



**Politecnico
di Torino**

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale – Classe LM/31
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

La transizione verso l'industria 5.0

Gli Incentivi, le Tecnologie e il ruolo dei Distretti Industriali

Relatore:

Prof. Carlo Cambini

Candidato:

Marco Milanesio

Anno accademico 2024-2025

Sessione di Laurea Marzo 2025

Abstract

Negli ultimi decenni, il settore industriale ha attraversato trasformazioni radicali, spinte dall'innovazione tecnologica e dalla crescente attenzione verso modelli di sviluppo sostenibile.

Il presente studio esamina l'evoluzione dei sistemi produttivi italiani, con particolare attenzione al passaggio dall'Industria 4.0, caratterizzata dall'adozione di tecnologie digitali e sistemi automatizzati, all'Industria 5.0, orientata verso una crescita responsabile e rispettosa dell'ambiente. La trasformazione analizzata non riguarda esclusivamente le dinamiche interne delle aziende, ma è strettamente legata al contesto politico ed economico, in cui gli incentivi fiscali svolgono un ruolo cruciale nel favorire l'innovazione e l'aggiornamento tecnologico.

L'indagine fornisce un'analisi dettagliata delle misure fiscali introdotte a sostegno delle imprese, in relazione alla loro capacità di promuovere investimenti strategici, favorire la trasformazione organizzativa e accrescere la competitività del sistema produttivo nazionale. Lo studio evidenzia inoltre come l'adozione di soluzioni digitali e sistemi intelligenti abbia effetti positivi su variabili come l'occupazione, la redditività e l'accesso a risorse finanziarie.

Un ulteriore aspetto centrale della ricerca riguarda il ruolo dei distretti industriali nella diffusione degli incentivi e delle tecnologie abilitanti. In questo contesto, emerge come le aziende localizzate in aree caratterizzate da una maggiore densità di imprese e da reti di supporto consolidate abbiano, in genere, un accesso più agevole agli incentivi fiscali.

In sintesi, questo lavoro offre una visione integrata delle trasformazioni in atto nel sistema produttivo italiano, mettendo in evidenza l'importanza di una sinergia tra innovazione tecnologica e politiche fiscali mirate. Le evidenze raccolte indicano la necessità di adottare strategie complementari che garantiscano una diffusione equa dei benefici derivanti dall'innovazione, promuovendo così una crescita sostenibile ed equilibrata su tutto il territorio nazionale. Il contributo complessivo di questo studio si configura come un utile punto di riferimento per future politiche e interventi, finalizzati a rafforzare la competitività delle imprese in un contesto industriale in continua evoluzione.

Indice

Indice delle figure	III
Indice delle tabelle	IV
Elenco delle abbreviazioni	V
Introduzione	1
1 L'evoluzione Industriale: Verso l'Era 5.0.....	4
1.1 Quarta e Quinta Rivoluzione Industriale	4
1.1.1 Le precedenti rivoluzioni industriali.....	5
1.1.2 Quarta Rivoluzione Industriale e Industria 4.0	8
1.1.3 Le tecnologie abilitanti.....	10
1.1.4 Le Smart Factory	28
1.1.5 Quinta Rivoluzione Industriale e Industria 5.0.....	32
1.2 Gli incentivi nelle Transizioni 4.0 e 5.0	35
1.2.1 Super e Iper-ammortamento	37
1.2.2 Nuova Sabatini e Nuova Sabatini green.....	38
1.2.3 Nuovo regime Patent Box	40
1.2.4 Transizione 4.0	43
1.2.5 Transizione 5.0	64
2 Politiche Fiscali e Innovazione Tecnologica: Un'Analisi degli Impatti Economici	74
2.1 Risultati del Piano Transizione 4.0	75
2.2 Impatto dei precedenti incentivi fiscali 4.0	82
2.3 Gli Effetti delle Tecnologie Abilitanti.....	84
3 Tecnologie Abilitanti nei Processi Produttivi Manifatturieri	90
3.1 Applicazione delle Tecnologie nei Processi Industriali Manifatturieri.....	91
3.1.1 Sviluppo di nuovi prodotti	92
3.1.2 Configurazione della catena di fornitura	96
3.1.3 Pianificazione integrata della Supply Chain.....	100
3.1.4 Logistica interna.....	103
3.1.5 Pianificazione e controllo della produzione	105
3.1.6 Gestione dell'energia.....	107
3.1.7 Gestione della qualità	109
3.1.8 Gestione della manutenzione	111
3.1.9 Gestione delle relazioni con i clienti	114

3.1.10 Gestione post-vendita.....	117
3.2 Fattori Critici e di Successo per l'Implementazione Tecnologica	119
4 L'impatto dei distretti industriali: evidenze empiriche	122
4.1 Metodologia e Obiettivi della Ricerca	123
4.1.1 Creazione questionario	123
4.1.2 Popolazione di riferimento	125
4.1.3 Campione analizzato	128
4.2 Analisi Statistiche	133
4.2.1 Prima domanda di ricerca	133
4.2.2 Seconda domanda di ricerca.....	146
4.2.3 Terza domanda di ricerca	148
4.3 Considerazioni Finali.....	150
4.3.1 Considerazioni qualitative sulle risposte del campione	150
4.3.2 Considerazioni finali, limiti e prospettive di ricerca.....	152
5 Conclusioni	154
6 Bibliografia e Sitografia.....	156
7 Allegati	169
7.1 Allegato 1.....	169
7.2 Allegato 2.....	175

Indice delle figure

Figura 1: Le rivoluzioni industriali. Fonte: knowhow.distrelec.com	7
Figura 2: Industry 4.0. Fonte: SAP, What is industry 4.0?	9
Figura 3: I nove pilastri dell'Industria 4.0. Fonte: Calsoft Systems.....	11
Figura 4: Cobot. Fonte: LinkedIn - Manuele Greguoldo	13
Figura 5: Additive Manufacturing. Fonte: Hfitaly.....	15
Figura 6: AR in Industrial Manufacturing. Fonte: Robotics Business review	16
Figura 7: Internet of Things. Fonte: TECNO4Industry	20
Figura 8: Cloud. Fonte: Rakesh Dhamodharan	22
Figura 9: Cyber-Physical Systems. Fonte: Exalens 2023	24
Figura 10: Le otto "V" dei Big Data (iStock, 2014).....	25
Figura 11: Web hosting ed elaborazione Big Data. Fonte: vistacreate	27
Figura 12: Illustrazione dei tre tipi di integrazione e della loro relazione. Wang et al., 2016	28
Figura 13: Smart Factory. Fonte: Tecno4Industry, 2024.....	31
Figura 14: Industry 5.0. Fonte: SistemAssociati.....	34
Figura 15: Crediti d'imposta del Piano Transizione 4.0 maturati per tipo di investimento. Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024	76
Figura 16: Effetti medi di trattamento sul tasso d'investimento per coorte di trattamento (punti percentuali). Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024	78
Figura 17: Effetti medi di trattamento sul logaritmo del numero di occupati per coorte di trattamento. Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024	79
Figura 18: Effetti medi di trattamento sul logaritmo del fatturato per coorte di trattamento. Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024.....	80
Figura 19: Indicatori della transizione digitale italiana. Anno 2023, valori percentuali. Fonte: Istat (2023)	121
Figura 20: Suddivisione della popolazione per appartenenza al distretto e per dimensione.....	127
Figura 21: Suddivisione del campione ottenuto per appartenenza al distretto e per dimensione.....	128
Figura 22: Suddivisione del campione analizzato per appartenenza al distretto e per dimensione.....	129
Figura 23: Curve Logistiche e probabilità per categorie (Modello Ordinale).....	144

Indice delle tabelle

Tabella 1: Suddivisione del campione analizzato e della popolazione per appartenenza al distretto e per dimensione	130
Tabella 2: Frequenze osservate e frequenze attese suddivise per appartenenza al distretto e per dimensione.....	131
Tabella 3: Frequenze delle risposte alla domanda B7 suddivise per appartenenza al distretto	133
Tabella 4: Risultati del test di Mann Whitney U relativamente alla domanda B7	136
Tabella 5: Classificazione delle risposte al questionario in merito alla domanda B7, suddivise per classe dimensionale e per appartenenza al distretto	138
Tabella 6: Output ottenuto in Python della logit ordinale.....	140
Tabella 7: Tabella riassuntiva delle probabilità di ogni azienda di appartenere ad un gruppo (Y=1: Abbastanza semplice, Y=2: Complesso, Y=3: Molto complesso)	143
Tabella 8: Classificazione delle risposte al questionario in merito alla domanda B5, suddivise per categoria e per appartenenza al distretto.....	146
Tabella 9: Risultati del test di Mann Whitney U relativamente alla domanda B5	147
Tabella 10: Classificazione delle risposte al questionario in merito alla domanda A7, suddivise per categoria e per appartenenza al distretto.....	148
Tabella 11: Risultati del test di Mann Whitney U relativamente alla domanda A7	149

Elenco delle abbreviazioni

4IR Quarta Rivoluzione Industriale

ADP Automatic Data Processing

AGV Automated Guided Vehicle

AM Additive Manufacturing

AMR Autonomous Mobile Robots

AR Augmented Reality

BDA Big Data And Analytics

CNC Computer Numerical Control

CPS Cyber-Physical Systems

CRM Customer Relationship
Management

D.L. Decreto-Legge

D.Lgs. Decreto Legislativo

DM Decreto Ministeriale

D.P.R. Decreto del Presidente della
Repubblica

DT Digital Technology

I4.0 Industria 4.0

IoT Internet of Things

IPS Intervento o Progetto Ammissibile

JIT Just In Time

MEF Ministero dell'Economia e delle
Finanze

MISE Ministero dello Sviluppo
Economico

MSME Micro, Piccole e Medie Imprese

PLC Programmable Logic Controller

PMI Piccole e Medie Imprese

R&S Ricerca e Sviluppo

T.U.I.R. Testo Unico delle Imposte sui
Redditi

VR Virtual Reality

Introduzione

Negli ultimi decenni, il settore industriale ha subito cambiamenti significativi, innescati dall'avanzamento tecnologico e dall'adozione di nuove strategie orientate alla sostenibilità. In questo contesto, la tesi ha come obiettivo quello di esaminare il percorso evolutivo dei sistemi produttivi italiani, mettendo in evidenza il passaggio da un modello di Industria 4.0, caratterizzato da un intenso impiego di tecnologie digitali e sistemi intelligenti, a un modello di Industria 5.0, orientato verso una crescita responsabile, sostenibile e attenta all'interazione tra uomo e macchina. Questa trasformazione coinvolge non solo gli aspetti tecnici e organizzativi delle imprese, ma anche l'intero ecosistema politico-economico, in cui strumenti di incentivazione fiscale e politiche di sostegno giocano un ruolo fondamentale.

Nel primo capitolo viene delineato il contesto storico e tecnologico dei sistemi industriali, ponendo particolare attenzione alle caratteristiche della Quarta e della Quinta Rivoluzione Industriale, approfondendo concetti chiave come le tecnologie abilitanti e le Smart Factory, evidenziando il loro contributo alla transizione verso modelli produttivi più sostenibili. In parallelo, si affianca un'analisi dettagliata degli incentivi fiscali attualmente in essere, tra cui la Nuova Sabatini, la Nuova Sabatini green, il regime Patent Box, gli strumenti del Piano Transizione 4.0 e del Piano Transizione 5.0, con l'obiettivo di comprendere come tali strumenti favoriscano la trasformazione tecnologica e organizzativa delle imprese.

Il secondo capitolo si concentra sul ruolo strategico degli incentivi fiscali e delle tecnologie avanzate nel promuovere l'innovazione e la competitività del sistema produttivo italiano. La trattazione si articola in tre sezioni: la prima analizza i risultati emersi dallo studio del Comitato Transizione 4.0, evidenziando l'impatto di tali misure sugli investimenti in beni strumentali, sull'occupazione e sul fatturato; la seconda sezione esamina gli effetti degli incentivi del Piano 4.0 del 2017, suddividendo i risultati per dimensione aziendale, settore e area geografica; la terza, infine, esplora in che misura le tecnologie abilitanti contribuiscano alla crescita della produttività, alla trasformazione delle dinamiche lavorative e al miglioramento dell'accesso al credito.

Il terzo capitolo si focalizza sull'applicazione pratica delle tecnologie abilitanti della Quarta Rivoluzione Industriale nel settore manifatturiero. Attraverso una revisione della letteratura, si indaga come queste tecnologie possano ottimizzare i processi interni, incrementare la produttività, migliorare la sostenibilità e rafforzare la resilienza aziendale. Vengono inoltre discussi i principali fattori critici per l'implementazione, come la leadership e la gestione delle competenze, evidenziando le sfide che le imprese devono affrontare nell'integrazione di queste tecnologie.

Il quarto capitolo, infine, si propone di valutare se e in che misura l'appartenenza a un distretto industriale rappresenti una variabile determinante nel creare differenze significative tra le imprese. Attraverso un'approfondita analisi metodologica – che include la progettazione di un questionario, la raccolta dei dati e la valutazione della rappresentatività del campione – si esaminano tre domande chiave: l'influenza della collocazione territoriale sull'accesso agli incentivi, l'efficacia di questi ultimi nei processi aziendali e l'impatto dell'adozione delle tecnologie abilitanti sulla competitività.

