorità al tema (Buhr and Stehnken, 2018).

A tal fine la Commissione Europea ha già previsto nel prossimo periodo 2021-2027 di istituire la figura, fino a questo momento assente, del Consiglio europeo dell'innovazione (CEI), referente unico per portare dal laboratorio al mercato le più promettenti tecnologie ad alto potenziale e finanziare ed aiutare le start up e le imprese innovative a sviluppare le loro idee (Commissione Europea Comunicato Stampa, 2018).

Segue pertanto un'analisi del contributo europeo alla nascita e all'evoluzione di progetti inerenti alla digitalizzazione delle imprese nazionali e alla loro trasformazione in ottica 4.0, corredata da un rispettivo approfondimento relativo al contesto tedesco e a quello italiano, per puntualizzare l'esigenza di un approccio italiano al tema, in ragione delle notevoli differenze storiche e strutturali che emergono, considerando il modello tedesco come fonte di ispirazione, per la definizione di alcuni incentivi e misure, in particolare ai fini di una maggiore collaborazione tra ricerca e produzione.

3.1 Politiche europee per l'innovazione ed il coordinamento delle iniziative nazionali

Nell'aprile del 2016 la Commissione Europea ha riconosciuto come preconditione necessaria per l'innovazione digitale delle imprese l'implementazione di una strategia di mercato unico digitale, basata sulle iniziative nazionali di digitalizzazione dell'industria e complementare rispetto ad esse (Buhr and Stehnken, 2018).

Per sfruttare pienamente i benefici di un mercato unico digitale è essenziale che l'evoluzione digitale europea sia altamente competitiva e che le innovazioni digitali siano integrate in tutti i settori, affinché le imprese possano espandersi oltre il mercato interno dell'Unione Europea (UE) e cresca l'attrattività dell'Unione per gli investimenti su scala mondiale.

Si inserisce in questo contesto la *European Cloud Initiative*, la quale prevede lo sviluppo di un'infrastruttura cloud europea per la fornitura di servizi aperti (*open service*) e pienamente integrati di archiviazione, gestione, analisi e riutilizzo dei dati della ricerca, a livello transfrontaliero e interdisciplinare (*European Open Science Cloud*) (Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, 2016).

Le piattaforme online stimolano la crescita e l'innovazione nel quadro dell'economia digitale, creando nuove opportunità in particolare per le PMI.

L'82% delle PMI, che hanno partecipato ad un sondaggio di Eurobarometro, dichiara di servirsi di tali piattaforme per promuovere i propri prodotti e/o servizi e quasi la metà del campione intervistato utilizza i mercati online per la vendita (Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, 2017).

La crescente distribuzione delle catene del valore su tutto il territorio europeo comporta conseguentemente delle sfide che possono essere affrontate con profitto soltanto attraverso una risposta collettiva da parte dell'UE (Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, 2016).

Pertanto, la Commissione ha stabilito che due volte l'anno una tavola rotonda ad alto livello riunisca i rappresentanti di iniziative degli Stati membri, i protagonisti del settore industriale ed i sindacati delle imprese per sostenere un dialogo a livello di UE e ha previsto l'esistenza di un forum europeo annuale per la partecipazione di tutte le figure interessate dalla *digital supply chain* (Buhr and Stehnken, 2018).

La creazione nel 2004 di una piattaforma tecnologica a livello europeo, chiamata *ManuFuture Platform* (Figura 3.1), per la ricerca precompetitiva e lo sviluppo di nuove ed innovative tecnologie produttive nell'area europea (Directorate General For Internal Policies, 2016), aveva permesso di promuovere attività ed investimenti in *Research, Technology Development and Innovation (RTDI)* da parte di multipli attori, in vari settori e su diversi livelli (Sautter, 2016).

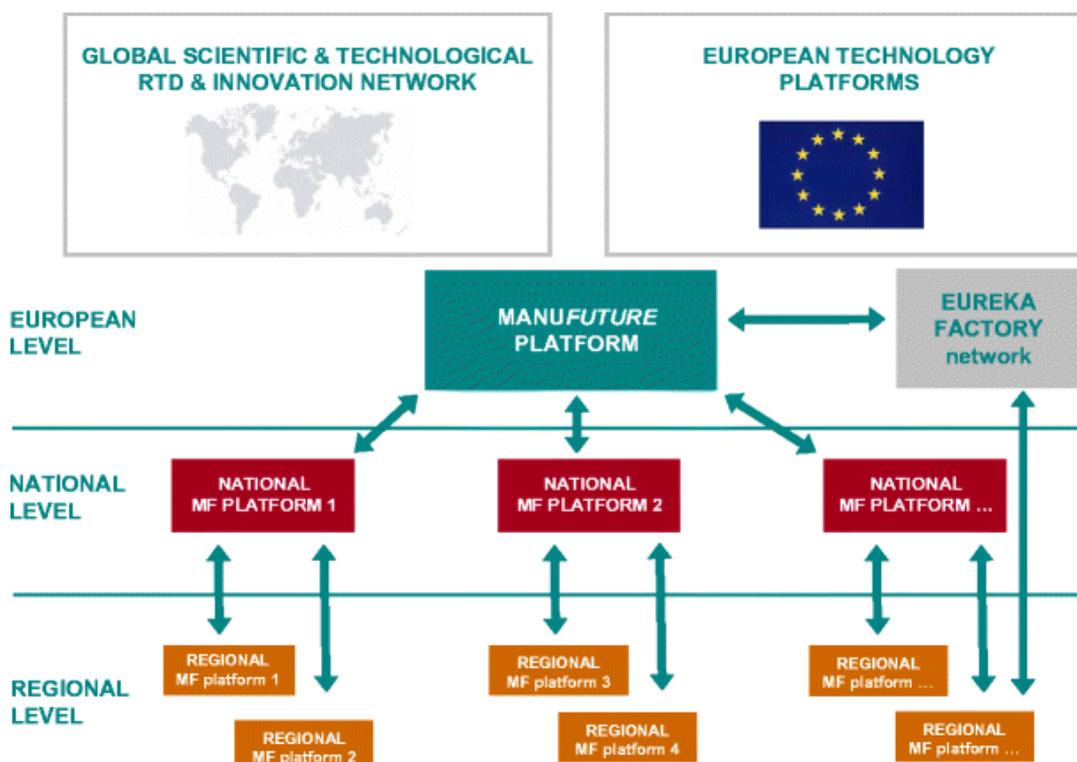


Figura 3.1: Approccio *multi-level* alla ricerca e innovazione della produzione europea (Fonte: Sautter, 2016).

Durante la crisi finanziaria ed economica del 2008, per supportare la *Public-Private Partnership* contrattuale per le *Factories del Futuro (cPPP FoF)*, nel contesto del piano di recupero economico europeo, e rappresentare la voce dei privati nella *PPP*, *ManuFuture* si occupò di istituire un gruppo di lavoro, la *European Factories of the Future Research Association (EFFRA)*, per sostenere la cooperazione tra le iniziative di ricerca nazionali, per es. attraverso la definizione di *roadmap* strategiche comuni su base multi-annuale.

La realizzazione di una produzione sostenibile ad alto valore aggiunto fu riconosciuta come un obiettivo perseguibile solo attraverso il coinvolgimento nelle industrie, nelle università e nei centri di ricerca di *stakeholder* provenienti dalle autorità pubbliche e dalle istituzioni finanziarie.

Tale approccio è noto con il nome di *Tripla Elica*, in quanto promuove l'interazione e l'interdipendenza di tre fattori fondamentali per i processi innovativi: le industrie, le accademie e la pubblica amministrazione (Sautter, 2016).

Un'esigenza, emersa in modo uniforme in tutti gli stati europei, riguarda la disponibilità di strutture in cui sperimentare e testare le innovazioni digitali prima di sostenere i cospicui investimenti richiesti; necessità che trova ascolto nell'ambito del programma multi-annuale *Orizzonte 2020*, attraverso lo stanziamento di 500 milioni di Euro per la realizzazione di *Digital Innovation Hub (DIH)* in tutta Europa, spazi in cui confluiscono eccellenze universitarie ed istituzioni pubbliche per la ricerca, facilitando l'accesso alle risorse finanziarie, in particolare per le PMI (Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, 2016).

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

Orizzonte 2020, programma di ricerca dell'UE lanciato nel 2014 (Figura 3.2), comprende una serie di interventi mirati alla re-industrializzazione dell'Europa, da completare entro il 2020, a cui sono stati destinati 77 bilioni di Euro tra finanziamento pubblico e privato, di cui 24.4 serviranno esclusivamente alla scoperta delle eccellenze in materia di ricerca presenti sul territorio e 17 bilioni consentiranno lo sviluppo delle innovazioni industriali e delle tecnologie chiave (Buhr and Stehnken, 2018).

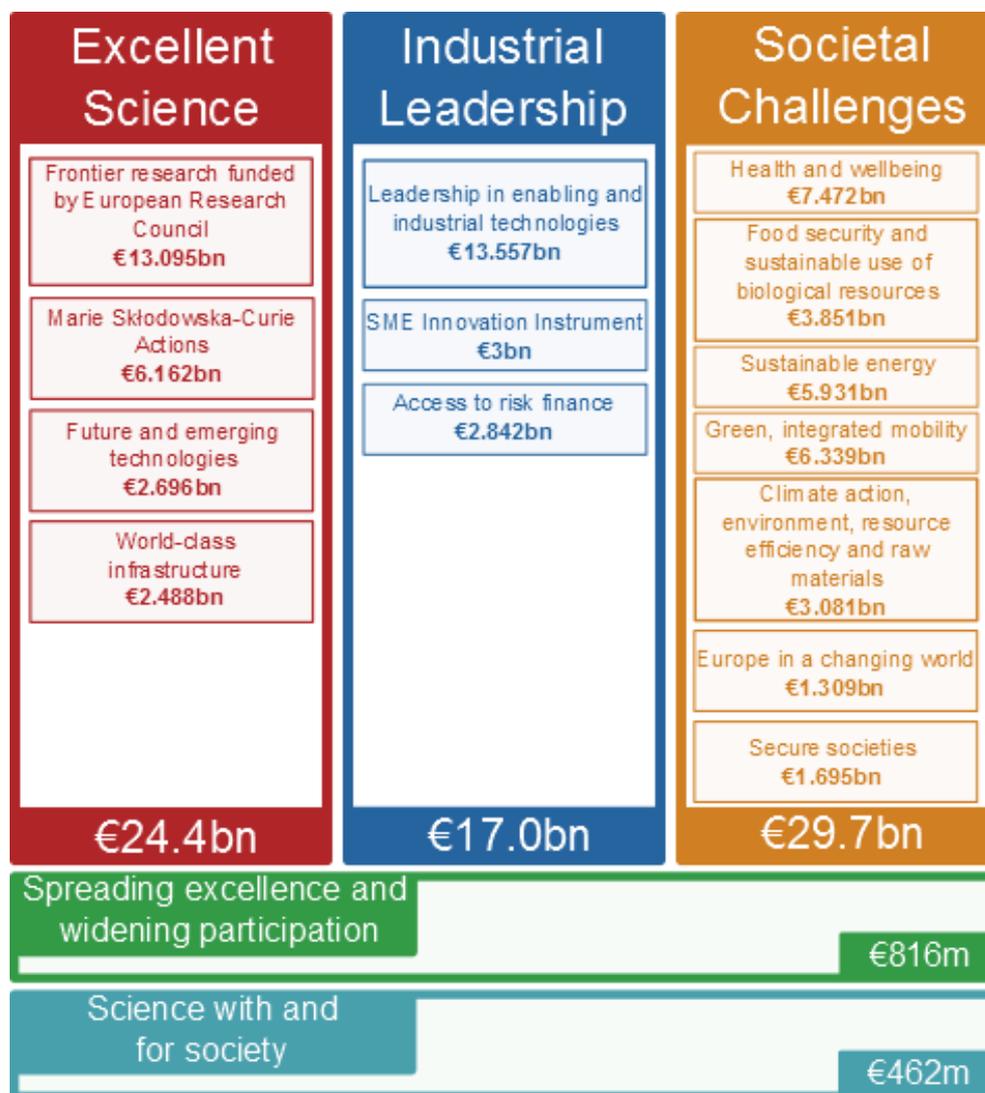


Figura 3.2: I tre pilastri del programma Orizzonte 2020 ed i relativi finanziamenti previsti [14].

Inoltre le *PPP*, da tempo gli strumenti principali per attuare le strategie industriali digitali a livello di UE, assicurano legami più stretti tra le attività di ricerca, sviluppo ed innovazione e gli enti normativi e governativi, ai fini del coordinamento di tutte le risorse finanziarie per ultimare i lavori avviati (Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, 2016), come è accaduto con l'accordo sulla fine delle tariffe di roaming e sulla portabilità dei contenuti nel territorio europeo e si sta attualmente verificando attraverso il piano d'azione sul 5G (Commissione Europea Comunicato Stampa, 2017).

Per preparare il futuro digitale dell'Europa, nel settembre del 2016 la Commissione Europea ha proposto una riforma delle norme comuni in materia di telecomunicazioni, la quale ha posto le basi per giungere nel marzo del 2018 ad un importante punto di incontro con il Parlamento Europeo ed il Consiglio, inerente gli investimenti in reti ad altissima capacità in tutta l'UE, comprese le zone remote e le aree rurali (Commissione Europea Comunicato Stampa, 2018). Allineare le *roadmap* per uno sviluppo coordinato della rete 5G in tutti gli Stati Membri, la cui introduzione commerciale su larga scala è prevista non oltre la fine del 2020, consentirà alle industrie una connessione dati superiore ai 10 Gigabit al secondo, con una latenza inferiore ai 5 millisecondi, in grado di gestire milioni di dispositivi connessi simultaneamente (Commissione Europea Strategia, 2018).

Con l'impiego di sistemi sempre più complessi nell'Industria 4.0, aumenta la probabilità che i singoli componenti costituenti possano essere soggetti a restrizioni commerciali nazionali o internazionali.

Le tecnologie crittografiche sono richieste dal cliente per preservare l'integrità delle comunicazioni attraverso il CPS, tuttavia in alcuni mercati emergenti, come la Cina, il loro utilizzo, la vendita, l'esportazione e l'importazione sono soggetti a licenza.

In Europa i prodotti contenenti crittografia sono classificati come *dual-use good*, per identificare tecnologie che potrebbero essere utilizzate per scopi pacifici e militari e, pertanto, è vietata la loro spedizione verso destinazioni non consentite (Kagermann *et al.*, 2013).

Un altro problema ancora oggetto di discussione nella nuova economia digitale è il ruolo assunto dalla piattaforme online, in grado da un lato di controllare l'accesso al mercato, creando vincoli alla libera concorrenza, ma costrette dall'altro a subire gli ostacoli degli operatori tradizionali.

I *big data* vengono strumentalizzati dalle imprese *hi-tech* per chiudere i mercati e bloccare l'innovazione che proviene da nuovi attori.

Recentemente quattro aziende dell'elettronica di consumo (Philips, Asus, Pioneer e Denon & Marantz) sono state multate dalla Commissione Europea per un totale di 111,2 milioni di Euro, al termine di un'indagine settoriale sul commercio elettronico durata 17 mesi, per aver imposto ai rivenditori online quali prezzi praticare per la vendita dei loro prodotti (Licata, 2018).

Secondo il consulente strategico Roland Berger, l'adozione di approcci pragmatici, relativamente ai problemi precedentemente illustrati, permetterebbe l'identificazione, anche in Europa, di campioni industriali, tali da collocarla su un piano competitivo rispetto ad America ed Asia (Directorate General For Internal Policies, 2016).

In altre regioni del mondo infatti, diversamente da quelle europee, le imprese globali connesse che emergono non vengono sottoposte a regolamentazione fino a quando non raggiungono una massa critica, essendo maggiormente inclini alla *regulation ex-post* (Bouée and Schalble, 2015).

Tuttavia, le politiche di antitrust permissivo consentirebbero alle grandi imprese di istituire dei monopoli ed imporre standard a loro esclusivo beneficio, risultando in netta discordanza con la linea strategica attualmente intrapresa dagli Stati Membri dell'UE, orientata all'agevolazione degli investimenti da parte di PMI e nuove entranti sul mercato (Directorate General For Internal Policies, 2016).

Appare quindi impossibile per le aziende native europee, in quanto vincolate dall'applicazione delle leggi antitrust nazionali, ottenere reali economie di scala, dal momento che la

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

realizzazione di grandi piattaforme viene loro proibita ex-ante, anziché mantenere sotto controllo ex-post i *cluster*, una volta formatisi (Bouée and Schalble, 2015).

Inoltre con l'ubiquità dei dati consentita dal paradigma di Industria 4.0, la loro relativa protezione ed il concetto di privacy diventano questioni di primaria importanza per imprese ed enti regolatori.

L'obiettivo ultimo in materia di protezione dei dati sussiste nella garanzia di riservatezza, nel caso in cui vengano trattati dati del consumatore o dei dipendenti, e di confidenzialità, qualora vengano elaborate informazioni inerenti al *know how* aziendale.

La sicurezza dei dati non è più soltanto il mezzo che tutela la privacy e la proprietà intellettuale, ma rappresenta lo strumento che assicura la continua funzionalità dei macchinari e garantisce alle imprese di operare in condizioni di stabilità.

A livello di UE esistono tre organismi competenti, a cui corrispondono tre diversi punti di vista, che si occupano di sicurezza informatica (Directorate General For Internal Policies, 2016).

La *European Union Agency for Network and Information Security (ENISA)* sostiene gli stati dell'UE e le imprese nella prevenzione, identificazione e gestione delle problematiche relative alla sicurezza, che interessano le reti e le informazioni trasmesse.

L'Ufficio di polizia europeo (*Europol*) è invece l'entità che applica la legge in materia di *cybersecurity*, affiancando gli Stati Membri nella lotta alla criminalità organizzata (ENISA and Europol Agreement, 2014).

Infine, l'iniziativa europea *Computer Emergency Response Team (CERT-EU)* prevede lo sviluppo, sia nel settore pubblico che privato, di organizzazioni disponibili H24, costituite da informatici esperti, incaricate di raccogliere le segnalazioni di incidenti informatici e potenziali vulnerabilità nei software, utilizzati dalla comunità di utenti, e provvedere alla loro soluzione.

Tutti i paesi europei hanno inoltre formulato delle strategie nazionali per la *cybersecurity* a partire dal 2011.

Tuttavia si riscontrano ancora notevoli differenze nell'identificazione dell'autorità competente nazionale, incaricata dell'esecuzione di tali strategie, nell'attribuzione dei ruoli e delle responsabilità alle diverse entità coinvolte in materia di sicurezza, negli obiettivi specifici stabiliti nei piani di attuazione, nell'estensione delle misure di risposta e recupero dei servizi a seguito di incidenti informatici, ed infine nelle risorse umane e finanziarie stanziare per raggiungere tali obiettivi (Spidalieri, 2018).

In Germania il Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie (BSI, Ufficio Federale per la Sicurezza Informatica) valuta i rischi derivanti dall'utilizzo delle *IT* ed elabora misure di sicurezza per prevenirli, attraverso il *testing* e l'analisi dei risultati per le tecnologie ed i sistemi informatici adottati.

A seconda dell'esito di questi esami, dirige anche le attività di sviluppo di soluzioni *IT* ottimali, a cura dei produttori delle tecnologie e delle aziende interessate (Directorate General For Internal Policies, 2016).

La nazione tedesca, più di altri Stati dell'Unione, sta intervenendo in modo rapido ed avanguardistico in termini di sicurezza e difesa, avendo recentemente annunciato la nascita di una nuova agenzia per la *cybersecurity* e la raccolta di 200 milioni di Euro per finanziare la ricerca e lo sviluppo di tecnologie innovative in questo ambito per i prossimi cinque anni.

La nuova agenzia, operativa entro la fine di quest'anno (2018), che nei suoi principi ed obiettivi fa riferimento al celebre esempio di successo offerto dalla Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) americana, si occuperà, sia per la difesa che per scopi offensivi e tanto per usi civili quanto militari, di identificare ed investire in tecnologie definite “cutting edge”, in quanto caratterizzate simultaneamente da un elevato potenziale e rendimento e da un equivalente rischio di fallimento.

Al contrario, l'Italia si trova ancora in uno stadio iniziale per quanto riguarda *la cyber readiness* ed il Governo italiano è chiamato a promuovere l'integrazione delle priorità di sicurezza nazionale all'interno della visione economica del paese, evitando la duplicazione di iniziative, che contribuisce ad inibire l'adozione di un meccanismo di coordinamento centralizzato per soddisfare i requisiti in materia di sicurezza e difesa nazionale (Spidalieri, 2018).

Tale diversità si riscontra naturalmente nell'implementazione dell'Industria 4.0 e nella costruzione di programmi dedicati.

La Germania, come Stati Uniti e Giappone, dalle origini del fenomeno 4.0, sostiene la necessità di agevolare uno stretto legame tra aziende e centri di ricerca, fornendo incentivi agli istituti che conducono i progetti più ambiziosi.

L'Italia, strutturalmente differente, in quanto caratterizzata da un tessuto industriale ricco di PMI, ha dovuto delineare la propria strada verso il digitale, occupandosi prima di supportare le realtà produttive medio-piccole, tramite la previsione di sgravi fiscali (Carpinella, 2017).

3.2 Il caso tedesco

Il governo tedesco ha fin dal 2006 riconosciuto le potenzialità dell'*Internet of Things and Services* nell'ambito della sua *High-Tech Strategy*, orientata al coordinamento interdipartimentale delle differenti iniziative di ricerca, in corso nell'area tedesca, per rafforzare la posizione competitiva della Germania attraverso l'innovazione tecnologica (Kagermann *et al.*, 2013).

Tra il 2009 ed il 2010, vennero pubblicati diversi studi, condotti da società di consulenza aziendale, redatti in seguito alla crisi finanziaria internazionale, con l'obiettivo di riscoprire il valore del settore industriale dopo una lunga fase di deindustrializzazione.

Essi riguardarono prevalentemente un'analisi del contesto competitivo, precedentemente dominato dai colossi industriali tedeschi, giapponesi e statunitensi.

I risultati di tali indagini e le direzioni strategiche identificate, nel *World Economic Forum (WEF)* del gennaio del 2011, influenzarono la nascita di un progetto, chiamato *the Future of Manufacturing* (Pfeiffer, 2017), per riconoscere i trend evolutivi dell'ecosistema produttivo globale, tramite la creazione di piattaforme per il dialogo informato tra leader industriali e politici.

Un grande contributo venne conferito dagli altri progetti inaugurati dal *WEF*, parallelamente attivi, in particolare per quanto riguarda i *feedback* offerti dal *Global Agenda Council on Advanced Manufacturing*, la più grande rete globale di volontari tra leader e pionieri industriali ed esperti provenienti dal governo, dalle organizzazioni internazionali e dalle accademie (tra i quali i rappresentanti aziendali di Volkswagen, Bosch e Daimler), per elaborare soluzioni

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

innovative alle questioni critiche globali e sostenere progetti, eventi e campagne (World Economic Forum, 2012).

Sempre nel gennaio del 2011 il gruppo Promotori della comunicazione della *Industry-Science Research Alliance* (FU), organizzato dal Ministero Federale dell'Educazione e della Ricerca (BMBF), lanciò il piano d'azione *High-Tech Strategy 2020*, le cui linee guida vennero presentate dal dott. Siegfried Dias e da Henning Kagermann in un rapporto al Governo, in occasione dell'*Industry-Science Research Alliance's Implementation Forum*, tenutosi a Berlino nell'ottobre del 2012 (Kagermann *et al.*, 2013).

Come conseguenza il Governo Federale portò alla luce una serie di programmi di ricerca tecnologica, tra cui "*Autonomics for Industry 4.0*", che venne delineato sulla base dei risultati di ricerca e sviluppo in ambito logistico e produttivo, precedentemente ottenuti nella prima versione del programma ("AUTONOMICs – autonomous and simulation-based systems for medium-sized businesses").

Il nuovo progetto ricevette un finanziamento di 40 milioni di Euro da parte del Ministero Federale per gli Affari Economici e l'Energia (BMW_i), al fine di promuovere la leadership tedesca nella produzione e fornitura di prodotti, processi e macchinari digitali (Buhr and Stehnken, 2018).

L'introduzione di *CPS* all'interno delle officine delle imprese tedesche avrebbe infatti favorito, allo stesso tempo, il potenziamento dell'industria manifatturiera tedesca, aumentando l'efficienza della produzione domestica, ed inedite opportunità per l'esportazione di tecnologie e prodotti, secondo una strategia, per questa ragione, definita duale.

Per raggiungere e preservare la posizione di prima fornitrice di infrastrutture 4.0, la Germania ha quindi dovuto adattare le *IT* esistenti agli specifici requisiti produttivi, per realizzare economie di scala ed elevata efficienza produttiva, investire in ricerca e formazione per le sue risorse ed indagare nuove modalità per la creazione del valore, fondate sulle tecnologie di Industria 4.0, abilitanti modelli di business innovativi.

Ai fini di espandere ulteriormente la propria leadership sul mercato, la Germania si è trovata, d'altro canto, costretta ad interrompere le relazioni con le succursali delle proprie imprese, dislocate oltre i confini del territorio nazionale.

Tale intervento ha sottoposto la nazione tedesca ad una notevole sfida, in quanto il predominio tedesco nel settore del manifatturiero è, in parte, anche imputabile alla compresenza di imprese su larga scala e PMI, ancora sprovviste del capitale umano necessario e caratterizzate da una scarsa familiarità con le tecnologie rappresentative del cambiamento (Kagermann *et al.*, 2013).

Di conseguenza il numero di iniziative per la ricerca e lo sviluppo di soluzioni tecnologiche, idonee allo scopo, crebbe ulteriormente ed ebbero origine e seguito anche programmi a livello regionale, sotto il coordinamento del Ministero Federale dell'Educazione e della Ricerca (BMBF).

Tra questi il più conosciuto è "Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe (it's OWL)" del 2012, che ha previsto la formazione di un *cluster* di eccellenze tecnologiche di modeste dimensioni, finanziato direttamente dalla regione (Buhr and Stehnken, 2018).

Le proposte di ricerca ed innovazione, emerse a livello nazionale e regionale, hanno trovato definitiva organicità all'interno della "Plattform Industrie 4.0" (Figura 3.3), nata nel 2013 dalla volontà di condividere le conoscenze e competenze presenti sul territorio, sostenuta dai gruppi

industriali Bitkom, VDMA e ZVEI, sotto il monitoraggio e la gestione del Ministro della Ricerca ed il Ministro dell'Economia (Buhr and Stehnen, 2018).

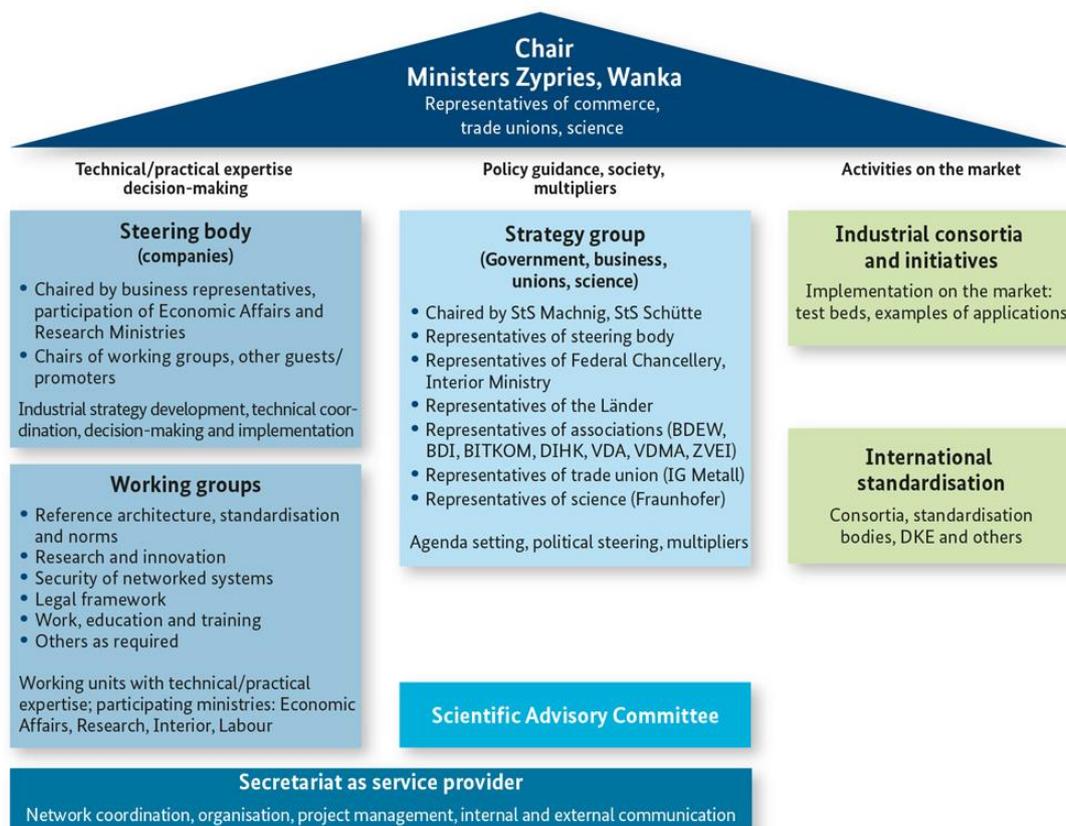


Figura 3.3: Struttura della "Plattform Industrie 4.0" [15].

La piattaforma, così definita, ambisce a garantire che l'Organo Direttivo (*Steering body*), responsabile dell'indirizzamento strategico della piattaforma e della pianificazione dei lavori, ed il Comitato Consultivo Scientifico (*Scientific Advisory Committee*) coinvolgano figure di spicco provenienti dal settore della produzione, dell'automazione e delle *IT*, assistenti legali e di gestione ed esperti di scienze sociali.

I Gruppi di Lavoro (*Working Groups*), in collaborazione con esperti di ricerca e comunità imprenditoriali selezionati, sono inoltre chiamati a delineare piani di ricerca e sviluppo conformi alle specifiche esigenze di ogni Gruppo.

Dall'esistenza di un unico Gruppo di Lavoro, rappresentato dal gruppo Promotori della comunicazione, si assiste ad una moltiplicazione di queste unità, per supportare in modo efficace le raccomandazioni per l'implementazione dell'iniziativa strategica di Industria 4.0, fino all'attuale numero di 6 Gruppi di Lavoro essenziali, strettamente focalizzati sui seguenti temi [16]:

- Standardizzazione ed architetture di riferimento, per consentire l'interoperabilità delle componenti dell'ecosistema digitale, garantire la concorrenza leale e ridurre il rischio dell'investimento, attraverso standard aperti.

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

- Scenari tecnologici ed applicativi, per restituire concretezza alle grandi idee innovative, che si susseguono molto velocemente e necessitano, pertanto, di essere monitorate e valutate in modo strutturato.
- Sicurezza informatica, per rafforzare l'affidabilità e la qualità delle comunicazioni attraverso la rete.
- *Framework* legale adatto a risolvere le ambiguità nei termini contrattuali e nei comportamenti competitivi, introdotti dall'ecosistema produttivo ibrido fisico-digitale.
- Nuove forme di lavoro e riprogettazione dei rispettivi modelli di impiego e di formazione.
- Modelli di business digitali, argomento di pertinenza dell'ultimo Gruppo (fondato nel 2018), per rispondere con la massima fedeltà e precisione alle variazioni nelle aspettative del cliente finale, attraverso la revisione dei modelli consolidati per la creazione del valore.

L'estensione della connessione internet a 15 bilioni di dispositivi nel 2015, destinata a raddoppiare entro il 2020, ha permesso, mediante l'analisi e combinazione della grande quantità di dati disponibili, di definire innovativi servizi (*smart services*), consistenti nella realizzazione di piattaforme condivise per sviluppatori, operatori ed utenti con diverse finalità, tra le quali, per es., la customizzazione del prodotto.

A tal proposito, il Ministero Federale per gli Affari Economici e l'Energia (BMW_i) ha concesso il proprio finanziamento ad una ventina di progetti, inerenti tali servizi innovativi, contestualmente al programma tecnologico "*Smart Services World – Internet-based Business Services*".

Nello specifico ogni progetto consiste nella realizzazione di un prototipo, basato su sistemi tecnologici connessi, attraverso i quali raccogliere dati, funzionali alla promozione di nuovi servizi tramite le stesse piattaforme o applicazioni ed altri spazi di mercato online.

Il grande vantaggio per gli sviluppatori di livello, risiede nell'immediato accesso al mercato per la costruzione di una base di clienti, al fine di preservare la competitività dei business di origine tedesca (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Public Relations Division, 2017).

Un anno dopo, ovvero nel novembre del 2016, il BMW_i ha annunciato un ulteriore sviluppo di questo programma, sotto il nome di "*Smart Services World II – new examples of applications for digital services and platforms*", per includere progetti pilota relativi all'attuazione di applicazioni digitali in aree rurali o comunità con un ridotto numero di abitanti, fino a quel momento scarsamente rappresentate.