L'obiettivo complessivo di questo lavoro è dunque duplice: da un lato, offrire una panoramica integrata dei processi di trasformazione industriale, mettendo in relazione l'adozione delle nuove tecnologie con il ruolo degli incentivi fiscali; dall'altro, si mira a fornire un contributo empirico attraverso l'analisi delle dinamiche territoriali, per comprendere come il contesto di appartenenza possa influenzare l'accesso e l'efficacia degli strumenti di sostegno. La tesi si configura quindi come un contributo alla comprensione delle sfide e delle opportunità che il sistema produttivo italiano deve affrontare in un'epoca di transizione, offrendo spunti utili per la definizione di politiche future volte a favorire una crescita più equa e sostenibile.

Nei capitoli successivi verranno approfonditi in dettaglio i vari aspetti sopra delineati, con l'obiettivo di individuare possibili linee di intervento per migliorare la competitività delle imprese in un contesto in rapida evoluzione.

L'evoluzione Industriale: Verso l'Era 5.0

1.1 Quarta e Quinta Rivoluzione Industriale

L'evoluzione dei sistemi industriali è stata caratterizzata, nel corso della storia, da una serie di trasformazioni radicali, comunemente definite *rivoluzioni industriali*. Tali momenti di discontinuità hanno determinato significativi cambiamenti non solo nelle modalità di produzione, ma anche nelle strutture economiche e sociali, influenzando in maniera profonda il rapporto tra uomo, tecnologia e ambiente. Ogni rivoluzione ha rappresentato un avanzamento tecnologico decisivo, introducendo innovazioni che hanno plasmato nuovi paradigmi di produttività ed efficienza. In tempi più recenti, si sono delineati due scenari di transizione, che hanno ridefinito le dinamiche industriali: la *Quarta Rivoluzione Industriale* e la *Quinta Rivoluzione Industriale*.

La prima, caratterizzata dall'Industria 4.0, si è affermata con l'introduzione e l'adozione di tecnologie avanzate che hanno favorito una convergenza tra sistemi fisici e digitali, dando origine a nuovi modelli produttivi basati su interconnessione, automazione e analisi avanzata dei dati. La seconda, emersa con la crescente consapevolezza delle sfide globali quali la sostenibilità ambientale, la responsabilità sociale e la necessità di uno sviluppo equo e incluso, ha dato avvio a una nuova fase orientata verso un modello di Industria 5.0.

Il presente sottocapitolo si propone di contestualizzare tale percorso evolutivo, delineando le peculiarità della Quarta e della Quinta Rivoluzione Industriale. In particolare, verranno approfonditi i concetti di tecnologie abilitanti, *Smart Factory* e il passaggio da un'Industria 4.0 a un'Industria 5.0, orientata a una crescita sostenibile e responsabile, che rappresenta una delle principali sfide del contesto contemporaneo.

1.1.1 Le precedenti rivoluzioni industriali

Le rivoluzioni industriali hanno rappresentato profondi momenti di cambiamento, ridefinendo i modelli produttivi, le strutture sociali e il rapporto tra uomo, tecnologia e ambiente. Per comprendere l'origine dell'Industria 4.0 e dell'evoluzione verso l'Industria 5.0, risulta fondamentale esaminare sinteticamente le caratteristiche delle precedenti rivoluzioni industriali.

La *Prima Rivoluzione Industriale*, iniziata nel Regno Unito alla fine del XVIII secolo, segnò il passaggio dall'artigianato alla produzione industriale, grazie all'introduzione del telaio meccanico e all'utilizzo dell'energia del vapore. L'evoluzione dei trasporti, con l'introduzione delle locomotive a vapore, migliorò significativamente la logistica, riducendo i costi, i tempi di trasporto e integrando i mercati regionali in un'economia più coesa (Dima, 2024). Dal punto di vista economico, la centralizzazione della produzione nelle fabbriche e l'uso di macchinari innovativi incrementarono la produttività e, contestualmente, comportarono anche un rapido sviluppo urbano, spesso senza adeguate infrastrutture, creando condizioni di vita precarie per i lavoratori. L'impatto ambientale fu altrettanto significativo, con l'intensivo uso del carbone che causò inquinamento atmosferico e idrico, oltre a deforestazione e alterazione dei paesaggi. La Prima Rivoluzione Industriale, dunque, non solo trasformò l'economia, ma sollevò anche questioni cruciali sulla sostenibilità, tematiche che continuano ad essere rilevanti oggi. In sintesi, la rivoluzione industriale in analisi non fu solo una trasformazione tecnologica ed economica, ma anche un fenomeno che influenzò profondamente la società, ponendo le basi per le future rivoluzioni e sollevando interrogativi su urbanizzazione, disuguaglianze sociali e sostenibilità ambientale (Dima, 2024).

La *Seconda Rivoluzione Industriale*, a partire dall'inizio del XIX secolo, è stata caratterizzata da significative innovazioni tecnologiche, quali l'introduzione dell'elettricità e lo sviluppo della catena di montaggio. Questo periodo ha rappresentato una fase di intensa crescita economica e di accelerazione degli scambi di idee e persone, favorita dall'espansione delle reti ferroviarie e telegrafiche. Un momento cruciale fu

l'introduzione, nel 1901, della prima catena di montaggio da parte di Ransom E. Olds¹, che migliorò sensibilmente l'efficienza produttiva e ispirò successivamente Henry Ford nell'elaborazione del proprio sistema di produzione di massa delle automobili (Dima, 2024). Tale trasformazione determinò un incremento significativo della capacità produttiva e una conseguente riduzione dei costi, sebbene provocasse un aumento della disoccupazione a causa della progressiva sostituzione della manodopera con le macchine. Nonostante le sfide sociali, questa fase rappresentò un passaggio fondamentale verso la modernizzazione industriale, grazie all'applicazione di tecniche produttive avanzate e all'utilizzo dell'energia elettrica per potenziare ulteriormente le capacità produttive (Dima, 2024).

La *Terza Rivoluzione Industriale*, sviluppatasi nella seconda metà del XX secolo, è stata profondamente influenzata dall'ascesa dell'informatica, in particolare dall'introduzione e dalla diffusione del computer. Questo periodo ha rappresentato una svolta epocale dal punto di vista tecnologico, trasformando non solo la produzione industriale, ma anche la gestione delle informazioni. L'adozione dei computer ha infatti rivoluzionato i processi produttivi, favorendo significativi miglioramenti in termini di efficienza e produttività (Dima, 2024) e la rivoluzione digitale ha permesso una drastica riduzione dei costi legati all'elaborazione, all'archiviazione e alla trasmissione dei dati, facilitando l'accesso a tecnologie avanzate che, in precedenza, erano riservate esclusivamente a grandi corporazioni. L'evoluzione della capacità di calcolo, unitamente alla diffusione di software specializzati, ha consentito alle imprese di ottimizzare i processi, incrementare l'automazione e ridurre la necessità di intervento manuale. Inoltre, lo sviluppo dell'informatica ha favorito la nascita di nuove tecnologie, come Internet e i sistemi di comunicazione digitale, ampliando le opportunità di connessione e scambio di dati su scala globale (Dima, 2024).

¹ Ransom Eli Olds (Ginevra, 3 giugno 1864 – Lansing, 26 agosto 1950) è stato un imprenditore statunitense, fondatore del marchio automobilistico Oldsmobile.

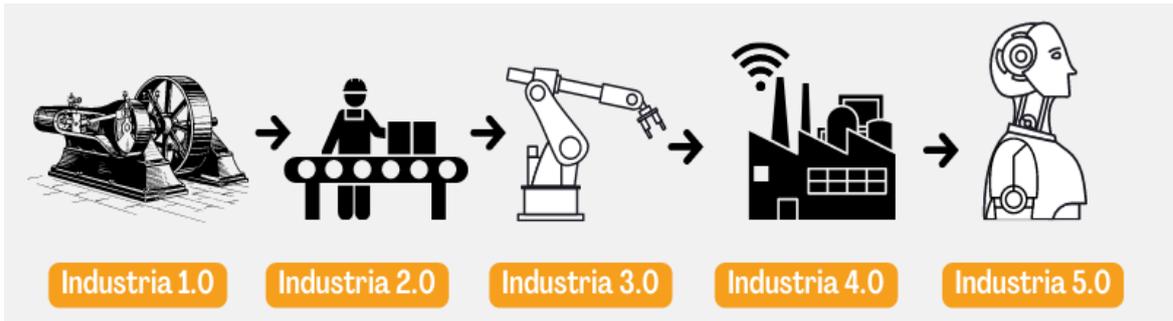


Figura 1: Le rivoluzioni industriali. Fonte: knowhow.distrelec.com

1.1.2 Quarta Rivoluzione Industriale e Industria 4.0

La Quarta Rivoluzione Industriale (4IR) non è caratterizzata da una singola e rivoluzionaria innovazione tecnologica, come è stato nel caso del vapore o dell'elettrificazione, ma da un insieme di soluzioni che si integrano tramite Internet, creando nuovi modelli produttivi. Questi modelli danno origine a innovazioni di natura diversa, che variano a seconda del settore e che comprendono cambiamenti nei processi, nell'organizzazione, nei prodotti e nei modelli di business. In particolare, la Quarta Rivoluzione Industriale si distingue per l'adozione diffusa di sistemi digitalizzati e per la connessione tra dispositivi fisici attraverso Internet. Questo cambiamento è stato reso possibile da una serie di fattori convergenti, tra cui la disponibilità di sensori e attuatori sempre più miniaturizzati, economici ed efficienti dal punto di vista energetico, nonché l'ampia diffusione di connessioni Internet pervasive e a basso costo, che garantiscono la connessione globale. Inoltre, la disponibilità di un numero praticamente illimitato di indirizzi IP attribuibili anche ad oggetti di poco valore ha ulteriormente accelerato questa trasformazione. Il termine 4IR si riferisce, pertanto, a un insieme di tecnologie multistrato, interconnesse e potenzialmente convergenti, emerse negli ultimi decenni (Gilchrist, 2016). La fusione di tali tecnologie e la loro interazione nei domini fisico, digitale e biologico rendono la Quarta Rivoluzione Industriale profondamente diversa dalle precedenti (Schwab, 2016).

Il concetto di Industria 4.0 è utilizzato per descrivere una serie di rapide trasformazioni tecnologiche nella progettazione, produzione e distribuzione di sistemi e prodotti. In particolare, si riferisce all'organizzazione di processi produttivi basati sulla tecnologia e sull'interconnessione tra vari dispositivi. L'espressione è stata utilizzata per la prima volta in Germania nel 2011, ma si sovrappone a varie esperienze maturate a livello internazionale: *Manufacturing USA* negli USA, *Smart Industry* nei Paesi Bassi, in Slovacchia e in Svezia o *Industrie du Futur* in Francia (Camera dei deputati, servizio studi, 2019). In Germania, essa è nata al fine di creare le condizioni per preservare e favorire la competitività, con l'obiettivo che la digitalizzazione dei prodotti e dei servizi di Industria 4.0 potesse consentire guadagni annuali in termini di efficienza nel settore manifatturiero, nonché la creazione di nuovi posti di lavoro (Camera dei deputati,

servizio studi, 2019). L'idea centrale di questo concetto è utilizzare le tecnologie dell'informazione emergenti per implementare l'*Internet of Things* (IoT) e i servizi, in modo che i processi aziendali e ingegneristici siano profondamente integrati, facendo operare la produzione in modo flessibile, efficiente e sostenibile, con qualità costantemente elevata e a basso costo.

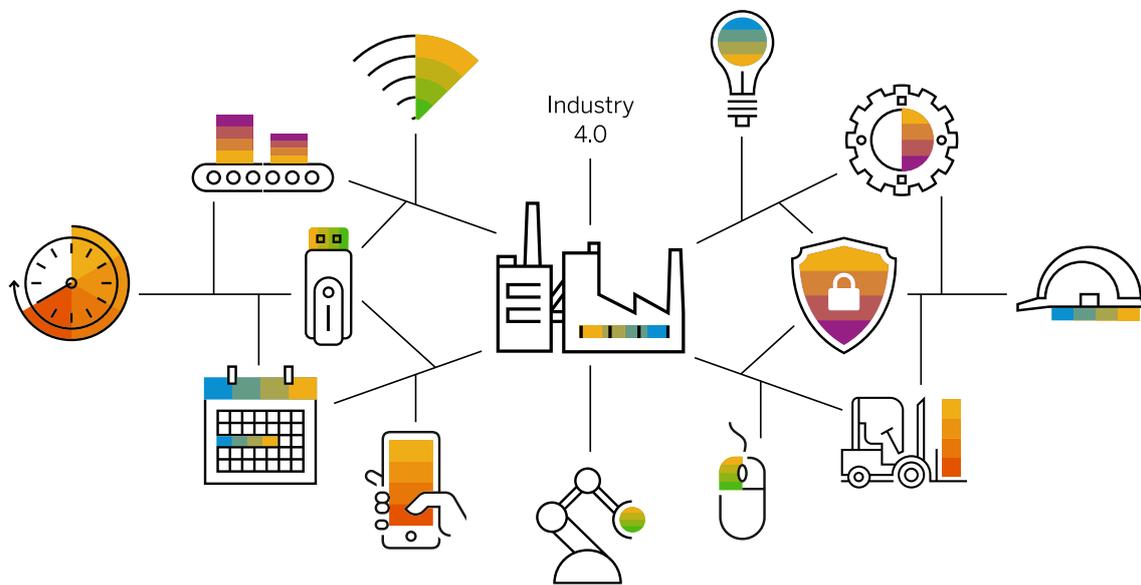


Figura 2: Industry 4.0. Fonte: SAP, What is industry 4.0?

1.1.3 Le tecnologie abilitanti

Le tecnologie abilitanti rappresentano un concetto fondamentale nell'ambito dell'Industria 4.0, poiché costituiscono le innovazioni tecnologiche per la transizione verso nuovi modelli produttivi e di business, contraddistinti da una maggiore efficienza e integrazione dei sistemi. Secondo la definizione fornita dalla Commissione Europea, le tecnologie abilitanti sono caratterizzate da un elevato grado di intensità di conoscenza e sono strettamente associate a rapidi cicli di innovazione, ingenti investimenti in ricerca e sviluppo e alla creazione di occupazione altamente qualificata (EUROPEAN COMMISSION, 2012). Uno studio condotto dalla società di consulenza *Boston Consulting Group* (Rüßmann et al., 2015), ha elencato una serie di tecnologie abilitanti utilizzate dal paradigma Industria 4.0 che supportano nuovi sistemi industriali: *Advanced Manufacturing Solutions* (in particolare, *Autonomous Robots AMR*), *Additive Manufacturing (AM)*, *Augmented Reality (AR)*, *Simulation*, *Horizontal and Vertical System Integration*, *Internet of Things*, *Cloud*, *Cyber-Physical Systems (CPS)* e *Cybersecurity*, e *Big Data and Analytics (BDA)*.

Le tecnologie sopra elencate, oltre a permettere una trasformazione nei processi produttivi quando implementate, hanno un impatto significativo sulla struttura economica e sociale, generando nuove opportunità e sfide per le imprese e per la forza lavoro. Tecnologie come IoT e Cloud, ad esempio, consentono alle aziende di raccogliere e analizzare grandi quantità di informazioni sulle loro operazioni, processi e clienti e, utilizzando questi dati, possono ottimizzare le loro operazioni, migliorare i loro prodotti e i loro servizi per soddisfare meglio le esigenze della propria clientela (Lasi et. al, 2014). In questo contesto, tali soluzioni svolgono un ruolo fondamentale nell'intero sistema, contribuendo ad aumentare la qualità della catena produttiva, rendendo i processi, i prodotti finali e i servizi offerti più innovativi. Tuttavia, le tecnologie 4IR sono complesse da gestire, poiché comportano diverse tecnologie di base da combinare, adattare e sfruttare (Schwab 2017), generando una complessità per le aziende che devono saperle sfruttare in modo integrato, ottimizzando le potenzialità offerte.

Di seguito, si presenta un elenco descrittivo delle nove tecnologie abilitanti, mentre l'applicazione in ambito industriale sarà analizzata in dettaglio nel Capitolo 3, in cui verrà affrontato il tema della manifattura.

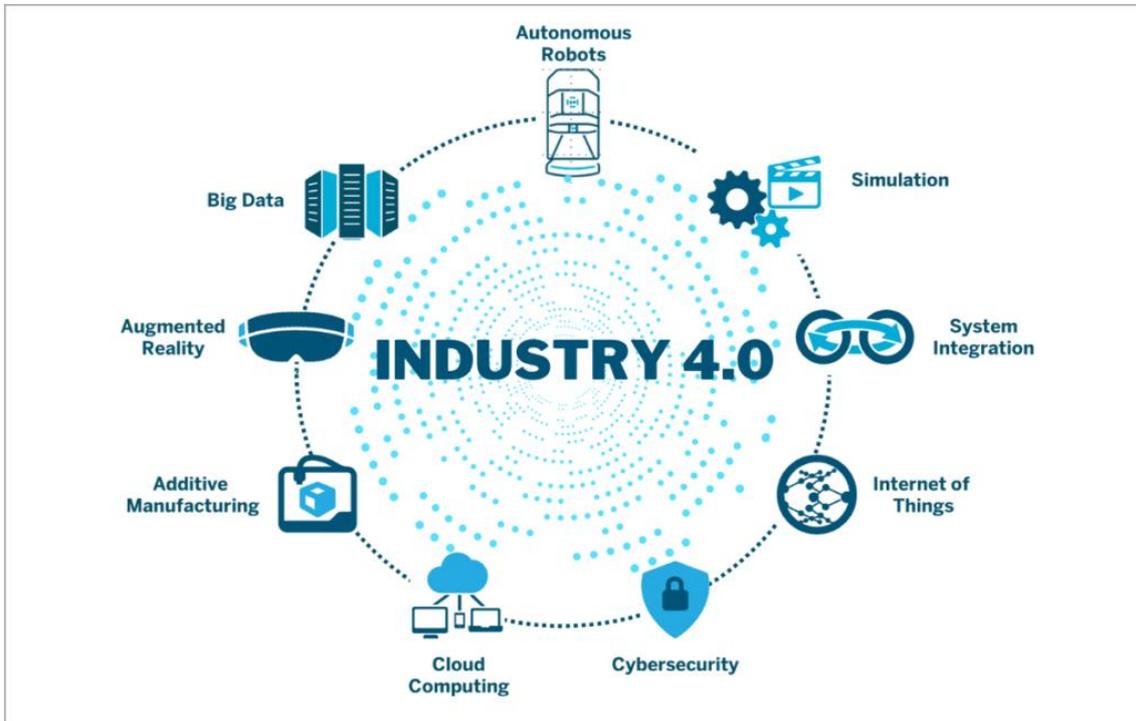


Figura 3: I nove pilastri dell'Industria 4.0. Fonte: Calsoft Systems

Advanced Manufacturing Solutions: soluzioni per la manifattura avanzata che integrano tecnologie e sistemi innovativi per ottimizzare i processi produttivi grazie all'interconnessione, alla modularità e all'automazione. Queste includono robot collaborativi (*cobot*) e veicoli a guida autonoma (AGV), progettati per ottimizzare l'interazione uomo-macchina e ridurre inefficienze operative. Tra le caratteristiche tecniche principali di un robot rientrano la portata, il numero di assi di cui è composto, il raggio d'azione, la ripetibilità, la velocità, l'accelerazione, la massa e l'ingombro.

I vantaggi derivanti dall'adozione di soluzioni di manifattura avanzata sono molteplici e riguardano aspetti fondamentali del processo produttivo (Oztemel & Gursev, 2020; Zheng et al., 2021; Weiss et al., 2021):

- Flessibilità produttiva: capacità di adattamento rapido ai cambiamenti delle esigenze di produzione.
- Efficienza operativa: i cobot e gli AGV, permettono di ottimizzare i processi e di ridurre i tempi di fermo delle macchine.
- Precisione e ripetibilità: utili in operazioni iterative, poiché garantiscono accuratezza nei movimenti e nella posizione.
- Sicurezza: l'utilizzo di sensori avanzati consente di rilevare la presenza umana, bloccando eventuali movimenti delle macchine in caso di collisioni.

Nonostante i numerosi benefici, queste soluzioni presentano anche degli svantaggi. I principali risultano essere (Oztemel & Gursev, 2020; Zheng et al., 2021; Weiss et al., 2021):

- Costi iniziali elevati: l'implementazione di soluzioni avanzate richiede investimenti significativi.
- Dipendenza tecnologica: necessità di manutenzione continua e aggiornamenti per garantire l'efficienza dei sistemi.
- Interazione complessa: sono richieste competenze specifiche per l'installazione e la coordinazione di tutti i sistemi interconnessi.

La manifattura avanzata, in conclusione, sta rivoluzionando il settore produttivo combinando automazione, flessibilità e innovazione per rispondere alle sfide di un mercato in continua evoluzione grazie all'integrazione di soluzioni come i robot collaborativi che, a differenza di quelli tradizionali, si caratterizzano per la loro capacità di auto-apprendere, adattarsi ai cambiamenti e interagire in sicurezza con operatori e altre macchine.

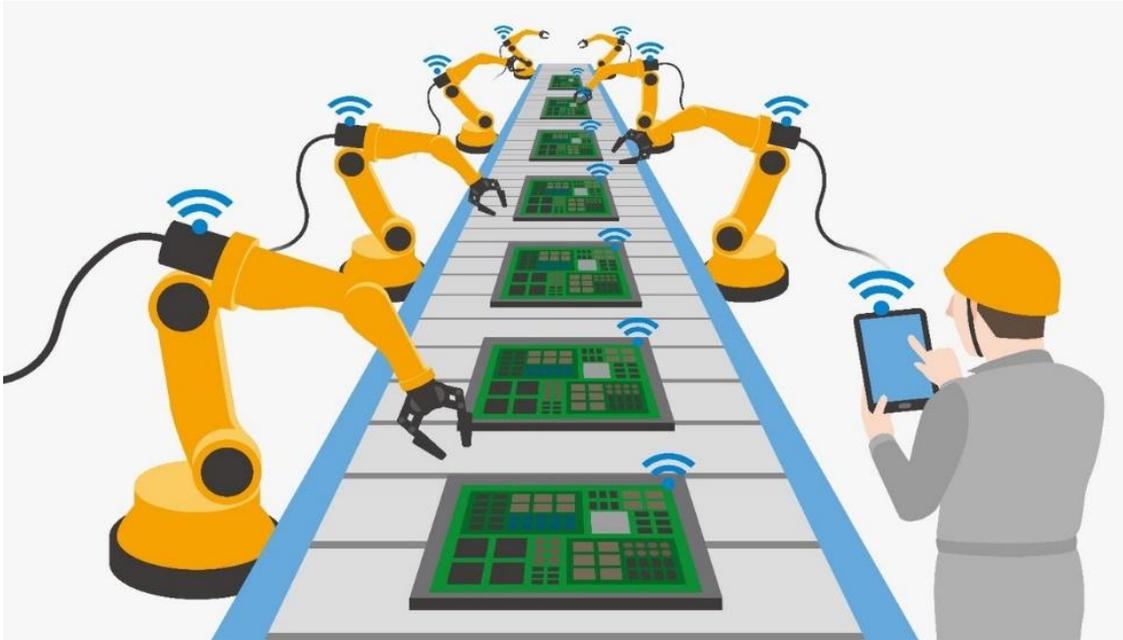


Figura 4: Cobot. Fonte: LinkedIn - Manuele Greguoldo

Additive Manufacturing: si tratta di una tecnologia innovativa che consente la produzione di oggetti di geometria complessa in poche ore, senza l'impiego di utensili. Il processo si basa direttamente sul modello matematico dell'oggetto creato su un sistema CAD 3D. Alcuni dei potenziali vantaggi della manifattura additiva possono essere riassunti come segue (Mellor et al., 2014; Ahuja et al., 2015; Tofail et al., 2018):

- Produzione personalizzata e flessibile: l'AM è particolarmente vantaggiosa per la produzione di prodotti personalizzati e risulta ideale per applicazioni come le protesi mediche o i componenti aerospaziali.
- Libertà di design funzionale: permette la creazione di caratteristiche interne complesse, difficili o impossibili da realizzare con metodi tradizionali.
- Produzione flessibile e leggera: consente la fabbricazione di componenti con strutture cave o reticolari, ideali per ridurre il peso e aumentare l'efficienza.
- Minimizzazione della lavorazione aggiuntiva: offre la capacità di produrre componenti direttamente nella loro forma finale o quasi finale, riducendo al minimo le lavorazioni successive.
- Accelerazione del ciclo produttivo e time-to-market: riduzione significativa del tempo complessivo di sviluppo, con l'eliminazione di molte fasi intermedie tra la

progettazione e la produzione effettiva con conseguente trasferimento al mercato più rapido.

- Integrazione di più funzionalità e riduzione dell'assemblaggio: l'utilizzo delle tecnologie di AM permette di ridurre la necessità di assemblaggio, comportando un aumento della complessità funzionale dei componenti.

Tuttavia, l'Additive Manufacturing presenta anche delle sfide e degli svantaggi (Mellor et al., 2014; Ahuja et al., 2015; Tofail et al., 2018):

- Finitura superficiale: la qualità superficiale dei prodotti ottenuti tramite AM può presentare irregolarità, come la rugosità, che richiedono interventi di lavorazione post-stampa per ottenere la finitura desiderata.
- Dimensione delle parti: le dimensioni dei pezzi prodotti tramite AM sono limitate dalle capacità fisiche delle macchine di stampa, rendendo difficile la produzione di componenti di grandi dimensioni. Questa restrizione potrebbe rappresentare un ostacolo per applicazioni che richiedono parti più ampie e potrebbe influire sulla versatilità del processo di produzione.
- Variazione nella qualità del prodotto: la qualità del prodotto finale può variare significativamente a causa di diversi fattori, tra cui le differenze tra macchine di stampa e lotti di produzione.
- Proprietà meccaniche: le proprietà meccaniche dei pezzi prodotti potrebbero differire da quelle ottenute con metodi di produzione tradizionali, poiché caratterizzate dall'orientamento delle fibre e dalla stratificazione dei materiali durante il processo di stampa, influenzando la resistenza e la performance del materiale e rendendo più difficoltoso garantire prestazioni meccaniche affidabili.