Inoltre l'approfondita ricerca sul campo, ha permesso di individuare nuovi benefici, conseguibili mediante la progettazione e l'utilizzo di servizi digitali, in particolare per quanto riguarda il tema dell'occupazione e della gestione della limitatezza della competenze critiche per l'innovazione [17].

Il maturato interesse per le iniziative provenienti dalle realtà produttive più modeste ed il *focus* sulla corrispondenza tra obiettivi individuati e risorse tangibili e conoscenze disponibili per il

loro soddisfacimento ha definito, in modo ancor più netto, la personalità dell'approccio tedesco all'attuazione dell'Industria 4.0.

Con “*Mittelstand 4.0 – Digital Production and Work Processes*” la Germania ha deciso di dedicare un'attenzione particolare alle piccole medie imprese, connotate con il termine “mittelstand” nei paesi di lingua tedesca.

Tale programma di finanziamento nazionale supporta la digitalizzazione delle PMI tedesche contribuendo, prima di tutto, alla formazione di una coscienza aziendale, attraverso il quale costruire la consapevolezza della specifica condizione di partenza, per ogni impresa aderente all'iniziativa.

Mediante la definizione di piani personali per lo sviluppo digitale, le imprese ricevono assistenza nella selezione e realizzazione di misure, che rispondono ai loro obiettivi e sono plasmate sulle loro caratteristiche e peculiarità, ai fini di influenzare in modo positivo e duraturo le loro attività.

Il fulcro dell'iniziativa risiede nella costruzione di Centri di Competenza regionali per permettere alle aziende di valutare la convenienza delle soluzioni individuate e comprendere tutti gli aspetti interessati dalla loro implementazione, in particolare in materia di sicurezza.

La presenza di luoghi fisici dedicati allo studio di fattibilità dei progetti di digitalizzazione e per il *training* delle risorse che dovranno sostenerli, consente di facilitare l'apprendimento delle competenze, necessarie alla comprensione delle nuove pratiche e alla loro esecuzione nell'operatività quotidiana in piena autonomia.

Allo stato attuale sono presenti nell'intera Germania tredici Centri di Competenza (Figura 3.4), ma il numero è destinato progressivamente ad aumentare.

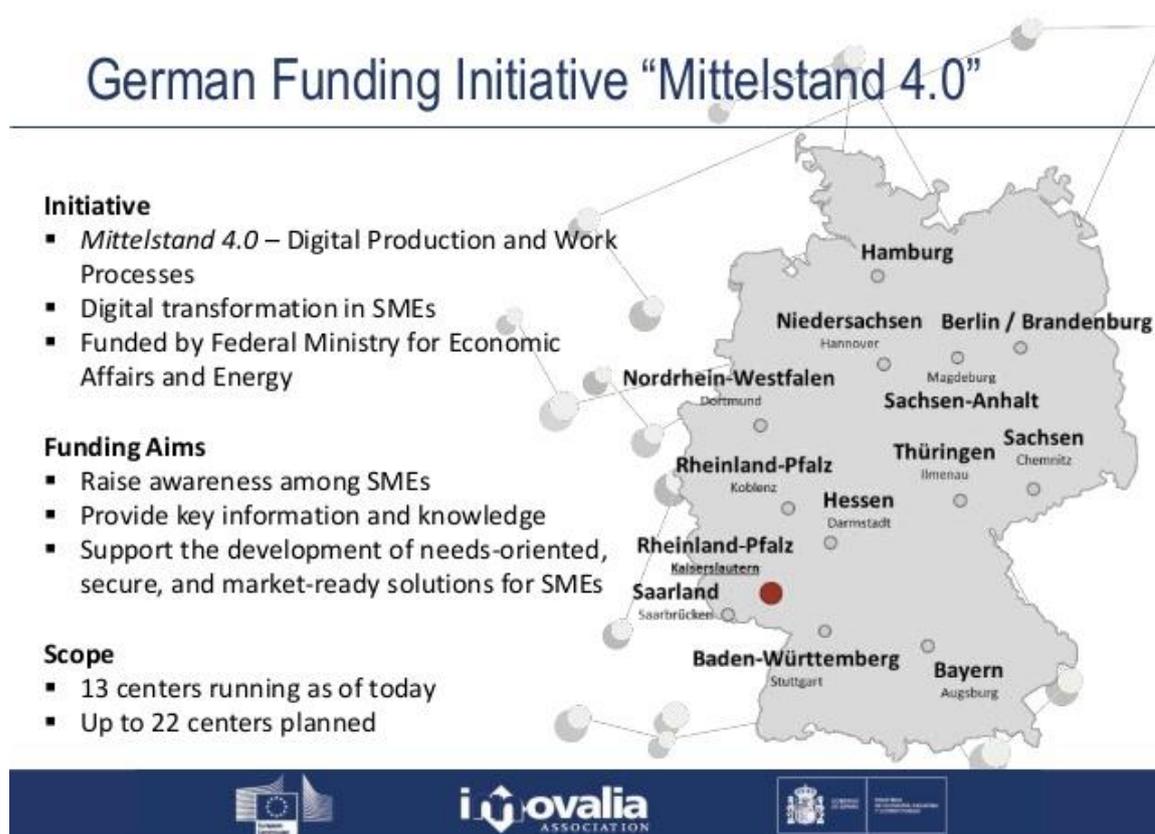


Figura 3.4: Centri di Competenza introdotti in Germania dall'iniziativa “Mittelstand 4.0” [18].

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

In aggiunta ad informazioni generali per la digitalizzazione delle imprese, ogni Centro di Competenza trasmette la propria esperienza in un preciso ambito: produzione intelligente, organizzazione dei posti di lavoro, sicurezza informatica ed implicazioni legali (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Public Relations Division, 2017).

Il Centro di Competenza con sede a Chemnitz, nella Germania mediorientale, si focalizza in particolare sui fornitori di infrastruttura industriale e per le industrie manifatturiere e dell'*automotive* ed i fornitori di servizi informatici e per la comunicazione (Müller and Hopf, 2017).

Tale considerazione rafforza la convinzione secondo la quale, per ottenere risultati ottimali dall'applicazione delle tecnologie di Industria 4.0, bisogna riconoscere l'importanza del legame con il territorio, in cui le competenze necessarie si sviluppano (Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Public Relations Division, 2017).

Dal 2013 fino al prossimo decennio, il Ministero Federale dell'Educazione e della Ricerca sta finanziando un progetto molto ambizioso, anch'esso con una sede fisica regionale ben identificata all'interno del campus dell'Università di Stuttgart: ARENA2036 [19].

Stuttgart è situata in una regione con una grande tradizione nell'ingegneria meccanica, in quanto in essa si trovano più di 350 imprese del settore, con un fatturato ed un'occupazione entrambi del 22% rispetto al totale delle aziende manifatturiere, e la sua università dispone del secondo dipartimento di ingegneria meccanica per grandezza in tutta la Germania (Fraunhofer IAO, 2015).

ARENA2036 è una piattaforma cooperativa attraverso il quale una trentina di membri di eccellenza, con prestigiose competenze in ambito produzione e *lightweight design*, collabora per radunare e tradurre nella pratica gli avanzamenti nella ricerca per la progettazione sostenibile dei veicoli del futuro, al fine di realizzare macchine dal design leggero e con inedite funzionalità integrate, prima del centocinquantesimo anniversario dell'automobile.

Portare tematiche ed esigenze legate al mondo dell'industria all'interno dell'università è una scelta che conferma nuovamente la visione di Industria 4.0 tedesca, orientata alla massima interconnessione tra *partner* industriali ed i migliori ricercatori scientifici, offerti dalla regione [19].

3.3 Il caso italiano

Diversamente dall'esempio tedesco, precedentemente analizzato, in Italia l'Industria 4.0 non giunge a completamento di un percorso coerente dalle storiche origini, ma è un fatto recente e dai confini ancora nebulosi.

Tuttavia sembrerebbe, almeno in potenza, che anche l'Italia avesse compreso la necessità di adottare una logica progettuale, nell'adeguamento delle industrie ai nuovi requisiti tecnologici e di mercato.

Nel 2006 l'allora Ministro dello Sviluppo Economico, Pierluigi Bersani, lanciò il Piano Industria 2015, che per ovvie ragioni non reca nel nome alcun riferimento all'Industria 4.0, ma contenutisticamente evidenzia aspetti similmente affrontati, in quei tempi, da altre nazioni europee, compresa la Germania.

Nell'ambito del piano, venivano previsti cinque progetti di innovazione, focalizzati su altrettante aree e settori strategici per il paese, con a capo i rappresentanti di grandi aziende.

La crisi economica, unita al cambiamento del Governo, privarono l'Italia della stabilità e continuità necessaria per favorire l'attuazione delle misure previste, posticipando notevolmente il suo ingresso tra le nazione europee ad implementare soluzioni di Industria 4.0.

L'Italia approda quindi nel contesto della quarta rivoluzione industriale con un sistema produttivo piuttosto frammentato, composto da un 20% di aziende in crescita, con elevati indici di produttività, alti livelli di innovazione e forte proiezione sui mercati internazionali ed una quota equivalente di aziende in stato di arretratezza.

Stefano Firpo, Direttore Generale della Politica industriale del Ministero dello Sviluppo Economico (MiSE), fu il primo rappresentante di un'istituzione ad utilizzare il termine Industria 4.0 in una sua pubblicazione, per descrivere il quadro in cui valutare il posizionamento italiano, al fine di motivare la nascita di iniziative, per l'inserimento delle PMI in difficoltà all'interno delle catene del valore internazionali (AmCham Italy, 2018).

Un primo robusto contributo al dibattito sull'Industria 4.0 fu però concesso dall'indagine conoscitiva avviata nel febbraio del 2016 dalla Commissione attività produttive, commercio e turismo della Camera dei Deputati, con l'obiettivo di delineare chiaramente una strategia italiana per l'Industria 4.0, «attraverso una migliore definizione del quadro normativo necessario a promuoverne la realizzazione».

Nonostante i risultati di questa iniziativa non siano confluiti nella realizzazione di un effettivo documento programmatico, essi hanno posto le basi per la predisposizione del "Piano nazionale Industria 4.0", presentato pubblicamente a Milano il 21 settembre 2016, dal Ministro per l'economia e lo sviluppo Carlo Calenda e dal Presidente del Consiglio Matteo Renzi (Tiraboschi and Seghezzi, 2016).

Il piano include una serie di interventi nel triennio 2017-2020 e si articola su alcuni pilastri, dagli incentivi fiscali relativi agli investimenti in tecnologia 4.0, confluiti nella misure per la legge di bilancio per il 2017, fino all'istruzione per la creazione di competenze sia di livello universitario sia tecnico professionale, per accompagnare e gestire la digitalizzazione nelle aziende (AmCham Italy, 2018).

Le previsioni definite dalla manovra di bilancio non si discostano dalla forma collaudata in Italia della norma-incentivo, supportando le imprese che investono in beni strumentali nuovi e

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

beni materiali ed immateriali, funzionali alla trasformazione tecnologica e digitale dei processi produttivi, tramite l'applicazione di misure di super ammortamento e di iper ammortamento (Tiraboschi and Seghezzi, 2016).

Il super ammortamento, meno restrittivo ed al contempo redditizio, prevede per imprenditori, professionisti ed esercenti di arti un maggiore costo di acquisizione del 40%, diventato del 30% nel 2018, sulle quote di ammortamento per beni strumentali nuovi e veicoli utilizzati come beni strumentali nell'attività d'impresa.

Tale provvedimento non è stato prorogato dalla nuova legge di bilancio per il 2019 (Losito, 2018).

L'iper ammortamento invece consente a qualsiasi soggetto titolare di reddito d'impresa, comprese le imprese individuali assoggettate all'Istituto per la Ricostruzione Industriale (IRI), con sede fiscale in Italia, e le organizzazioni di imprese residenti all'estero, di beneficiare di una maggiorazione del 150% sulle quote di ammortamento [20] per l'acquisto di (Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A):

- Beni strumentali, il cui funzionamento è controllato da sistemi computerizzati o gestito tramite opportuni sensori e azionamenti, tali da abilitare la trasformazione in chiave 4.0.
- Sistemi per l'assicurazione della qualità e della sostenibilità.
- Dispositivi per l'interazione uomo macchina e per il miglioramento dell'ergonomia e della sicurezza del posto di lavoro in logica 4.0.

Chi ha già usufruito dell'iper ammortamento, nel caso di acquisto di beni immateriali (software, sistemi e *system integration*, piattaforme e applicazioni) non strettamente necessari al funzionamento delle macchine, è anche interessato da una maggiorazione del 40% per il loro acquisto (Losito, 2018), mentre nel caso in cui il software sia integrato nel bene strumentale acquistato, la distinzione tra bene materiale e immateriale viene meno ed il soggetto ha diritto all'iper ammortamento al 250% [20].

La gamma di beni materiali ed immateriali, elencati rispettivamente nel Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A e B, riconducibili all'iper ammortamento, conferma la volontà delle istituzioni, a causa probabilmente del fallimento delle logiche progettuali seguite nel precedente Piano Industria 2015, di intervenire adottando un approccio orizzontale ed in nome della neutralità tecnologica, ovvero restituendo alle imprese la facoltà di scegliere quali tecnologie privilegiare, a seconda della direzione in cui vogliono realizzare i loro investimenti (AmCham Italy, 2018).

Una ricerca, condotta dall'Osservatorio del Politecnico di Milano, su un campione di 240 imprese, ha evidenziato come soltanto il 16% dei soggetti intervistati non sia a conoscenza delle misure previste dal piano (Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, 2017).

Ciò nonostante, nella tavola rotonda, promossa da PwC, riunitasi a Milano nell'aprile del 2017, a cui hanno preso parte anche rappresentanti di importanti imprese con sede in Italia, nella discussione delle principali criticità incontrate dalle aziende, relativamente alla comprensione della normativa, un 48% dei partecipanti ha riscontrato notevoli difficoltà nella identificazione

delle caratteristiche che i beni acquistati devono possedere, per poter beneficiare degli incentivi fiscali (Bacis, 2017).

Per questo motivo dal report realizzato dall'Osservatorio di Milano emerge, infatti, come più della metà delle aziende, rappresentative del contesto italiano, abbia fatto ricorso al super ammortamento al 140%, mentre la percentuale si riduca al 36% per quanto riguarda l'iper ammortamento, caratterizzato da un numero maggiore di vincoli e limitazioni sulle tecnologie promosse dall'incentivo.

Inoltre, rispettivamente il 73% ed il 61% delle imprese, che hanno dichiarato di conoscere il piano, hanno investito, nel primo anno della sua attuazione, in beni strumentali e beni immateriali, ai quali è associata una descrizione più dettagliata (negli allegati sopra menzionati) relativamente alle caratteristiche che devono possedere per renderli assimilabili o integrabili a sistemi cyberfisici, rispetto all'acquisto di dispositivi di *Advanced HMI*, soluzioni di ergonomia e sicurezza e di sistemi per l'assicurazione della qualità-sostenibilità, che hanno incontrato l'interesse di una percentuale inferiore di aderenti all'iniziativa (Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, 2017).

Nel 2018, Accenture ha intervistato 90 dirigenti di aziende italiane leader (50 da PMI e 40 da grandi aziende) selezionate da 22 settori manifatturieri e produttivi e più del 30% dei rispondenti ha dichiarato di avvertire un ostacolo all'innovazione con il digitale nell'elevato costo dell'obsolescenza tecnologica (Morchio *et al.*, 2018).

Questo dato rappresenta una conferma della ancora scarsa propensione ad investire in sistemi per lo sviluppo sostenibile.

Il mercato 4.0 in Italia appare infatti dominato da progetti di connettività ed acquisizione dati, destinando un 63% del mercato totale, equivalente ad 1 miliardo di Euro, alle applicazioni di *IIoT* ed il 20% all'area dell'*Industrial Analytics*.

Per quanto riguarda il Cloud, l'utilizzo di piattaforme in ambito *supply chain* risulta ancora marginale, nonostante esse si prestino particolarmente alla gestione di applicazioni distribuite con un forte contenuto collaborativo, ed i progetti relativi all'introduzione di tecnologie *HMI* (*wearable*, realtà aumentata e virtuale) vengono percepiti come poco maturi dalle imprese, che privilegiano per questo motivo altre soluzioni (Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, 2017).

La formulazione originaria del Piano Industria 4.0, alla luce di queste riflessioni, è condizionata da una vecchia idea di *supply chain* che, seppur articolata su scala globale, viene ridotta ad un insieme di fabbriche, macchine e tecnologie.

Il piano nazionale del governo italiano, così come inizialmente elaborato, mancava pertanto di una presa di coscienza del necessario superamento dell'autosufficienza della azienda, attraverso molteplici relazioni orizzontali e verticali, formali ed informali, che richiedono nuove ed eterogenee competenze da integrare in distretti e piattaforme della conoscenza, dove ha sempre meno peso il concetto di proprietà del capitale, ma cresce il valore della condivisione di oggetti ed informazioni (Tiraboschi and Seghezzi, 2016).

Tale consapevolezza acquisita successivamente, si è tradotta, in occasione del primo bilancio del Piano Industria 4.0 da parte del Governo nel settembre del 2017, in un'evoluzione del programma, rappresentata dalla nuova denominazione Piano Nazionale Impresa 4.0 (AmCham Italy, 2018).

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

Il concetto di Impresa 4.0 nasce, infatti, dalle considerazioni effettuate in seguito all'analisi dell'accoglimento del piano presso le diverse tipologie di imprese (Figura 3.5).



Fonte: elaborazioni CSC su dati Istat-Indagine ICT.

Figura 3.5: Analisi del successo degli incentivi fiscali, previsti dal Piano Industria 4.0, nelle diverse imprese (Fonte: Confindustria Centro Studi, 2018).

Le elaborazioni del Centro Studi Confindustria (CSC), a partire dalle ultime rilevazioni Istat sull'adozione delle tecnologie *ICT* da parte delle imprese con più di 10 addetti, indicano una forte eterogeneità dei sistemi industriali italiani.

Con il termine digitali incompiuti si connotano quelle imprese caratterizzate solo dalla presenza di software *ICT* per la raccolta dei dati (assenti presso le imprese definite analogiche), mentre risultano sprovviste di competenze umane specialistiche in ambito *ICT* e prive di esperienza pregressa in investimenti tecnologici, rilevanti per la trasformazione in chiave 4.0.

Dal momento che l'aggregazione di queste categorie costituisce circa l'83% della totalità delle imprese manifatturiere italiane (Confindustria Centro Studi, 2018), è stata ritenuta di primaria necessità, all'interno del disegno di legge, l'introduzione di misure idonee allo sviluppo di capitale umano adeguato e alla formazione specifica per l'Industria 4.0 (AmCham Italy, 2018). Dal 2017 la Nuova Sabatini è infatti un incentivo, cumulabile con i benefici offerti dall'iperammortamento, destinato in particolare alle micro e PMI presenti sul territorio nazionale, che richiedono finanziamenti bancari per investimenti in nuovi beni strumentali, macchinari, impianti, attrezzature di fabbrica a uso produttivo e tecnologie digitali (hardware e software). Esso garantisce un contributo, a parziale copertura degli interessi pagati dall'impresa su finanziamenti bancari di importo compreso tra 20.000 e 2.000.000 di Euro, concessi da istituti bancari convenzionati con il MiSE, maggiorato del 30% per investimenti in tecnologie di Industria 4.0 [20].

Inoltre dal 2018 una quota specifica del fondo è stata destinata all'acquisto di tecnologie quali *Big Data*, Cloud, banda ultralarga, *cybersecurity* e robotica avanzata, per concretizzare le possibilità di investimento in queste applicazioni, ancora scarsamente diffuse presso le imprese manifatturiere italiane (AmCham Italy, 2018).

Per sostenere le imprese innovative in tutte le fasi del loro ciclo di vita e diffondere una nuova cultura imprenditoriale votata alla collaborazione, all'innovazione e all'internazionalizzazione,

il piano ha inoltre previsto per start up e PMI innovative, che investono in capitale di rischio, la detrazione IRPEF o la deduzione dell'imponibile IRES pari al 30% e ha disposto un fondo di garanzia fino all'80% dell'investimento, a supporto delle imprese e dei professionisti che hanno difficoltà ad accedere al credito bancario [20].

L'iper ammortamento sembrerebbe invece essere destinato ad un drastico depotenziamento a partire dal 2019, applicando la maggiorazione con diverse aliquote a seconda della misura degli investimenti.

Tuttavia, tale incentivo è stato revisionato per motivare l'acquisto di soluzioni 4.0, con cui le imprese italiane dimostrano una minore confidenza, proponendo l'inclusione, nell'elenco dei beni immateriali contemplati dall'agevolazione, di (Losito, 2018):

- Sistemi di gestione della *supply chain* per il *drop-shipping*, ovvero la vendita di prodotti al cliente finale, senza possederli materialmente nel proprio magazzino.
- Software e servizi digitali per la fruizione immersiva, interattiva e partecipativa, tramite ricostruzioni tridimensionali e applicazioni di realtà aumentata.
- Piattaforme per il coordinamento della logistica nelle comunicazioni intra-fabbrica e fabbrica-campo, mediante integrazione telematica dei dispositivi sul campo e dei *device* mobili.

In aggiunta al credito di imposta su spese incrementali in ricerca e sviluppo del 50%, riconosciuto fino a un massimo annuale di 20 milioni di Euro per beneficiario [20], sul quale è attualmente in corso uno studio per valutare la possibilità, per i soggetti di minori dimensioni, di una determinazione del credito d'imposta in considerazione dell'intera spesa sostenuta nel periodo di riferimento, è stato previsto un nuovo credito d'imposta, prettamente per la formazione 4.0.

Si tratta di un bonus pari al 40% del costo del personale impiegato in attività di formazione, ma solo in settori specifici legati all'Industria 4.0, escludendo le spese sostenute per la formazione ordinaria del personale, in conformità alle norme vigenti in materia di salute, sicurezza e protezione dell'ambiente (AmCham Italy, 2018).

Per lo sviluppo delle competenze relative alle nuove tecnologie e ai processi innovativi, il piano nazionale per la diffusione del 4.0 ha identificato infine una terza direzione per il proprio intervento, oltre alla previsione di sgravi fiscali ed incentivi alle PMI: l'interconnessione di ministeri competenti, rappresentanti dei governi regionali, principali università e centri di ricerca e sindacati ed organizzazioni imprenditoriali.

Attraverso gli Hub dell'innovazione digitale (*DIH*), costituiti da Confindustria e Rete Imprese Italia (composta da CNA, Confartigianato, Confesercenti, Confcommercio) con una distribuzione piuttosto omogenea in tutta la penisola (Figura 3.6), istituzioni pubbliche, imprese, investitori e centri di ricerca vengono messi in contatto per sostenere e facilitare i piani di investimento, con l'obiettivo generale di aumentare il contributo della manifattura dal 15 al 20% del PIL (Lasinio *et al.*, 2018).

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa



Figura 3.6: Mappa degli Hub dell'innovazione digitale e dei Centri di Competenza italiani (Fonte: Pepe, 2018).

Tali *DIH* sono caratterizzati da un dimensione regionale o interregionale e per la loro realizzazione non sono contemplati finanziamenti pubblici nazionali; al contrario, è ritenuta fondamentale la partecipazione di soggetti istituzionali, quali enti locali e banche, *venture capitalist* e fondazioni, in qualità di potenziali finanziatori dei progetti.

Nel giugno del 2018 è stato inoltre istituito il “Coordinamento Nazionale” dei *DIH*, composto da referenti politici e tecnici, con l’obiettivo di creare una vera e propria rete dell’innovazione e del trasferimento tecnologico.

Nello stesso mese è stato predisposto un accordo tra la rete di *DIH* e Confindustria, in virtù del quale quest’ultima acquisisce la rappresentanza della rete nelle sedi istituzionali e nei confronti dei diversi interlocutori pubblici e privati, mentre i *DIH* si impegnano ad assicurare la reciproca collaborazione e lo scambio, all’interno del *network* nazionale, di conoscenze e competenze sviluppate a livello regionale.

Oltre ad aiutare le imprese nell’individuazione delle tecnologie di Industria 4.0 più adeguate ai loro obiettivi, i *DIH* dovranno promuovere azioni di divulgazione ed informazione sul paradigma di Industria 4.0 e favorire la condivisione di *best practice* ed esempi di

digitalizzazione delle imprese con successo, organizzati per settore, tecnologia e modello di business (Pepe, 2018).

La seconda piattaforma è quella dei Centri di competenza e innovazione (CC) in cui confluiscono alcune delle principali università italiane (i Politecnici di Torino e Milano, le facoltà di ingegneria di Napoli e Bari, la Scuola Normale e la Scuola Sant'Anna di Pisa, i poli universitari del Veneto e dell'Emilia Romagna) e le imprese del territorio, con l'obiettivo di fornire formazione e promuovere la ricerca industriale e lo sviluppo sperimentale (Lasinio *et al.*, 2018).

I CC costituiscono la spina dorsale di conoscenze e competenze qualificate rispetto ad alcune dimensioni essenziali dell'Industria 4.0: robotica, *additive manufacturing*, realtà aumentata, *Internet of Things*, cloud, *big data e analytics*, simulazione e *cybersecurity*.

Per quanto riguarda i Politecnici, la sede di Milano dovrebbe aiutare le aziende ad integrare, in particolare, l'uso di robotica, *additive manufacturing*, *IoT*, *big data* e sensoristica all'interno delle proprie procedure operative ed organizzative.

Il Politecnico di Torino dovrebbe invece mettere a disposizione delle aziende le sue competenze in tecnologie quali *robotica*, *big data* e *IoT* e relativa applicazione nei settori aerospaziale, dell'aeronautica e dell'*automotive* (Pepe, 2018).

Infine i *Digital Business Point* o Punti Impresa Digitale sono strutture, localizzate presso le Camere di Commercio, per informare ed assistere le imprese, coinvolte nei processi di digitalizzazione, fornendo loro il supporto di risorse professionali, materiali, come locali ed attrezzature, ed immateriali, quali contenuti multimediali, banche dati e *library* informative [21].

Il progetto prevede la diffusione delle conoscenze di base sulle tecnologie di Industria 4.0, la mappatura della maturità digitale delle imprese e l'assistenza durante la trasformazione digitale attraverso servizi di *assessment e mentoring*, corsi di formazione su competenze centrali nel settore digitale ed orientamento verso strutture più specialistiche come i *Digital Innovation Hub* e i *Competence Center*.

Le Camere di Commercio hanno anche previsto appositi strumenti per il sostegno economico alle iniziative di digitalizzazione in ottica 4.0, tramite l'erogazione di voucher, attività al quale è destinato circa il 40% dei 116 milioni di Euro messi in campo dal sistema camerale, in seguito all'attivazione incrementale delle risorse per la realizzazione del progetto (Ferro, 2018).

L'Osservatorio del Politecnico di Milano, in una ricerca condotta nel 2017 su un campione di 245 PMI innovative, ha tuttavia evidenziato come l'Italia, nonostante ospiti circa il 30% delle start up censite nel Vecchio Continente, conceda alle realtà imprenditoriali emergenti finanziamenti al di sotto della media continentale e pari ad un terzo degli incentivi forniti oltreoceano.

I fattori economico-sociali del contesto italiano rendono difficile la crescita e lo sviluppo delle idee innovative, che risultano però all'altezza delle corrispettive proposte europee ed americane.

Dall'indagine effettuata su scala globale si evince come circa la metà delle start up considerate offra soluzioni "Cloud" e "Analytics", pertanto è ragionevole supporre che, tramite un maggiore supporto da parte delle istituzioni pubbliche e private, investire in queste realtà possa elevare il grado di familiarità del settore industriale italiano con tecnologie di Industria 4.0, ad oggi ancora

3. Iniziative ed evoluzioni dell'Industria 4.0 in Europa

parzialmente inesplorate (Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, 2017).

All'origine del piano italiano per l'Industria 4.0 manca inoltre un aggiornamento del quadro normativo in materia di occupazione e formazione delle risorse, conforme al processo di ristrutturazione delle competenze e di rivoluzione d'impresa attualmente in corso.

Il fenomeno della riconversione del lavoro, conseguente il mutamento di esigenze e requisiti, insito nella quarta rivoluzione industriale, richiederebbe infatti l'adozione di politiche attive di ricollocazione, che costituiscono invece un punto ancora irrisolto delle riforme del lavoro italiane per quanto riguarda la loro effettiva applicabilità (Tiraboschi and Seghezzi, 2016).

I centri per l'impiego del nostro Paese non riescono a far fronte alle necessità di un mercato del lavoro instabile e gli strumenti previsti, come l'assegno di collocamento, prima dell'erogazione abbisognerebbero di un'analisi precisa sia del possibile fruitore sia del mercato del lavoro.

In Italia si registra un forte sbilanciamento verso l'utilizzo di politiche passive dell'occupazione (un 74% del totale rispetto al 58% della Germania), sostegni per i disoccupati che non prevedono né un'attivazione dell'offerta né uno stimolo della domanda, limitandosi a fornire sussidi a chi risulta privo di un impiego (Sarcina, 2018).

Il sempre più marcato disallineamento tra domanda ed offerta di lavoro richiede poi necessariamente un intervento a monte.

L'implementazione del Piano nazionale scuola digitale, lo sviluppo di progetti di alternanza scuola-lavoro focalizzati sull'Industria 4.0 e l'investimento di risorse pubbliche sull'incremento del numero di dottorati di ricerca sull'Industria 4.0 rappresentano solo alcune delle soluzioni possibili, ottenibili da una completa revisione del sistema educativo e di formazione professionale nazionale, al fine di instaurare un contatto diretto tra i centri di ricerca e d'istruzione ed i contesti produttivi (Tiraboschi and Seghezzi, 2016).

4. Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0

Lo studio della corrispondenza tra i metodi di pianificazione e controllo adottati e le caratteristiche dell'ambiente in cui tali pianificazione e controllo avvengono è da tempo uno strumento valido per la delineazione di piani strategici e procedure operative di successo (Jonsson and Mattsson, 2003).

Il *Material Requirements Planning (MRP)* e il sistema Kanban, due dei metodi sopracitati a cui è possibile fare riferimento, rispondono a due logiche per la pianificazione ed il controllo della produzione drasticamente differenti (Spenhoff *et al.*, 2014).

Il sistema Kanban, in cui ogni prodotto o componente è definito da un cartellino, che indica da dove esso provenga e la sua destinazione, segue una logica pull, in base alla quale viene autorizzata la produzione a monte esclusivamente per le tipologie e le quantità richieste a valle. Un processo che si articola in questo modo è, per esempio, pienamente sostenibile solo nel caso di una produzione di massa ripetitiva, viceversa in ambienti favorevoli alla customizzazione del prodotto, da parte del cliente, possono trovare applicazione metodi di pianificazione dei materiali basati sugli ordini (Jonsson and Mattsson, 2003), come l'*MRP*.

In seguito all'estensione globale delle *supply chain* durante la quarta rivoluzione industriale e alla diffusione di prospettive per una maggiore flessibilità ed agilità, la valutazione dell'impatto delle variabili ambientali sull'ottimizzazione dei processi aziendali è sempre più rilevante.

Per comprendere come il paradigma di Industria 4.0 venga effettivamente interpretato all'interno delle aziende che lo integrano nei loro processi è infatti necessario analizzare le caratteristiche della logistica produttiva aziendale, comprensiva della pianificazione, del controllo e della configurazione del flusso di materiali ed informazioni (Strandhagen *et al.*, 2017).

A titolo esplicativo, aziende che presentano un basso grado di ripetitività della produzione associano una probabilità inferiore alla realizzabilità di progetti in ottica 4.0, dal momento che le proprietà dell'ambiente produttivo, che provocano un aumento della complessità della logistica in produzione, interferiscono in termini di applicabilità delle tecnologie di Industria 4.0, riducendo le integrazioni con successo di queste soluzioni (Strandhagen *et al.*, 2017).

L'implementazione di tecnologie quali l'*Automatic Identification (Auto ID)*, per il monitoraggio ed il controllo in tempo reale dei prodotti sulla linea e fuori dal perimetro aziendale, è soggetta infatti ad alcuni requisiti, tra i quali l'adozione di metodi di controllo della produzione guidati da prodotti intelligenti, rappresentazioni fisiche che possiedono un'unica identificazione, capaci di comunicare in modo efficace con l'ambiente circostante ed in grado di archiviare dati in autonomia e prendere decisioni in modo indipendente (McFarlane *et al.*, 2002).

Connotare in modo univoco numerose varianti per uno stesso prodotto è un'operazione molto complessa e la stessa varietà di prodotto può pregiudicare la fattibilità di tali soluzioni per l'identificazione automatica, una tra le applicazioni principali dell'*IoT* (Strandhagen *et al.*, 2017).

In questo capitolo si realizza la volontà di riconoscere le sostanziali variabili, contestuali all'ambiente produttivo, che impattano sull'efficacia delle attuali soluzioni abilitanti l'Industria 4.0, cercando un effettivo riscontro di quanto emerso dalla letteratura sul tema, analizzando alcuni casi concreti in cui il contesto ha rappresentato un limite per la trasformazione delle imprese ed organizzazioni nell'ultimo decennio e, viceversa, ha offerto opportunità per l'innovazione e lo sviluppo di nuove competenze.

4.1 Le variabili dell'ambiente produttivo

Un'indagine condotta da Jan Olhager e Erik Selldin, dell'Università di Linköping in Svezia, su un campione di 128 impianti produttivi, ha evidenziato in particolare l'effetto provocato da alcune variabili del prodotto sugli approcci per la pianificazione ed il controllo adoperati a diversi livelli gerarchici.

La flessibilità dei volumi riveste un ruolo significativo per quanto concerne le performance realizzate in termini di vendite e pianificazione operativa, mentre la capacità di fornire un *mix* di prodotti interessa maggiormente il *master scheduling*, strumento per la pianificazione di dettaglio che monitora il risultato del processo produttivo e lo confronta con le rispettive richieste del cliente (Olhager and Selldin, 2007).

Tradizionalmente le variabili, definite critiche per la pianificazione ed il controllo dei flussi produttivi e gestionali, possono essere classificate in tre categorie, a seconda della loro relazione con il prodotto, la domanda o il processo di fabbricazione (Jonsson and Mattsson, 2003).

Mantenendo questa suddivisione sono analizzate in modo più approfondito nei sottoparagrafi che seguono.

4.1.1 Le caratteristiche del prodotto

La sopracitata capacità di fornire un *mix* di prodotti o varietà di prodotto appartiene alla classe relativa alle caratteristiche del prodotto, in cui si inseriscono anche la complessità della *bill of material (BOM)*, rappresentata dal numero di livelli in cui la struttura del prodotto può essere scomposta ed il relativo numero di componenti su ogni strato individuato, ed il valore aggiunto dall'azienda ad un prodotto all'arrivo di un ordine corrispondente (Jonsson and Mattsson, 2003).

Con valore aggiunto si intende la quantificazione delle funzionalità integrate e/o degli aggiornamenti introdotti dall'impresa, che realizza un determinato prodotto, di modo da elevare la percezione del valore da parte del potenziale cliente finale.

Questa variabile rappresenta pertanto la misura del completamento della creazione di un determinato articolo, prima della ricezione di un rispettivo ordine dal mercato (Jonsson and Mattsson, 2003).

A tal proposito, un'impresa, che realizza prodotti altamente standardizzati, difficilmente potrebbe trarre beneficio dall'applicazione di tecnologie di fabbricazione additiva, senza aver prima posticipato il suo *Customer Order Decoupling Point (CODP)*, che contraddistingue il momento in cui il design del componente viene giudicato terminato (Minguella-Canela *et al.*, 2017) ed il prodotto risultante viene posto in relazione ad una specifica richiesta del mercato (Strandhagen *et al.*, 2017).

Una strategia di pianificazione pienamente di tipo *Make to Stock (MTS)* induce infatti al completamento delle attività, che portano dalle materie prime al prodotto finito, il prima possibile, ai fini di ridurre il costo di produzione e soddisfare un preciso segmento di mercato, identificato tramite tecniche di previsione della domanda (comportamento speculativo) (Minguella-Canela *et al.*, 2017) (Figura 4.1).

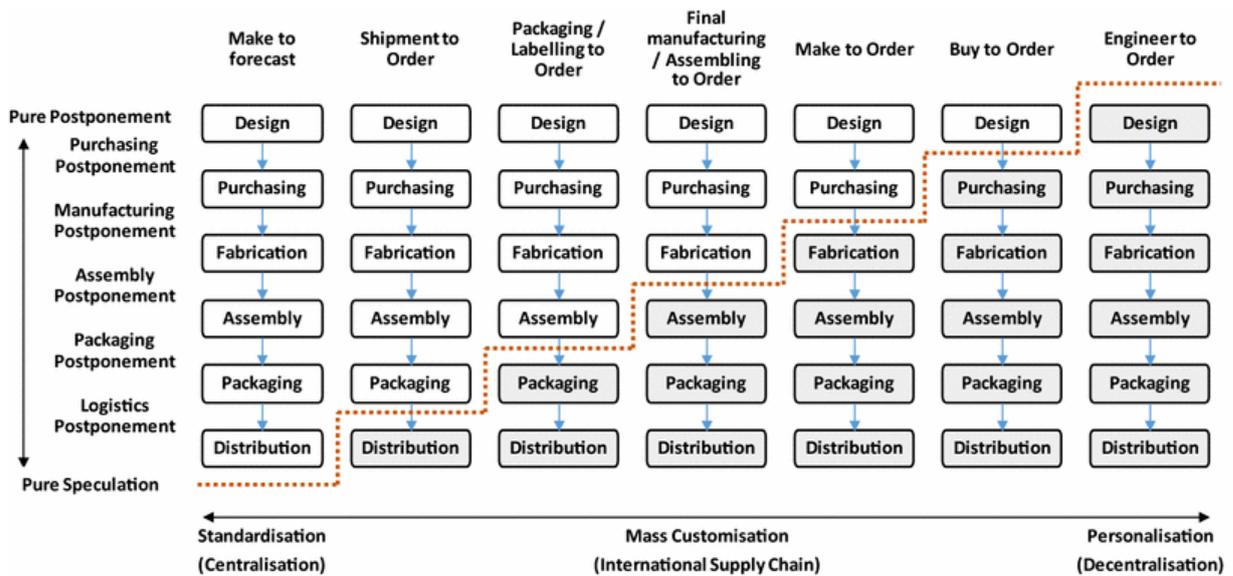


Figura 4.1: Rappresentazione del CODP in diverse catene del valore e relativo grado di standardizzazione (Fonte: Yang and Burns, 2003).

L'attuazione delle economie di scala, rese possibili dal ricorso ad una produzione basata su lotti di grande dimensione e dalla realizzazione di componenti semplici ed intercambiabili, permette di focalizzarsi maggiormente sulla producibilità ed ottimizzare l'utilizzo della capacità produttiva interna (Synnes and Welo, 2016). Al contrario, chi adotta un approccio di *postponement* puro ritarda l'esecuzione dei processi di approvvigionamento fino alla presa in carico dell'ordine, di modo tale da auspicabilmente incorporare nell'offerta la totalità delle funzionalità richieste da un dato consumatore (Minguella-Canela *et al.*, 2017). Attraverso la realizzazione di volumi di prodotto contenuti, risulta più agevole focalizzarsi sulle caratteristiche funzionali dei prodotti, in risposta ai reali bisogni provenienti dal mercato (Synnes and Welo, 2016).

La maggior parte dei processi trasformativi in produzione, infatti, modifica il prodotto in modo irreversibile ed i materiali interessati perdono conseguentemente la loro flessibilità (Hohmann, 2014).

Posticipare il *CODP* consente pertanto di incrementare l'efficacia e l'agilità della *supply chain*, inducendo una variazione del costo totale della catena, inclusivo dei costi per l'acquisizione dei macchinari, delle materie prime, del consumo energetico, del lavoro connesso all'uso di ogni tecnologia impiegata, del costo di gestione del magazzino e di consegna (Minguella-Canela *et al.*, 2017).

4.1.2 Le caratteristiche del mercato

Per quanto concerne le variabili associate alla domanda, si tratta di considerare principalmente la sorgente da cui si ricava, ovvero se l'ordine proviene direttamente dal consumatore o la richiesta è finalizzata a rifornire le scorte di magazzino, il tipo e la sua distribuzione temporale (Jonsson and Mattsson, 2003). Ad un certo prodotto considerato può essere associata infatti una domanda unitaria, caratterizzata da un'elevata elasticità nel breve periodo, per cui ad una variazione percentuale del prezzo ne corrisponde una uguale ma di segno opposto della domanda, o stabile, se essa non subisce alcuna influenza da parte di fattori quali il prezzo, la stagionalità, la disponibilità del prodotto e le tasse applicate su di esso [22]. Esistono pertanto sistemi definiti intermittenti, in cui la produzione ha inizio e termina ad intervalli di tempo irregolari non fissati, definendo un flusso produttivo discontinuo basato sugli ordini del cliente, e sistemi continui in cui i beni vengono prodotti in modo costante a seguito di una previsione della domanda di mercato [23]. A tal fine si evidenzia l'importanza di distinguere se la domanda per un certo prodotto sia autonoma e indipendente o derivata, in quanto dipendente dalla domanda di mercato relativa ad un altro prodotto o servizio, presente in commercio (Jonsson and Mattsson, 2003).

Mettendo in relazione il grado di personalizzazione dell'offerta di prodotto e la discontinuità della domanda si può a questo punto reperire un'indicazione significativa, per supportare e condurre le opportune strategie di delocalizzazione della produzione nel contesto di Industria 4.0 (Figura 4.2) (Minguella-Canela *et al.*, 2017).

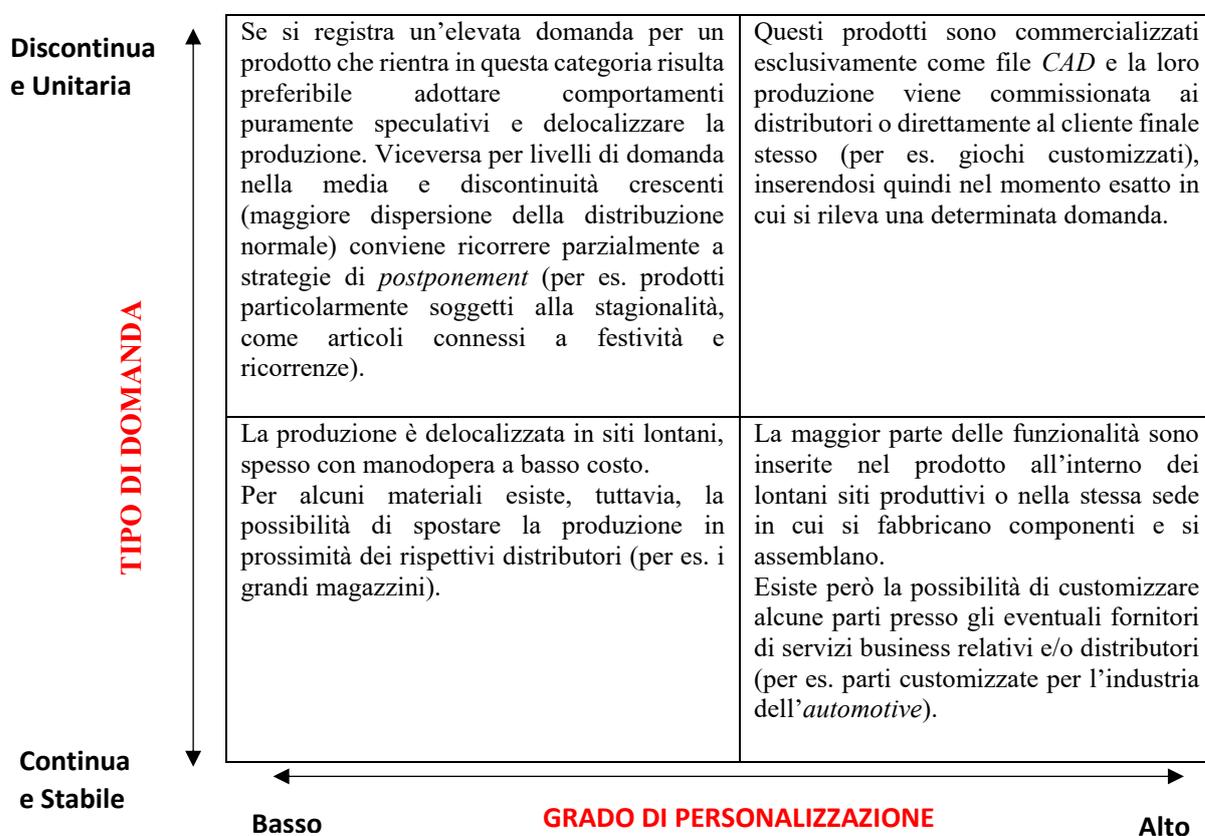


Figura 4.2: Localizzazione della produzione in base al grado di personalizzazione dell'offerta e al tipo di domanda (Fonte: elaborazione personale).

Laddove si avvisino dei picchi di discontinuità della domanda, applicare i principi di Industria 4.0, tramite tecnologie di *AM*, agevola la proposta di soluzioni customizzate.

Nel caso emblematico del settore *automotive*, dal momento che le automobili rappresentano per il consumatore un prodotto ad alto valore aggiunto, è possibile incontrare le sue aspettative sul prezzo anche nell'eventualità di comportare costi di produzione supplementari, per incrementare il valore offerto dal prodotto standard, in rispondenza alle necessità del cliente.

Attualmente risulta invece ancora limitata l'offerta di prodotti con design ed accessibilità attraverso la rete, destinata ad espandersi in seguito alla crescente diffusione di contenuti, tramite piattaforme e servizi connessi al cloud, e all'evoluzione dell'usabilità delle interfacce utente (Minguella-Canela *et al.*, 2017).

4.1.3 Le caratteristiche del processo

Infine, per quanto riguarda le variabili ambientali connesse al processo produttivo dal punto di vista della pianificazione, rivestono notevole importanza il layout dell'officina e i legami di dipendenza sequenziale, che determinano la quota parte dei tempi di *set up* condizionata dai centri di lavoro precedenti (Jonsson and Mattsson, 2003).

Nel caso di un Sistema di Assemblaggio Dedicato (*DAS*) in cui transita un flusso lineare di prodotti, automazione e rigidità permettono di ottenere una notevole efficienza nella produzione di massa.

Un *Reconfigurable Assembly System (RAS)* contiene invece, proprio in virtù della sua riconfigurabilità e scalabilità, di rispondere in modo dinamico ai cambiamenti interni ed esterni, adattando la struttura fisica e le impostazioni dei software per il controllo alle variazioni nel volume dei prodotti.

I *Flexible Assembly System (FAS)*, oltre alle funzionalità precedentemente illustrate, rendono possibile trattare in contemporanea molteplici componenti e modelli di tipo diverso ed effettuare in modo rapido eventuali modifiche, inerenti al design delle parti in corso di lavorazione.

Con questi sistemi raggruppare i prodotti in famiglie, per similarità nelle caratteristiche di prodotto e processo (*group technology*), non risulta più strettamente necessario e si può ricorrere a singole stazioni altamente flessibili.

I progetti di Industria 4.0 garantiscono i migliori risultati quando nello *shop floor* vengono adottati sistemi *FAS*, poiché forniscono ulteriori strumenti per modulare la capacità produttiva, in relazione tanto a volumi quanto a varietà crescente (Cohen *et al.*, 2017).

Per ponderare quali miglioramenti vengano introdotti dall'implementazione di soluzioni di Industria 4.0 nella logistica produttiva, il Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Industriale della *Norwegian University of Science and Technology* ha selezionato quattro imprese campione nel territorio nazionale, contraddistinte da strategie di pianificazione, caratteristiche della domanda e layout radicalmente diversi (Strandhagen *et al.*, 2017).

Nell'ambito di tale ricerca sono emersi i seguenti differenti profili:

1. Produzione *Engineering to Order (ETO)*, in cui i prodotti sono progettati e realizzati in stretta collaborazione con il cliente finale, determinando una notevole incertezza della domanda, e *fixed position layout* (Figura 4.3a), dove il prodotto, a causa di fattori quali

4. Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0

peso e/o fragilità delle parti costituenti, rimane immobile, elevando la complessità del flusso di materiali e persone [24].

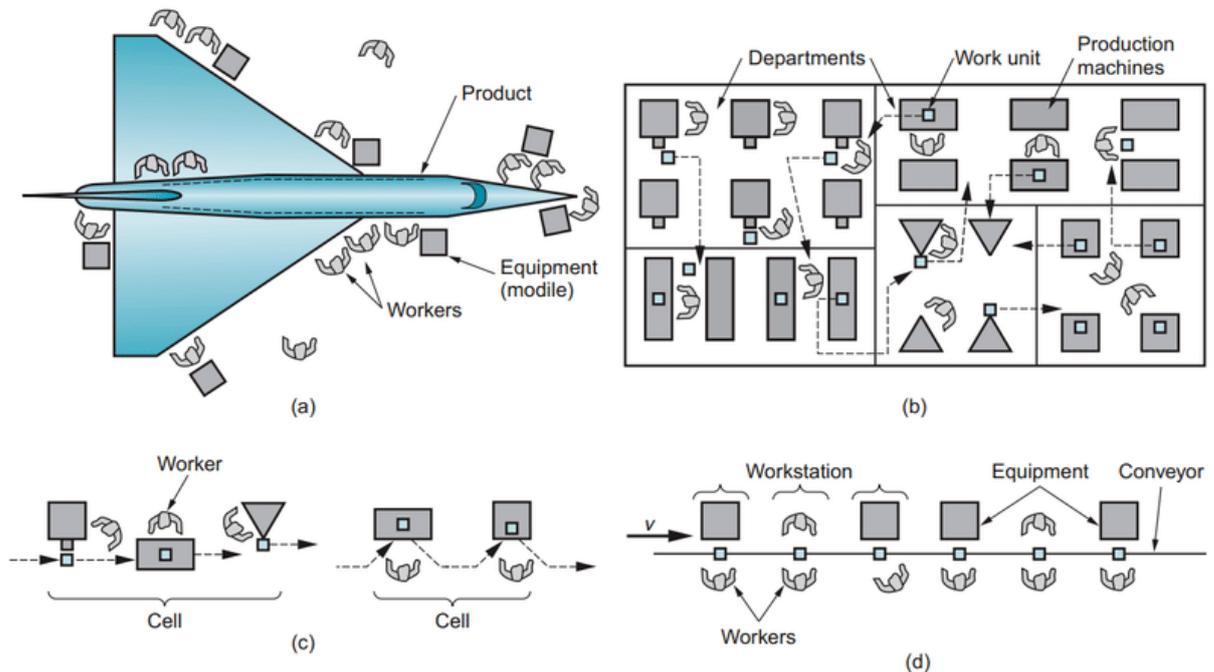


Figura 4.3: Le quattro tipologie di layout in officina (fonte: Sazzad, 2018).

2. Produzione frutto di una combinazione di strategie *ETO* e *Make to Order (MTO)*, rendendo possibile produrre un numero di varianti potenzialmente molto grande, e layout per celle (Figura 4.3c), conforme ai principi della produzione snella, secondo il quale risorse e macchinari vengono raggruppati, in base all'uniformità delle caratteristiche dei prodotti rispettivamente lavorati e alla prossimità delle fasi corrispondenti nel processo produttivo [25].
3. Produzione frutto di una combinazione di strategie *MTO* e *Assemble to Order (ATO)*, per ottimizzare i tempi di consegna a discapito, però, della varietà dell'offerta di prodotti e layout funzionale o per processi (Figura 4.3b), in cui tutti i macchinari che presentano lavorazioni simili vengono classificati in uno stesso reparto o centro di lavoro.
4. Produzione *MTS*, ripetitiva e standardizzata, provocando una drastica riduzione della varietà e complessità di prodotto, e layout per prodotto (Figura 4.3d), in cui i macchinari vengono posizionati in sequenza, rispettando il ciclo di lavorazione del prodotto corrispondente.

Nei primi due casi sopracitati la raccolta dei dati e la relativa analisi, ai fini del monitoraggio e controllo in tempo reale del processo produttivo, non è parte integrante della strategia aziendale, ma potrebbe costituire un aspetto su cui focalizzarsi in futuro, indicativamente su un orizzonte quinquennale.

Inoltre l'implementazione di tecnologie *RFID*, per l'identificazione, non risulta significativa per il conseguimento di una maggiore efficienza del flusso interno, quanto, piuttosto, appare finalizzata all'ottenimento di una maggiore integrazione della *value chain*, ottimizzando rispettivamente le relazioni con i fornitori ed i clienti finali (Strandhagen *et al.*, 2017).

Molte imprese operano però in un mercato *Business to Business (B2B)*, in cui la riduzione dei tempi di attesa, per lo sviluppo di soluzioni uniche, e l'abilità nel padroneggiare possibili variazioni nei requisiti sono di vitale importanza (Elgh *et al.*, 2018).

4.1.4 L'adattamento del paradigma di Industria 4.0 ad un'impresa ETO

In particolare, le aziende *ETO* si trovano spesso a dover rispondere a rilevanti modifiche tecniche, a causa della maggiore probabilità con cui vengono apportati cambiamenti al design di prodotto o in fase di produzione; pertanto, la disponibilità di sistemi efficienti per la gestione dei materiali potrebbe rappresentare una solida opportunità per incrementare il proprio vantaggio competitivo, dal momento che i materiali costituiscono dal 50 al 60 % del costo totale di un progetto campione.

Possono essere considerati molteplici moduli *RFID* funzionali a tal scopo, tra i quali alcuni preposti per l'aggiornamento delle *engineering Bill of Materials (eBOM)* (Yu *et al.*, 2017), che evidenziano le singole parti componenti in senso progettuale e in genere elencano gli articoli dal punto di vista ingegneristico, ad esempio, in un disegno di assieme.

Non includono quindi elementi come imballaggi, *container* per la spedizione e non specificano come debbano essere raggruppate le parti in ogni fase o durante la produzione (Rouse, 2016).

I moduli per la *material dependency* sono invece in grado di registrare eventuali dipendenze tra ordini dei clienti e materiali necessari al loro soddisfacimento, per una più agevole consultazione quando si verificano delle modifiche di progetto (Yu *et al.*, 2017).

Presso l'Università Norvegese di Scienza e Tecnologia, Q. Yu, P.K. Sriram, E. Alfnes e J.O. Strandhagen, hanno condotto delle ricerche per definire delle linee guida per la progettazione e l'integrazione di sistemi *RFID* in ambienti *ETO* (Yu *et al.*, 2017)..

In queste circostanze, per un'efficiente applicazione dei sistemi per l'auto-identificazione, sono risultati necessari i seguenti passi:

1. Valutare i componenti con un'elevata probabilità di subire delle modifiche di progetto.
2. Selezionare dispositivi *RFID* idonei, secondo le caratteristiche peculiari dei componenti monitorati.
3. I principali parametri connessi alle modifiche di progetto, ai fornitori ed ai clienti devono essere attribuiti ai *tag RFID*, relativi ad alcuni indicatori di performance per la Gestione dei Materiali (Figura 4.4).

4. Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0

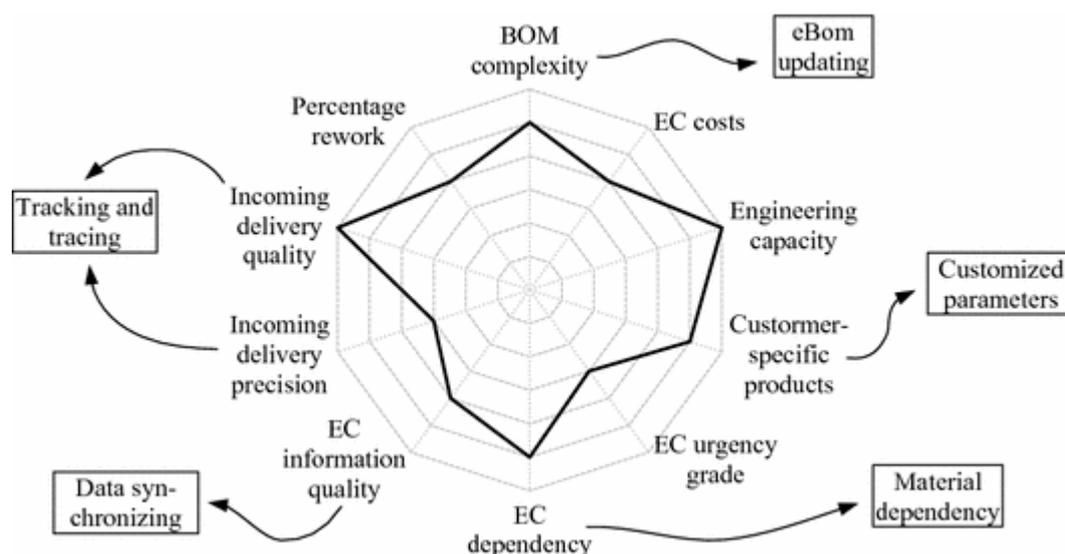


Figura 4.4: Grafico a stella che rappresenta quanto ogni indicatore di performance per la Gestione dei Materiali influisca sui principali moduli *RFID* identificati (fonte: Yu, 2017).

4. I dati rilevati tramite i suddetti dispositivi devono essere accessibili sia in modalità offline che online, compatibilmente con la disponibilità delle reti per progettare i meccanismi di sincronizzazione richiesti.
5. I dati su chip, ovvero cifrati tramite un algoritmo sicuro, devono essere suddivisi in base a requisiti di visibilità, così che le informazioni siano condivise solo con i *partner* desiderati (fornitori, clienti etc.).

In termini di flusso di informazione continuo, in tutti i profili considerati è presente un *ERP* per l'integrazione dei processi di business core dell'impresa, mentre si evidenzia la coesistenza di un sistema *MES*, per la gestione ed il controllo della produzione, solo per strategie di pianificazione *ATO* e *MTS*.

Pertanto, dove si progetta o produce in base alla domanda di mercato, i margini di applicabilità per le tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 sono più ristretti, riguardando essenzialmente soluzioni di realtà virtuale ed aumentata, robotica e nuove tecniche produttive.

Robot industriali e stampa 3D consentono infatti di ridurre ampiamente la complessità relativa alla logistica produttiva, superiore nel caso in cui venga adottato un layout a posizione fissa e come conseguenza dell'elevato grado di personalizzazione dell'offerta (Strandhagen *et al.*, 2017).

Per questo motivo all'interno del settore manifatturiero le pratiche di *ETO* sono sempre più frequentemente sostituite da alternative *Configure to Order (CTO)*, economicamente convenienti e in grado di gestire un numero crescente di varianti di prodotto, specifiche per ogni cliente.

Il *CTO*, convenzionalmente impiegato presso gli *Original Equipment Manufacturer*, è definibile come un *MTO* automatizzato, il quale prevede la fabbricazione di semi-lavorati (unità di base) che vengono mantenuti in un Kanban fino a quando non sono necessari ad una determinata variante richiesta (Hechtel, 2018).

In questo caso l'utilizzo di prodotti piattaforma incarna uno strumento essenziale per il supporto alla customizzazione di prodotto.

Il concetto stesso di piattaforma può essere interpretato, a seconda delle esigenze, come piattaforma discreta, costituita da un insieme di componenti classificabili in *cluster*, corrispondenti all'idea di modulo, intercambiabili e che concorrono a determinare il prodotto finito, o come piattaforma scalabile, adattabile tramite modifica di alcune variabili di progetto. In un ambiente *ETO* è però, più che in ogni altro contesto, fondamentale che la piattaforma sia in grado di evolversi con l'esperienza e parallelamente al progresso tecnologico.

Se per quanto riguarda la produzione l'esistenza di approcci sistemici per la gestione degli *asset* produttivi rappresenta una consuetudine, non si trovano con altrettanta facilità mezzi per la mappatura, la condivisione, il mantenimento e lo sviluppo delle risorse per il design e la progettazione.

L'introduzione di otto *Design Asset*, rispettivamente per il processo, per il prodotto, per la sintesi e l'analisi delle risorse e con riferimento alla geometria delle risorse, ai vincoli esistenti, alle soluzioni ed ai progetti, fornisce un set di strumenti per il *team* di sviluppo, affinché ogni responsabile sia opportunamente sostenuto nelle mansioni relative all'*asset* corrispondente (Elgh *et al.*, 2018).

I sistemi meccanici, quali prodotti *ETO*, richiedono una più complessa formalizzazione della conoscenza.

Attraverso l'applicazione di modelli di *Constraints Satisfaction Problems (CSP)*, problemi matematici in cui ogni soluzione deve rispettare un set di vincoli e limiti, è possibile garantire che i parametri di design osservati soddisfino ogni standard, requisito del cliente e del mercato stabilito (Cicconi *et al.*, 2018).

Una strategia *ETO* rivela inoltre la propria efficacia solo se vengono parallelamente previste delle soluzioni di *internet of things*.

La comunicazione tra gli operatori ed i robot, largamente impiegati negli ambienti che rispondono a questa logica di pianificazione, si fonda sulla tecnologia *IoT*.

Attraverso sensori sempre più precisi, ogni elemento dell'officina viene tracciato e monitorato, dal prodotto agli strumenti e macchinari adoperati per la sua lavorazione, permettendo inoltre di verificare in tempo reale la disponibilità delle singole aree produttive e di comunicarlo ai soggetti interessati.

L'*IoT* consente poi di identificare e predire i bisogni del consumatore e servirsi di tali informazioni in tempo utile per ridurre il tempo richiesto dal *retooling* della linea produttiva (Bolgar, 2016).

Tuttavia i produttori *ETO*, a causa della complessità intrinseca nelle loro relazioni *B2B*, difficilmente rendono possibile semplificare le esperienze dei loro consumatori, in modo da ricondurle a modelli di acquisto alla base dell'*eCommerce*.

Ciò nonostante alcuni realizzatori di software, come Atlatl Software, hanno formulato delle soluzioni per risolvere questo limite, di modo tale da ridurre le perdite di potenziali clienti, riluttanti a rivolgersi a rappresentanti di vendita per sottoporre le loro specifiche richieste relative al design del prodotto (Cutler, 2018).

Attraverso un software chiamato *Visual – Configure, Price, Quote (VCPQ)*, un addetto alle vendite e/o un distributore possono creare in 3D prodotti, progettati in seguito all'ordine, su qualsiasi dispositivo mobile in totale trasparenza (Figura 4.5).

4. Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0

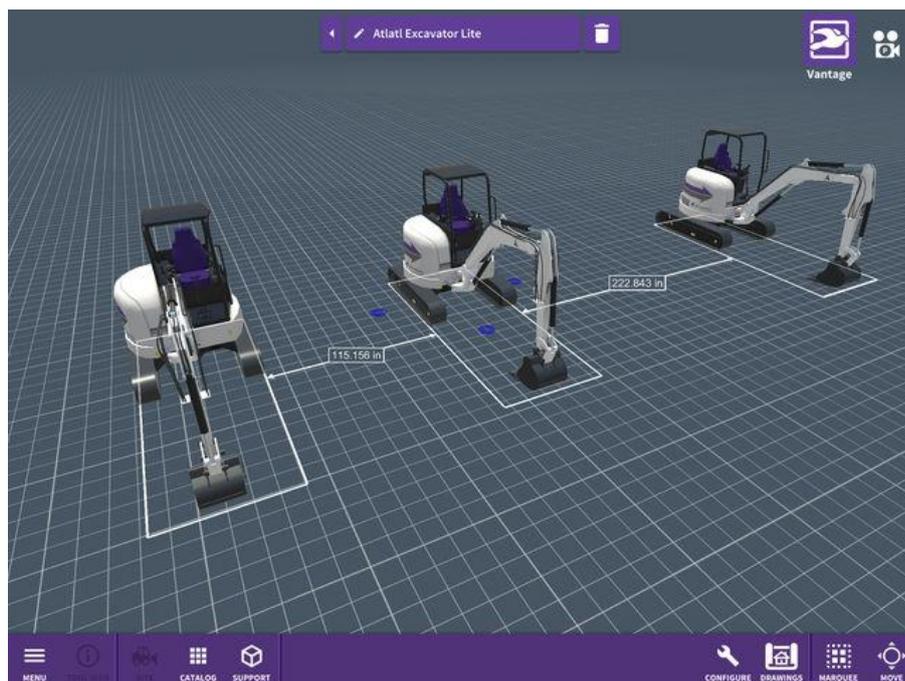


Figura 4.5: *Ipad screenshot* dell'applicazione Quotebooks Visual CPQ disponibile su App Store [26].

Il *QuoteBooks' Visual CPQ*, infatti, produce automaticamente dei disegni, soggetti all'approvazione del cliente finale, sia in formato raster (Poole, 2018), in cui l'immagine è costituita da una griglia di punti detti pixel di forma quadrata, ciascuno associato ad una determinata informazione di colore, che vettoriale, basata su forme geometriche e matematiche come linee, punti, curve e poligoni per creare un'immagine [27], con un prospettiva dall'alto verso il basso e laterale per ogni prodotto configurato (Poole, 2018).

Gli acquirenti possono ora selezionare opzioni relative ai prodotti di interesse, fin dalla progettazione iniziale, in modo dinamico all'interno dei siti web dei produttori e le informazioni sul cliente e sulle configurazioni scelte vengono acquisite in tempo reale, consentendo ai *team* di vendita l'accesso alle esigenze dei clienti per una rapida redazione dei corrispettivi preventivi (Cutler, 2018).

Opportune combinazioni di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 non risultano solamente all'interno di aziende *ETO* (Strandhagen *et al.*, 2017), pertanto si riportano di seguito (Figura 4.6) le principali connessioni emerse tra le variabili dell'ambiente produttivo ed il diverso grado di implementazione delle differenti soluzioni in ambito 4.0 in tutti i possibili scenari (Figura 4.7).