In conclusione, l'AM si distingue per essere versatile, flessibile e altamente personalizzabile, potendosi adattare alla maggior parte dei settori della produzione industriale, ma la sfida principale resta quella di realizzare forme e strutture complesse in oggetti funzionali (Tofail et al., 2018).

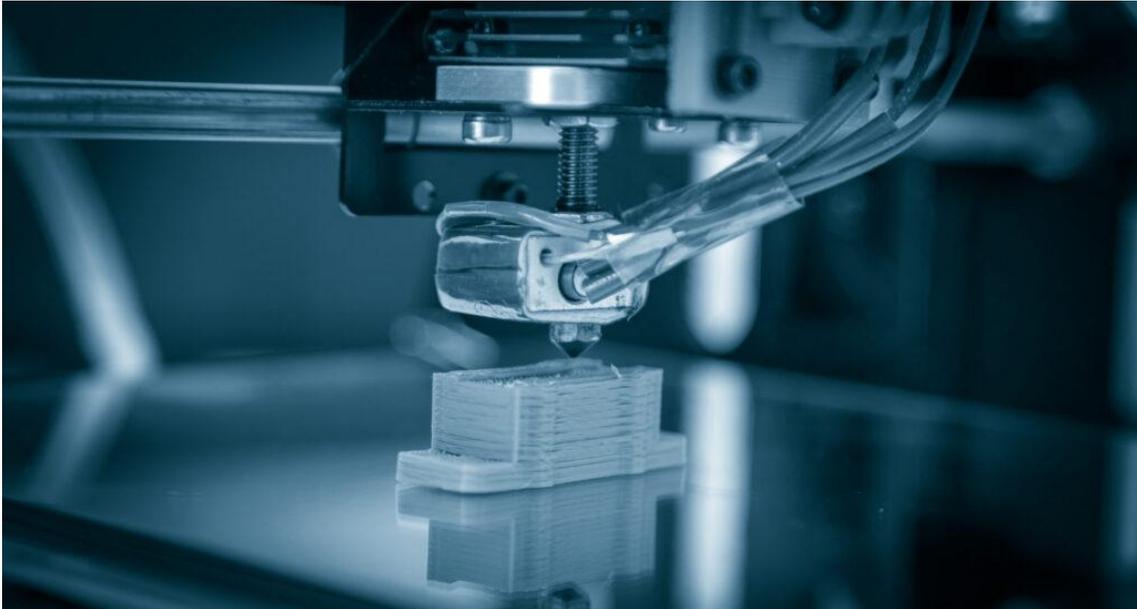


Figura 5: Additive Manufacturing. Fonte: Hfitaly

Augmented Reality: la Realtà Aumentata costituisce una tecnologia che migliora la percezione degli spazi reali mediante l'inserimento di elementi virtuali (visivi o sonori). L'applicazione di questa tecnologia intensifica l'interazione con il contesto e i sistemi di produzione consentendo, ad esempio, di visualizzare dettagli specifici riguardanti un oggetto reale con il semplice atto di inquadrarlo attraverso visori o tablet (Paelke, 2014). Questa tecnologia integra informazioni digitali con l'ambiente fisico, presentando una serie di vantaggi ed elementi caratterizzanti (Paelke, 2014):

- Miglioramento dell'efficienza: la manutenzione preventiva, favorita dalla visualizzazione dei dati in tempo reale, riduce i costi legati ai guasti improvvisi e ai fermi macchina.
- Ergonomia nei posti di lavoro: l'uso di interfacce utente progettate per ridurre movimenti ripetitivi e scomodi migliora il benessere dei lavoratori e riduce il rischio di infortuni.
- Integrazione con i sistemi di gestione industriale: l'AR consente una visualizzazione immediata e intuitiva dei dati di produzione, facilitando decisioni rapide e informate.

- Riduzione dei costi operativi: l'utilizzo delle tecnologie AR porta ad una riduzione dei costi operativi attraverso la diminuzione degli errori di produzione.

Nonostante i numerosi vantaggi, l'AR presenta anche alcune sfide e limitazioni che possono portare ad effetti negativi (Paelke, 2014):

- Potenziali problematiche di comfort: disagio visivo che può portare a disorientamento e per cui potrebbe essere necessario un periodo di adattamento e formazione per gli utenti.
- Dipendenza dalle infrastrutture tecnologiche: l'adozione dell'AR può essere ostacolata in ambienti con scarse infrastrutture tecnologiche, come sensori o connettività inadeguata.

La Realtà aumentata, pertanto, si configura come una tecnologia dalla potenzialità significative, capace di migliorare l'efficienza e l'interazione nei processi produttivi, ma richiede attenzione per un'implementazione ottimale nel settore produttivo.



Figura 6: AR in Industrial Manufacturing. Fonte: Robotics Business review

Simulation: la simulazione è un processo che consente la progettazione di un modello di sistema, reale o ipotetico, con l'obiettivo di descrivere e analizzare i comportamenti del sistema stesso. Il modello è rappresentato in modo astratto e semplificato, spesso mediante relazioni matematiche o logiche ed è essenziale per l'analisi di sistemi complessi. Con l'integrazione nell'ambito dell'Industria 4.0, la simulazione utilizza informazioni in tempo reale, offrendo alle aziende la possibilità di riconfigurare i propri processi e strategie con maggiore velocità e precisione. Dopo aver introdotto il ruolo della simulazione nell'ottimizzazione dei processi industriali, è importante considerare i vantaggi che essa offre alle aziende (de Paula Ferreira et al., 2020):

- Sicurezza: fornisce un ambiente privo di rischi per la valutazione dei processi industriali, evitando guasti o danni ai sistemi reali.
- Supporto alle decisioni: migliora il processo decisionale e l'analisi dei rischi, costi e benefici, offrendo scenari più concreti per le aziende.
- Basso costo e rapidità: permette di condurre esperimenti in modo rapido e a costi inferiori rispetto alla realizzazione di esperimenti con il sistema reale.
- Ambiente privo di rischi: la simulazione avviene in un ambiente virtuale, senza rischi per il sistema fisico.

Sebbene offra numerosi vantaggi, la necessità di competenze specialistiche e le tempistiche ne limitano l'accessibilità per alcune imprese. In particolare, i principali svantaggi risultano essere (de Paula Ferreira et al., 2020):

- Mancanza di professionisti qualificati: la progettazione e l'analisi di modelli di simulazione richiedono esperti con competenze specializzate, che possono risultare difficili da reperire.
- Tempo necessario per lo sviluppo: creare modelli di simulazione accurati richiede tempo, specialmente per sistemi complessi.

In conclusione, la simulazione è una tecnologia fondamentale per ottimizzare i processi e supportare le decisioni strategiche in contesti industriali complessi. Grazie all'integrazione con l'Industria 4.0, la simulazione può integrare informazioni in tempo

reale, consentendo alle aziende di valutare i processi e riconfigurare le proprie strategie, adattandosi rapidamente e migliorando l'efficienza operativa.

Horizontal and Vertical System Integration: il concetto di integrazione si riferisce all'implementazione di sistemi informativi dedicati che facilitano l'interazione con fornitori e clienti per lo scambio di informazioni (integrazione verticale) o con aziende attive nella stessa filiera (integrazione orizzontale).

Nelle Smart Factory (*vedere paragrafo 1.1.4*), l'integrazione verticale si realizza attraverso la configurazione in rete di sistemi IT dislocati su diversi livelli gerarchici. Questi sistemi facilitano la produzione personalizzata, progettata per rispondere alle esigenze specifiche dei clienti (Zhou, Liu & Zhou, 2015). I sistemi informativi sviluppati tramite le tecnologie dell'Industria 4.0, consentono uno scambio costante e bidirezionale di informazioni: da un lato, interagiscono con i fornitori per ottimizzare l'approvvigionamento, ridurre le inefficienze e instaurare rapporti di collaborazione duraturi; dall'altro, mantengono un dialogo continuo con i clienti, garantendo supporto post-vendita e monitorando l'efficacia dei prodotti anche dopo la loro uscita dal ciclo produttivo (Pérez-Lara et al., 2020).

Per produrre in modo efficiente prodotti e servizi, è necessario formare un'integrazione orizzontale inter-organizzativa, composta da aziende correlate. In questo modo si crea un sistema efficiente, in cui c'è un flusso continuo di materiali, informazioni e finanze tra le organizzazioni. Questo tipo di integrazione implica una connessione fluida tra le risorse aziendali e i sistemi informativi che fanno parte della catena del valore. Ciò non solo facilita la cooperazione tra le imprese all'interno della stessa filiera o settore, ma consente anche una fornitura di prodotti e servizi in tempo reale. La forza di questo approccio sta nella capacità di sincronizzare le attività aziendali, migliorando la reattività e l'efficienza dell'intero sistema produttivo (Jovičić et al., 2023).

Internet of Things: l'IoT rappresenta una rete di dispositivi interconnessi capaci di interagire tra di loro e di trasmettere informazioni agli utenti attraverso Internet. È fondamentale nello sviluppo delle fabbriche intelligenti, poiché contribuisce al miglioramento dell'efficienza della produttività nella produzione di componenti. I benefici che ne derivano dall'utilizzo risultano essere (Soori et al., 2023; Lee & Lee, 2015):

- Automattizzazione della gestione dell'inventario: è possibile ridurre la necessità di intervento manuale e garantire il mantenimento di livelli ottimali di scorte, attraverso dispositivi IoT di controllo e monitoraggio.
- Collaborazione: l'utilizzo di strumenti IoT può favorire una condivisione efficace di informazioni e una collaborazione ottimale tra persone e oggetti all'interno dello stesso ambiente di lavoro.
- Big Data and Analytics: i dispositivi IoT e le macchine equipaggiate con sensori e attuatori integrati generano grandi volumi di dati, che vengono inviati a strumenti di business intelligence e di analisi per supportare il processo decisionale umano in relazione al contesto specifico.

Oltre ai numerosi vantaggi individuati, esistono una serie di limitazioni nell'utilizzo di questa tecnologia (Soori et al., 2023; Lee & Lee, 2015):

- Alti costi di sviluppo e manutenzione: l'implementazione dell'IoT richiede investimenti significativi per lo sviluppo e la manutenzione di infrastrutture tecnologiche complesse e di larga portata.
- Privacy e sicurezza: la gestione e la raccolta di grandi quantità di dati sensibili attraverso dispositivi connessi potrebbe portare a problemi legati all'integrità dei dati raccolti.

In conclusione, il fine ultimo della diffusione dell'Internet of Things è quello di rendere gli oggetti e le risorse presenti all'interno di un sistema produttivo comunicanti e interconnessi tra loro. In questo nuovo contesto industriale, gli oggetti fisici sono integrati all'interno della rete di dati e le informazioni continuamente scambiate rappresentano un valore aggiunto nei processi aziendali, poiché possono comunicare

informazioni sul proprio stato, sui processi nel quale si trovano, sulla manutenzione e sul controllo di impianti e macchinari e sull'ambiente circostante (Shrouf, Ordieres, & Miragliotta, 2014).



Figura 7: Internet of Things. Fonte: TECNO4Industry

Cloud: il termine cloud si riferisce a un insieme di tecnologie focalizzate sull'archiviazione, elaborazione e trasmissione di dati su tutte le soluzioni e piattaforme modalità on-demand. La tecnologia cloud rappresenta un servizio di archiviazione online che offre praticità operativa attraverso applicazioni basate sul Web, senza necessità di installazione.

Esistono principalmente quattro tipologie di accesso (Alqaryouti et al., 2018; Xu, 2012):

- Pubblico: gestito dai fornitori e disponibile per tutti i pubblici, con i dati solitamente archiviati in un data center remoto.
- Privato: destinato ad un uso esclusivo da parte di un'organizzazione, gestito internamente o da un provider di servizi, che offre vantaggi di sicurezza e controllo.

- Ibrido: combinazione di cloud privati e pubblici, consentendo la gestione di alcune risorse in modo privato e altre in modo pubblico.
- Comunitario: condiviso da più organizzazioni con esigenze simili e supportato da una specifica comunità di interesse.

I vantaggi identificati dall'utilizzo di questa tecnologia sono diversi (Wang, Gao, & Fan, 2015):

- Elasticità delle risorse: il cloud permette di rispondere istantaneamente ai cambiamenti nella domanda di risorse, adattandosi alle esigenze degli utenti, a differenza dei servizi di hosting tradizionali, che forniscono un numero limitato di risorse in un certo periodo di tempo, senza possibilità di adattarsi ai cambiamenti repentini che può subire la domanda.
- Riduzione dei costi: il cloud comporta una riduzione sugli investimenti iniziali in infrastrutture hardware e software, essendo servizi forniti da un provider, e permette di ridurre altri costi, quali costi operativi o spese per il personale.
- Spostamento del rischio: trattandosi di servizi forniti esternamente all'azienda, il rischio operativo e la gestione dell'infrastruttura sono a carico del fornitore del servizio e non più a carico dell'azienda.

L'adozione di questa tecnologia, pertanto, semplifica le operazioni aziendali, consentendo a clienti e dipendenti di accedere agli stessi dati nello stesso momento. Inoltre, i sistemi cloud permettono una riduzione dei costi eliminando la complessità dell'infrastruttura IT nell'organizzazione, estendendo l'area di lavoro, proteggendo i dati e fornendo accesso alle informazioni in qualsiasi momento. Tuttavia, questa tecnologia presenta alcuni limiti e rischi, che risultano essere (Wang, Gao, & Fan, 2015):

- Sicurezza informatica e privacy dei dati: rappresenta un limite sia per gli utenti finali sia per i fornitori di servizi cloud, poiché le responsabilità variano a seconda della tipologia di servizio utilizzato.

- Competenze digitali e infrastruttura tecnologica: in molte aziende la scarsa competenza digitale e l'insufficiente infrastruttura tecnologica non permettono di usufruire in maniera corretta delle potenzialità offerte dal cloud.

In sintesi, il cloud rappresenta una tecnologia fondamentale per ottimizzare la gestione delle risorse IT, permettendo una configurazione flessibile e scalabile dei server, con applicazioni e servizi facilmente accessibili tramite Internet, migliorando l'efficienza e la disponibilità delle risorse aziendali.



Figura 8: Cloud. Fonte: Rakesh Dhamodharan

Cyber-Physical Systems: meccanismo in cui un sistema fisico viene controllato o monitorato tramite algoritmi software. I CPS sono integrati con Internet e sono costituiti da sensori, risorse di calcolo e capacità di comunicazione. I CPS, inoltre, integrano approcci multidisciplinari come componenti digitali, analogici, fisici e umani, combinati per funzionare come sistemi intelligenti. I CPS assumono un ruolo rilevante in settori come l'assistenza sanitaria, il controllo del traffico, la gestione delle flotte e la

generazione e la distribuzione di energia (Karpagam et al., 2021). Il termine fisico si riferisce al sistema reale, come un macchinario o un componente di un processo produttivo, mentre il termine Cyber rappresenta il *Digital Twin* dell'oggetto stesso, ovvero la sua versione virtuale che lo collega ad altri elementi del processo, consentendo interazioni e scambi di dati. Disponendo di una intelligenza decentrata, i sistemi Cyber-Fisici sono in grado di valutare situazioni e prendere decisioni autonomamente nonché di provvedere che gli altri sistemi Cyber-Fisici svolgano azioni e si adattino ai cambiamenti.

I sistemi Cyber-Fisici costituiscono uno dei nuclei centrali del paradigma dell'Industria 4.0, integrando componenti fisici e digitali in un'unica infrastruttura interconnessa. Questa connessione consente alle macchine di comunicare e collaborare in modo intelligente e autonomo, trasformando profondamente i processi produttivi. Tuttavia, il crescente livello di connettività tra dispositivi implica un aumento proporzionale delle vulnerabilità a cui i sistemi e le reti informatiche possono essere esposti, rendendo il rischio di attacchi informatici una sfida rilevante. Pertanto, a fronte di tali minacce, è emersa la necessità di adottare misure sofisticate per garantire la sicurezza dei dati e delle infrastrutture digitali. La cybersecurity rappresenta un insieme di tecnologie avanzate, politiche, misure di salvaguardia e linee guida volte a proteggere i sistemi informativi da attacchi esterni che potrebbero comprometterne l'integrità, la riservatezza e la disponibilità (Abomhara & Koien, 2015; Sarveshwaran et al. 2023).

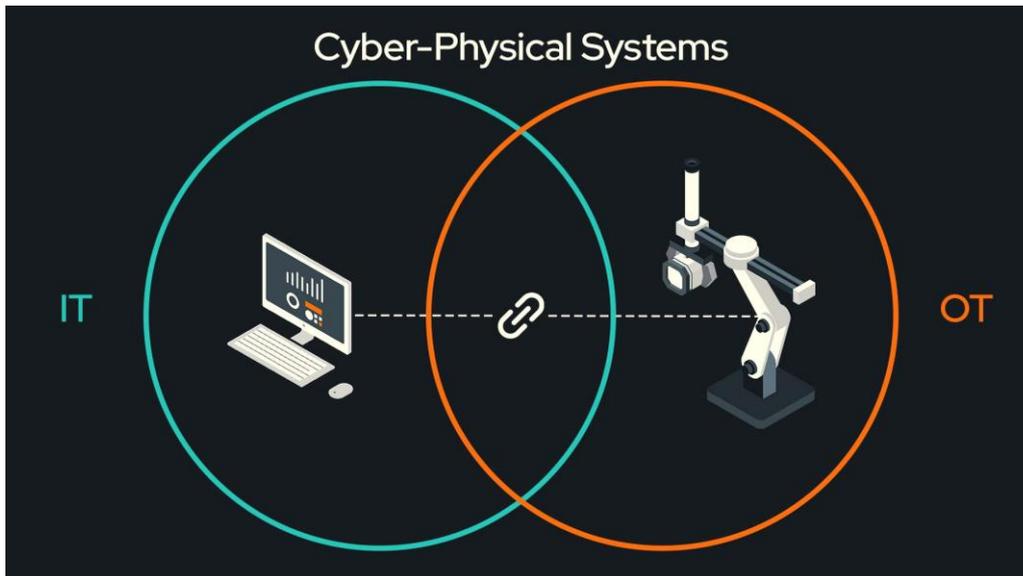


Figura 9: Cyber-Physical Systems. Fonte: Exalens 2023

Big Data and Analytics: l'integrazione di sistemi avanzati ha dato origine all'era dei Big Data, dovuta alla grande quantità di dati generati nei processi produttivi. I Big Data comprendono l'insieme dei processi e delle infrastrutture per l'analisi e l'interpretazione di tali dati. Per elaborare grandi quantità di dati eterogenei e non strutturati, raccolti in formati come video, audio, testo o altri, sono state introdotte alcune dimensioni per una migliore caratterizzazione (Gandomi & Haider, 2015):

- Volume: grande quantità di dati che richiede ampi spazi di archiviazione.
- Valore: attraverso l'estrazione e la trasformazione, il valore definisce fino a che punto i Big Data generano benefici economicamente rilevanti.
- Veridicità: affidabilità limitata di alcune fonti di dati.
- Visione: probabilità del processo di generazione dei dati.
- Varietà: diversità dei tipi di dati generati da una vasta gamma di fonti e formati.
- Velocità: necessità di una produzione rapida per analizzare e agire sui dati.
- Validità: conformità della visione dei dati generati.
- Variabilità: tassi di flusso dei dati mutati dalla loro variazione.



Figura 10: Le otto “V” dei Big Data (iStock, 2014)

Dopo aver esaminato la definizione e le caratteristiche, è opportuno analizzare le principali opportunità e i rischi derivanti dall’uso dei Big Data nel contesto dell’Industria 4.0, come identificato e analizzato da Khan et al. (2017). Le opportunità chiave risultano essere:

- Dati IoT: nell’Industria 4.0, dispositivi come sensori, robot industriali e strumenti connessi devono scambiarsi dati per ottimizzare i processi produttivi, giocando un ruolo fondamentale nell’efficienza e nell’integrazione delle operazioni industriali.
- Accesso in tempo reale: consente una gestione rapida dei dati per garantire tolleranza ai guasti e rilevazione degli errori. Una rete ad alta velocità e bassa latenza è cruciale per il controllo remoto dei dispositivi fisici e per il corretto funzionamento degli attuatori in sequenza, offrendo l’opportunità per lo sviluppo di algoritmi innovativi nell’ambito del controllo e dell’accessibilità dei dati in tempo reale.
- Presentazione dei dati: deve adattarsi a diversi formati per operatori, analisti programmatori, dirigenti e clienti. La gestione dei dati eterogenei generati rapidamente è una sfida, ma l’uso di strumenti idonei migliora la scalabilità, le performance e la flessibilità nelle soluzioni analitiche.

A seguito dell'analisi delle opportunità derivanti dall'uso dei Big Data in ambito industriale, è necessario considerare anche i principali rischi e limitazioni associati alla loro applicazione, che potrebbero influire sull'efficacia complessiva delle operazioni industriali. Tra gli svantaggi principali si includono (Khan et al. 2017):

- **Acquisizione dei dati di automazione:** basata su sensori, attuatori e PLC (*Programmable Logic Controllers*), è una sfida chiave nell'Industria 4.0 a causa della complessità e dell'eterogeneità delle tecnologie coinvolte. Un esempio è il processo automatico di avvio/arresto di un motore, in cui i dati raccolti dai sensori vengono elaborati dal PLC per attivare gli attuatori.
- **Trasformazione dei dati:** fondamentale per assicurare l'interoperabilità tra i processi, trasformando i dati eterogenei prodotti dalle macchine in formati uniformi compatibili con dispositivi smart.
- **Integrazione e modellazione dei dati:** necessarie per supportare processi in tempo reale e per calcolare il costo finale dei prodotti. Queste attività richiedono piattaforme affidabili, scalabili e sicure, in grado di raccogliere, integrare e modellare i dati per applicazioni industriali e sistemi di supporto decisionale, pur rappresentando una sfida cruciale per il controllo, il funzionamento automatizzato e l'ottimizzazione dei processi produttivi.
- **Sicurezza e privacy:** la protezione dei dati è fondamentale, poiché il controllo remoto dei dispositivi fisici espone a potenziali minacce esterne, come il rischio di accessi non autorizzati. L'autenticazione dei dati e la privacy sono quindi aspetti essenziali per garantire la sicurezza dei sistemi industriali.
- **Analisi dei dati:** fondamentale per la pianificazione e le decisioni aziendali nell'Industria 4.0, comprendendo applicazioni come l'analisi dei guasti, la gestione dei dati delle macchine e l'analisi della produzione. La necessità di un'elaborazione rapida e in tempo reale dei dati eterogenei, insieme alla sfida dell'incompletezza e della scalabilità, richiede l'uso di algoritmi avanzati per un'analisi efficace.

In conclusione, un'adeguata definizione e utilizzo dei Big Data consente alle organizzazioni di acquisire una comprensione più approfondita della propria attività

operativa, favorendo così miglioramenti in molteplici settori, quali le vendite e il perfezionamento dei prodotti.

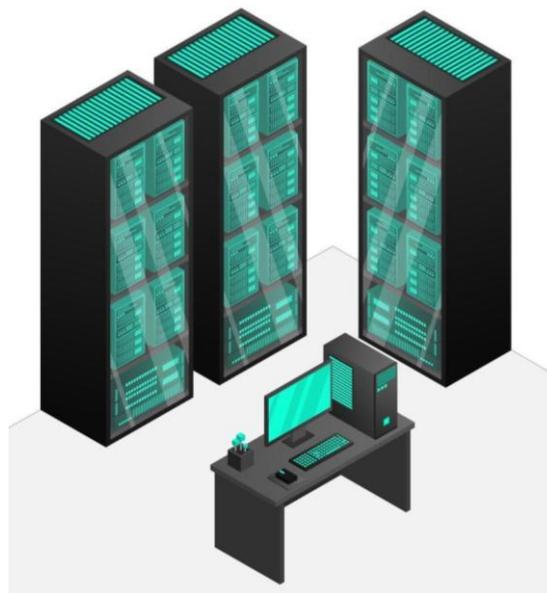


Figura 11: Web hosting ed elaborazione Big Data. Fonte: vistacreate

1.1.4 Le Smart Factory

La Quarta Rivoluzione Industriale include le fabbriche intelligenti come elemento chiave per migliorare l'efficienza nella produzione. Per implementare l'Industria 4.0, Wang et al. (2016) identificano tre caratteristiche chiave:

- Integrazione orizzontale attraverso le reti di valore, per facilitare la collaborazione tra imprese. Un'impresa dovrebbe sia competere che collaborare con altre realtà correlate, per formare un ecosistema efficiente.
- Integrazione verticale dei sottosistemi gerarchici all'interno di una fabbrica, con l'obiettivo di realizzare un sistema di produzione flessibile e riconfigurabile.
- Integrazione digitale end-to-end lungo l'intera catena del valore, per supportare la personalizzazione del prodotto.

Questi tre tipi di integrazione sono interdipendenti, come mostrato in *figura 12*: l'integrazione orizzontale tra le imprese e l'integrazione verticale all'interno della fabbrica costituiscono la base per l'integrazione end-to-end del processo ingegneristico, per gestire il ciclo di vita del prodotto che comprende diverse fasi e attori.

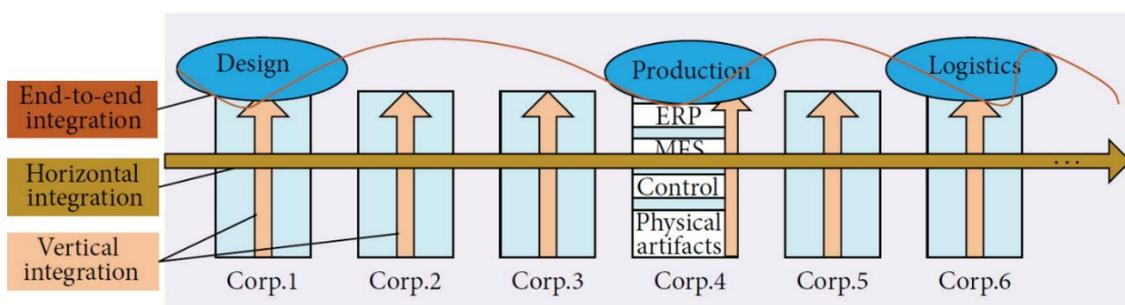


Figura 12: Illustrazione dei tre tipi di integrazione e della loro relazione. Wang et al., 2016

L'Industria 4.0, pertanto, si propone di integrare verticalmente i sottosistemi gerarchici per trasformare la fabbrica tradizionale in una Smart Factory, che è un sistema di produzione altamente flessibile e riconfigurabile (Wang et al. 2016).