Variabili	Strategie di Pianificazione			
	ETO	MTO	ATO	MTS
Layout	Fixed position layout	Fixed position and cell layout	Functional layout	Product line layout
Grado di ripetitività della produzione	Very Low	Low	Medium	High
Variazioni della domanda di mercato	Very High	High	Medium	Low

Figura 4.6: Principali connessioni tra le variabili dell'ambiente produttivo (fonte: Strandhagen, 2017)

Tecnologie di Industria 4.0	Strategie di pianificazione			
	ETO	MTO	ATO	MTS
Artificial Intelligence	Low	Low	Medium	High
Big Data Analytics	Medium	Medium	High	High
Augmented Reality	High	High	Medium	Medium
Sensors	Medium	Medium	High	High
Auto ID	Low	Medium	Medium	High
Networking Technology	Low	Medium	High	High
Integration of IT Systems	Medium	Medium	High	High
Industrial Robots	Medium	Medium	High	High
3D Printing	High	High	Low	Low

Figura 4.7: Grado di implementazione delle diverse tecnologie di Industria 4.0 in ogni scenario (fonte: Strandhagen, 2017).

4.2 La trasformazione digitale in Italia: il ruolo del contesto

Dal 2017 l'Osservatorio del Politecnico di Milano ha introdotto, ai fini della ricerca, una divisione specializzata nell'analisi dell'evoluzione delle figure professionali, comportata dalla quarta rivoluzione industriale.

I primi risultati hanno messo in luce alcune precise competenze *core* per l'Industria 4.0, che le imprese cercheranno di sviluppare tramite nuove assunzioni o programmi di formazione.

Tra queste figurano nel seguente ordine la capacità di definire un piano di adozione delle tecnologie di Industria 4.0, riconosciuta un'abilità essenziale dal 10% dei soggetti intervistati, la capacità di analisi, modellazione e simulazione dei dati di produzione provenienti da sensori e dispositivi (10%) e la conoscenza della sensoristica e delle piattaforme *IoT* per il monitoraggio dei flussi di materiali (10%) nell'ambito della *supply chain*.

Tali conclusioni hanno sottolineato la necessità di promuovere la nascita di nuovi profili occupazionali, primo fra tutti quello del *data scientist* (Figura 4.8), come si evince dal report "Il digitale in Italia 2017", realizzato da Assinform in collaborazione con NetConsulting cube e Nextvalue.

4. Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0

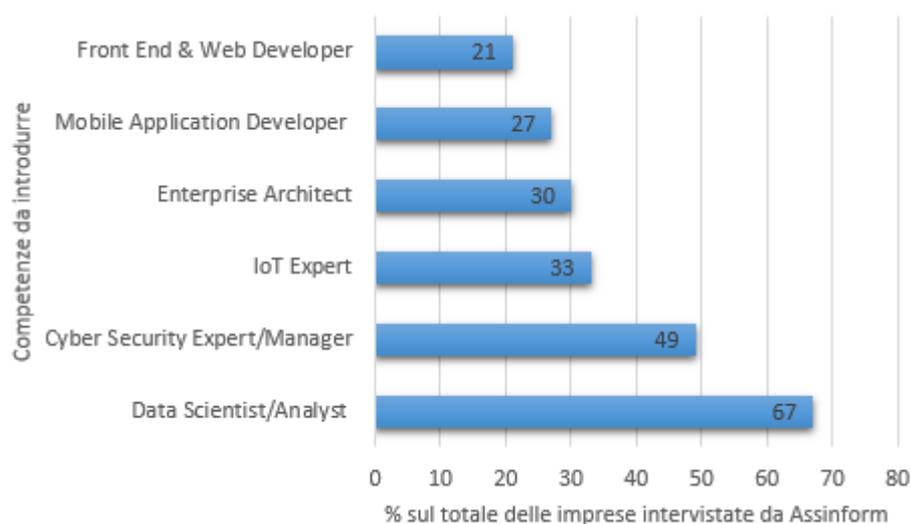


Figura 4.8: Competenze 4.0 prioritarie da introdurre secondo le imprese italiane [28].

Da un punto di vista strettamente operativo, tale risorsa non si limiterebbe solo ad un'attività analitica ma si occuperebbe anche di formulare strategie di business e risolvere complesse questioni aziendali (Frollà, 2018).

Tuttavia Jobrapido, motore di ricerca di lavoro leader mondiale, ha dimostrato come in Italia siano attivi poco più di 300 annunci, prevalentemente concentrati nella regione Lombardia, per posizioni di *Data Scientist & Analyst* disponibili, un numero in netto contrasto con le 1500 richieste nei Paesi Bassi ed una rispettiva domanda di 18000 unità nel Regno Unito (Destri, 2018).

La presenza di questi specialisti nelle aziende italiane è pertanto ancora scarsa, a causa della parziale inadeguatezza dell'offerta formativa in un contesto economico pervaso da numerosi dati di ogni natura, ma le università ed i centri di ricerca e formazione del nostro Paese si stanno largamente adoperando per colmare tale *gap* tra la domanda e l'offerta, favorendo l'erogazione di corsi universitari e l'introduzione di master e specializzazioni per la formazione di questa classe di professionisti.

In particolare, dall'ottobre 2017 l'Università La Sapienza di Roma sta conferendo i primi diplomi per i laureati magistrali in *Data Science* (Frollà, 2018).

In materia di connessione e sicurezza informatica, invece, la situazione italiana sembra essere ancora grave e lontana da una definitiva soluzione.

Manuel Cacitti, consulente che opera a livello europeo nel campo della *cybersecurity*, ha definito il 2016 "annus horribilis" per l'Italia a causa della sua vulnerabilità agli attacchi informatici.

Secondo il rapporto, datato 2017, dell'Associazione Italiana per la Sicurezza Informatica (Clusit), dopo otto anni consecutivi di miglioramenti nella *cybersecurity* ad opera delle aziende italiane, il 2016 e l'inizio del 2017 hanno rappresentato una fase di regressione per la nazione. Si stima infatti che in tale lasso temporale siano stati pagati ricatti informatici, quasi sempre inutilmente, per una somma che oscilla fra i 23 e 26 milioni di Euro, sancendo l'ingresso dell'Italia nella *top ten* mondiale per numero e gravità degli attacchi informatici subiti, come conseguenza sia della poca disponibilità di persone qualificate, dal momento che solo un 2,5%

degli impiegati delle aziende pubbliche e private italiane risultano esperti nel settore, contro il 3,7% della media europea, sia degli scarsi investimenti nell'ambito della sicurezza informatica. In Germania infatti l'impatto di tali investimenti sul Pil raggiunge l'1,6%, mentre in Italia si dedica solo lo 0,05% [29].

Inoltre sembrano ancora lontani anche i risultati in termini di connettività in Banda Ultra Larga (BUL), considerando gli obiettivi dettati dall'Agenda Digitale Europea, da conseguire entro il 2020.

La copertura di 100 Mbps ha allo stato attuale raggiunto solo un 13 % delle Unità Immobiliari del territorio nazionale, un traguardo sotto le aspettative dal momento che nei prossimi due anni tale percentuale dovrà raggiungere l'85%.

In aggiunta, la connettività a 30 Mbps, che alla *deadline* prevista dovrà interessare la totalità della popolazione, risulta attualmente stazionaria al 26,4%, con forti disomogeneità tra le principali aree urbane, i centri minori e le aree rurali, nuocendo principalmente alle industrie isolate, tipicamente decentrate rispetto al centro abitato [30].

Tuttavia vi sono casi in cui simili condizioni non hanno pregiudicato lo sviluppo di realtà produttive all'avanguardia, altamente competitive non solo a livello europeo ma anche mondiale.

4.2.1 Il binomio vincolo-opportunità

Nel 2017 il Gruppo Sant'Anna ha ricevuto il Premio Innovazione 4.0, nato con l'obiettivo di offrire idee e casi applicativi concretamente utili, per favorire la diffusione delle tecnologie innovative del modello di Industria 4.0 (Pagani, 2017).

Lo stabilimento Sant'Anna, a Vinadio in provincia di Cuneo, ha infatti fin dalle sue origini imposto ai suoi fondatori di credere profondamente nell'importanza dell'innovazione (Luciano, 2018), per superare i limiti connessi al posizionamento in alta montagna, principalmente per quanto riguarda l'assunzione e la gestione del personale qualificato.

L'imbottigliamento dell'acqua, che deve fisiologicamente preservare la materia prima così come sgorga dalle sorgenti in alta montagna, è in questa sede una garanzia per la conservazione delle proprietà organolettiche del prodotto, dal momento che Sant'Anna si serve di linee produttive ultra veloci e ad elevato contenuto tecnologico, per tale motivo altamente efficienti. Le tre più recenti, tra le più grandi al mondo, realizzano infatti fino a 54000 bottiglie all'ora e robot pallettizzatori moderni lavorano per risparmiare una notevole quantità di plastica in fase di imballaggio.

Veicoli a guida laser e carrelli automatizzati (Figura 4.9), che rispondono agli input di un software centrale con una precisione superiore al 99,5% e si servono di una tecnologia tutta *made in Italy* per assicurare il rispetto delle norme relative alla sicurezza sul lavoro, gestiscono la movimentazione della merce, dal prelievo dei pallet a fine linea, allo stoccaggio, fino all'uscita dal magazzino.

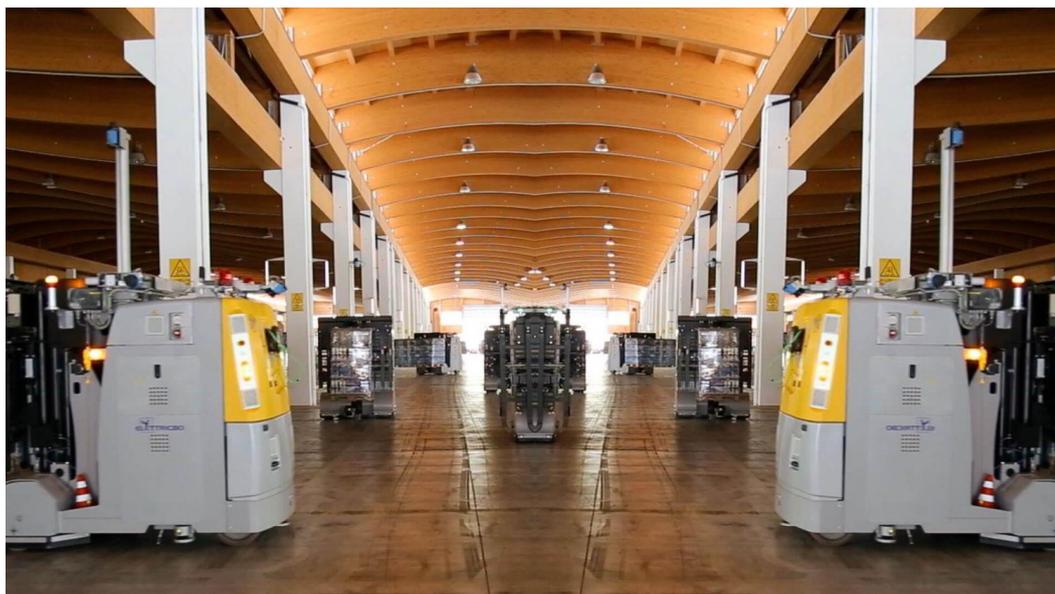


Figura 4.9: Carrelli automatizzati nello stabilimento *high-tech* Sant'Anna di Vinadio [31].

Inoltre, per quanto concerne nel dettaglio l'accesso alla rete e l'implementazione di tecnologie *ICT*, l'azienda si sta già da tempo occupando di ottimizzare la comunicazione tra tutte le divisioni aziendali e la dematerializzazione degli archivi interni (Pagani, 2017), valutando recentemente il passaggio dalla vendita online tramite Amazon alla gestione del servizio vendita in proprio attraverso un sistema di *eCommerce* (Luciano, 2018).

Il connubio tra antichità del prodotto ed innovazione tecnologica dei processi di lavorazione e dei sistemi gestionali in Italia non si limita solo al settore del *food and beverage*, ma riguarda anche altre industrie, tra cui quella tessile, la cui redditività in Europa è seconda solo a quella del mercato cinese.

Il suo aumento è da imputare principalmente alla crescita delle vendite, in quanto il *Return on Sales (ROS)* è sostanzialmente raddoppiato nell'ultimo decennio, in seguito all'*upgrade* qualitativo dei tessuti prodotti in Italia e ad una maggiore efficienza nell'utilizzo delle risorse aziendali.

L'avvento delle tecnologie 4.0 ha indotto infatti lo sviluppo dell'*e-textile*, tessuti intelligenti costituiti da un insieme di fibre tessili conduttive, in grado di rilevare stimoli ambientali ed interagire via bluetooth o wireless con dispositivi per il loro controllo; un'eventualità particolarmente interessante per potenziali applicazioni in ambito sportivo, improntate al monitoraggio delle funzioni vitali degli atleti (Morittu, 2018).

Tramite la contaminazione tra settori e la conseguente integrazione di competenze critiche in ottica 4.0, l'industria tessile ha inoltre potuto risolvere alcuni limiti ad essa relativi.

Le aziende operanti in un settore così fortemente maturo, caratterizzate da un'elevata conoscenza delle macchine utilizzate per la lavorazione, appaiono però contraddistinte da una scarsa familiarità con l'elettronica e le tecnologie di nuova generazione.

La *partnership* con *player* operanti nello specifico in ambito *automotive* ha quindi permesso di comprendere come i dispositivi per la realtà aumentata ed i meccanismi di intelligenza artificiale possano supportare il personale addetto al controllo qualità nelle attività di formazione necessaria e nell'elaborazione di possibili soluzioni ai difetti riscontrati.

L'ispezione manuale dei tessuti costituisce infatti un compito complesso e di responsabilità, in quanto senza la dovuta cura ed attenzione si potrebbe accidentalmente danneggiare i tessuti, andando così ad alimentare la quantità di scarti. Per le aziende operanti in questo contesto risulta inoltre opportuno dotarsi di software in grado di assisterle nei processi di pre-produzione, che restituiscano stime puntuali sul consumo di tessuto per le future collezioni e simulino in anticipo i possibili differenti scenari relativi agli ordini (Figura 4.10) [32].



Figura 4.10: Ultima versione della soluzione Lectra per la gestione del ciclo di vita del prodotto [32].

Il fenomeno della personalizzazione di massa determina infatti la necessaria integrazione di tutti gli elementi di produzione, per un controllo totale delle unità interne ed esterne ai confini del sistema.

L'acquisizione di software di *PLM* permette di tracciare qualsiasi operazione e conservare il *know how* aziendale in ogni fase del processo ed in tutte le divisioni: pianificazione del prodotto, design, gestione della conformità, gestione degli eventuali percorsi critici, *task management*, sviluppo del materiale e del rivestimento, gestione dell'immagine, delle risorse e di possibili collaborazioni.

L'industria del tessile sta sviluppando nuovi metodi di produzione per soddisfare la domanda in continua crescita, pertanto il tema degli scarti e degli sprechi dell'industria tessile e del conseguente impatto ambientale rappresenta un problema serio, che brand *owner* in tutto il mondo ed autorità locali si stanno impegnando ad affrontare con la massima urgenza, dal momento che tale comparto industriale è al terzo posto per il consumo di acqua a livello mondiale.

La stampa digitale potrebbe però ridurre questo valore del 90%, rispetto al processo di stampa tradizionale, e minimizzare la quantità di inchiostro impiegata ed il consumo di energia in fase di asciugatura [33].

In seguito all'emanazione dei decreti ministeriali sull'efficienza energetica, concernenti la determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico, sono state introdotte molte misure in materia di *waste management* e le tecnologie implicate nella quarta rivoluzione industriale hanno inoltre reso possibile non solo l'ottimizzazione delle soluzioni consolidate, per la riduzione dei consumi energetici, ma anche la creazione di nuovi modelli di business.

Gli economizzatori di energia consentono, infatti, grazie alle componenti elettroniche inserite al loro interno, di misurare in tempo reale le condizioni della rete, dovute ai valori di tensione, corrente, impedenza e frequenza in ingresso ed in uscita rilevati, determinando l'energia richiesta per un corretto funzionamento delle apparecchiature elettriche ad essi connesse ed erogando strettamente quanto necessario [34].

Ogni economizzatore elettrico è collegato in rete ad un *server* dedicato che controlla, gestisce e riporta in cloud tutti i dati di consumo e risparmio in tempo reale e monitora l'efficienza e le performance del dispositivo, consultabili in ogni momento tramite una applicazione apposita installata sul proprio *device* personale [35].

Tali stabilizzatori rappresentano una valida soluzione, se si considerano la loro compattezza ed affidabilità, ma risultano offrire un recupero nullo nel caso di esercizi con frequenti *stand-by* del generatore (Caporali, 2018).

In merito alla gestione degli sprechi, i produttori di stabilizzatori stanno quindi valutando la possibilità di adottare modelli di pagamento legati alla quantità e qualità del servizio prestato al cliente.

La tipologia di compensazione del servizio *pay-per-service unit* corrisponde ad una forma di retribuzione del produttore basata sull'effettivo utilizzo del prodotto da parte del consumatore e sulle relative performance realizzate, richiedendo al fornitore di tecnologia di provvedere soluzioni altamente efficaci per ottenere i ritorni desiderati.

Pertanto lo schema *pay-per-use* e/o *pay-for-performance* trova con successo applicazione in industria anche per quanto riguarda l'installazione di sistemi di energia solare (*Pay-per-kilowatt-hour*) [36], di infrastrutture elettriche ed impianti per il raffreddamento.

Vengono sottoscritti dei contratti di acquisto di energia solare (*PPA*) con immediati vantaggi per i clienti, in quanto non è più loro richiesto alcun investimento iniziale, dal momento che è lo sviluppatore stesso a gestire i costi di dimensionamento, approvvigionamento ed installazione, potendo beneficiare dei crediti di imposta a riduzione dei costi di sistema [37].

Inoltre secondo *International Data Corporation (IDC)* le aziende impiegano approssimativamente il 70% del loro budget, devoluto alle *IT*, per il mantenimento dei sistemi acquistati, mediante alimentazione di riserva, condizionamento della potenza, controllo della temperatura e commutazione e trasmissione.

Il reindirizzamento di queste spese da conto capitale a costi operativi, attraverso il ricorso al modello *XaaS*, trasforma però il cliente da proprietario passivo di un'infrastruttura ad utente efficiente.

Similmente questo accade per prodotti quali *COOLaaS*, per i quali gli operatori corrispondono solo l'equivalente dell'output dei sistemi e servizi di raffreddamento, mentre tutte le apparecchiature necessarie alla loro realizzazione sono provviste e finanziate dai fornitori, come *Burland Energy* [38].

L'esecuzione di progetti per il miglioramento dell'efficienza energetica richiede inoltre la disponibilità di competenze ed esperienza nelle attività di diagnosi delle richieste energetiche dell'azienda e di analisi di fattibilità tecnico-economico-finanziaria dei possibili interventi realizzabili.

Per questo motivo le *Energy Service Company (ESCO)*, che dagli Stati Uniti si sono diffuse anche in Italia a seguito del forte impulso fornito dalla Direttiva del Parlamento Europeo e dalla Commissione Europea 2006/32/Ce sull'efficienza degli usi finali dell'energia [39], stanno acquisendo sempre più rilevanza (Figura 4.11), differenziandosi dalle *Energy Service Provider Companies (ESPC)* proprio per l'offerta di servizi energetici integrati, in sostituzione all'acquisto di un bene, e le possibilità di finanziamento tramite terzi per investimenti superiori ai 50 000 Euro.

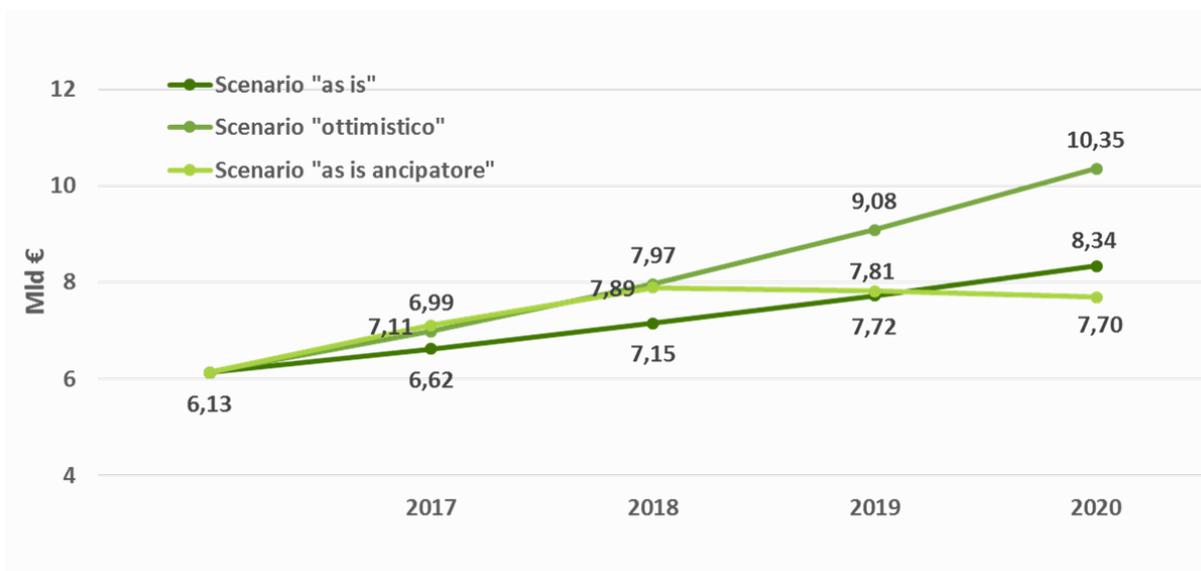


Figura 4.11: Investimenti in progetti per l'efficienza energetica in Italia previsti entro il 2020 secondo l'*Energy Efficiency Report 2017* (Fonte: *Energy&Strategy Group*).

Tale aspetto rappresenta un indiscutibile vantaggio sia in termini di bilancio che di esposizione finanziaria e, parallelamente, consente alle aziende interessate di concentrarsi sui rispettivi *core-business*, destinando a soggetti esperti la ricerca delle soluzioni energetiche ottimali [40].

4.2.2 Il retrofit dei sistemi tecnologici obsoleti

La crisi economica, che ha investito l'Italia a partire dal 2007, ha provocato un congelamento degli investimenti imprenditoriali in tecnologia ed infrastrutture *IT* [41], con risultati simili anche in altri paesi europei.

Uno studio condotto dalla società di ricerche Pierre Audoin Consultants (PAC) per conto di Fujitsu, sull'aggiornamento delle infrastrutture tecnologiche di 500 grandi aziende europee, ha infatti dimostrato come il 57% dei responsabili *IT* interpellati riconosca l'inadeguatezza delle proprie applicazioni [42].

In alcune organizzazioni risultano ancora in attività sistemi operativi, processori ed architetture nati negli anni '70 e '80, i cui carichi di lavoro non possono essere trasferiti su cloud e virtualizzati.

4. Le implicazioni dell'ambiente produttivo sull'applicabilità dell'Industria 4.0

Per questo motivo è fondamentale che le imprese vengano messe in comunicazione con fornitori di soluzioni per l'emulazione e la virtualizzazione dei *server e hardware legacy*, applicazioni non sostituibili in esecuzione su hardware obsoleti.

Stromasys, azienda *leader* in questo campo, attraverso l'emulazione permette alle aziende di continuare ad usare le proprie applicazioni, senza alcuna modifica, su sistemi standard x86 con Linux o Windows, su *server* "on-premises" oppure in cloud con Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Oracle Cloud e Rackspace [41].

Se l'emulatore consente di replicare fedelmente il funzionamento del sistema ospitato, che può essere sia una componente hardware che un'unità software, sfruttando però alcune caratteristiche del sistema ospitante, la virtualizzazione interessa invece esclusivamente applicazioni, *server, storage* e reti e consiste nella creazione di una rappresentazione virtuale, basata su software, per simulare l'esistenza dell'hardware e realizzare sistemi informatici virtuali, noti con il termine macchina virtuale, per definire un contenitore software isolato, che può essere dotato di sistema operativo ed applicazioni.

L'indipendenza di ogni macchina virtuale consente inoltre di eseguire più sistemi virtuali e quindi più sistemi operativi ed applicazioni su un'unica piattaforma hardware [43]

A tal proposito OpenLegacy, una giovane società specializzata nella proposta di soluzioni di *retrofitting*, per l'integrazione di sistemi *legacy* e piattaforme moderne, introdotte dalla trasformazione digitale in corso, offre una prima *Application Programming Interface (API)* basata sui micro-servizi (Figura 4.12).

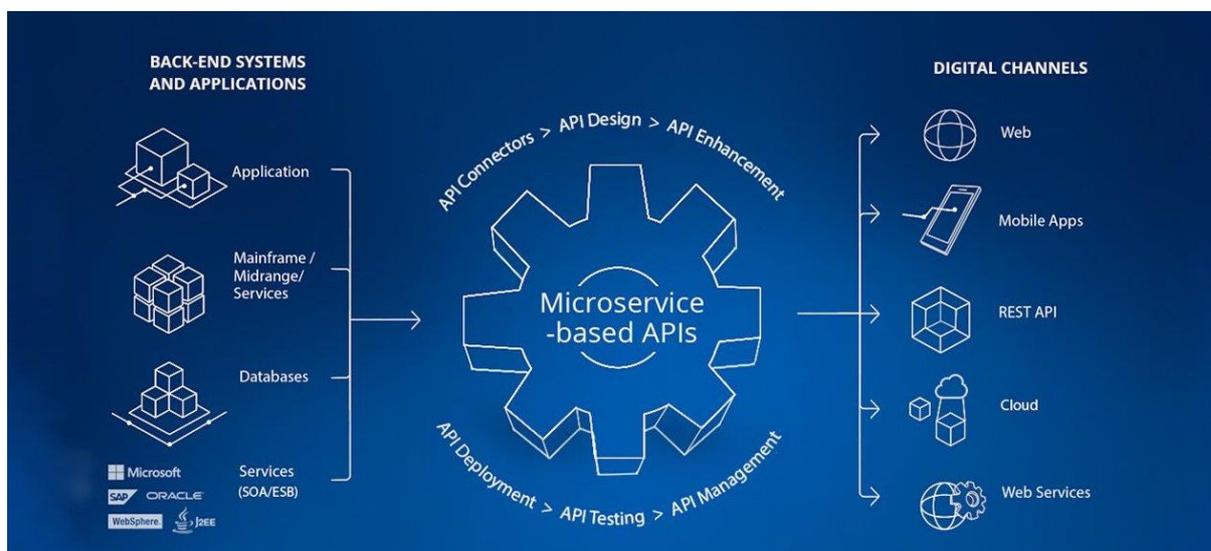


Figura 4.12: *Microservices Architecture* proposta da OpenLegacy [44].

Tali strumenti di programmazione, quali librerie di funzioni, differiscono dalle *API* regolari perché presentano una piccola serie di funzioni tra loro strettamente correlate, consentendo agli utilizzatori di modificare singoli componenti senza dover correggere, riscrivere e testare grandi sezioni di codice [44].

Allo stato attuale i clienti business risultano ancora principalmente interessati allo spostamento su Public Cloud dei carichi di lavoro non critici per la *mission* aziendale.

In seguito ad alcune importanti *partnership*, che stanno avendo luogo nell'ultimo quinquennio, come nel caso di VMware, fornitrice di tecnologie per la virtualizzazione, società per azioni

sussidiaria di Dell Technologies, multinazionale statunitense produttrice di *personal computer*, la quale ha annunciato un'alleanza strategica con Amazon Web Services (AWS), le aziende, avendo a disposizione un livello di servizio più alto e hardware dedicati, potrebbero valutare l'avvicinamento a queste piattaforme con una maggiore propensione anche per altre tipologie di operazioni (Aliperto, 2016).

Per alcune organizzazioni nei settori regolamentati, come la finanza, permangono però delle restrizioni su quali informazioni possano essere memorizzate nel cloud, obbligandole a trovare un equilibrio tra la registrazione delle informazioni sensibili sul posto ed il trasferimento sul cloud pubblico di applicazioni non critiche come *server Web*, servizi di backup ed infrastrutture [45].

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

L'esame delle opportunità e delle minacce, connesse all'implementazione dell'Industria 4.0, rappresenta un tema che stimola l'interesse di un numero sempre crescente di ricercatori.

Gli studi ed i lavori attualmente condotti risultano, tuttavia, mancanti di un'analisi differenziata del fenomeno "Industria 4.0", che consideri congiuntamente la varia dimensione ed il settore industriale delle aziende interpellate ed il differente ruolo del produttore in qualità di utente o fornitore delle tecnologie abilitanti per la quarta rivoluzione industriale (Müller *et al.*, 2018).

Al fine di comprendere il pieno potenziale dell'offerta di nuovi prodotti e servizi sul mercato ed il valore che risiede nelle occasioni per l'evoluzione e lo sviluppo del business corrente nel nuovo contesto economico e sociale, conoscere il punto di vista dei fornitori di soluzioni per l'Industria 4.0 rivela una grande utilità, dal momento che tali imprese partecipano attivamente al processo di innovazione dei modelli di business.

Garantire che la soluzione offerta comprenda solo le funzionalità per le quali il cliente è disposto a pagare, la riduzione del *time to market* per le tecnologie abilitanti proposte e la misura in cui il *provider* fornisce servizi post vendita, che estendono la vita utile del prodotto, sono alcuni degli aspetti, che definiscono la responsabilità dei produttori di tecnologie per l'Industria 4.0 nell'aumento dell'efficienza dei processi, adottati dalle aziende acquirenti (Müller and Däschle, 2018).

Se storicamente i punti di contatto con il cliente si basavano sui prodotti stessi, dall'istante dell'acquisto, alla fase di *set up* ed i processi correlati, fino alle periodiche richieste di servizi di assistenza e manutenzione, l'*IoT* ha reso possibile estendere ed ampliare le relazioni lungo questo canale, tramite aggiornamenti delle componenti hardware e software in dotazione e la vendita di contenuti aggiuntivi e relative espansioni (Grenacher, 2018).

La presenza di fornitori *IT* in produzione e la capacità di fare *network* con i migliori ingegneri meccanici ed elettrici è poi un prerequisito necessario per realizzare sistemi produttivi integrati, dallo sviluppo prodotto all'officina, in grado di condurre autonomamente operazioni di monitoraggio in modo continuo [46].

Dall'analisi della letteratura e dalla consultazione di *paper* scientifici e redatti dalle principali società di consulenza è emerso un *focus* solamente parziale sull'offerta nel mercato delle tecnologie abilitanti per l'Industria 4.0, limitato esclusivamente all'identificazione delle principali soluzioni proposte.

Tale considerazione ha evidenziato, pertanto, la necessità di condurre un'indagine più approfondita, con l'obiettivo di definire il punto di vista del produttore di tecnologia in un nuovo ambiente competitivo (Müller and Däschle, 2018).

Il questionario elaborato, per lo studio che ha coinvolto un campione di imprese *solution provider* in ottica 4.0, si propone di mettere in luce per quali aspetti appartenenti al nuovo paradigma industriale emerga un punto d'incontro tra le due culture imprenditoriali, fino a questo momento operanti in ambiti economici-produttivi drasticamente differenti: le aziende manifatturiere italiane, che mostrano poca confidenza con le moderne *ICT* e per le quali l'innovazione tecnologica è ancora intrinsecamente associata all'hardware e le imprese il cui

core business è rappresentato dal software, che devono comprendere con più attenzione le esigenze e richieste provenienti dal mercato della produzione manifatturiera.

5.1 Indagine su un campione di imprese: il metodo

Data la complessità del fine, sono state prese in considerazione diverse modalità, idonee all'ottenimento delle informazioni rilevanti per la discussione del tema.

Tra le differenti opzioni a disposizione, la conduzione di interviste (in presenza o telefoniche) di tipo non strutturato o semi strutturato [47] è stata immediatamente esclusa, in quanto l'eterogeneità del campione di potenziali rispondenti avrebbe potuto determinare eventuali deviazioni dagli argomenti, affrontati dall'indagine, precedentemente selezionati.

Sul piano del contenuto interviste strutturate [47] e questionari risultavano invece equivalenti, differendo unicamente per il modo di presentazione, orale nel caso dell'intervista e scritto per il questionario.

Tuttavia, essendo alcune domande a risposta chiusa e piuttosto delicate, poiché inerenti alla strategia aziendale, gli intervistati per qualche forma di soggezione o accondiscendenza avrebbero potuto orientarsi durante la conversazione preferibilmente su valori medi della scala.

Inoltre, considerati i vincoli temporali entro i quali svolgere la ricerca ed i limiti in termini di disponibilità delle aziende interpellate nel periodo di chiusura dell'anno fiscale, lo strumento più adatto è risultato essere il questionario.

Esso è costituito da 18 quesiti (Appendice A), organizzati nel modo seguente:

1. La prima sezione del questionario richiede ai soggetti interpellati di compilare gli appositi campi con alcune informazioni per la loro profilazione, quali la sede geografica della filiale italiana più importante, il numero di impiegati, il codice Ateco, una stima del fatturato ed alcune dichiarazioni relative al mercato di pertinenza (unità operanti in un mercato *B2B* o *Business to Consumer (B2C)* e settore merceologico fornito in prevalenza).

I produttori di soluzioni 4.0 con sede in Italia possono, inoltre, illustrare in quale proporzione adottino le differenti strategie per la pianificazione della produzione (Sezione 4.1.3), consentendo una preliminare valutazione del grado di standardizzazione della loro proposta di prodotti.

2. Le successive due parti, di cui il questionario si compone, rappresentano il *core* del sondaggio, e consentono di comparare ed analizzare le strategie perseguite dalle imprese e la relativa offerta di prodotti e servizi.