Nel 2015, Elvis Hozdić definisce la Smart Factory come una soluzione di produzione caratterizzata da processi flessibili e adattivi, in grado di risolvere problemi emergenti in un impianto di produzione operante in condizioni dinamiche e in rapido cambiamento, all'interno di un contesto di crescente complessità. Inoltre, Hozdić afferma che questa soluzione, da un lato può essere associata all'automazione, intesa come una combinazione di software, hardware e/o componenti meccaniche, mirata ad ottimizzare la produzione riducendo il lavoro superfluo e lo spreco di risorse; mentre, dall'altro lato, potrebbe essere vista in una prospettiva di collaborazione tra diversi partner industriali e non industriali, dove l'intelligenza deriva dalla formazione di un'organizzazione dinamica.

Le fabbriche intelligenti sono strutture che utilizzano tecnologie digitali per migliorare l'efficienza operativa e la produttività, basandosi su tecnologie avanzate come IoT, intelligenza artificiale e robotica per ottimizzare i processi di produzione e migliorare l'efficienza operativa. In una fabbrica intelligente le macchine e le attrezzature sono interconnesse e comunicano tra loro con un sistema di controllo centrale per consentire monitoraggio, analisi e processo decisionale in tempo reale. Ciò consente ai produttori di ottimizzare i propri processi, ridurre l'inquinamento e aumentare la flessibilità per rispondere rapidamente alle mutevoli richieste del mercato.

La Smart Factory, inoltre, è basata su tre principi cardine:

- *Smart Production*: le nuove tecnologie produttive devono offrire collaborazione tra tutti gli elementi presenti in produzione, tra operatori, macchine e strumenti.
- *Smart Services*: le infrastrutture informatiche e tecniche che permettono di integrare i sistemi e le aziende dei vari stadi della filiera con le infrastrutture e l'ambiente circostante.

- *Smart Energy*: una nuova filosofia aziendale volta a ridurre i consumi di energia, puntando alla realizzazione di sistemi energetici più performanti e in grado di ridurre gli sprechi, in un'ottica di sostenibilità.

Questi tre elementi fondanti pongono le basi per l'implementazione di un sistema produttivo intelligente, interconnesso e sostenibile, oltre a stabilire il quadro teorico necessario per comprendere come la tecnologia possa trasformare la produzione industriale in un ecosistema dinamico e altamente adattabile. In questo contesto, è opportuno approfondire le caratteristiche distintive di una Smart Factory, descritte da Shi et al. (2020):

- L'uso di sensori intelligenti, come le attrezzature o i misuratori: questi dispositivi possono auto-organizzarsi, apprendere e mantenere le informazioni per analizzare i loro comportamenti e prendere decisioni per adattare le azioni in base ai cambiamenti nell'ambiente.
- L'interoperabilità e il controllo in tempo reale tramite Internet: grazie all'interconnessione tra dispositivi, la coordinazione tra di essi può essere migliorata e i protocolli di configurazione tra i moduli di produzione possono essere più flessibili.
- L'elevata integrazione: avviene tramite sistemi di visione robotica e tecnologie di intelligenza artificiale, permettendo agli esperti di avere un maggiore controllo del sistema di produzione intelligente.
- L'uso di tecniche di realtà virtuale VR: si compongono di computer, di elaborazione del segnale, dell'animazione, del ragionamento intelligente, della previsione, della simulazione e delle tecnologie multimediali per virtualizzare i processi di produzione e i prodotti.

Dopo aver evidenziato quali sono le principali caratteristiche che costituiscono la Smart Factory, è necessario comprendere che la loro implementazione può presentare diverse problematiche (Shi et al., 2020):

- Mancanza di visione comune e comprensione adeguata dell'implementazione della Smart Factory da parte del personale.

- Elevati costi di implementazione dovuti alla necessità di macchinari modulari, una forza di lavoro qualificata, attrezzature e strumenti riconfigurabili, infrastrutture e comunicazioni standard.
- Problemi tecnici legati all'acquisizione e all'analisi di dati in tempo reale, oltre che alla gestione di dati non strutturati.
- Sfide strutturali legate al riutilizzo sistematico dei processi, alla digitalizzazione della produzione e all'integrazione delle catene di approvvigionamento con ingegneria, marketing e vendite.
- Rischi elevati per la sicurezza e la privacy a causa della vulnerabilità dell'architettura della Smart Factory.

La Smart Factory, pertanto, si configura come un pilastro centrale dell'Industria 4.0, che integra tecnologie avanzate per creare ecosistemi produttivi più efficienti, flessibili e sostenibili ma che non è priva di sfide tecnologiche, organizzative e finanziarie.



Figura 13: Smart Factory. Fonte: Tecno4Industry, 2024

1.1.5 Quinta Rivoluzione Industriale e Industria 5.0

Dopo aver definito la Quarta Rivoluzione Industriale, l'industria 4.0 e la Smart Factory, sebbene i paradigmi che definiscono il contesto e le aree di sviluppo della Quinta Rivoluzione Industriale siano ancora oggetto di definizione, diversi fonti sostengono che gli avanzamenti tecnologici hanno posto l'uomo o l'operatore umano, come sarebbe più corretto definirlo in termini industriali, al centro del dibattito. Tale visione antropocentrica rappresenta un cambiamento significativo rispetto ai modelli puramente automatizzati delle rivoluzioni precedenti, aprendo a scenari di ricerca e sviluppo inediti e potenzialmente rivoluzionari (Nahavandi, 2019). In questo contesto, alcuni ricercatori (Demir et. al, 2019) hanno individuato due visioni principali che sono emerse nel dibattito sulla Quinta Rivoluzione Industriale: la prima riguarda il *co-working uomo-robot*, in cui esseri umani e robot collaboreranno ovunque e ogniqualvolta sia possibile, mentre a seconda è legata alla *bioeconomia*, ossia l'utilizzo di risorse biologiche nell'industria per favorire un equilibrio tra sostenibilità ambientale, sviluppo industriale ed economia. Queste prospettive rispondono alle criticità del paradigma attuale della Quarta Rivoluzione Industriale, caratterizzata da un'enfasi sulla produzione di massa e da una limitata attenzione sugli aspetti ambientali. In questo contesto, Kim (2024) afferma che la caratteristica principale di questa quinta ondata è la *sostenibilità*, la cui dimensione più comunemente discussa è quella ambientale, che può rappresentare un vantaggio competitivo significativo per alcuni settori, come quello dell'auto con l'espansione dei veicoli elettrici. La seconda caratteristica, invece, risulta essere la *sostenibilità sociale*, caratterizzata dalla crescente importanza del benessere e da un approccio incentrato sull'essere umano. Infine, il terzo concetto è rappresentato dalla *sostenibilità economica*, strettamente collegata ai modelli di crescita socialmente ed ecologicamente sostenibili, che fa riferimento a una crescita economica sostenibile. Questa rivoluzione mira a promuovere una collaborazione armoniosa tra uomini e macchine, favorendo un'interazione sempre più integrata e cooperativa. In particolare, nella Quinta Rivoluzione Industriale, si prevede un ulteriore avanzamento tecnologico in grado di affrontare complesse sfide globali, incentivare lo sviluppo economico con impatto ambientale sostenibile e trasformare la forza lavoro, rendendo il lavoro più collaborativo tra operatori umani e sistemi automatizzati. Tra gli elementi chiave di

questa trasformazione, sono inclusi la connettività globale con reti 5G e IoT, lo sviluppo di città intelligenti e il progresso delle infrastrutture esistenti (Ziatdinov et al., 2024).

Introdotte le caratteristiche distintive e gli elementi fondanti della Quinta Rivoluzione Industriale, è possibile affermare che l'industria 5.0 trae origine dal concetto di Industria 4.0, precedentemente delineato. Mentre quest'ultimo si concentra maggiormente sulla digitalizzazione e sull'adozione di tecnologie basate sull'intelligenza artificiale per migliorare l'efficienza e la flessibilità della produzione, trascurando i principi di equità sociale e sostenibilità, il concetto di Industria 5.0 si distingue per un approccio diverso: sottolinea l'importanza della ricerca e dell'innovazione al fine di supportare l'industria nel suo impegno a lungo termine al servizio dell'umanità (Breque et al., 2021). Nel 2018, Phil Cartwright, direttore esecutivo del *Centre for Modelling and Simulation* del Regno Unito, intervistato da *Raconteur* su questo tema, ha individuato con la *Personalizzazione* la caratteristica principale dell'Industria 5.0. Tale elemento distintivo si riferisce al collegamento diretto tra la progettazione e la produzione di dati sensoriali, finalizzato a fornire agli utenti prodotti personalizzati in tempo reale (Di Nardo et al., 2021). Alcuni ricercatori hanno osservato come la quasi totalità degli studi condotti su questo nuovo paradigma, non introduca nuove innovazioni tecnologiche, ma riconduca questa fase alle tecnologie associate al paradigma dell'Industria 4.0. In particolare, numerosi autori fanno riferimento all'uso di IoT, Big Data, CPS, realtà aumentata, robotica intelligente e robot collaborativi, delineando un quadro che resta fortemente ancorato alle innovazioni tecnologiche già esistenti. Contestualmente, il dibattito promosso dall'Unione Europea (Breque et al., 2021) si focalizza su valori quali l'antropocentricità, l'ecologia e i benefici sociali, piuttosto che sull'introduzione di tecnologie radicalmente innovative.



Figura 14: Industry 5.0. Fonte: SistemAssociati

1.2 Gli incentivi nelle Transizioni 4.0 e 5.0

Negli ultimi decenni, il sistema industriale italiano ha beneficiato di una serie di incentivi strutturati nell'ambito dei piani nazionali *Industria 4.0* e *Impresa 4.0*, che hanno segnato una svolta nella promozione della digitalizzazione e dell'innovazione tecnologica delle imprese. Con l'evoluzione verso il *Piano Transizione 4.0* il focus si è ampliato, prevedendo una maggiore attenzione all'innovazione, agli investimenti green e alle attività di design e ideazione estetica, mentre il recente *Piano Transizione 5.0* mira a integrare ulteriormente gli aspetti legati alla trasformazione digitale ed energetica delle imprese.

Nel 2016, la Commissione Europea ha lanciato un'iniziativa denominata *digitalizzazione dell'industria europea* che è stata sviluppata e integrata da varie politiche nazionali, come *l'industria 4.0* (Germania e Austria), *Smart Industry* (Svezia), *Industry du Futur* (Francia) e *connected industry 4.0* (Spagna). Il Governo italiano, nel 2017, ha emanato il *Piano nazionale Industria 4.0*, sviluppato a seguito di un'indagine conoscitiva parlamentare (Corte dei conti Europea, 2019; Camera dei deputati, servizio studi, 2019) e, nel settembre 2017, ha diffuso i primi risultati delle misure introdotte, dando avvio alla fase 2 del Piano. Tale fase, con il fine di includere tra i destinatari non più soltanto il settore manifatturiero, ma anche gli altri settori dell'economia – servizi in primis – ha assunto la denominazione di *Piano nazionale Impresa 4.0*, con l'obiettivo di consentire alle piccole e medie imprese di dotarsi degli strumenti in grado di supportare la trasformazione in chiave digitale (Camera dei deputati, servizio studi, 2019).

Il Piano Industria 4.0 è stato concepito come una politica fiscale neutra per favorire la diffusione del digitale in un ampio spettro di settori industriali senza favorire aziende o settori specifici (Cefis et al., 2024). Il Piano 4.0 può essere interpretato come una shock therapy a favore della crescita degli investimenti (Gherardini e Pessina, 2020) e, in particolare, il Piano italiano predilige un approccio liberale, basato su misure orizzontali orientate a sostenere investimenti in beni strumentali, incentivare attività di ricerca e sviluppo e, più in generale, promuovere l'imprenditorialità (Gherardini e Pessina, 2020). La caratteristica tipica di una politica orizzontale è che il governo non seleziona le imprese che beneficiano dell'incentivo e le aziende non hanno bisogno di presentare

alcuna proposta da valutare per ricevere i fondi. Invece, tali politiche, utilizzano meccanismi di mercato per provocare l'autoselezione dei partecipanti, selezionando coloro che hanno meno probabilità di fare buon uso del sussidio (Steinmueller 2010). Tale caratteristica è particolarmente rilevante quando queste politiche mirano a promuovere grandi trasformazioni sociali come la digitalizzazione, con il fine di incentivare l'adozione di nuove tecnologie digitali.

Il panorama degli incentivi fiscali a favore delle imprese italiane ha subito un'importante evoluzione negli ultimi anni. In particolare, misure storiche come il *super e l'iper-ammortamento*, che rappresentavano due delle principali leve fiscali per stimolare gli investimenti in beni strumentali e tecnologie avanzate, sono state progressivamente sostituite dal *credito d'imposta*.