Attraverso delle domande a risposta chiusa viene chiesto agli intervistati di associare un valore numerico di una scala Likert su cinque livelli ad alcuni fattori strategici per la gestione dello sviluppo prodotto, della produzione e della distribuzione ed assistenza al cliente finale.

Tale fase dell'indagine permette di associare le rispettive risposte dei soggetti aderenti al *survey* ad una specifica visione del paradigma di Industria 4.0, in termini di realizzazione di inedite soluzioni tecniche, aumento dei ricavi, personalizzazione dell'offerta, riduzione del tempo necessario all'entrata sul mercato, incentivo

all'integrazione di competenze, orientamento al servizio e migliore gestione dei consumi e del ciclo di vita del prodotto. Risulta possibile in questa sede evidenziare anche il grado di integrazione interna del produttore e il livello di interconnessione con *partner* aziendali, clienti e centri di ricerca ed università sul territorio nazionale, come conseguenza dell'istituzione di *Digital Innovation Hub* e Centri di Competenza regionali.

3. In seguito l'offerta dei produttori viene definita più nel dettaglio, ricorrendo alle categorie di investimento adottate negli Allegati A e B del Supplemento Ordinario n. 57/L alla Gazzetta Ufficiale (Sezione 3.3).

Tale scelta risponde all'esigenza di mantenere nel lessico dell'elaborato l'uniformità rispetto alla terminologia adottata nei documenti di riferimento e consente, indirettamente, di ricavare una stima della comprensione della normativa da parte dei produttori di tecnologia abilitante. L'identificazione dei macro processi maggiormente influenzati dalla proposta di prodotti e servizi, per la trasformazione delle imprese in ottica 4.0, permette inoltre di verificare quanto i *provider* si stiano attualmente discostando da una percezione delle tematiche connesse al concetto di Industria 4.0 eccessivamente conservativa e vincolata alle dinamiche strettamente produttive e di pertinenza dell'officina, contemplando invece trasversalmente le altre divisioni aziendali, come suggerito anche dalla nuova denominazione del piano nazionale "Impresa 4.0".

Infine, quantificando la quota parte di soluzioni nuove per il mercato di competenza, le direzioni future in merito all'offerta di beni iperammortizzabili per l'investimento in Industria 4.0 e la variazione annuale delle vendite, viene decretata la profittabilità delle tecnologie attualmente promosse e sono definiti i confini entro i quali l'offerta di prodotti e servizi si evolverà fino al 2020, anno cruciale per molti progetti ed iniziative a livello nazionale ed internazionale in materia di Industria 4.0.

La popolazione esaminata, per l'individuazione del campione, comprende sia produttori di beni strumentali quanto fornitori di beni immateriali.

Questo emerge chiaramente nella composizione del campione dei rispondenti (Figura 5.1), in cui è presente un 37,50% di commercianti all'ingrosso di macchine ed attrezzature per l'industria, materiale elettrico per impianti industriali, semilavorati e computer, un 33,33% di imprese produttrici di software e che erogano servizi di consulenza o svolgono altre attività connesse alle tecnologie dell'informazione, un 12,50% di fabbricatori di macchine utensili, computer e che effettuano lavori di meccanica ed infine un 8,33% che si occupa dell'installazione di strumenti di misurazione, controllo e navigazione e di riparazioni e manutenzione ed una percentuale equivalente che offre servizi di consulenza amministrativo-gestionale e di pianificazione aziendale.

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

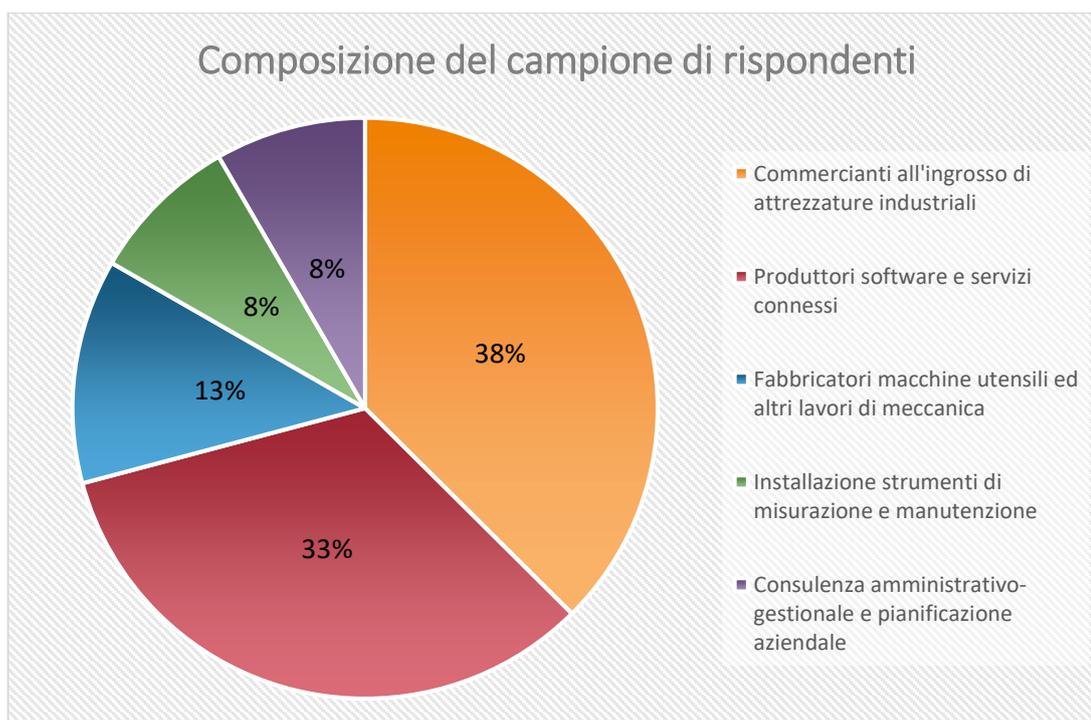


Figura 5.1: Descrizione del campione di rispondenti in relazione alle attività economiche (elaborazione personale).

Inoltre, le imprese interessate sono state selezionate avendo cura di contemplare differenti produttori di tecnologie abilitanti e ricoprire potenzialmente l'intero spettro di soluzioni 4.0 esistenti.

Per soddisfare tale obiettivo sono stati osservati i seguenti passaggi:

- Riconoscere molteplici fonti da consultare, tra le principali testate giornalistiche online che trattano di Industria 4.0, con un'attenzione particolare alle tecnologie impiegate, quali Innovation Post, Industrie 4.0, Industry 4.0 (agendadigitale.eu), Internet4things.
- Valutare anche piattaforme *B2B* per la ricerca di fornitori di soluzioni in ottica 4.0 come Sceglifornitore, promosso da Digital 360, società quotata sul Mercato AIM di Borsa Italiana dal mese di giugno 2017, che rappresenta un punto di riferimento per manager, professionisti, *policy maker*, politici, *tech company*, start up e pubbliche amministrazioni, con 53 portali online ed oltre 1,5 milioni di visitatori al mese [48].
- Creare una duplice versione del questionario, in formato pdf e word, in modo tale che esso risulti facilmente compilabile, indipendentemente dalla disponibilità di software per la lettura e scrittura dei documenti quali Adobe Reader e Acrobat. Diversamente da altre modalità, riconosciute per la somministrazione di questionari, quella scelta consente al soggetto intervistato di archiviare in qualsiasi momento le risposte assegnate, salvare il documento ed inviarlo ad un altro responsabile per eventuali integrazioni. Il contenuto del questionario, infatti, interessa prevalentemente un addetto alla funzione marketing/strategia e alle vendite, ma potrebbe anche richiedere il contributo dell'ufficio tecnico, nella puntuale definizione dell'offerta di

prodotti e servizi, con riferimento alle categorie degli Allegati A e B, precedentemente discussi.

- Visionare, prima dell'effettiva consegna del questionario, il sito internet delle imprese, considerate come potenziali partecipanti al *survey*, ed instaurare un contatto telefonico con esse, ai fini di verificare la conformità dell'azienda in questione al tema del sondaggio e fornire direttamente delucidazioni in merito al carattere dell'indagine.
- Ottenere i riferimenti interni opportuni a cui inviare per e-mail il questionario, come garanzia di un riscontro preciso e coerente.

Si è ritenuto opportuno, infatti, prevedere una preliminare interazione chiarificatrice e stimolante per i soggetti interessati dalla ricerca, dal momento che ricavare un elevato indice di risposta tramite questionari risulta difficile.

Il sondaggio è stato condotto da fine Novembre 2018 a fine Gennaio 2019, in quanto due mesi è la durata consigliata per conseguire i primi risultati significativi.

Un totale di 26 partecipanti, sulle 83 aziende contattate, ha risposto positivamente al *survey*, determinando un tasso di risposta del 31,33 %.

Il 65,38% di questi appartiene a filiali produttive italiane e la parte restante rappresenta la sede commerciale, in quanto unica presente in Italia, mentre solo 1 su 26 dichiara di operare in un mercato *B2C*.

Il 61,54% dei rispondenti appartiene ad una PMI (Figura 5.2), con meno di 250 dipendenti ed un *turn-over* inferiore a 50 milioni di euro.

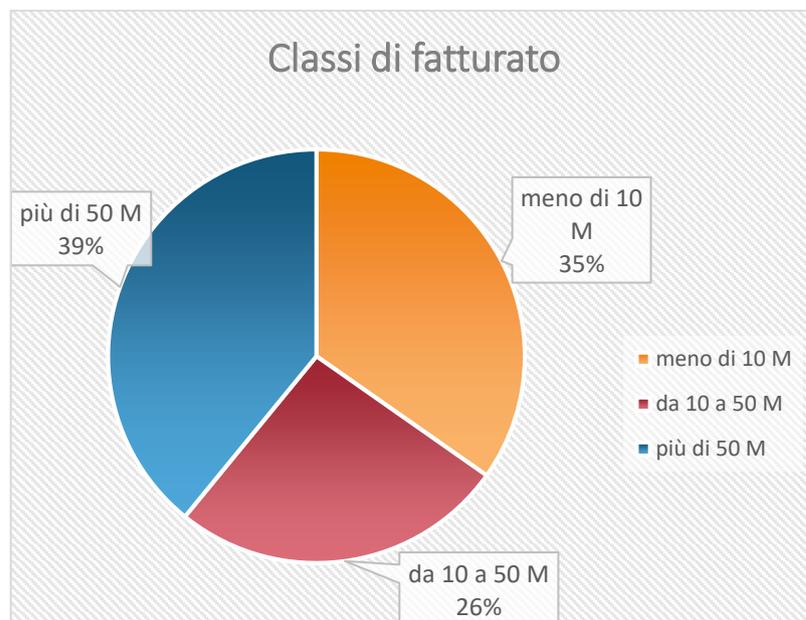


Figura 5.2: Classificazione delle imprese rispondenti secondo il fatturato (elaborazione personale).

Tale dato suggerisce che le PMI, con gerarchie più flessibili e minori costi affondati, si mostrino più disposte ad innovarsi e a diversificare la propria produzione, per soddisfare con la loro offerta la domanda di tecnologie ad alto potenziale per l'Industria 4.0.

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

Le aziende interpellate, infatti, sostengono in media costi in ricerca e sviluppo pari ad un 6% del fatturato complessivo, con un minimo dello 0,1% ed un massimo del 20%.

Per quanto riguarda la loro distribuzione nella penisola, esse sono prevalentemente concentrate nella regione Lombardia, con un 42,31% di aderenti al survey sul totale; un 19,23% è situato in Piemonte, il 15,38% in Emilia, l'11,53% in Friuli ed una minoranza rispettivamente del 7,69% e del 3,85% si trova in Toscana ed in Trentino.

Tali imprese realizzano mediamente il 72% del fatturato complessivo in Italia, risultando profondamente focalizzate sul mercato italiano; dall'America e dall'Asia proviene solamente un 6-7 % del totale, pertanto la componente rimanente (14%) interessa il resto d'Europa, dove hanno sede i quartieri generali di un 35% delle organizzazioni intervistate.

5.2 Discussione dei risultati

5.2.1 Le opportunità offerte dall'Industria 4.0 per i provider di tecnologie abilitanti

Come dimostrato nel corso di un'indagine, a cura di J.M. Müller, D. Kiel e K. Voigt, condotta su un campione di imprese manifatturiere tedesche, *provider* ed utenti delle tecnologie di Industria 4.0 beneficiano di differenti opportunità ad esse connesse (Müller *et al.*, 2018).

Se l'ottimizzazione delle *operation* aziendali, in termini di riduzione dei tempi di attesa e di fermo macchina e di maggiore flessibilità della *supply chain*, costituisce il principale risultato dell'adozione delle soluzioni di Industria 4.0 per gli acquirenti, i produttori e fornitori di tali applicazioni godono invece di ulteriori vantaggi da un punto di vista strategico.

La letteratura enfatizza il potenziale che risiede nell'innovazione dei modelli di business che si fonda sul digitale, sulla tecnologia e sul potere del dato (Müller *et al.*, 2018), senza individuare, tuttavia, le implicazioni per i diversi *provider*.

Dall'aggregazione dei risultati ottenuti, distinguendo tra produttori di beni strumentali (Figura 5.3a), quali macchine utensili per asportazione di truciolo, operanti con laser, per la deformazione plastica, per l'assemblaggio ed il confezionamento, robot e/o cobot e dispositivi per il carico, lo scarico e la movimentazione dei pezzi, e fornitori di beni immateriali (Figura 5.3b), come software e servizi, si evince, infatti, che ad ottenere un ritorno positivo dai cambiamenti imposti dai nuovi modelli produttivi e di gestione dell'impresa siano soprattutto i *provider* di beni strumentali.

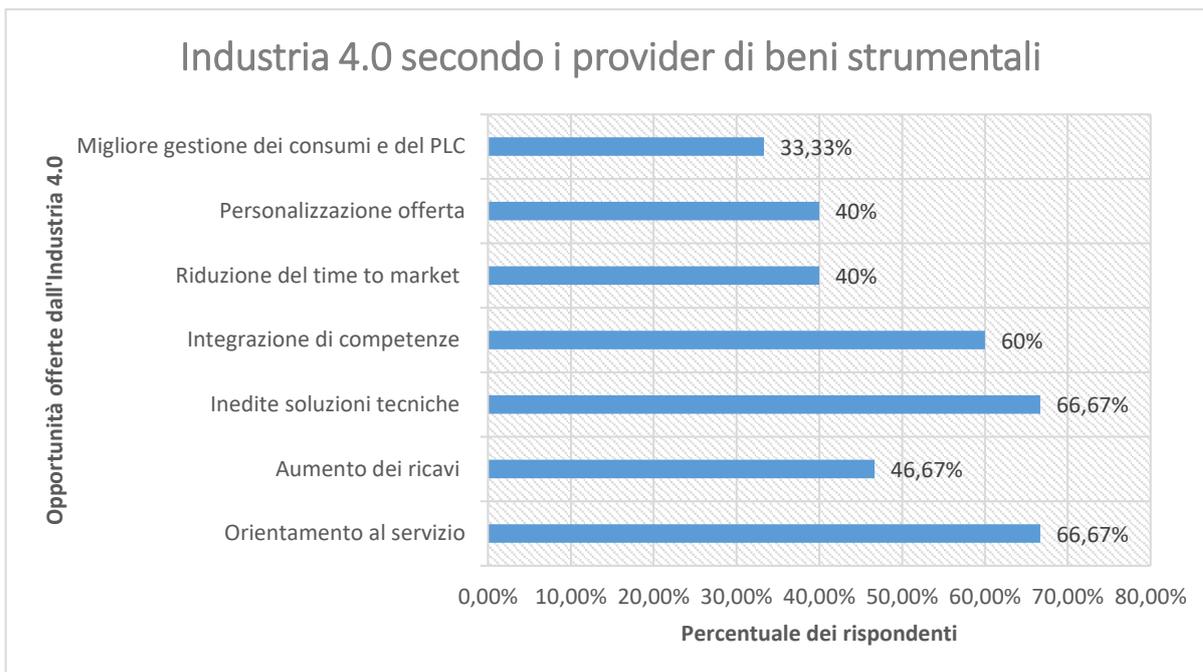


Figura 5.3a: Visualizzazione delle principali opportunità per i *provider* di beni strumentali (elaborazione personale).

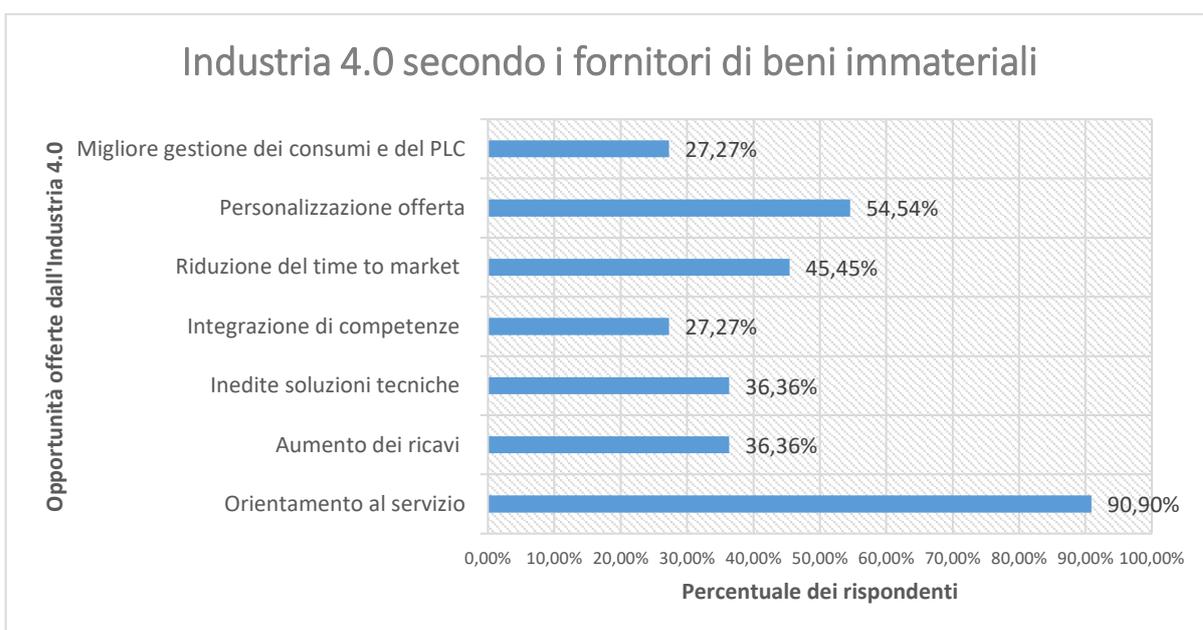


Figura 5.3b: Visualizzazione delle principali opportunità per i fornitori di beni immateriali (elaborazione personale).

Un 66,67% di tali soggetti dichiara di corredare la propria gamma di prodotti con servizi post vendita, che rappresentano una proposta di valore per il cliente finale ed una fonte di ricchezza aggiuntiva per il produttore.

Si noti come il 40% dei rispondenti nel sotto campione ritenga di aver incrementato, attraverso i nuovi modelli di business, il grado di personalizzazione dell'offerta, promuovendo articoli customizzabili o realizzando macchinari e strumenti in risposta a specifiche esigenze del consumatore.

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

L'86% dei soggetti intervistati, infatti, adopera le grandi quantità di dati, generati dalle tecnologie abilitanti l'Industria 4.0, per condizionare in modo opportuno le attività di ricerca, sviluppo e progettazione e la strategia di pianificazione della produzione, adottata mediamente dai *provider* di beni materiali esaminati, corrisponde ad una combinazione di logiche *Make to Order* (32%), *Purchase to Order* (25%) ed *Engineering to Order* (22%), rendendo possibile fabbricare un numero elevato di varianti di prodotto, destinato a crescere in seguito al nuovo orientamento al servizio ed un possibile incremento delle vendite su commessa.

Queste rappresentano il 64% delle vendite complessive per i fornitori di beni immateriali, contro un'equa suddivisione delle vendite tra catalogo e commessa per i *provider* di beni materiali.

La proposta di componenti integrate ed aggiornamenti per elevare le prestazioni delle macchine e delle attrezzature acquistate e l'ideazione di esperienze di utilizzo e fruizione più complesse, ad alto valore aggiunto per l'azienda acquirente, si traducono, come dimostrato dal 46,67% dei produttori, in un aumento dei ricavi.

Tale dato rappresenta una naturale conseguenza della transizione da modelli di acquisto, caratterizzati da singole transazioni, a flussi di ricavi continui dell'*Everything as a service*, ma il 14% dei produttori riconosce che una parte delle entrate derivi anche dall'applicazione di costi di manutenzione superiori, giustificati dalle migliori performance dei loro prodotti in termini di tempi di risposta, qualità e precisione dell'output.

L'opportunità di elevare attraverso le tecnologie del cambiamento l'efficienza energetica degli impianti, sia tramite strumenti per l'adeguamento delle soluzioni esistenti, sia attraverso la proposta di prodotti con un ciclo di vita estendibile e a ridotto impatto ambientale, è un aspetto che sembra non catalizzare ancora il dovuto interesse da parte dei produttori di beni materiali e presso i fornitori di software e relativi servizi.

Ciò nonostante vi sono buone possibilità che si verifichino interventi in questo ambito in futuro, dal momento che entro il 5 dicembre 2019 le grandi imprese dovranno adempiere per la seconda volta all'obbligo della diagnosi energetica, con rinnovo ogni 4 anni secondo il Decreto Legislativo 102/14 [49].

Infine il 60% dei fornitori di beni strumentali osserva di aver ampliato le proprie competenze critiche per l'innovazione, con riferimento in particolare all'apprendimento delle logiche per il funzionamento dei software e delle altre tecnologie di informazione.

Molteplici sono i fattori che sostengono i produttori nell'ideazione di soluzioni innovative per l'Industria 4.0, in aggiunta alle attività di ricerca condotte internamente all'azienda (Figura 5.4).

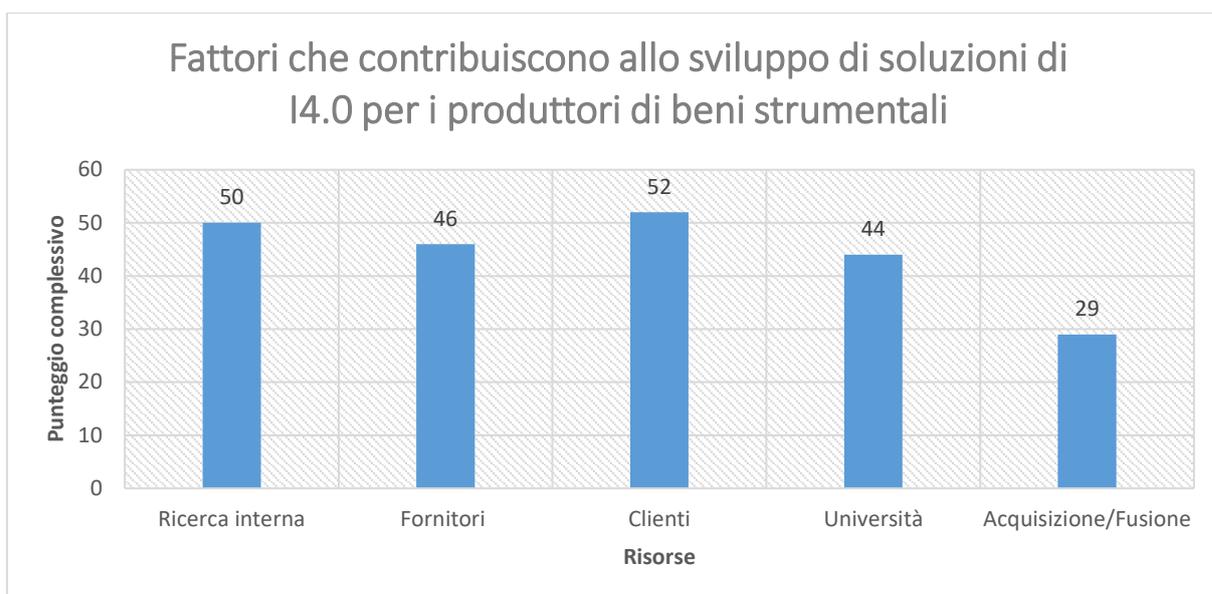


Figura 5.4: Risorse che concorrono allo sviluppo di soluzioni innovative per l'industria 4.0 secondo i produttori di beni strumentali (elaborazione personale).

In luogo delle convenzionali operazioni di acquisizione/fusione, i *provider* propendono per una più efficiente ed efficace interconnessione con fornitori e *partner* chiave; scelta che consente di affrontare le sfide provenienti dal mercato della domanda con maggiore rapidità e flessibilità. Nel caso dei produttori di beni materiali, più che per i fornitori di software e servizi di consulenza connessi alle *IT*, stanno avendo origine e diffusione su scala regionale e nazionale numerosi canali di comunicazione e scambio tra le realtà produttive ed i centri di ricerca e le università.

Tale fatto trova un possibile riscontro nell'ancora attuale scarsa presenza in Italia di percorsi formativi e professionalizzanti per la gestione dei *big data* e degli algoritmi alla base dell'*IoT* e lo sviluppo di applicazioni mobili e basate sul web.

Le relazioni con il cliente finale risultano intensificate, in quanto, come precedentemente constatato, il consumatore partecipa sempre più attivamente al processo di sviluppo e realizzazione delle specifiche del prodotto.

Prima di trattare nel dettaglio le caratteristiche delle soluzioni abilitanti l'Industria 4.0 diffuse in Italia, è necessario riconoscere il segmento di mercato principalmente interessato dalla proposta di prodotti e servizi esaminati, che per tale ragione condiziona fortemente l'offerta dei produttori.

I clienti delle aziende coinvolte nell'indagine sono prevalentemente medie o grandi imprese e possiedono nella maggior parte dei casi un grado di digitalizzazione medio-basso.

Il 64% appartiene al settore manifatturiero, mentre il 56% opera in ambito *automotive*, percentuali nettamente superiori rispetto a quelle connesse agli altri settori merceologici (Figura 5.5).

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

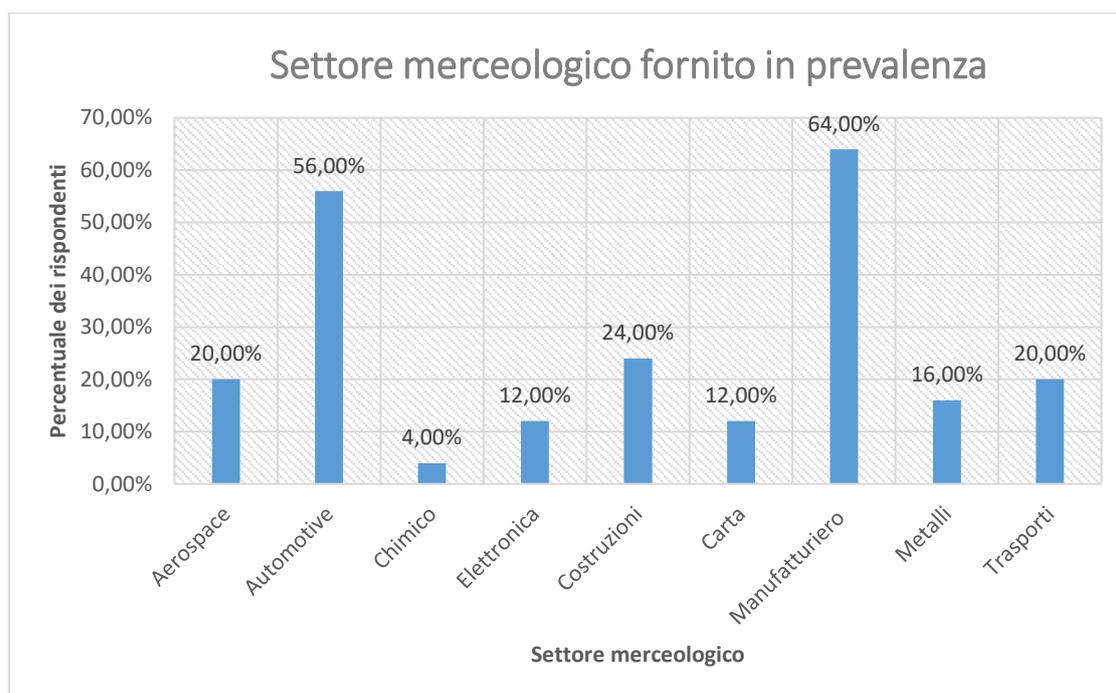


Figura 5.5: Distribuzione della domanda di mercato per settore merceologico (elaborazione personale).

Tale risultato trova conferme nell'ultima edizione (2018) del rapporto sulla competitività dei settori produttivi realizzata dall'Istat.

Le imprese che hanno attribuito una maggiore rilevanza agli incentivi nazionali per l'investimento in soluzioni 4.0 sono infatti imprese manifatturiere e realtà operanti in ambito *automotive* e nel settore dei trasporti (Lasinio *et al.*, 2018).

5.2.2 L'offerta di prodotti e servizi per il mercato italiano

I *provider* di soluzioni abilitanti l'Industria 4.0 si distinguono in:

- Imprese che forniscono solamente beni strumentali (11,54%).
- Imprese che forniscono solamente beni immateriali (50%).
- Imprese che forniscono sia beni strumentali che beni immateriali (38,46%).

Appare quindi evidente che l'offerta provenga in preponderanza da fornitori di software, sistemi, piattaforme ed applicazioni; considerazione che rappresenta uno dei primi risultati attesi dell'indagine condotta, poiché il software costituisce il cuore dell'innovazione del mondo manifatturiero, soprattutto di quella all'origine della quarta rivoluzione industriale, e contribuisce ad elevare la competitività dell'azienda che lo integra al suo interno.

Analizzando in modo puntuale le singole proposte appartenenti alla categoria dei beni strumentali (Figura 5.6), si comprende immediatamente che l'*Advanced Automation* incarna la tecnologia, al servizio dell'Industria 4.0, che si trova in una fase di sviluppo più avanzata.

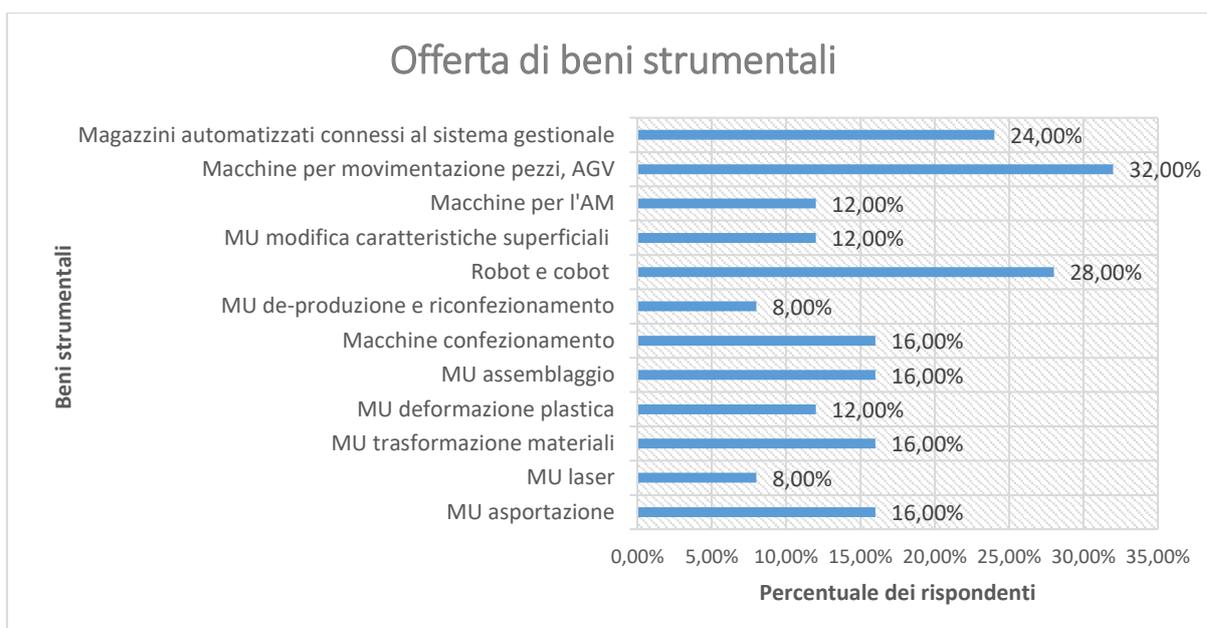


Figura 5.6: Classificazione della proposta di beni strumentali in base alla percentuale di imprese offerenti (elaborazione personale).

Il 32% dei produttori di beni materiali individuati offre macchine per la movimentazione dei pezzi ed *Automated Guided Vehicles (AGV)*, il 28% produce e vende robot per uso industriale anche collaborativi e il 24% progetta e realizza magazzini automatizzati connessi al sistema gestionale.

Solo un 12% del totale annovera nella sua proposta macchine per la fabbricazione additiva, un risultato che dimostra quanto i vincoli in termini di prezzo e disponibilità della materia prima e di condizioni ambientali, idonee al corretto funzionamento delle stampanti 3D, limitino al momento il successo di tali soluzioni.

Inoltre, le percentuali che definiscono la composizione dei fornitori di beni per l'investimento in Industria 4.0 andrebbero riformulate come segue:

- Imprese che forniscono solamente beni strumentali (7,69%).
- Imprese che forniscono solamente beni immateriali (53,85%).
- Imprese che forniscono sia beni strumentali che beni immateriali (34,62%).
- Imprese che forniscono esclusivamente sistemi per l'assicurazione della qualità e sostenibilità e dispositivi per l'interazione uomo macchina (3,85%).

Tale modifica è da imputare ad un fraintendimento della normativa da parte di alcuni rispondenti e, più nello specifico, ad una mancata comprensione dei requisiti minimi che i beni strumentali devono possedere per essere iperammortizzabili.

Essi infatti devono manifestare almeno due tra queste caratteristiche:

- Sistemi di telemanutenzione e/o telediagnosi e/o controllo in remoto.

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

- Monitoraggio continuo delle condizioni di lavoro e dei parametri di processo mediante opportuni set di sensori e adattività alle derive di processo.
- Caratteristiche di integrazione tra macchina fisica e/o impianto con la modellizzazione e/o la simulazione del proprio comportamento nello svolgimento del processo (sistema cyberfisico).
- Dispositivi, strumentazione e componentistica intelligente per l'integrazione, la sensorizzazione e/o l'interconnessione e il controllo automatico dei processi utilizzati anche nell'ammodernamento o nel *revamping* dei sistemi di produzione esistenti.
- Filtri e sistemi di trattamento e recupero di acqua, aria, olio, sostanze chimiche e organiche, polveri con sistemi di segnalazione dell'efficienza filtrante e della presenza di anomalie o sostanze aliene al processo o pericolose, integrate con il sistema di fabbrica e in grado di avvisare gli operatori e/o di fermare le attività di macchine e impianti.

Circa l'8% dei soggetti intervistati ha invece dichiarato che, nella proposta corrispondente, sia presente solamente una delle proprietà sopra citate, non osservando pienamente i vincoli di interconnessione ed integrazione automatizzata, necessari affinché i rispettivi clienti possano servirsi di soluzioni effettivamente abilitanti il paradigma di Industria 4.0.

Nei chiarimenti forniti dal Mise, contenuti nella Circolare del 23 maggio 2018 n. 177355 [50], si puntualizza come, per godere degli incentivi previsti dal governo italiano, le imprese debbano poter adottare strumenti ed applicazioni identificati univocamente ed in grado di scambiare informazioni sia con l'interno (sistema gestionale, sistema di pianificazione, sistema di progettazione etc.) che con l'esterno (fornitori, clienti, *partner* etc.), per mezzo di un collegamento basato su specifiche documentate, disponibili pubblicamente ed internazionalmente riconosciute.

Inoltre, l'integrazione automatizzata con il sistema logistico di fabbrica, o con la rete di fornitura, e/o con altre macchine del ciclo produttivo, deve garantire che la gestione sia del flusso di materiali che di quello delle informazioni impatti su una o più funzioni riferibili alla logistica di fabbrica, che interessa l'intero ciclo operativo dell'azienda e, pertanto, non può ricondursi alla sola movimentazione meccanizzata dei pezzi lavorati e alla tracciabilità dei prodotti.

Nel campione considerato, il controllo da remoto e in modo continuativo delle unità presenti nel sistema è assicurato rispettivamente dal 40% e dal 36% dei soggetti interpellati (Figura 5.7), mentre l'utilizzo di modelli per la simulazione dei processi e di dispositivi per un uso efficiente delle risorse rimangono parzialmente o totalmente inesplorati.

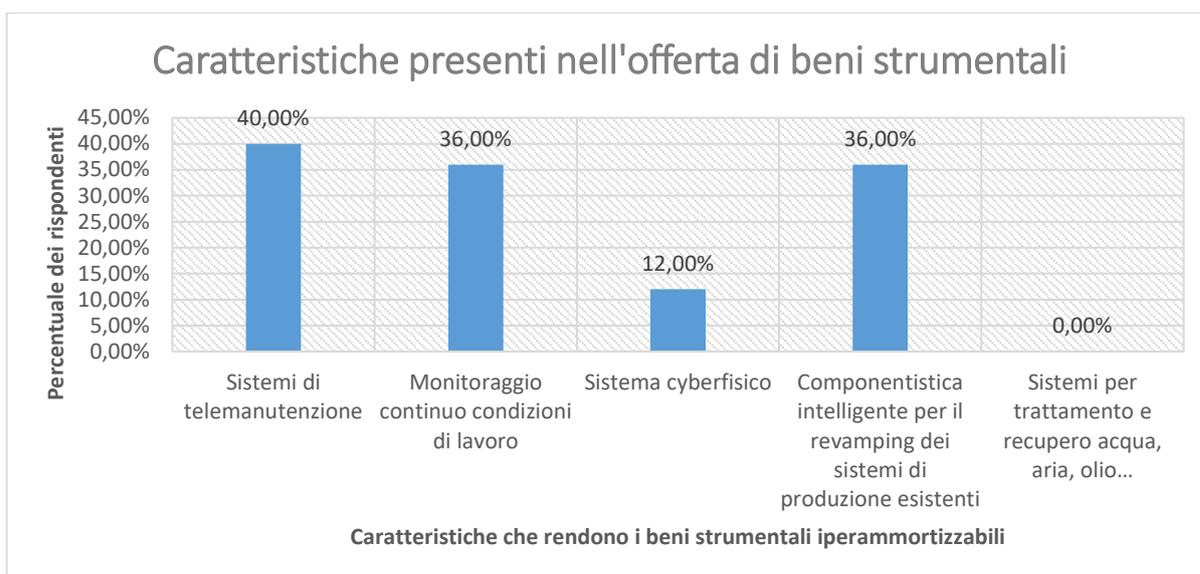


Figura 5.7: Soddisfazione dei requisiti per l'interconnessione nell'offerta di beni strumentali considerata (elaborazione personale).

Se per quanto concerne l'offerta di sistemi per l'assicurazione della qualità, i *provider* consentono di disporre di una varietà di applicazioni tra strumenti per l'identificazione automatica e per il controllo in tempo reale connessi ai sistemi informativi o al cloud, in materia di soluzioni per la sostenibilità non si evidenzia una pari disponibilità.

Non risultano attualmente disponibili filtri per il trattamento e il recupero di sostanze impiegate nei processi industriali, quali acqua, aria e olio e solo il 7,69% degli intervistati realizza sistemi per il monitoraggio dei consumi energetici, a conferma di un ancora scarso interesse per le problematiche connesse all'efficienza energetica e alla realizzazione di prodotti ecocompatibili, che possano ridurre gli sprechi attraverso il loro ricondizionamento e riutilizzo.

Si riscontra invece un allineamento tra offerta e domanda di mercato in relazione alla proposta di beni immateriali (Figura 5.8).

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

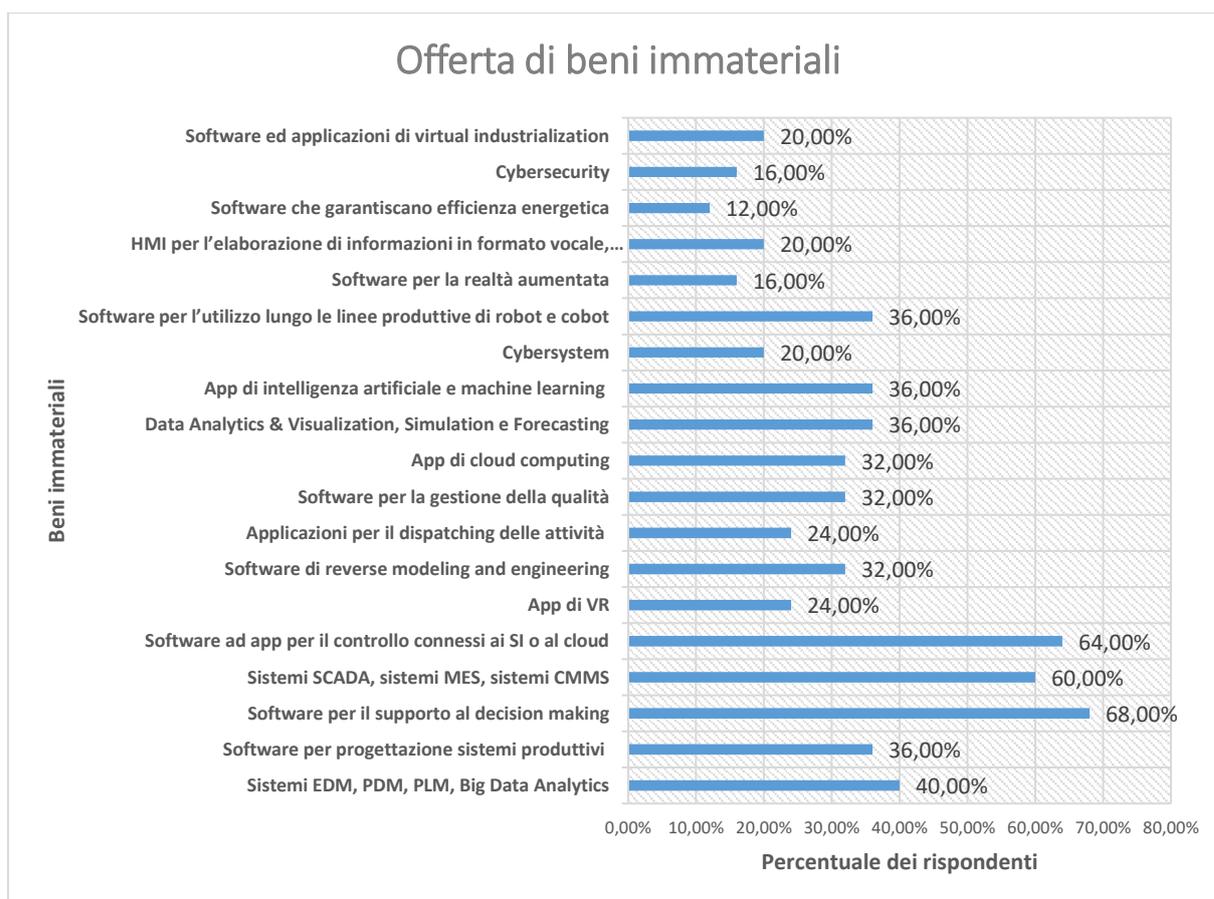


Figura 5.8: Classificazione della proposta di beni immateriali in base alla percentuale di imprese offerenti (elaborazione personale).

I *provider* rispondono esaustivamente alle esigenze delle imprese che si stanno digitalizzando e adeguando al nuovo paradigma industriale, elaborando soluzioni per rendere più intuitiva ed efficace l'integrazione tra *shop floor* e sistema gestionale *ERP*.

Nel corso di una visita al *DIH* della regione Piemonte, durante una discussione incentrata sulla valutazione delle richieste delle imprese che domandano i loro servizi di consulenza e supporto tecnico, è emerso come tali soggetti si rivolgano prevalentemente a queste realtà del territorio per attività di analisi del *matching* tecnologico e per la ricerca di fornitori di soluzioni *MES*.

L'offerta si compone anche di una consistente percentuale, che varia dal 40 al 36%, di software per l'*analytics* dei dati di produzione, oltre che per la loro visualizzazione, e di applicazioni per la simulazione e la previsione fondate sui *big data*.

Virtual reality e realtà aumentata e soluzioni per la *cyber security* permangono invece in una fase iniziale del loro sviluppo o non hanno ancora pienamente espresso il loro potenziale.

Nel primo caso ciò è da imputare all'innovatività della tecnologia proposta in ambito industriale, con la quale gli operatori possiedono un basso grado di confidenza e familiarità; pur incontrando un notevole interesse da parte del mercato dei potenziali utenti per le prestazioni che consentirebbe di realizzare, soprattutto per quanto riguarda il controllo dei processi e la formazione del personale, non si traduce ancora in grandi volumi della domanda.

Per quanto riguarda la sicurezza informatica e la presenza di connessione in Banda Ultra Larga stabile ed affidabile, accessibile per tutte le aziende del territorio, tali risultati non ancora soddisfacenti riflettono, come osservato in precedenza, la debole preparazione degli impiegati

riguardo questi temi e l'inadeguatezza degli incentivi nazionali, rispetto agli altri programmi europei dedicati.

5.3 Direzioni strategiche future

Il bilancio in termini di conformità dell'offerta di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 alla domanda proveniente delle imprese italiane appare complessivamente positivo.

Le imprese considerate dall'indagine dichiarano di aver assistito mediamente ad un aumento delle vendite del 40% dal 2017, un risultato importante se si considera che il 56% dei soggetti intervistati ha introdotto sul mercato per la prima volta più del 50% del totale delle soluzioni offerte.

Questo dato testimonia pertanto una maggiore apertura e prontezza ad investire da parte delle aziende italiane, ma rimangono ulteriori margini di miglioramento.

Innanzitutto, le applicazioni realizzate dai soggetti intervistati non sono ancora distribuite uniformemente lungo la catena di fornitura (Figura 5.9), concentrandosi prevalentemente sulla produzione in senso stretto nell'84,62% delle soluzioni ed interessando secondariamente la logistica interna e in uscita (65,38%).

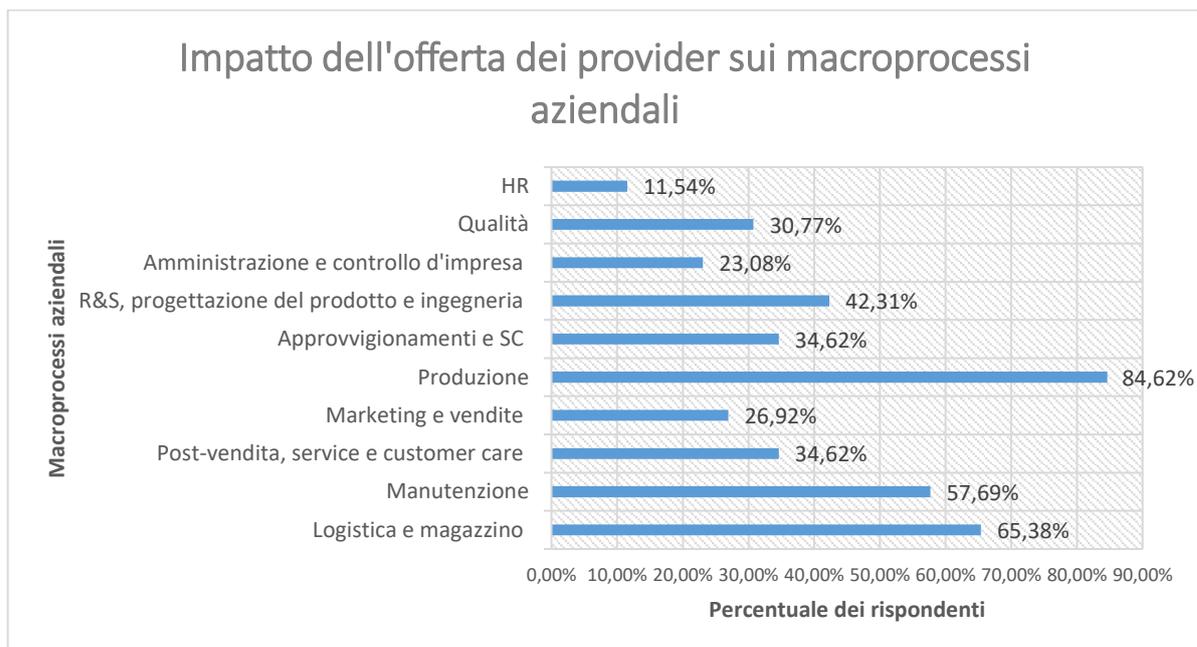


Figura 5.9: Quantificazione dell'impatto delle soluzioni offerte dai *provider* sui macroprocessi aziendali (elaborazione personale).

La digitalizzazione della filiera ha l'obiettivo di creare un unico ecosistema integrato in grado di coordinare e gestire non solo la pianificazione della produzione e delle scorte, ma anche di armonizzare il flusso informativo e di prodotti a monte, con la funzione *marketing e sales* e l'approvvigionamento di materie prime, componenti e semilavorati e a valle, con la distribuzione ed i servizi post vendita, per elevare la percezione del valore da parte del cliente finale [51].

Solo il 31% delle tecnologie proposte influenza direttamente la divisione Qualità nel miglioramento dei processi e dei prodotti del cliente.

5. La responsabilità dei produttori di tecnologie abilitanti l'Industria 4.0

In parte ciò è da attribuire alla dispersione degli obiettivi della qualità in tutti i processi ad essa connessi.

I requisiti per la qualità del processo e prodotto cominciano ad essere definiti nelle relative fasi di *design* e riguardano anche i servizi successivi alla vendita e distribuzione e tutte le occasioni in cui il cliente finale interagisce con il prodotto offerto [52].

Tale considerazione avvalorata ulteriormente la tesi secondo la quale una maggiore integrazione con fornitori e clienti, insita nella più recente declinazione del concetto di Industria 4.0 “*Supply Chain 4.0*”, sia ancora in divenire.

Qualità significa anche portare la tecnologia a supporto della sicurezza sul lavoro, ma solo il 3,85% dei fornitori di dispositivi per l'interazione uomo macchina realizza postazioni dotate di soluzioni ergonomiche ed una percentuale molto bassa, pari al 7,69%, distribuisce sistemi intelligenti/robotizzati/interattivi per agevolare l'operatore nel sollevamento e nello spostamento di parti pesanti o di oggetti esposti ad alte temperature.

Questi dati potrebbero, tuttavia, subire una variazione in positivo nei prossimi due anni (Figura 5.10).

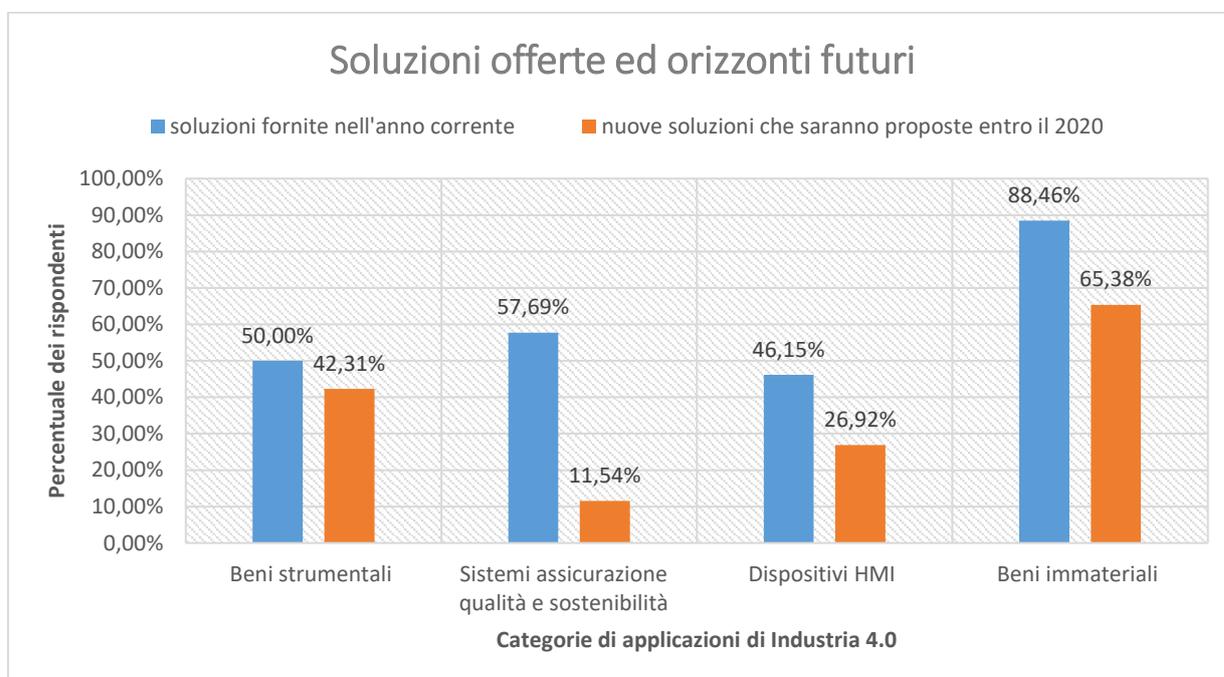


Figura 5.10: Classificazione delle applicazioni per l'Industria 4.0 offerte e delle nuove soluzioni in fieri (elaborazione personale).

Le imprese esaminate infatti stimano di sviluppare nuove soluzioni principalmente in ambito software (65,38%), ma prevedono di dedicarsi entro il 2020 anche alla realizzazione di beni strumentali, il cui funzionamento sia controllato tramite sistemi computerizzati o gestito tramite opportuni sensori ed azionamenti (42,31%), e alla creazione di dispositivi per l'interazione uomo macchina, capaci di migliorare l'ergonomia e la sicurezza sul posto di lavoro in ottica 4.0 (26,92%).

In sintesi, dal lato dell'offerta si registra una prevalenza piuttosto netta di beni immateriali, in particolare:

- Software *MES* ed applicazioni per il controllo connesse al cloud, elemento che secondo la letteratura si trova alla base dell'integrazione verticale necessaria per l'elaborazione e la valorizzazione dei dati, acquisiti a livello di officina (Ghobakhloo, 2018).

- Sistemi di big data analytics, dato che trova riscontro nei risultati presentati dall'Osservatorio del Politecnico di Milano, secondo i quali le percentuali più significative di progetti in ottica 4.0 interessano rispettivamente applicazioni di *IIoT* e di *Industrial Analytics* (Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Gestionale, 2017).

Alla *Virtual Reality*/Realtà Aumentata e alle soluzioni per la *Cyber Security* sono associate percentuali del campione considerato pari circa ad un terzo di quelle corrispondenti alle categorie di prodotti e servizi sopracitati.

Tale fatto giustifica pienamente la visione promossa dalla società di consulenza Gartner (Sezione 1.3), secondo la quale tali tecnologie non hanno ancora raggiunto il plateau di produttività assistendo ad ulteriori sviluppi nel corso del prossimo decennio e, per quanto concerne specificatamente la situazione italiana, riflette la scarsa presenza di figure professionali competenti in merito rispetto alla media europea [29].

Risulta quindi necessario investire nella sicurezza informatica e in programmi per la formazione dei nuovi profili occupazionali non solo presso le aziende che fruiscono dei servizi e degli strumenti promossi dall'Industria 4.0, ma anche da parte dei provider di tecnologia abilitante.

6. Conclusioni

Il lavoro di ricerca intrapreso ha permesso di ricavare una chiara definizione di Industria 4.0 e dei principi guida per la sua realizzazione, necessario punto di partenza per un'analisi più approfondita sul tema.

Successivamente, sono state esaminate le peculiarità del contesto geo-politico europeo, responsabili della creazione di nuove opportunità e minacce, in aggiunta alle conseguenze che risiedono astrattamente nell'adozione delle tecnologie, cardinali nel nuovo paradigma industriale.

Tali valutazioni hanno reso possibile identificare l'approccio associato mediamente ai responsabili per progetti di Industria 4.0 nelle aziende europee, sintomatico di una scarsa propensione a cogliere i risvolti strategici per l'innovazione dei modelli di business.

Il programma italiano, nello specifico, consiste prevalentemente nella concessione di sgravi fiscali per le imprese che decidono di investire in tecnologie idonee alla trasformazione in ottica 4.0, un intervento che si dispiega in un orizzonte di breve periodo.

Da una comparazione con le misure in corso in Germania, è emerso in Italia un *focus* al momento potenziale sulla virtuosità della collaborazione tra realtà produttive e centri di ricerca e università, per risolvere i grandi *gap* informativi e ridurre gli sprechi di competenze, *soft* e *digital skill* ancora poco conosciute nelle tradizionali imprese manifatturiere italiane.

L'eterogenea confidenza con il concetto di Industria 4.0 non dipende esclusivamente dalla posizione geografica dello stabilimento o dalle dimensioni dell'azienda ma, come risultato da una ricerca che ha coinvolto le principali fonti della letteratura contemporanea competenti, deriva anche da una differente applicabilità delle sue soluzioni a seconda di determinati fattori legati al prodotto, alla domanda di mercato o al processo di pianificazione ed esecuzione della produzione.

Lo studio condotto su un campione di imprese, che realizzano e/o distribuiscono tecnologie per avvicinare le aziende italiane ai requisiti dell'Industria 4.0, ha peraltro reso possibile comprendere come la quarta rivoluzione industriale conferisca notevoli vantaggi da un punto di vista strategico prevalentemente per i produttori di beni materiali, che acquisiscono conoscenze relative al mondo digitale e software, fino a quel momento a loro estranee, e massimizzano i propri ritorni economici, attraverso componenti di ricavo aggiuntive, dovute all'integrazione di servizi post vendita e alla maggiore *willingness to pay* dei consumatori, che possono ora ottenere prodotti altamente personalizzati.

6.1 Implicazioni per la teoria

L'elaborato rappresenta un contributo per la letteratura contemporanea sull'Industria 4.0, in quanto integra l'insieme di studi inerenti all'applicabilità delle potenzialità del nuovo paradigma industriale in Europa con un'analisi del tema nell'ambito manifatturiero italiano.

Il lavoro di ricerca ha portato alla convergenza dei risultati più significativi derivanti da pubblicazioni ed indagini pregresse di carattere eterogeneo, focalizzate rispettivamente sulla politica italiana per l'innovazione, la disponibilità e le caratteristiche di un investimento in Industria 4.0 da parte delle imprese manifatturiere del territorio e le sfide lanciate dal contesto in termini di risorse e competenze.

6. Conclusioni

Un'analisi critica degli incentivi adottati dal governo italiano ed alcune testimonianze, provenienti da realtà nazionali affermate e riconducibili a settori industriali portanti dell'economia italiana, sono state simultaneamente affrontate per restituire una maggiore comprensività alle valutazioni effettuate.

Considerata, inoltre, la notevole importanza della dimensione tecnologica nel dibattito sull'Industria 4.0, la carenza di studi rivolti anche ai produttori e distributori di soluzioni è emersa come un *gap* da colmare.

L'indagine condotta ha interessato differenti profili di *solution provider*, con la finalità di comprendere chi benefici maggiormente del cambiamento ed incontri prevalentemente le richieste del mercato.

In seguito alla proliferazione in tutto il territorio di *Digital Innovation Hub* e Centri di Competenza, i risultati del *survey* hanno confermato le aspettative in merito all'instaurazione di comunicazioni più efficienti tra utenti e produttori di tecnologia e alla diffusione di meccanismi di *co-creation* e *cooperation*.

Si è riscontrato nel complesso un soddisfacente allineamento tra la domanda e l'offerta, che appare tuttavia parimenti responsabile delle lacune in materia di migliore gestione dei consumi e del ciclo di vita del prodotto e in termini di sicurezza informatica.

Considerando i risultati conseguiti, è ragionevole supporre che le aziende che hanno già avviato progetti per l'Industria 4.0, prevalentemente aziende di dimensione medio-grande con un grado di digitalizzazione medio-basso, proseguiranno conservando l'attenzione iniziale sui processi interni, in particolare ai fini della creazione di una fabbrica intelligente, potendo beneficiare a tal proposito dei futuri sviluppi per l'impiego della fabbricazione additiva nella produzione di parti finali su larga scala.

Le difficoltà riscontrate dalle piccole imprese nel processo di trasformazione in atto, imputabili quindi, oltre che alla carenza di competenze digitali in loro possesso e alla mancanza di una visione strategica definita dal *top management* e condivisa ad ogni livello aziendale, alla scarsità di un'offerta a loro dedicata da parte dei *solution provider*, potrebbero in parte essere superate partecipando alla rete di Centri di Competenza e *Digital Innovation Hub* attualmente in costruzione in tutta Italia, rappresentazione formale di un punto di contatto tra imprese in cerca di una formazione adeguata e produttori che vogliono affinare la loro offerta e fidelizzare i propri clienti.

Entro il 2020, come dichiarato dai soggetti che hanno risposto positivamente al *survey*, il numero di *device* connessi attraverso sensori e *tag RFID* è destinato ad aumentare progressivamente, rendendo sempre più urgente la risoluzione dei limiti per la connettività 5G. I fornitori di sicurezza per gli *endpoint*, ovvero tutti quei dispositivi collegati alla rete locale, saranno inevitabilmente chiamati a progettare e distribuire servizi per prevenire la perturbazione non autorizzata e la perdita dei dati, attraverso sistemi per il controllo dell'utente e degli applicativi connessi e per l'approvazione unicamente dei software considerati innocui. Come dimostrato dai dati raccolti in merito ai settori merceologici maggiormente interessati dall'attuale proposta di prodotti *smart* e servizi, i produttori in ambito *automotive* appartengono alla rosa di coloro che godono attualmente dei maggiori benefici, derivanti dalle soluzioni di Industria 4.0, ed assisteranno con elevate probabilità ad un nuovo aumento delle applicazioni di *IoT* da integrare nei loro modelli.

Tale campo si professa sicuramente come il più idoneo per la sperimentazione di soluzioni non solo con finalità di diagnostica, ma anche per un migliore interfacciamento uomo macchina.

Questa categoria di beni per l'investimento in Industria 4.0 ha suscitato infatti l'interesse più debole da parte di produttori e clienti in questi anni, ma, stando alle conclusioni emerse al termine dell'indagine, troverà ampi margini di sviluppo nel prossimo biennio.

6.2 Limitazioni del lavoro di tesi e passi futuri

Nonostante l'indiscutibile crescita del valore del mercato Industria 4.0 in Italia nell'ultimo biennio, le imprese italiane risultano ancora in una fase iniziale del processo di trasformazione in atto, soprattutto per quanto riguarda le PMI e start up innovative, che investono prevalentemente in soluzioni cloud.

D'altra parte, molte tecnologie alla base del cambiamento industriale, soprattutto tecniche di fabbricazione additiva, dispositivi per la realtà aumentata e soluzioni per la sicurezza informatica, sono sviluppate da un numero limitato di produttori e la loro offerta appare ancora poco definita e idonea per essere recepita dalle imprese manifatturiere italiane.

Digital Innovation Hub e Centri di Competenza, così come il credito d'imposta per la formazione introdotto recentemente dal governo, potrebbero in futuro favorire l'evoluzione delle competenze necessarie per una proposta più consapevole da parte delle aziende *solution provider* e per elevare la confidenza delle imprese manifatturiere nazionali con tali tecnologie avanzate.

Condurre un'indagine sull'offerta di soluzioni di Industria 4.0 nei prossimi anni potrebbe, pertanto, interessare un campione di potenziali rispondenti di dimensione maggiore, con una distribuzione più uniforme lungo tutta la penisola.

Il periodo in cui è stato effettuato il lavoro di ricerca, limitato per ragioni intrinseche all'entità del progetto di tesi di laurea, non ha permesso di monitorare i progressi e le eventuali involuzioni riguardo questo tema, a seguito della definizione della nuova legge di bilancio.

In un secondo momento sarà possibile verificare quanto le attuali misure in materia di Industria 4.0 abbiano influenzato la portata dell'investimento in soluzioni abilitanti il nuovo paradigma industriale.

Infine, consolidatasi una visione di insieme del fenomeno presso tutti i soggetti interessati, ricercatori e studiosi potranno approfondire la conoscenza di quelle potenzialità offerte dall'Industria 4.0 che oggi sono ancora parzialmente note, in particolare per quanto riguarda gestione sostenibile della *supply chain* e risoluzione di questioni delicate in materia di sicurezza e connettività.

BIBLIOGRAFIA

Ackerman, E. (2016), “German Warehouse Robots Tackle Picking Tasks”, available at: <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/german-warehouse-robots-tackle-picking-tasks> (accessed 20 January 2019).

Agrawal, A., Schaefer, S., Funke, T. (2018), “Incorporating Industry 4.0 in Firm Strategy”, in Brunet-Thornton, R., Martinez, F. (Eds.), *Analyzing the Impacts of Industry 4.0 in Modern Business Environments*, IGI Global, US, pp. 161-176.

Aliperto, D. (2016), “Dai sistemi legacy al cloud, ecco come VMware punta alla leadership”, available at: <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/cloud/dai-sistemi-legacy-al-cloud-ecco-come-vmware-punta-alla-leadership/> (accessed 20 January 2019).

Amcham Italy, Gruppo di Lavoro Ricerca & Sviluppo (2018), “Il Futuro di Industry 4.0 in Italia”, Amcham Italy, Milano, June 2018.

Babu, S.S., Love, L., Dehoff, R., Peter, W., Watkins, T.R., Pannala, S. (2016), “Additive manufacturing of materials: Opportunities and challenges”, *Mrs Bulletin*, Vol. 40 No. 12, pp. 1154-1161.

Bacis, E., Barabino&Partners (2017), “Industria 4.0: pronti a passare all’azione?”, Comunicato stampa, PwC, Milano, 5 April 2017.

Bellini, M. (2018), “Blockchain: cos’è, come funziona e gli ambiti applicativi in Italia”, available at: <https://www.blockchain4innovation.it/esperti/blockchain-perche-e-così-importante/> (accessed 7 December 2018).