Il successivo paragrafo esplora le principali caratteristiche di questi incentivi, analizzando strumenti di rilievo come la *Nuova Sabatini*, la *Nuova Sabatini green* e il nuovo regime *Patent Box*, oltre che gli attuali strumenti offerti dal Piano Transizione 4.0 e dalla sua proiezione futura, rappresentata dalla Transizione 5.0. L'analisi comprende un approfondimento dettagliato delle agevolazioni fiscali introdotte per supportare le imprese in questo percorso di trasformazione tecnologica e organizzativa.

1.2.1 Super e Iper-ammortamento

Le disposizioni relative al super e iper-ammortamento sono state introdotte dall'articolo 1, commi 8-13 della legge di bilancio 2017 (legge n. 232/2016). Tali delibere, per permettere una detrazione dei canoni di locazione finanziaria e delle quote di ammortamento, hanno previsto una maggiorazione del costo di acquisizione di determinati beni. In particolare, l'iper-ammortamento consentiva alle imprese che investivano in determinate tecnologie 4.0 di poter beneficiare di una maggiorazione del 150% del costo di acquisizione del bene e, di conseguenza, consentiva di poter ridurre la base imponibile su cui sono calcolate IRPEF e IRES. Per investimenti superiori a 500 mila euro, la richiesta di iper-ammortamento era soggetta a una perizia tecnica giurata che ne attestava la conformità dei beni ai requisiti previsti dalla normativa (Camera dei deputati, servizio studi, 2019). Il super-ammortamento, invece, si caratterizzava per un'aliquota di supervalutazione inferiore (30% o 40%, a seconda del periodo di applicazione) ed era applicabile a beni strumentali nuovi, senza vincoli di legame con le tecnologie 4.0. Tuttavia, per i beni immateriali (come software e sistemi IT), il super-ammortamento era disponibile solo per le imprese che avevano richiesto l'iper-ammortamento. Infine, la disciplina della sospensione degli ammortamenti è stata regolata dai commi da 7-bis a 7-quinquies dell'articolo 60 del decreto-legge (D.L.) numero 104 del 2020, che hanno introdotto ulteriori disposizioni per far fronte agli effetti economici della pandemia da Covid-19 (Camera dei deputati, servizio studi, 2019).

1.2.2 Nuova Sabatini e Nuova Sabatini green

Al fine di agevolare l'accesso al credito per investimenti produttivi e tecnologici effettuati dalle Piccole e Medie Imprese (PMI) con sede legale o operativa in Italia, indipendentemente dal settore di appartenenza, è stata introdotta la misura di sostegno denominata *Nuova Sabatini*, che è particolarmente orientata a promuovere la digitalizzazione e la transizione ecologica (MIMIT Beni Strumentali – Nuova Sabatini, 2025). Invece, per quanto concerne la *Nuova Sabatini green*, è richiesto il possesso da parte dell'impresa beneficiaria di un'idonea certificazione ambientale di processo o di prodotto sui beni oggetto dell'investimento oppure è necessaria un'idonea autodichiarazione ambientale, rilasciata dai distributori, importatori o produttori dei beni ai fini del riconoscimento maggiorato (MIMIT Beni Strumentali – Nuova Sabatini, 2025).

Le attività ammissibili riguardano il sostegno nell'acquisto, mediante finanziamento oppure operazioni di leasing finanziario, di beni strumentali materiali (macchinari, impianti, beni strumentali d'impresa, attrezzature nuove di fabbrica e hardware) o immateriali (software e tecnologie digitali). Il finanziamento, che copre fino al 100% dei programmi ammissibili, deve avere una durata massima di 5 anni ed essere compreso tra 2 mila euro e 4 milioni di euro (MIMIT Beni Strumentali – Nuova Sabatini, 2025).

Le spese ammissibili per l'accesso alla misura comprendono:

- Investimenti ordinari: prevedono l'acquisto di attrezzature nuove di fabbrica ad uso produttivo e hardware, beni strumentali di impresa, macchinari ed impianti. In questa categoria rientrano anche investimenti destinati a strutture produttive già esistenti o da impiantare, associati all'acquisto di software e di tecnologie digitali.
- Investimenti 4.0: investimenti in beni materiali nuovi di fabbrica e in beni immateriali elencati negli allegati 6/A e 6/B alla circolare 410823 del 6 dicembre 2022.

- Investimenti green: macchinari, impianti e attrezzature nuove di fabbrica, ad uso produttivo, a basso impatto ambientale, acquistate nell'ambito di programmi finalizzati a migliorare l'ecosostenibilità dei prodotti e/o dei processi produttivi.

Il contributo è calcolato sulla base del contratto di finanziamento o leasing di durata massima di cinque anni stipulato con istituti di credito o società di leasing, che prevede un tasso d'interesse annuo pari al 2,75% per gli investimenti ordinari, al 3,575% per gli investimenti in tecnologie 4.0 e al 3,575% per gli investimenti green. Le PMI hanno la possibilità di beneficiare della garanzia sul finanziamento bancario, previsto dal fondo di garanzia per le PMI, con priorità di accesso, nella misura dell'80% del totale del finanziamento (MIMIT Beni Strumentali – Nuova Sabatini, 2025).

1.2.3 Nuovo regime Patent Box

Dal 2021, come espresso dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT Patent Box, 2022), con l'articolo 6 del decreto-legge 21 ottobre 2021, n. 146 convertito, con modificazioni dalla legge 17 dicembre 2021, n. 215, è stato introdotto un nuovo regime agevolativo opzionale, collegato all'utilizzo nell'ambito di un'attività di impresa di specifici beni immateriali da parte del titolare del diritto al loro sfruttamento economico. La procedura d'accesso prevedeva un regime automatico: opzionale, irrevocabile, quinquennale e rinnovabile.

L'agevolazione attuale prevede una super-deduzione pari al 110% dei costi di ricerca e sviluppo delle spese ammissibili sostenute per lo sviluppo, il potenziamento, la manutenzione, la protezione e lo sfruttamento dei beni immateriali ammissibili riferito a determinate tipologie di beni immateriali che consentano di operare una variazione in diminuzione ai fini IRPEF e IRES, nonché ai fini IRAP. L'extra-deduzione del 110% può essere applicato alle spese sostenute a partire dall'ottavo anno fiscale precedente a quello in cui il bene immateriale ottiene un diritto di proprietà industriale. Inoltre, è bene sottolineare, che le spese addebitate a terzi non sono ammissibili al credito d'imposta.

I beni immateriali agevolabili sono i software protetti da diritto d'autore, i brevetti industriali, i disegni e i modelli giuridicamente tutelati e due o più beni immateriali collegati tra loro da un vincolo di complementarità, tale per cui la realizzazione di un prodotto o di una famiglia di prodotti, o di un processo, o di un gruppo di processi, sia subordinata all'uso congiunto degli stessi. Inoltre, è importante che i beni agevolabili siano utilizzati direttamente o indirettamente nello svolgimento della propria attività d'impresa (MIMIT Patent Box, 2022).

Sono invece esclusi i brevetti di sbarramento o i brevetti che prima di diventare utilizzabili richiedano altre attività, come l'industrializzazione. Per ogni bene immateriale giuridicamente protetto, è opportuno esaminare l'IPS² ammissibile e le modalità di

² Intervento o Progetto Soggetto ammissibile

certificazione necessarie per garantire il soddisfacimento del requisito di protezione legale.

Ad esempio, nel caso del software protetto da diritto d'autore, l'IPS ammissibile comprende i programmi per elaboratore, indipendentemente dalla forma in cui sono espressi, a condizione che siano originali e rappresentino il frutto della creazione intellettuale dell'autore. La certificazione avviene attraverso la registrazione del bene presso la SIAE, accompagnata da un'autodichiarazione resa ai sensi del D.P.R. n. 445 del 28 dicembre 2000.

Per quanto riguarda i brevetti, l'IPS ammissibile include i brevetti d'invenzione, i brevetti per modelli di utilità, per nuove varietà vegetali, topografie di prodotti a semiconduttori, il certificato complementare per i medicinali e il certificato complementare per i prodotti fitosanitari. La certificazione si ottiene a seguito del certificato di concessione del brevetto.

Per ciò che concerne i disegni e i modelli di utilità protetti legalmente, sono ammissibili i disegni e i modelli registrati, i disegni e i modelli UE non registrati che soddisfano i requisiti per essere registrati e il disegno industriale che presenta carattere creativo e valore artistico in sé. Nel primo caso, la certificazione si ottiene attraverso il certificato di avvenuta registrazione. Negli ultimi due casi, invece, è necessaria un'autodichiarazione, resa ai sensi del D.P.R. n. 445 del 28 dicembre 2000.

Per quanto riguarda le modalità di accesso al regime, il MIMIT (MIMIT Patent Box, 2022) ha stabilito che l'adesione sia vincolata all'esercizio di un'opzione irrevocabile, rinnovabile e di durata pari a cinque periodi d'imposta, che deve essere comunicata all'interno della dichiarazione dei redditi relativa al periodo d'imposta di riferimento. L'opzione può essere effettuata anche oltre il termine ordinario, presentando la dichiarazione entro i 90 giorni successivi. In questo caso, essa può configurarsi come una *dichiarazione tardiva* o come una *dichiarazione sostitutiva o integrativa* di quella già inviata nei termini previsti. L'opzione, inoltre, può essere esercitata avvalendosi della remissione in bonis. Il nuovo regime si applica alle opzioni esercitate con riguardo al

periodo d'imposta in corso alla data di pubblicazione del decreto sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, avvenuta il 21 ottobre 2021 (MIMIT Patent Box, 2022).

Il nuovo regime Patent Box è accessibile agli investitori che svolgono le attività di ricerca e sviluppo rilevanti, ovvero ai soggetti che detengono il diritto di sfruttamento economico dei beni immateriali agevolabili, sostenendo i relativi costi d'investimento, assumendosi i rischi e beneficiando dei risultati ottenuti. Inoltre, possono usufruire del regime anche i contribuenti che utilizzano il bene immateriale sulla base di un contratto di licenza o sub-licenza che ne conferisca il diritto di sfruttamento economico. Al contrario, sono esclusi dal regime i soggetti in stato di liquidazione coatta amministrativa, liquidazione volontaria, concordato preventivo senza continuità aziendale o coinvolti in altre procedure concorsuali. L'esclusione si applica anche a coloro che determinano il reddito imponibile sulla base del reddito catastale o attraverso un regime forfettario (MIMIT Patent Box, 2022).

Dopo aver analizzato strumenti quali l'iper e il super-ammortamento, la nuova sabatini, la nuova sabatini green e il nuovo regime Patent box, si intende ora approfondire le misure previste dal Piano Transizione 4.0 e dal Piano Transizione 5.0, che rappresentano un'ulteriore evoluzione nel panorama degli incentivi. In particolare, i crediti d'imposta hanno gradualmente sostituito agevolazioni come l'iper e il super-ammortamento, configurandosi come strumenti maggiormente flessibili e adeguati alle nuove esigenze delle imprese.

1.2.4 Transizione 4.0

All'interno della Missione 1 componente 2, denominata *Digitalizzazione, innovazione e competitività del sistema produttivo*, è previsto l'investimento 1, conosciuto come *Transizione 4.0*. Questo intervento, che dispone di un finanziamento complessivo di 13,381 miliardi di euro, a cui si aggiungono ulteriori 5,08 miliardi provenienti dal fondo complementare, mira a facilitare la trasformazione digitale delle imprese (MIMIT PNRR – Transizione 4.0, 2024). A tal fine, il Piano prevede la concessione di crediti d'imposta, incentivando il settore privato a destinare risorse a beni e attività che supportino la digitalizzazione dei processi produttivi.

L'intervento si articola nei seguenti ambiti di agevolazione:

- Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica.
- Credito d'imposta per investimenti in nuovi beni materiali e immateriali Industria 4.0 (I4.0)
- Credito d'imposta formazione 4.0.

1.2.4.1 Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica

Prima di analizzare nel dettaglio il funzionamento del credito d'imposta, è fondamentale chiarire cosa si intende per *ricerca e sviluppo (R&S)*, per *innovazione tecnologica*, per *innovazione digitale/4.0*, per *transizione ecologica* e per *design/innovazione estetica* poiché queste definizioni costituiscono la base per determinare l'ammissibilità delle attività finanziate. A tal fine, verranno utilizzate come riferimento le linee guida del decreto attuativo CIRSI (*Credito d'Imposta per Ricerca e Sviluppo e Innovazione*) e i concetti chiave riportati nei documenti internazionali di riferimento: il Manuale di Frascati e il Manuale di Oslo, elaborati dall'OCSE.

Il Manuale di Frascati, considerato il documento standard per definire e classificare le attività di ricerca e sviluppo, distingue tra ricerca di base, ricerca applicata e sviluppo sperimentale. Ogni categoria comprende attività orientate alla generazione di nuove conoscenze o applicazioni. Il Manuale di Oslo, invece, si concentra sull'innovazione, descrivendo i processi che portano all'introduzione di nuovi o significativamente migliorati prodotti, servizi o processi aziendali. Questo documento è particolarmente rilevante per le attività di innovazione tecnologica sostenute dal Piano Transizione 4.0, poiché consente di comprendere le dinamiche alla base dell'innovazione e del suo impatto sulle imprese.