Beltrametti, L., Persico, L. (2016), Rapporto di Ricerca, “I risultati dell’Indagine Industria 4.0 condotta da Federmeccanica”, indagine concepita e condotta dalla task force “Liberare l’ingegno”, coordinata da Andrea Pieracciani (Federmeccanica), 21 Settembre 2016.

Bolgar, C. (2016), “Engineer-to-Order Can’t Succeed Without the Internet of Things”, available at: <https://blogs.3ds.com/perspectives/engineer-to-order-cant-succeed-without-the-internet-of-things/> (accessed 17 January 2019).

Bouée, C., Schalble, S. (2015), “The digital transformation of industry”, A European study commissioned by the Federation of German Industries (BDI) and conducted by Roland Berger Strategy Consultants, Munich, Germany, March 2015.

Bourke, J., Dillon, B. (2018), “The diversity and inclusion revolution”, *Deloitte Review* Issue 22, January 2018, pp. 82-95.

Buhr, D., Stehnen, T. (2018), “Industry 4.0 and European Innovation Policy. Big plans, small steps”, Friedrich-Ebert-Stiftung Published by: Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik Godesberger Allee 149/D-53175 Bonn, December 2018.

Caporali, M. (2018), “Efficienza in Cartiera: una soluzione 4.0 per la centrale termica”, paper presentato in occasione della 10^a Giornata sull’efficienza energetica nelle industrie, 9 May 2018, Cannon Company & Cannon Bono Energia, Milano.

Carpinella, A. (2017), “Industria 4.0 per un’Impresa globale: la dimensione del fenomeno, le implicazioni per il Paese, le policy”, XVI Forum Annuale Comitato Leonardo -13 Novembre 2017, KPMG.

Casali, A. (2018), “Come sfruttare il Cloud per per l’Industria 4.0 e per l’Impresa 4.0”, available at: <https://www.internet4things.it/industry-4-0/come-sfruttare-il-cloud-per-lindustria-4-0-e-per-limpresa-4-0/> (accessed 6 December 2018).

Cesaretti, E., Gea, F., Catania, E., presentazione pubblicata in occasione dell’incontro “Road Show Impresa 4.0”, 15 Febbraio 2017, Auditorium Confindustria Umbria, elaborazioni Intesa Sanpaolo.

Cicconi, P., Germani, M., Nardelli, M., Raffaelli, R. (2018), “Supporting design tasks through constraint satisfaction tool”, in Marjanović D., Štorga M., Škec S., Bojčetić N., Pavković N. (Eds.), *DS 92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference*, The Design Society, Scotland, pp. 393-404.

Cohen, Y., Faccio, M., Galizia, F.G., Mora, C., Pilati, F. (2017), “Assembly system configuration through Industry 4.0 principles: the expected change in the actual paradigms”, *IFAC PapersOnLine*, Vol. 50 No. 1, pp. 14958-14962.

Collins, G., Krumkachev, P., Aspin, G., Metzger, M., Radeztsky, S., Srinivasan, S. (2017), “Everything-as-a-service: Modernizing the core through a services lens” in Tech Trends 2017, available at: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/tech-trends/2017/everything-as-a-service.html> (accessed 5 December 2018).

Cotteleer, M., Mahto, M., Murphy, T. (2018), “The strategy paradox. A defensive position on digital transformation”, available at: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/focus/industry-4-0/challenges-on-path-to-digital-transformation/strategy-paradox.html> (accessed 10 January 2019).

Cutler, T.R. (2018), “ETO Manufacturers Can Finally Offer Online Shopping via bCommerce”, available at: <https://www.manufacturingtomorrow.com/article/2018/10/eto-manufacturers-can-finally-offer-online-shopping-via-bcommerce/12374> (accessed 17 January 2019).

Dachema (2018), “Modularization Paves the Way to “Process Industry 4.0””, available at: <https://www.chemanager-online.com/en/topics/production/modularization-paves-way-process-industry-40> (accessed 5 December 2018).

Dalenogare, L.S., Benitez, G.B., Ayala, N.F., Frank, A.G. (2018), “The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance”, *International Journal of Production Economics*, Vol. 204, pp. 385-386.

Dallasega, P., Rojas, R.A., Rauch, E., Matt, D.T. (2017), Simulation based Validation of Supply Chain Effects through ICT enabled Real-Time-Capability in ETO Production Planning, *Procedia Manufacturing*, Vol 11, pp. 847-848.

Deloitte and Forbes Insight (2017), “The Fourth Industrial Revolution is here – are you ready?”, available at: <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/consumer-industrial-products/articles/industry-4-0-readiness-report-2018.html> (accessed 10 January 2019).

Destri, F. (2018), “IA e Data Scientist: i lavori del futuro stentano a decollare in Italia”, available at: <https://www.cwi.it/tecnologie-emergenti/intelligenza-artificiale/ia-data-scientist-italia-116200> (accessed 18 January 2019).

Ding, B. (2018), “Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains”, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol.119, pp. 119-120, 127.

Dudek, P., Zagórski, K. (2016), “Cost, resources, and energy efficiency of additive manufacturing”, in Suwała, W., Dudek, M., Leszczyński, J., Łopata, S. (Eds.), *E3S Web of Conferences Vol. 14 Energy and Fuels 2016 Krakow, Poland, September 21-23, 2016*, EDP Sciences, France, pp. 1-8.

Elgh, F., Johansson, J., Stolt, R., Lennartsson, M., Heikkinen, T., Raudberget, D. (2018), “Platform Models for Agile Customization – What's Beyond Modularization?”, in Peruzzini, M., Pellicciari, M., Bil, C., Stjepandić, J., Wognum, N. (Eds.), *Transdisciplinary Engineering Methods for Social Innovation of Industry 4.0: Proceedings of the 25th ISPE Inc. International Conference on Transdisciplinary Engineering*, IOS Press Advances in Transdisciplinary Engineering, pp. 371-380.

Energy & Strategy Group (2017), “Energy Efficiency Report”, 7^a edizione, Politecnico di Milano, 12 July 2017.

European Commission (2016), “Digitising European Industry Reaping the full benefits of a Digital Single Market”, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 19 April 2016, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0180&from=en> (accessed 14 January 2019).

European Commission (2017), “On the Mid-Term Review on the implementation of the Digital Single Market Strategy. A Connected Digital Single Market for All”, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Brussels, 10 May 2017.

European Commission (2017), “2017 European Semester: Assessment of progress on structural reforms, prevention and correction of macroeconomic imbalances, and results of in-depth reviews under Regulation (EU) No 1176/2011”, Commission Staff Working Document Country Report Belgium 2017 accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Central Bank and the Eurogroup.

European Commission News (2018), “Juncker Plan exceeds original € 315 billion investment target”, Weekly Meeting, Brussels, Belgium, 18 July 2018, available at: https://ec.europa.eu/commission/news/juncker-plan-exceeds-original-eu315-billion-investment-target-2018-jul-18-0_en (accessed 14 January 2019).

European Commission – Press Release (2017), “Digital Single Market: Commission calls for swift adoption of key proposals and maps out challenges ahead”, Brussels, 10 May 2017, available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-17-1232_en.htm (accessed 14 January 2019).

European Commission – Press Release (2018), “Digital Single Market: EU negotiators reach a political agreement to update the EU's telecoms rules”, Brussels, 6 June 2018, available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-4070_en.htm (accessed 14 January 2019).

European Commission - Press Release (2018), “EU budget: Commission proposes most ambitious Research and Innovation programme yet”, Brussels, 7 June 2018, available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-4041_en.htm (accessed 14 January 2019).

European Commission – Strategy (2018), “5G for Europe Action Plan”, Digital Single Market Policy, 22 August 2018, available at: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/5g-europe-action-plan> (accessed 14 January 2019).

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Public Relations Division (2017), “Smart Services World – Internet-based Business Services”, Scharnhorststr. 34–37 10115 Berlin. January 2017, available at: https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/smart-service-welt-internetbasierte-dienste-fuer-die-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (accessed 15 January 2019).

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Public Relations (2017), “Mittelstand – Digital. Strategies for the Digital Transformation of Business Processes”, 11019 Berlin, Germany, March 2017, available at: https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Mittelstand/mittelstand-digital.pdf?__blob=publicationFile&v=6 (accessed 15 January 2019).

Fernández-Caramés, T.M., Fraga-Lamas, P. (2018), “A Review on Human-Centered IoT-Connected Smart Labels for the Industry 4.0”, *IEEE Access*, Vol.6, p. 4.

Ferro, L. (2018), “Arriva il Punto impresa digitale, per innovare le Pmi”, available at: <https://www.01net.it/punto-impresa-digitale-pmi/> (accessed 16 January 2019).

Filipov, V., Vasilev, P. (2016), “Manufacturing Operations Management - The Smart Backbone of Industry 4.0”, in *International Scientific Journal Industry 4.0 ISSN 2543-8582*, Vol. 1 No. 1, Bulgaria, p. 73.

Flegel, H. (2004), “Manufuture a vision for 2020. Assuring the future of manufacturing in Europe”, European Commission, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg November 2004.

Fondirigenti, Rilevazione risposte al questionario di analisi degli investimenti in tecnologie dell'innovazione in chiave Industria 4.0, “Readiness Industria 4.0”, 1° Report di restituzione, 9 April 2018.

Frollà, A. (2018), “L’economia 4.0 cambia il lavoro: i più richiesti saranno i data scientist”, available at: https://www.repubblica.it/economia/rapporti/paesedigitale/trend/2018/02/15/news/l_economia_4_0_zero_cambia_il_lavoro_i_piu_richiesti_saranno_i_data_scientist-188931977/ (accessed 18 January 2019).

Geissbauer, Dr. R., Vedso, J., Schrauf, S. (2016), “Industry 4.0: Building the digital enterprise”, 2016 Global Industry 4.0 Survey, PwC, Germany.

Gerbert, P., Lorenz, M., Rübmann, M. (2015), “Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”, available at: https://www.bcg.com/it-it/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries.aspx (accessed 29 November 2018).

Ghobakhloo, M. (2018), “The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 29 No. 6, pp. 919-924, 926, 929-930.

Govindan, K., Soleimani, H., Kannan, D. (2015), “Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 240 No. 3, pp. 603-604.

Grajewski, D., Górski, F., Zawadzki, P., Hamrol, A. (2013), “Application of Virtual Reality Techniques in Design of Ergonomic Manufacturing Workplaces”, *Procedia Computer Science*, Vol. 25, pp. 290-292, 299.

Grenacher, M. (2018), “Industry 4.0, The Smart Factory and Machines-As-A-Service”, available at: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2018/04/11/industry-4-0-the-smart-factory-and-machines-as-a-service/#655d34a51dff> (accessed 2 February 2019).

Gu, F., Guo, J., Hall, P., Gu, X. (2018), “An integrated architecture for implementing extended producer responsibility in the context of Industry 4.0”, *International Journal of Production Research*, Vol. 56, pp. 4-7.

Guszcza, J. (2018), “Smarter Together. Why artificial intelligence needs human-centered design”, *Deloitte Review* Issue 22, January 2018, pp. 36-45.

Hammer, C. (2017), “Profitable Packaging & Modular Thinking for Industry 4.0”, *Prefilled Syringes & Injection Devices*, No. 79, p. 71.

Hammer, M., Somers, K., Karre, H., Ramsauer, C. (2017), “Profit per hour as a target process control parameter for manufacturing systems enabled by Big Data analytics and Industry 4.0 infrastructure”, *Procedia CIRP*, Vol. 63, p. 716.

Hansell, G., Kotzen, J., Roos, A., Wick, E., Olsen, E., Farag, H. (2017), “Value Creation and Corporate Reinvention”, available at: <https://www.bcg.com/publications/2017/value-creation-corporate-reinvention.aspx> (accessed 9 January 2019).

Hechtel, O. (2018), “Product variants under an Industry 4.0 based CTO model”, available at: <http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/product-variants-under-an-industry-4-0-based-cto-model/182842/> (accessed 17 January 2019).

Helmbrecht, U., Wainwright, R. (2014), “Agreement on Strategic Co-operation between the European Union Agency for Network and Information Security and the European Police Office”, ENISA and Europol, The Hague, 26 June 2014, available at: <https://www.europol.europa.eu/agreements/european-union-agency-for-network-and-information-security-enisa> (accessed 14 January 2019).

Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2015), “Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review”, No. 01, Technische Universität Dortmund Fakultät Maschinenbau and Audi Stiftungslehrstuhl Supply Net Order Management, Dortmund.

Hohmann, C. (2014), “Is 3D printing the ultimate postponement? – Part one”, available at: <https://hohmannchris.wordpress.com/2014/08/27/is-3d-printing-the-ultimate-postponement-part-one/> (accessed 16 January 2019).

Horst, D.J. (2018), “Additive Manufacturing at Industry 4.0: a Review”, *International Journal of Engineering and Technical Research*, Vol. 8 No. 8, pp. 3-4, 6.

Huhtala, M., Lohtander, M., Varis, J. (2014), “The role of Product Data Management (PDM) in engineering design and the key differences between PDM and Product Lifecycle Management (PLM)”, paper presented at the 1st PDM forum for Finland-Russia collaboration, Lappeenranta 25 and 26 April 2013.

Hwang, Y. (2017), “Blockchain Explained—The Basics of Blockchain and How it Might Affect IoT”, available at: <https://medium.com/iotforall/blockchain-explained-the-basics-of-blockchain-and-how-it-might-affect-iot-84367ac7f61a> (accessed 7 December 2018).

Ibarra, D., Ganzarain, J., Igartua, J.I. (2018), “Business model innovation through Industry 4.0: A review”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 22, p. 5.

IBM Corporation (2018), “Streamline business transactions and create revenue opportunities with IBM Blockchain”, IBM, Armonk, Stati Uniti.

Intel Corporation (2017), “Predictive Maintenance Prevents Machine Downtime and Reduces Maintenance Costs”, available at: <https://www.intel.in/content/www/in/en/big-data/intel-sap-telekom-predictive-analytics-paper.html> (accessed 03 December 2018).

Islam, K., Islam, K.N., Rahman, Md. F. (2016), “Industrial Symbiosis: A Review on Uncovering Approaches, Opportunities, Barriers and Policies”, *Civil Engineering and Environmental Systems*, Vol. 2, pp. 11, 15.

Iuliano, L. (2017), materiale didattico del corso Produzione assistita al calcolatore, Politecnico di Torino.

Jain, P., Mondal, T. (2017), “HfS Blueprint Guide: Industry 4.0 Services Excerpt for Accenture”, HfS Research, Ltd, Cambridge, 4 April.

Jonsson, P., Mattsson, S. (2003), “The implications of fit between planning environments and manufacturing planning and control methods”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 23 No. 8, pp. 875-884.

Jovane, F., Stock, T., Seliger, G. (2017), “Competitive Sustainable Globalization General Considerations and Perspectives”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 8, pp. 12-17.

Kagermann, H., Wahlster, W., Helbig, J. (2013), “Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. Final report of the Industrie 4.0 working group”, Platform Industrie 4.0, Frankfurt/Main, 8 April.

Kazutoshi, M. (2017), “Industry 4.0: Bringing the human-machine relationship to the next level”, available at: <http://www.cordenceworldwide.com/Insights/2017/03/24/Industry-40-Bringing-the-human-machine-relationship-to-the-next-level> (accessed 9 January 2019).

Kegel, G. (2015), “News for Factory Automation”, Ed. 36.000, Pepperl+Fuchs GmbH, Mannheim (Germania), February 2015.

Kinkel, S., Schemmann, B., Lichtner, R. (2017), “Critical Competencies for the Innovativeness of Value Creation Champions: Identifying Challenges and Work-integrated Solutions”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 9, pp. 323-329.

Kovacs, O. (2018), “The dark corners of industry 4.0 – Grounding economic governance 2.0”, *Technology in Society*, Vol. 55, pp. 2-4.

Kulkarni, G., Gambhir, J., Palwe, R. (2012), “Cloud Computing – Software as Service”, *International Journal of Computer Science & Information Technology Research Excellence*, Vol. 2 No. 1, p. 91.

Küpper, D., Lorenz, M., Kuhlmann, K., Bouffault, O., Lim, Y.H., Van Wyck, J., Köcher, S., Schlageter, J. (2018), “AI in the Factory of the Future: The Ghost in the Machine”, available at: <https://www.bcg.com/it-it/publications/2018/artificial-intelligence-factory-future.aspx> (accessed 9 January 2019).

Kürümlüoğlu, M. (2015), “Industry 4.0 in the region of Stuttgart”, Third Platform Event of RIM Plus 2015-2016, Developing New Skills for Advanced Manufacturing, Fraunhofer IAO, Competence Center R&D Management, Brussels, 21 October 2015.

Lasinio, C.J., Luchetti, F., Perani, G., Rinaldi, M., Zeli, A., Zurlo, D. (2018), “Il piano nazionale “Impresa 4.0”: prime valutazioni”, in Costa, S., Vicarelli, C. (Eds.), *Rapporto sulla competitività dei settori produttivi – Edizione 2018*, Istituto nazionale di statistica (ISTAT), Roma, pp. 103, 107-109.

Laurini, R., Murgante, B. (2008), “Interoperabilità semantica e geometrica nelle basi di dati geografiche nella pianificazione urbana”, in Murgante, B. (Ed.), *L'informazione geografica a supporto della pianificazione territoriale*, Franco Angeli, Milano, pp. 229-244.

Licata, P. (2018), “Tagliola dell’Antitrust Ue su 4 big del tech: sanzione da 111,2 milioni”, available at: <https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/ecommerce/tagliola-dellantitrust-ue-su-4-big-del-tech-sanzione-da-1112-milioni/> (accessed 14 January 2019).

Losito, A. (2018), “Iper ammortamento 2019: elenco beni agevolabili fino al 30 giugno 2020”, available at: <https://www.guidafisco.it/iper-ammortamento-elenco-beni-agevolabili-ammessi-allegato-a-b-1816> (accessed 15 January 2019).

Luciano, P.P. (2018), “Un miliardo di bottiglie l’anno dalla fabbrica 4.0 dell’acqua”, available at: <https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2018/05/15/un-miliardo-di-bottiglie-lanno-dalla-fabbrica-40-dellacquaTorino11.html> (accessed 18 January 2019).

Lugert, A., Batz, A., Winkler, H. (2018), “Empirical assessment of the future adequacy of value stream mapping in manufacturing industries”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 29 No. 5, pp. 889, 891, 894, 896-897, 900.

Majumdar, Dr. R. (2017), “Understanding the productivity paradox. Behind the Numbers, October 2017”, available at: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/economy/behind-the-numbers/decoding-declining-stagnant-productivity-growth.html> (accessed 10 January 2019).

Marr, B. (2018), “The 5 Big Problems With Blockchain Everyone Should Be Aware Of”, available at: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/19/the-5-big-problems-with-blockchain-everyone-should-be-aware-of/#1b82b0611670> (accessed 7 December 2018).

Marr, B. (2018), “The Future Of Work: Are You Ready For Smart Cobots?”, available at: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/08/29/the-future-of-work-are-you-ready-for-smart-cobots/#3cddc9ae522b> (accessed 8 January 2019).

McFarlane, D., Sarma, S., Chirn, J.L., Wong, C Y, Ashton, K. (2002), “The intelligent product in manufacturing control and management”, *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 35 No. 1, pp. 49-54.

McKinsey Digital (2016), “Industry 4.0 after the initial hype. Where manufacturers are finding value and how they can best capture it”, McKinsey report on its Industry 4.0 Global Expert Survey, New York.

Meissner, H., Ilsen, R., Aurich, J.C. (2017), “Analysis of control architectures in the context of Industry 4.0”, *Procedia CIRP*, Vol. 62, p. 167.

Minguella-Canela, J., Muguruza, A., Lumbierres, D.R., Heredia, F.-J., Gimeno, R., Guo, P., Hamilton, M., Shastry, K., Webb, S. (2017), “Comparison of production strategies and degree of postponement when incorporating additive manufacturing to product supply chains”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, p. 755, 757, 759-761.

Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Barbaray, S.T., Barbaray, R. (2017), “The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0”, *International Journal of Production Research*, Vol. 56 No. 3, pp. 1123-1129.

Morchio, M., Narsalay, R., Caminiti, F., Bajla, P. (2018), “Industry X.0. Combinare per conquistare. La rinascita digitale dell’industria italiana”, available at: <https://www.accenture.com/it-it/insight-industry-digital-reinvention> (accessed 15 January 2019).

Morittu, G. (2018), “Il tessile italiano a 10 anni dalla grande crisi”, available at: <https://www.prometeia.it/atlante/tessile-italiano-a-10-anni-crisi> (accessed 20 January 2019).

Müller, J.M., Däschle, S. (2018), “Business Model Innovation of Industry 4.0 Solution Providers Towards Customer Process Innovation”, *Processes*, Vol. 6 No. 12, pp. 2-7, 9-14.

Müller, E., Hopf, H. (2017), “Competence Center for the Digital Transformation in Small and Medium-Sized Enterprises”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, p. 1498.

Müller, J.M., Kiel, D., Voigt, K. (2018), “What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability”, *Sustainability*, Vol. 10 No. 1, pp. 3-17.

OECD (2017), *OECD Economic Surveys: Italy 2017*, OECD Publishing, Paris, https://doi.org/10.1787/eco_surveys-ita-2017-en.

OECD report to G-20 Finance Ministers (2018), “*Achieving inclusive growth in the face of digital transformation and the future of work*”, 19 March 2018.

Olhager, J., Seldin, E. (2007), “Strategic Choice of Manufacturing Planning and Control Approaches: Empirical Analysis of Drivers and Performance”, in Olhager, J., Persson, F. (Eds.) IFIP International Federation for Information Processing, Vol. 246, *Advances in Production Management Systems*, Boston: Springer, pp. 35–42.

Osservatorio Digital Innovation (2017), Questionario, “Test Industria 4.0”, Politecnico di Milano.

Pagani, P. (2017), “Acqua Sant’Anna riceve il Premio Innovazione 4.0”, available at: <https://www.imbottigliamento.it/2017/06/06/acqua-santanna-riceve-premio-innovazione-4-0/> (accessed 18 January 2019).

Pedone, G., Mezgár, I. (2018), “Model similarity evidence and interoperability affinity in cloud-ready Industry 4.0 technologies”, *Computers in Industry*, Vol. 100, pp. 280-284.

Pepe, D. (2018), “Digital Innovation Hub, cosa sono e che ruolo hanno in Industria 4.0”, available at: <https://www.agendadigitale.eu/industria-4-0/innovazione-4-0-italia-competence-center-digital-innovation-hub/> (accessed 16 January 2019).

Perego, A., Sianesi, A., Taisch, M. (2017), “Industria 4.0: la grande occasione per l’Italia”, Politecnico di Milano – Dipartimento di Ingegneria Gestionale e Osservatorio Industria 4.0, Giugno 2017.

Pfeiffer, S. (2017), “The Vision of “Industrie 4.0” in the Making — a Case of Future Told, Tamed, and Traded”, *Nanoethics*, Vol. 11 No. 1, pp. 107-109, 111-118.

Poole, V. (2018), “What is Visual CPQ? I’m glad you asked...”, available at: <https://www.atlatlsoftware.com/3d-configurator-resources/what-is-visual-cpq-im-glad-you-asked> (accessed 17 January 2019).

Potente, T., Varandani, R., Prote, J-P. (2013), “Gamification in management decisions: judging global production networks in a cyber-physical way”, *Advanced Material Research*, Vol. 769, pp. 329-330.

Provasi, R. (2003), “Il sistema evoluto delle reti d’impresa: le reti oloniche”, Working Paper elaborato nell’ambito del Dottorato in Economia Aziendale dell’Università degli studi di Pavia.

Publications Office of the European Union (Luxembourg), *European Innovation Scoreboard 2018*.

Qin, S., Cheng, K. (2017), “Future Digital Design and Manufacturing: Embracing Industry 4.0 and Beyond”, *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 30 No. 5, p. 1047.

Ransbotham, S., Kiron, D., Gerbert, P., Reeves, M. (2017), “Reshaping Business With Artificial Intelligence,” *MIT Sloan Management Review* and The Boston Consulting Group, September 2017.

Reiners, T., Wood, L. C., Gregory, S., Teräs, H. (2015), “Gamification design elements in business education simulations”, in M. Khosrow-Pour (Ed.), *Encyclopedia of Information Science and Technology* (3rd ed., pp. 3048-3068). Hershey, PA: Information Science Reference.

Roblek, V., Meško, M., Krapež, A. (2016), “A Complex View of Industry 4.0”, *SAGE Open*, Vol. 6 No. 2, pp. 3-4, 7-8.

Romano, L. (2018), “NOTA DAL CSC. Imprese e politica insieme per l’industria italiana 4.0”, Numero 18-03, Confindustria Centro Studi, 24 September 2018.

Rouse, M. (2016), “engineering bill of materials (EBOM)”, available at: <https://searcherp.techtarget.com/definition/engineering-bill-of-materials-EBOM> (accessed 17 January 2019).

Rüttimann, B.G., Stöckli, M.T. (2016), “Lean and Industry 4.0—Twins, Partners, or Contenders? A Due Clarification Regarding the Supposed Clash of Two Production Systems”, *Journal of Service Science and Management*, Vol. 9, pp. 485-500.

Salento, A. (2017), “Digitalisation and the regulation of work: theoretical issues and normative challenges”, *AI & Society*, Vol. 33 No. 3, pp. 371-377.

Santos, C., Mehrsai, A., Barros, A.C., Araújo, M., Ares, E. (2017), “Towards Industry 4.0: an overview of European strategic roadmaps”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 13, pp. 976-977.

Santos, K., Loures, E., Piechnicki, F., Canciglieri, O. (2017), “Opportunities Assessment of Product Development Process in Industry 4.0”, *Procedia Manufacturing*, Vol 11, p. 1364.

Sarcina, F. (2018), “Perché le politiche di reinserimento dei disoccupati funzionano male”, available at: <https://www.ilsole24ore.com/art/notizie/2018-06-29/perche-politiche-reinserimento-disoccupati-funzionano-male-080154.shtml?uuiid=AEAjtOEF> (accessed 16 January 2019).

Sautter, B. (2016), “Futuring European industry: assessing the ManuFuture road towards EU re-industrialization”, *European Journal of Futures Research*, Vol. 4 No. 25, pp. 5-11.

Sazzad, R. (2018), “A study on Manufacturing of Deformed Bar (G 60-400W) at Elite Iron and Steel Industries”, A Practicum Report Submitted to the Department of Mechanical Engineering at IUBAT- International University of Business Agriculture and Technology for Partial Fulfilment of the Requirements of Completing Bachelor of Science in Mechanical Engineering, 13 May 2018.

Scassa, T. (2018), “Data Ownership”, Papers No. 187, Centre for International Governance Innovation (CIGI) Waterloo, Canada, September 2018.

Schneider, P. (2018), “Managerial challenges of Industry 4.0: an empirically backed research agenda for a nascent field”, *Rev Manag Sci*, Vol. 12 No. 3, pp. 806-810, 816-818, 822-823, 836-837.

Smit, J., Kreutzer, S., Moeller, C., Carlberg, M. (2016), “Industry 4.0. Study for the ITRE Committee”, Directorate General for Internal Policies, Policy Department A: Economic and Scientific Policy, Brussels, European Union, February 2016.

Spenhoff, P., Semini, M., Alfnes, E., Strandhagen, J.O. (2014), “The fit of planning methods for the part manufacturing industry, a case study”, *Advances in Manufacturing*, Vol. 2, pp. 165-172.

Spidalieri, F. (2018), “Le migliori strategie cyber security dei Paesi europei: il confronto”, available at: <https://www.agendadigitale.eu/sicurezza/le-migliori-strategie-cyber-security-dei-paesi-europei-il-confronto/> (accessed 14 January 2019).

Stock, T., Seliger, G. (2016), “Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0”, *Procedia CIRP*, Vol. 40, pp. 537, 539-541.

Stock, T., Obenaus, M., Kunz, S., Kohl, H. (2018), “Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential”, *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 118, pp. 255-259, 261-265.

Strandhagen, J.W., Alfnes, E., Strandhagen, J.O., Vallandingham, L.R. (2017), “The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study”, *Advances in Manufacturing*, Vol. 5 No. 4, pp. 345-356.

Synnes, E.L., Welo, T. (2016), “Bridging the Gap Between High and Low-Volume Production Through Enhancement of Integrative Capabilities”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 5, pp. 27-37.

Tiraboschi, M., Seghezzi, F. (2016), “Il Piano nazionale Industria 4.0: una lettura lavoristica”, *Labour & Law Issues*, Vol. 2 No. 2, pp. 4-8, 10, 13-16, 18, 21, 24-25, 27-29, 33-34.

Trujillo, J.L., Fromhart, S., Srinivas, V. (2017), “Evolution of blockchain technology”, available at: <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/financial-services/evolution-of-blockchain-github-platform.html> (accessed 7 December 2018).

Vadoudi, K., Troussier, N., Zhu, W. (2014), “Toward sustainable manufacturing through PLM, GIS, and LCA interaction”, in *2014 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE)*, IEEE, Bergamo, Italy.

Walker, J. (2018), “Machine Learning in Manufacturing – Present and Future Use-Cases”, available at: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-in-manufacturing/> (accessed 9 January 2019).

WEF (2012), “The Future of Manufacturing. Opportunities to drive economic growth”, A World Economic Forum Report in collaboration with Deloitte Touche Tohmatsu Limited, World Economic Forum, Davos, April 2012.

Wild, J., Arnold, M., Stafford, P. (2015), “Technology: Banks seek the key to blockchain”, *Financial Times*, 1 November, available at: <https://www.ft.com/content/eb1f8256-7b4b-11e5-a1fe-567b37f80b64> (accessed 7 December 2018).

Wright, I. (2017), “What Can Augmented Reality Do for Manufacturing?”, available at: <https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/14904/What-Can-Augmented-Reality-Do-for-Manufacturing.aspx> (accessed 8 January 2019).

Yang, B., Burns, N.D. (2003), “Implications of postponement for the supply chain”, *International Journal of Production Research*, Vol. 41 No. 9, pp. 2076-2078.

Yu, Q., Sriram, P.K., Alfnes, E., Strandhagen, J.O. (2017), “RFID Integration for Material Management Considering Engineering Changes in ETO Industry”, in Nääs, I., Vendrametto, O., Reis, J.M., Gonçalves, R.F., Silva, M.T., von Cieminski, G., Kiritsis, D. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World*, IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2016 Iguassu Falls, Brazil, September 3-7, 2016, pp. 501-506.

Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R.Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarok, K., Yu, S., Xu, X. (2017), “Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives”, *Frontiers of Mechanical Engineering*, Vol. 13 No. 2, pp. 139, 141-142, 146-147.

SITOGRAFIA

- [1] <https://www.sogedes.com/>
- [2] <https://www.ilfattoquotidiano.it/2018/10/29/zalando-ingaggia-due-robot-per-la-logistica-se-supereranno-il-periodo-di-prova-saranno-assunti/4727676/> (accessed 5 December 2018).
- [3] <https://www.swisslog.com/en-gb/logistics-automation/industry-40/way-to-industry-40> (accessed 6 December 2018).
- [4] <https://analogfolk.com/news/the-rise-of-product-as-a-service> (accessed 5 December 2018).
- [5] <https://flex.com/insights/live-smarter-blog/how-product-service-transforming-customer-experience> (accessed 5 December 2018).
- [6] <https://www.protocam.com/learningcenter/blog/using-manufacturing-as-a-service/> (accessed 5 December 2018).
- [7] <https://industrie40.vdma.org/en/viewer/-/v2article/render/15557415> (accessed 6 December 2018).
- [8] <https://medium.com/coinmonks/1-reason-why-dag-wont-replace-blockchain-a07c11fcd13d> (accessed 7 December 2018).
- [9] <http://iotatoken.io/iota.html>
- [10] <http://www.meccanica-automazione.com/cobot-kuka-in-azione-alla-ford/> (accessed 8 January 2019).
- [11] <https://www.audi-mediacycenter.com/en/photos/detail/audi-summit-smart-factory-49942>
- [12] <https://news.agcocorp.com/topics/agco-innovations-in-manufacturing-with-glass> (accessed 8 January 2019).

- [13] <https://www.allencomm.com/portfolio/hp-brand-training/>
- [14] <https://www2.le.ac.uk/offices/researchsupport/european-funding/horizon-2020> (accessed 14 January 2019).
- [15] <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Infografiken/Alt/industrie-4-0-platform.html>
- [16] <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/EN/ThePlatform/PlatformWorkingGroups/platform-working-groups.html>
- [17] https://www.digitale-technologien.de/DT/Navigation/EN/Foerderprogramme/Smart_Service_Welt/smart_service_welt.html
- [18] https://www.slideshare.net/I4MS_eu/network-of-european-digital-innovation-hubs-beyond-2020
- [19] <https://www.arena2036.de/de/>
- [20] <https://www.mise.gov.it/index.php/it/industria40>
- [21] <https://www.puntoimpresadigitale.camcom.it/>
- [22] <http://www.businessdictionary.com/>
- [23] <http://kalyan-city.blogspot.com/2012/02/types-of-production-system-intermittent.html> (accessed 30 January 2019).
- [24] <http://www.prenhall.com/divisions/bp/app/russellcd/PROTECT/CHAPTERS/CHAP07/HEAD01.HTM> (accessed 16 January 2019).
- [25] <https://www.leanmanufacturing.it/strumenti/cellular-manufacturing.html>

- [26] <https://itunes.apple.com/us/app/quotebooks-visual-cpq/id1351900273?mt=8>
- [27] <https://www.advpro.it/grafica-raster-vettoriale-le-differenze/> (accessed 17 January 2019).
- [28] <https://www.programmatic-italia.com/professionista-piu-ricercato-digital-data-scientist/#JzqgZ7ILLI9F9D8G.97> (accessed 31 January 2019).
- [29] <https://www.industriaquattropuntozeronews.it/2017/08/16/cyber-security-italia-fanalino-coda/> (accessed 18 January 2019).
- [30] <http://www.torinoggi.it/2018/11/20/leggi-notizia/argomenti/torinoggiit/articolo/la-banda-ultralarga-e-lagenda-digitale-della-regione-piemonte.html> (accessed 18 January 2019).
- [31] <https://www.santanna.it/>
- [32] <https://it.fashionnetwork.com/news/Lectra-presenta-la-nuova-versione-di-Lectra-Fashion-PLM,709279.html#.XERSy1xKjIV> (accessed 20 January 2019).
- [33] <http://www.widemagazine.net/innovazione-tecnologica-driver-crescita-settore-tessile/> (accessed 20 January 2019).
- [34] <http://www.noloenergy.it/perche-un-economizzatore.php>
- [35] <https://www.enrev.it/economizzatore-elettrico-ecoblackbox/>
- [36] <https://www.ceguide.org/Strategies-and-examples/Sell/Pay-per-service-unit> (accessed 20 January 2019).
- [37] <https://www.seia.org/research-resources/solar-power-purchase-agreements> (accessed 20 January 2019).
- [38] <https://www.stulz.de/en/coolaas/>

- [39] http://www.nextville.it/Incentivi_e_Bandi/807/ESCo (accessed 20 January 2019).
- [40] <http://fire-italia.org/cose-e-come-opera-una-esco-energy-service-company/> (accessed 20 January 2019).
- [41] <https://www.cwi.it/data-center/virtualizzazione/virtualizzare-legacy-vax-sparc-dec-alpha-hp3000-pdp-113410> (accessed 20 January 2019).
- [42] <https://www.impresacity.it/news/8140/la-componente-legacy-e-un-ostacolo-alla-trasformazione-digitale.html> (accessed 20 January 2019).
- [43] <http://franzogna.blogspot.com/2018/02/simulazioneemulazione-e.html> (accessed 20 January 2019).
- [44] <https://www.01net.it/openlegacy-trasformazione-digitale/> (accessed 20 January 2019).
- [45] <https://www.upwork.com/hiring/development/moving-to-cloud-servers/> (accessed 20 January 2019).
- [46] <https://www.hannovermesse.de/en/news/industry-4.0-software-providers-bridge-the-gap.xhtml> (accessed 2 February 2019).
- [47] <http://qualitapa.gov.it/sitoarcheologico/relazioni-con-i-cittadini/comunicare-e-informare/strumenti-di-comunicazione/intervista/tipologie-di-interviste/index.html> (accessed 22 March 2019)
- [48] <https://www.digital360.it/>
- [49] http://www.enea.it/it/seguici/events/diagnosienergetiche_15gen2019/diagnosi-energetiche-verso-il-5-dicembre-2019
- [50] <https://www.mise.gov.it/index.php/it/normativa/circolari-note-direttive-e-atti-di-indirizzo/2038144-circolare-direttoriale-23-maggio-2018-n-177355-iperammortamento> (accessed 6 February 2019).

[51] <https://www.soiel.it/news/dettaglio/industria-4-0-supply-chain-4-0/> (accessed 7 February 2019).

[52] <https://www.magazinequalita.it/gruppo-galgano-quality-40-industry-40/> (accessed 6 February 2019).

Appendice A. Testo del questionario

ANAGRAFICA

1-Nome azienda: (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

2-Città della principale sede in Italia: (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

3-Numero di dipendenti: (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

4-Codice Ateco: (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

5-Su quale mercato opera prevalentemente? (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

B2B

B2C

6-L'impresa vende prevalentemente su: (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

Commessa

Catalogo

7-Strategia di pianificazione della produzione (in %). (Osservatorio Digital Innovation, 2017)

La somma delle opzioni scelte deve essere pari al 100%

ETO (Engineer to Order)

MTO (Make to Order)

PTO (Purchase to Order)

ATO (Assemble to Order)

MTS (Make to Stock)

8-Quale settore fornite in prevalenza? (Global Industry 4.0 Survey PwC, 2016)

- Aerospace, difesa e sicurezza*
- Automotive*
- Chimico*
- Elettronica*
- Ingegneria e costruzioni*
- Industrie della carta e affini*
- Manifatturiero*
- Metalli*
- Trasporti e logistica*

9-Fatturato dell'azienda (in euro):(Osservatorio Digital Innovation, 2017)

10-Indicare la percentuale rispetto al fatturato totale imputabile ai seguenti mercati:
(Federmeccanica, 2016)

- Italia
- Resto d'Europa
- America
- Asia
- Altro

11-Investimento (in euro) in macchinari, attrezzature, tecnologie *ICT*:(Istat, 2018)

12-Costi (in euro) in *R&D* esclusi gli investimenti precedenti:(Istat, 2018)

STRATEGIA

13-Su una scala da 0 a 4 attribuite un peso ai fattori competitivi che vi permettono di differenziarvi positivamente dai vostri concorrenti (Federmeccanica, 2016)

[0 = fattore ininfluyente; 4 = fattore estremamente importante]

0 1 2 3 4

Prezzo del prodotto					
Qualità del prodotto					
Innovatività del prodotto					
Capacità di gestire una produzione a lotti singoli (make-to-order)					
Customizzazione del prodotto e/o del servizio					
Tempi di consegna del prodotto					
Fornitura di servizi ausiliari post-vendita					

14- Su una scala da 0 a 4 attribuite un peso agli elementi su cui puntate nella vostra azienda (Federmeccanica, 2016)

[0 = fattore ininfluyente; 4 = fattore estremamente importante]

0 1 2 3 4

Ottimizzazione dei consumi energetici e delle materie prime					
Incentivazione al riuso di prodotti e sistemi produttivi					
Eco-compatibilità del prodotto					
Miglioramento della produttività					
Riduzione del time-to-market					
Ottimizzazione dei costi					
Valorizzazione del capitale umano e integrazione delle competenze					

Appendice A. Testo del Questionario

15- Su una scala da 0 a 4 attribuite un peso ai seguenti fattori, in funzione del loro contributo allo sviluppo e alla produzione di soluzioni 4.0 (elaborazioni Intesa San Paolo, 2017)

[0 = fattore ininfluyente; 4 = fattore estremamente importante]

0 1 2 3 4

Centro di ricerca e innovazione all'interno dell'azienda					
Interazione con fornitori di tecnologia (software, sensoristica ...)					
Interazione con clienti					
Interazione con università e centri di ricerca					
Partnership esterna tramite acquisizione/fusione					

16- Quali delle seguenti opportunità offerte dalla produzione di tecnologie di Industria 4.0 interessa la vostra azienda? (elaborazioni Intesa San Paolo, 2017)

- Raccogliere dati che possono essere utilizzati nell'area ricerca, sviluppo e progettazione
- Affittare i propri macchinari in funzione dell'utilizzo
- Far pagare di più la manutenzione sulle macchine (dato il miglioramento dei tempi di risposta, della qualità e della precisione degli interventi)

PRODOTTI & SERVIZI

17-In quali delle seguenti categorie di investimento in applicazioni di industria 4.0 (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A e B), si può collocare la proposta di prodotti e/o servizi offerta dalla vostra azienda?

- Beni strumentali il cui funzionamento è controllato da sistemi computerizzati o gestito tramite opportuni sensori e azionamenti
- Sistemi per l'assicurazione della qualità e della sostenibilità
- Dispositivi per l'interazione uomo macchina e per il miglioramento dell'ergonomia e della sicurezza del posto di lavoro in logica 4.0
- Beni immateriali (software, sistemi e *system integration*, piattaforme e applicazioni)

18-Quali dei seguenti beni strumentali (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A) è oggetto della vostra offerta?

[Compilare solo se la corrispondente opzione è stata selezionata nella domanda 17]

- Macchine utensili per asportazione
- Macchine utensili operanti con laser e altri processi a flusso di energia (ad esempio plasma, *waterjet*, fascio di elettroni), elettroerosione, processi elettrochimici
- Macchine utensili e impianti per la realizzazione di prodotti mediante la trasformazione dei materiali e delle materie prime
- Macchine utensili per la deformazione plastica dei metalli e altri materiali
- Macchine utensili per l'assemblaggio, la giunzione e la saldatura
- Macchine per il confezionamento e l'imballaggio
- Macchine utensili di de-produzione e riconfezionamento per recuperare materiali e funzioni da scarti industriali e prodotti di ritorno a fine vita (ad esempio macchine per il disassemblaggio, la separazione, la frantumazione, il recupero chimico)
- Robot, robot collaborativi e sistemi multi-robot
- Macchine utensili e sistemi per il conferimento o la modifica delle caratteristiche superficiali dei prodotti o la funzionalizzazione delle superfici

Appendice A. Testo del Questionario

- Macchine per la manifattura additiva utilizzate in ambito industriale
- Macchine, anche motrici e operatrici, strumenti e dispositivi per il carico e lo scarico, la movimentazione, la pesatura e la cernita automatica dei pezzi, dispositivi di sollevamento e manipolazione automatizzati, *AGV* e sistemi di convogliamento e movimentazione flessibili, e/o dotati di riconoscimento dei pezzi (ad esempio *RFID*, visori e sistemi di visione e mecatronici)
- Magazzini automatizzati interconnessi ai sistemi gestionali di fabbrica

19-Quali delle seguenti caratteristiche (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A) sono presenti nelle macchine precedentemente contrassegnate?

[Compilare solo se la corrispondente opzione è stata selezionata nella domanda 17]

- Sistemi di telemanutenzione e/o telediagnosi e/o controllo in remoto
- Monitoraggio continuo delle condizioni di lavoro e dei parametri di processo mediante opportuni set di sensori e adattività alle derive di processo
- Caratteristiche di integrazione tra macchina fisica e/o impianto con la modellizzazione e/o la simulazione del proprio comportamento nello svolgimento del processo (sistema cyberfisico)
- Dispositivi, strumentazione e componentistica intelligente per l'integrazione, la sensorizzazione e/o l'interconnessione e il controllo automatico dei processi utilizzati anche nell'ammodernamento o nel *revamping* dei sistemi di produzione esistenti
- Filtri e sistemi di trattamento e recupero di acqua, aria, olio, sostanze chimiche e organiche, polveri con sistemi di segnalazione dell'efficienza filtrante e della presenza di anomalie o sostanze aliene al processo o pericolose, integrate con il sistema di fabbrica e in grado di avvisare gli operatori e/o di fermare le attività di macchine e impianti.

20- Quali dei seguenti sistemi per l'assicurazione della qualità e della sostenibilità (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A) è oggetto della vostra offerta?

[Compilare solo se la corrispondente opzione è stata selezionata nella domanda 17]

Sistemi di misura a coordinate e no (a contatto, non a contatto, multi-sensore o basati su tomografia computerizzata tridimensionale) e relativa strumentazione per la verifica dei requisiti micro e macro geometrici di prodotto per qualunque livello di scala dimensionale (dalla larga scala alla scala micro-metrica o nano-metrica) al fine di assicurare e tracciare la qualità del prodotto e che consentono di qualificare i processi di produzione in maniera documentabile e connessa al sistema informativo di fabbrica

Altri sistemi di monitoraggio *in process* per assicurare e tracciare la qualità del prodotto o del processo produttivo e che consentono di qualificare i processi di produzione in maniera documentabile e connessa al sistema informativo di fabbrica

Sistemi per l'ispezione e la caratterizzazione dei materiali (ad esempio macchine di prova materiali, macchine per il collaudo dei prodotti realizzati, sistemi per prove o collaudi non distruttivi, tomografia) in grado di verificare le caratteristiche dei materiali in ingresso o in uscita al processo e che vanno a costituire il prodotto risultante a livello macro (ad esempio caratteristiche meccaniche) o micro (ad esempio porosità, inclusioni) e di generare opportuni report di collaudo da inserire nel sistema informativo aziendale

Dispositivi intelligenti per il test delle polveri metalliche e sistemi di monitoraggio in continuo che consentono di qualificare i processi di produzione mediante tecnologie additive

Sistemi intelligenti e connessi di marcatura e tracciabilità dei lotti produttivi e/o dei singoli prodotti (ad esempio *RFID – Radio Frequency Identification*)

Sistemi di monitoraggio e controllo delle condizioni di lavoro delle macchine (ad esempio forze, coppia e potenza di lavorazione; usura tridimensionale degli utensili a bordo macchina; stato di componenti o sotto-insiemi delle macchine) e dei sistemi di produzione interfacciati con i sistemi informativi di fabbrica e/o con soluzioni *cloud*

Strumenti e dispositivi per l'etichettatura, l'identificazione o la marcatura automatica dei prodotti, con collegamento con il codice e la matricola del prodotto stesso in modo da

consentire ai manutentori di monitorare la costanza delle prestazioni dei prodotti nel tempo e di agire sul processo di progettazione dei futuri prodotti in maniera sinergica, consentendo il richiamo di prodotti difettosi o dannosi

Componenti, sistemi e soluzioni intelligenti per la gestione, l'utilizzo efficiente e il monitoraggio dei consumi energetici e idrici e per la riduzione delle emissioni

Filtri e sistemi di trattamento e recupero di acqua, aria, olio, sostanze chimiche, polveri con sistemi di segnalazione dell'efficienza filtrante e della presenza di anomalie o sostanze aliene al processo o pericolose, integrate con il sistema di fabbrica e in grado di avvisare gli operatori e/o di fermare le attività di macchine e impianti

21- Quali dei seguenti dispositivi per l'interazione uomo macchina (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A) è oggetto della vostra offerta?

[Compilare solo se la corrispondente opzione è stata selezionata nella domanda 17]

Banchi e postazioni di lavoro dotati di soluzioni ergonomiche in grado di adattarli in maniera automatizzata alle caratteristiche fisiche degli operatori (ad esempio caratteristiche biometriche, età, presenza di disabilità)

Sistemi per il sollevamento/traslazione di parti pesanti o oggetti esposti ad alte temperature in grado di agevolare in maniera intelligente/robotizzata/interattiva il compito dell'operatore

Dispositivi *wearable*, apparecchiature di comunicazione tra operatore/operatori e sistema produttivo, dispositivi di realtà aumentata e *virtual reality*

Interfacce uomo-macchina (*HMI*) intelligenti che coadiuvano l'operatore a fini di sicurezza ed efficienza delle operazioni di lavorazione, manutenzione, logistica.

-22 Quali dei seguenti beni immateriali (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato B) è oggetto della vostra offerta?

[Compilare solo se la corrispondente opzione è stata selezionata nella domanda 17]

Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la progettazione, definizione/qualificazione delle prestazioni e produzione di manufatti in materiali non convenzionali o ad alte prestazioni, in grado di permettere la progettazione, la modellazione 3D, la simulazione, la sperimentazione, la prototipazione e la verifica simultanea del processo produttivo, del prodotto e delle sue caratteristiche (funzionali e di impatto

ambientale) e/o l'archiviazione digitale e integrata nel sistema informativo aziendale delle informazioni relative al ciclo di vita del prodotto (sistemi EDM, PDM, PLM, Big Data Analytics)

- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la progettazione e la ri-progettazione dei sistemi produttivi che tengano conto dei flussi dei materiali e delle informazioni
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni di supporto alle decisioni in grado di interpretare dati analizzati dal campo e visualizzare agli operatori in linea specifiche azioni per migliorare la qualità del prodotto e l'efficienza del sistema di produzione
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la gestione e il coordinamento della produzione con elevate caratteristiche di integrazione delle attività di servizio, come la logistica di fabbrica e la manutenzione (quali ad esempio sistemi di comunicazione intra-fabbrica, bus di campo/ *fieldbus*, sistemi SCADA, sistemi MES, sistemi CMMS, soluzioni innovative con caratteristiche riconducibili ai paradigmi dell'*IoT* e/o del *cloud computing*)
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per il monitoraggio e controllo delle condizioni di lavoro delle macchine e dei sistemi di produzione interfacciati con i sistemi informativi di fabbrica e/o con soluzioni *cloud*
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni di realtà virtuale per lo studio realistico di componenti e operazioni (ad esempio di assemblaggio), sia in contesti immersivi o solo visuali
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni di *reverse modeling and engineering* per la ricostruzione virtuale di contesti reali, software, sistemi, piattaforme e applicazioni in grado di comunicare e condividere dati e informazioni sia tra loro che con l'ambiente e gli attori circostanti (*Industrial Internet of Things*) grazie ad una rete di sensori intelligenti interconnessi
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per il *dispatching* delle attività e l'instradamento dei prodotti nei sistemi produttivi
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la gestione della qualità a livello di sistema produttivo e dei relativi processi
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per l'accesso a un insieme virtualizzato, condiviso e configurabile di risorse a supporto di processi produttivi e di gestione della produzione e/o della *supply chain (cloud computing)*
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per *industrial analytics* dedicati al trattamento ed all'elaborazione dei big data provenienti dalla sensoristica *IoT* applicata in ambito industriale (*Data Analytics & Visualization, Simulation e Forecasting*)
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni di *artificial intelligence & machine learning* che consentono alle macchine di mostrare un'abilità e/o attività intelligente in campi specifici a garanzia della qualità del processo produttivo e del funzionamento affidabile del macchinario e/o dell'impianto
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la produzione automatizzata e intelligente, caratterizzata da elevata capacità cognitiva, interazione e adattamento al contesto, autoapprendimento e riconfigurabilità (*cybersystem*)

Appendice A. Testo del Questionario

- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per l'utilizzo lungo le linee produttive di robot, robot collaborativi e macchine intelligenti per la sicurezza e la salute dei lavoratori, la qualità dei prodotti finali e la manutenzione predittiva
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la gestione della realtà aumentata tramite *wearable device*
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per dispositivi e nuove interfacce tra uomo e macchina che consentano l'acquisizione, la veicolazione e l'elaborazione di informazioni in formato vocale, visuale e tattile
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per l'intelligenza degli impianti che garantiscano meccanismi di efficienza energetica e di decentralizzazione in cui la produzione e/o lo stoccaggio di energia possono essere anche demandate (almeno parzialmente) alla fabbrica
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni per la protezione di reti, dati, programmi, macchine e impianti da attacchi, danni e accessi non autorizzati (*cybersecurity*)
- Software, sistemi, piattaforme e applicazioni di *virtual industrialization* che, simulando virtualmente il nuovo ambiente e caricando le informazioni sui sistemi cyberfisici al termine di tutte le verifiche, consentono di evitare ore di test e di fermi macchina lungo le linee produttive reali.

-23 Su quali macro processi impatta maggiormente l'offerta di prodotti e servizi della vostra azienda? (Fondirigenti)

- Logistica e magazzino
- Manutenzione
- Post-vendita, *service e customer care*
- Marketing* e vendite
- Produzione
- Approvvigionamenti e SC
- R&S, progettazione del prodotto e ingegneria
- Amministrazione e controllo d'impresa
- Qualità
- Risorse umane

-24 Qual è in media la dimensione dei *player* che domandano i vostri prodotti e/o servizi?

- Piccola
- Media
- Grande

-25 Qual è in media il grado di digitalizzazione (integrazione di tecnologie digitali e utilizzo di servizi in internet) dei *player* che domandano i vostri prodotti e/o servizi? (Federmeccanica, 2016)

- Basso
- Medio
- Alto

-26 Indicare (in %) sul totale delle tecnologie, che caratterizzano l'offerta di prodotti e/o servizi selezionati nella domanda 17, quante di queste soluzioni sono nuove per il mercato di riferimento:.....
.....

-27 Relativamente alle tecnologie di industria 4.0 oggetto di offerta indicare (in %) l'aumento delle vendite rispetto all'anno precedente:
.....

-28 A quali delle seguenti categorie di investimento in applicazioni di industria 4.0 (vedi Supplemento ordinario n. 57/L alla GAZZETTA UFFICIALE Allegato A e B), verrà principalmente destinata l'offerta di prodotti e/o servizi della vostra azienda nei prossimi 2 anni?

- Beni strumentali il cui funzionamento è controllato da sistemi computerizzati o gestito tramite opportuni sensori e azionamenti
- Sistemi per l'assicurazione della qualità e della sostenibilità
- Dispositivi per l'interazione uomo macchina e per il miglioramento dell'ergonomia e della sicurezza del posto di lavoro in logica 4.0
- Beni immateriali (software, sistemi e *system integration*, piattaforme e applicazioni)

Appendice B. Registrazione ed elaborazione dei dati raccolti

N° risposta	Regione	N° dipendenti	Codice Ateco	Mercato	Vende su	%ETD	%MTC	%PTC	%ATC	%MTE	Aerospace	Automotive	Chimico	Electronica	Costruzioni	Carta	Manufatturiero	Metalli	Trasporti	
1	Lombardia	130	62.01.00	B2B	Commissa	50	30	20	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	
2	Piemonte	60	46.69.2	B2B	Catalogo						0	0	1	0	0	0	1	0	0	
3	Friuli Venezia Giulia	105	62.01.00	B2B	Commissa	90	3	2	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
4	Trentino Alto Adige	100	33.20.03	B2B	Commissa	35	35	15	15	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	
5	Lombardia	33	82.99.99	B2B	Catalogo						0	0	1	0	1	0	0	0	0	
6	Emilia-Romagna	11	25.62.00	B2B	Commissa						0	0	0	0	0	0	1	0	0	
7	Friuli Venezia Giulia	9	62.02.00	B2B	Commissa						0	0	0	0	0	0	1	0	0	
8	Emilia-Romagna	50	26.20.00	B2B	Commissa	5	5	70	15	5	0	1	1	0	0	0	1	0	0	
9	Lombardia	200	46.51.00	B2B	Catalogo	0	90	0	0	10	0	1	0	1	1	0	1	0	1	
10	Lombardia	237	46.69.99	B2C	Catalogo	25	30	20	15	10	0	1	0	0	1	1	0	0	0	
11	Emilia-Romagna	120	33.12.00	B2B	Commissa						1	1	0	0	1	0	0	0	0	
12	Lombardia	50	46.72.20	B2B	Catalogo						1	1	0	0	1	0	1	0	1	
13	Emilia-Romagna	218		B2B	Commissa	0	90	0	10	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
14	Piemonte	100	46.69.99	B2B	Catalogo	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
15	Piemonte	1634	28.41.00	B2B	Catalogo						0	1	0	1	0	1	0	0	1	0
16	Lombardia	12	46.51.00	B2B	Commissa	0	65	15	20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
17	Lombardia	700	62.09.09	B2B	Catalogo						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Lombardia	40	46.69.99	B2B	Catalogo						1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
19	Lombardia	379 000*	46.50.00	B2B	Catalogo						0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
20	Piemonte	50	70.22.09	B2B	Commissa	5	25	10	55	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Piemonte	16	62.01.00	B2B	Catalogo	10	0	90	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
22	Toscana	120	62.02.00	B2B	Commissa	0	40	60	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
23	Toscana	16	62.01.00	B2B	Commissa	0	30	20	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
24	Friuli Venezia Giulia	18	PN-70584	B2B	Commissa	40	10	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
25	Lombardia	15		B2B	Catalogo						0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
26	Lombardia	2000	62.01.00	B2B	Commissa	70	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
				catalogo	commissa	22,00	32,20	24,80	19,00	2,00	5	14	1	3	6	3	16	4	5	0,20
				46,15	53,85						0,20	0,56	0,04	0,12	0,24	0,12	0,64	0,16	0,20	

Tabella B1. Risposte relative alla sezione Profilo del questionario

Appendice B. Registrazione ed elaborazione dei dati raccolti

N risposta	Fatturato	%Italia	%Europa	%America	%Asia	%Altro	Immacchinari	Costi R&D	Dim piccola	Dim media	Dim grande	GD Bass	GD Medik	GD Alto
1	15 000 000	80	10	5	5	0	200000		0	1	1	1	1	0
2	30 000	100	0	0	0	0			0	1	1	1	0	0
3	10 000 000	80	5	5	10	0			0	0	1	0	1	0
4	30 000 000	25	40	30	5	0	600000		0	1	0	0	1	0
5	652 500 000	3					870000000		0	0	1	0	0	1
6		100	0	0	0	0			0	1	0	0	1	0
7	880 000	52	48	0	0	0			0	1	0	0	1	0
8	15 000 000	80	20	0	0	0	30000	20000	0	1	1	1	0	0
9	10 000 000 000	3	25	29	43	0	600000000		0	1	1	0	1	1
10	171 000 000	92	7	0	0	1	350000	125000	0	1	1	0	1	0
11		80	0	0	20	0			0	1	1	0	1	1
12	41 000 000		53	17	30	0			0	1	0	0	1	0
13	80 462 000	30	15	10	15	30	500000	920000	0	0	1	1	0	1
14	55 000 000	100	0	0	0	0			0	1	0	0	1	0
15	216 710 000	15	64	22	14	0	23401000		0	1	0	0	1	0
16	1 000 000	100	0	0	0	0	20000	36000	0	1	0	0	1	0
17	540 000 000	2	40	40	15	0	33000000		0	0	1	0	1	0
18	415 000 000	6							0	1	0	1	0	0
19	83 000 000 000 000 *		30	20	19	31	2 470 000 000 000 *	5 600 000 000 000	0	1	1	1	0	1
20	4 000 000	70	15	5	7	3	50000	100000	0	1	0	0	1	0
21	4 000 000	100	0	0	0	0			0	1	0	0	1	0
22	43 000 000	90	10	0	0	0			0	1	1	1	1	0
23	900 000	95	0	0	5	0	10000		0	0	1	0	1	0
24	1 950 000	95	5	0	0	0		150000	0	1	1	1	0	1
25	2 700 000	99	1	0	0	0		150000	1	1	0	1	0	0
26	181 000 000	95	4	1	0	0	9050000	36200000	0	1	0	0	1	0
		71,95	14,05	6,68	6,32	1,55			3,85	80,77	53,85	23,08	76,32	19,23
		72,00	14	7	6	1								

Tabella B1. Cont. Risposte relative alla sezione Profilo del questionario

SERVIZI															
N°	Risposta	Prezzo	Qualità	Innovatività	Lotti singoli	Customiz	t consegna	Post vendita	Consumi energetici	Riuso	Ecocompatibilità	Produttività	Riduzione TTM	Costi	Capitabile umano
1	0	3	3	0	4	4	4	4	0	2	0	3	4	3	4
3	1	4	4	0	4	2	3	3	0	3	2	3	3	3	4
5	1	4	4	0	4	2	3	3							
7	2	4	4	3	4	2	3	3	1	0	1	4	4	4	1
17	1	3	4	4	3										
20	4	3	2	4	4	4	4	4	0	3	0	2	3	2	3
21	1	4	4	0	2	3	4	4	3	2	2	4	3	2	3
22	1	2	2	2	2	3	3	3	1	1	3	3	3	2	2
23	1	4	3	4	4	2	3	3	2	1	0	1	2	2	1
25	2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	2	2	2	4
26	0	4	4	4	0	3	3	3	2	1	1	3	3	3	4
	14	39	38	13	37	25	34	9	13	9	25	25	23	26	

Tabella B3. Risposte relative alla sezione Strategia del questionario per i fornitori di software e servizi correlati

Appendice B. Registrazione ed elaborazione dei dati raccolti

SERVIZI									
N° Risposta	Ricerca interna	Fornitori	Clienti	Università	Acquisizione/Fusione	Raccogliere dati per l'area svilupp.	Affittare macchinari in funzione dell'utilizzo	Far pagare di più la manutenzione	
1	1	3	4	2	3	0	0	1	
3	4	4	4	4	4	1	0	0	
5	4	3	2	1	4	1	0	0	
7	3	1	1	0	0	1	0	0	
17	4	1	3	3	3	1	0	0	
20	3	2	4	1	2	1	0	0	
21	1	4	4	3	4	1	0	0	
22	1	4	4	2	4	1	0	1	
23	2	2	4	1	0	0	1	0	
25	4	4	2	2	0				
26	4	3	4	3	3	1	0	0	
	31	31	36	22	27	8	1	2	
									Orientamento al servizio
									90,90%
									Aumento dei ricavi
									36,36%
									Inedite soluzioni tecniche
									36,36%
									Integrazione di competenze
									27,27%
									Riduzione del time to market
									45,45%
									Personalizzazione offerta
									54,54%
									Migliore gestione dei consumi e dell'
									27,27%

Tabella B3. Cont. Risposte relative alla sezione Strategia del questionario per i fornitori di software e servizi correlati

N° risposta	Beni strumentali	Qualità e sostenibilità	HMI	Beni immateriali	Logistica e magazzino	Manutenzione	Customer care	Marketing&sales	Produzione	Approvvigionamenti	Progettazione	Amministrazione	Qualità	HR
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1
2	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
3	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0
5	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0
6	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
8	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
9	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
13	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
15	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
16	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0
17	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
20	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
21	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0
22	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
24	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0
25	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
26	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0,50	0,58	0,46	0,88	0,65	0,58	0,35	0,27	0,85	0,35	0,42	0,23	0,31	0,12

Tabella B4. Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario

N° risposta	% prodotti nuovi sul mercato	% variazione annuale vendite	Beni strumentali	Sistemi assicurazione qualità e sostenit	Dispositivi HMI	Beni immateriali
1	60	15	0	0	0	1
2	3	1	1	1	1	1
3	67	60	0	0	1	1
4	60	10	1	0	1	1
5	UNKNO'w/N	UNKNO'w/N	1	1	0	0
6	UNKNO'w/N	UNKNO'w/N	0	0	0	1
7	50	UNKNO'w/N	0	0	0	1
8	30	25	0	0	0	1
9	60	20	1	0	1	0
10	20	4	1	1	0	1
11	UNKNO'w/N	UNKNO'w/N	0	0	0	0
12	UNKNO'w/N	14	1	0	0	0
13	70	20	0	0	1	0
14	20	30	1	0	1	0
15	25	7	1	0	0	0
16	50	70	0	0	0	1
17	25	20	0	0	0	1
18	UNKNO'w/N	UNKNO'w/N	1	0	0	0
19	UNKNO'w/N	UNKNO'w/N	1	0	1	1
20	100	300	0	0	0	1
21	30	UNKNO'w/N	0	0	0	1
22	50	70	0	0	1	1
23	UNKNO'w/N	UNKNO'w/N	0	0	0	1
24	UNKNO'w/N	10	0	0	0	1
25	80	30	1	0	0	0
26	30	10	0	0	0	1
			0,42	0,12	0,27	0,65

Tabella B4. *Cont.* Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario

Appendice B. Registrazione ed elaborazione dei dati raccolti

Sistemi assicurazione e qualità		ispezione materiali	test delle polveri	RFD	Sistemi controllo connessi ai S/Io al cloud	marcatura automatica	monitoraggio dei consumi energetici	trattamento e recupero
N risposta	CM/CM	monitoraggio in process						
1	0	1	0	0	1	1	0	0
2	1	1	0	0	1	1	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	0
4	1	1	0	0	0	1	0	0
5	1	1	1	0	0	1	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	1	1	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	1	0	0	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	1	0	0	1	1	1	0
20	0	0	0	0	0	1	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	1	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	1	0	0	1	1	0	0
25	0	1	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
4	9	2	1	9	9	10	2	0
26	0,15	0,08	0,04	0,35	0,35	0,38	0,08	0,00
totale								

Tabella B6. Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i produttori e/o distributori di sistemi per l'assicurazione della qualità e sostenibilità

Dispositivi interazione uomo macchina					
N° risposta	Banchi e postazioni di lavoro dotati di soluzioni ergonomiche	Sistemi per il sollevamento/traslazione di parti pesanti	Dispositivi wearable	HMI	
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1	1
4	0	1	0	0	1
5	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0
10	0	0	0	1	1
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	1
15	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0
18	0	1	0	0	0
19	1	0	1	1	1
20	0	0	0	0	1
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	1	1
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	1
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
totale	1	2	5	10	
	0,04	0,08	0,19	0,38	

Tabella B7. Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i produttori e/o distributori di dispositivi per l'interazione uomo macchina

Beni immateriali		Decision mak	MES	Controllo VR	Reverse eng	Dispatchin	Qualità	Cloud compi	Simulator	AI	Cybersyster	Robot e c	AR	HMI	Efficienza en	Cybersecurity	Virtual ind
N°	Big Data	Progettazio															
1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
4	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
5	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
10	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11																	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0
16	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1
20	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
25	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
totale	10	9	17	15	16	6	8	8	9	9	5	9	4	5	3	4	5
	0,4	0,36	0,68	0,6	0,64	0,2	0,32	0,32	0,36	0	0,2	0,36	0	0,2	0,12	0,16	0,2

Tabella B8. Risposte relative alla sezione Prodotti & Servizi del questionario per i fornitori di beni immateriali