In base alle disposizioni dell'articolo 23, commi 2-5 del D.L. n. 73/2022 convertito, con modificazioni, dalla legge n. 122/2022, le attività di ricerca e sviluppo che possono beneficiare del credito d'imposta includono quelle realizzate nei periodi d'imposta successivi a quello in vigore al 31 dicembre 2019. Tali attività possono essere collegate a progetti avviati in esercizi precedenti e devono rientrare in una o più delle categorie generali definite dal *Dipartimento per le politiche per le imprese* del MIMIT (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica, 2024):

- Ricerca fondamentale: attività sperimentali o teoriche il cui obiettivo principale è l'acquisizione di nuove conoscenze scientifiche o tecnologiche. Tali attività si concentrano sull'analisi delle proprietà e delle strutture dei fenomeni naturali e fisici, senza un'applicazione pratica immediata o specifica da parte dell'impresa (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica, 2024).
- Ricerca industriale: comprende attività originali volte ad esplorare le potenziali applicazioni delle conoscenze derivate dalla ricerca fondamentale o ad identificare soluzioni innovative per raggiungere obiettivi pratici predeterminati (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica, 2024).
- Sviluppo sperimentale: attività metodiche che si fondano su conoscenze già acquisite, derivanti da precedenti ricerche o dall'esperienza pratica, svolte allo scopo di acquisire ulteriori conoscenze e raccogliere le informazioni tecniche necessarie. I risultati sono generalmente rappresentati da prototipi o impianti pilota, che permettono di testare e ottimizzare le soluzioni proposte (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica, 2024).

Inoltre, un'attività, per essere classificata di ricerca e sviluppo, deve soddisfare congiuntamente i cinque criteri fondamentali descritti nel manuale di Frascati: deve essere *nuova*, cioè deve puntare a nuove scoperte; *creativa*, poiché si deve basare su concetti e ipotesi originali, non ovvi; *incerta*, considerato che deve avere esiti finali non garantiti; *sistematica*, in quanto deve essere pianificata e preventivata; *trasferibile e/o riproducibile*, poiché deve portare a risultati che possano essere riprodotti.

Per quanto riguarda la nozione di innovazione tecnologica, il manuale di OSLO definisce queste attività come caratterizzate da elementi di novità o da miglioramenti significativi rispetto alle soluzioni esistenti e tali per cui devono poter essere implementati, secondo i seguenti articoli:

- 3.25: *Le innovazioni di prodotto devono fornire miglioramenti significativi ad una o più caratteristiche o specifiche di prestazione. Ciò include l'aggiunta di nuove funzioni o miglioramenti alle funzioni esistenti o all'utilità dell'utente. Le caratteristiche funzionali rilevanti includono la qualità, le specifiche tecniche, l'affidabilità, la durata, l'efficienza economica durante l'uso, l'economicità, la convenienza, l'usabilità e la facilità d'uso.*
- 2.17: *[...] La novità di un'innovazione è legata ai suoi potenziali utilizzi, ...*
- 3.28: *Un'innovazione di prodotto deve essere messa a disposizione dei potenziali utenti, ...*
- 2.19: *Affinché un'idea, un modello, un metodo o un prototipo nuovo possa essere considerato un'innovazione, è necessario che sia attuato. L'attuazione richiede alle organizzazioni di compiere sforzi sistematici per garantire che l'innovazione sia accessibile agli utenti potenziali, sia per i processi e le procedure dell'organizzazione stessa, sia per gli utenti esterni per i suoi prodotti. Il requisito dell'implementazione è una caratteristica distintiva dell'innovazione che la distingue da invenzioni, prototipi, nuove idee, ecc.*

Inoltre, è importante notare che le imprese di nuova creazione, soprattutto nel settore dei servizi, possono incontrare difficoltà nel confrontare le proprie attività con quelle precedenti, come sottolineato nell'articolo 3.73 del manuale di Oslo. Poiché non possiedono ancora una storia di prodotti o processi precedenti, il gruppo di riferimento per la valutazione dell'innovazione diventa quello disponibile nel mercato di riferimento, consentendo di stabilire se l'innovazione è allineata con le pratiche più avanzate del settore.

Nel contesto dell'innovazione tecnologica, è infine opportuno distinguere tra *innovazione di prodotto* e *innovazione di processo*: con la prima s'intende un prodotto o un servizio nuovo o migliorato che differisce significativamente rispetto a quelli precedentemente realizzati dall'impresa, mentre con la seconda s'intende un processo aziendale, per una o più funzioni aziendali, nuovo o sostanzialmente migliorato che differisce significativamente dai precedenti processi aziendali dell'impresa e che è stato portato all'uso in azienda.

In relazione al concetto di innovazione digitale 4.0, il D.L. del 26 maggio 2020 (Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2020), definisce come attività di innovazione tecnologica quelle che hanno come fine il perseguimento degli obiettivi propri dell'innovazione digitale 4.0. Tali attività includono progetti volti a trasformare i processi aziendali mediante l'integrazione e la connessione dei fattori interni ed esterni all'impresa, considerati essenziali per la generazione di valore.

A titolo esemplificativo, costituiscono obiettivi di innovazione digitale 4.0 i seguenti punti (Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2020):

- Un'integrazione comune di diversi componenti, moduli e sistemi di un'architettura aziendale.
- Il miglioramento della gestione operativa della produzione.
- L'integrazione tra il sistema informatico e le fasi del processo di produzione.
- La pianificazione e la simulazione di processi produttivi.
- La definizione e generazione sistematica di indicatori chiave degli obiettivi aziendali.
- Soluzioni idonee a generare report di analisi relative al funzionamento delle risorse tecnologiche.
- Soluzioni che consentono di ottenere suggerimenti da parte di sistemi/piattaforme e applicazioni IT sulle azioni correttive.
- La digitalizzazione di processi e prodotti nelle diverse aree e ambiti di creazione del valore.
- La digitalizzazione delle interazioni tra i diversi operatori delle filiere produttive.
- Soluzioni che implicano la possibilità di funzioni real time remote di telediagnosi, tele assistenza, tele manutenzione, etc.
- L'introduzione di soluzioni *pay per use* di macchine e sistemi di produzione.
- L'introduzione di soluzioni specifiche di blockchain, cybersecurity, edge e cloud computing.

In merito alla nozione di transizione ecologica, il Ministero (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica,

2024) precisa che si tratta di progetti che mirano a riprogettare i processi aziendali in ottica di economia circolare, coerentemente con le indicazioni fornite dalla Commissione Europea nella comunicazione COM 2020/98 dell'11 marzo 2020. Ad esempio:

- Lo sviluppo di prodotti eco-sostenibili, caratterizzati da una maggiore durata nel tempo e progettati per favorire il riutilizzo, la riparazione o l'aggiornamento.
- La realizzazione di catene del valore a ciclo chiuso.
- L'introduzione di modelli di sinergia tra sistemi industriali presenti all'interno di uno specifico ambito economico territoriale (*simbiosi industriale*).
- Soluzioni tecnologiche per il recupero atte ad ottenere materie prime di alta qualità da prodotti post-uso.
- L'introduzione di tecnologie e processi di disassemblaggio e/o remanufacturing intelligenti.
- L'adozione di soluzioni e tecnologie per monitorare il ciclo di vita del prodotto al fine di facilitarne il collazionamento per il recupero di materiali e funzioni.
- L'introduzione di modelli di business *product-as-a-service* per favorire catene del valore circolari.

Secondo quanto stabilito dal decreto attuativo CIRSI 2020 articolo 4, comma 202, le attività di design e innovazione estetica rientrano tra le iniziative innovative idonee a beneficiare del credito d'imposta. Tali attività, svolte da aziende operanti nei settori del tessile e della moda, della calzatura, dell'occhialeria, dell'oreficeria, del mobile, dell'arredo e della ceramica, sono finalizzate alla progettazione e alla realizzazione di nuovi prodotti e campionari (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica, 2024). Sono ritenuti idonei i progetti di design e ideazione estetica che non rientrano nelle attività di ricerca e sviluppo, ma che mirano a introdurre un'innovazione significativa sotto il profilo della forma e di altri aspetti non tecnici o funzionali. Tra questi rientrano, ad esempio, le modifiche alle linee, ai contorni, ai colori, alla texture superficiale e agli elementi decorativi. A questi effetti, per prodotto si intende qualsiasi oggetto industriale o artigianale, compresi i componenti di prodotti complessi, gli imballaggi, le presentazioni, i simboli grafici e caratteri tipografici. Infine, è importante evidenziare che sono da

escludere i lavori finalizzati al semplice adattamento di una collezione o campionario esistente attraverso l'aggiunta di un singolo prodotto o la modifica di una sola caratteristica dei prodotti esistenti come, ad esempio, la modifica unicamente dei colori, o di un elemento di dettaglio (MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica, 2024).

Conclusa la panoramica delle nozioni fondamentali, è possibile procedere con l'analisi dettagliata del credito.

Come specificato dal Ministero delle Imprese e del Made in Italy (MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica, 2024), l'obiettivo della misura è quello di promuovere la competitività aziendale incentivando gli investimenti in attività di ricerca e sviluppo, design, ideazione estetica e innovazione tecnologica, anche legata al paradigma 4.0 e all'economia circolare.

Le nuove aliquote agevolative prevedono che per le attività di ricerca fondamentale, ricerca industriale e sviluppo sperimentale in campo scientifico e tecnologico, il credito d'imposta³ sia riconosciuto, fino al periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2022, in misura pari al 20% della relativa base di calcolo, assunta al netto delle altre sovvenzioni o dei contributi a qualunque titolo ricevuti per le stesse spese ammissibili, nel limite massimo annuale di 4 milioni di euro. Dal periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2022 e fino a quello in corso al 31 dicembre 2031, il credito d'imposta è riconosciuto in misura pari al 10%, nel limite massimo annuale di 5 milioni di euro (MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica, 2024).

Per le attività di innovazione tecnologica finalizzate alla realizzazione di prodotti o processi di produzione nuovi o sostanzialmente migliorati, il credito d'imposta è riconosciuto, fino al periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2023, in misura pari al

³ Per le imprese operanti nelle regioni Abruzzo, Basilicata, Calabria, Campania, Molise, Puglia, Sardegna e Sicilia, sono previste le seguenti aliquote maggiorate, nei periodi d'imposta 2021,2022 e 2023: (i) 25% per le grandi imprese; (ii) 35% per le medie imprese; (iii) 45% per le piccole imprese. Tale maggiorazione si applica nel rispetto dei limiti e delle condizioni previste dal regolamento UE n. 651/2014 (c.d. GBER). La legge di bilancio 2023 ha previsto la proroga di queste aliquote maggiorate anche per l'anno fiscale 2023.

10% della relativa base di calcolo, assunta al netto delle altre sovvenzioni o dei contributi a qualunque titolo ricevuti sulle stesse spese ammissibili, nel limite massimo annuale di 2 milioni di euro. Dal periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2023 e fino al periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2025, il credito d'imposta è riconosciuto in misura pari al 5%, nel limite massimo annuale di 2 milioni di euro.

Per le attività di innovazione tecnologica 4.0 e green, finalizzate alla realizzazione di prodotti o processi di produzione nuovi o sostanzialmente migliorati per il raggiungimento di un obiettivo di transizione ecologica o di innovazione digitale 4.0, il credito d'imposta è riconosciuto, fino al periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2022, in misura pari al 15% della relativa base di calcolo, assunta al netto delle altre sovvenzioni o dei contributi a qualunque titolo ricevuti sulle stesse spese ammissibili, nel limite massimo annuale di 2 milioni di euro. Nel periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2022, il credito d'imposta è riconosciuto in misura pari al 10%, nel limite massimo annuale di 4 milioni di euro. Dal periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2023 e fino a quello in corso al 31 dicembre 2025, il credito d'imposta è riconosciuto in misura pari al 5%, nel limite massimo annuale di 4 milioni di euro (MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica, 2024).

Per le iniziative di progettazione e sviluppo estetico mirate a introdurre un'innovazione rilevante nei prodotti aziendali, con un focus sugli aspetti visivi e non funzionali come linee, profili, tonalità, texture superficiale, elementi decorativi, ecc.), è previsto un credito d'imposta pari al 10% della base di calcolo relativa, valido per il periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2023. La base di calcolo è definita escludendo eventuali sovvenzioni o contributi ottenuti per le stesse spese ammissibili, con un tetto massimo annuo di 2 milioni di euro. Dal periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2023 e fino al periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2025, il credito d'imposta è riconosciuto in misura pari al 5%, nel limite massimo annuale di 2 milioni di euro (MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica, 2024).

Le spese ammissibili per attività di ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica e design, come elencato dal MIMIT, risultano essere:

- Spese per il personale: 150% per il personale, nel caso in cui si tratti di primo impegno, con età minore ai 35 anni, laurea tecnica magistrale, contratto a tempo indeterminato ed impiegati esclusivamente in R&S.
- Spese per contratti di ricerca extra-muros: 150% per contratti con Università, istituti di ricerca o start-up innovative.
- Quote di ammortamento, canoni di leasing finanziario o di locazione semplice relativa a beni materiali mobili o software: il limite massimo è fissato al 30% delle spese del personale.
- Spese per servizi di consulenza e servizi equivalenti: limite del 20% delle spese del personale o spese extra-muros.
- Spese per materiali e forniture: limite del 30% delle spese del personale o spese extra-muros.

Per quanto riguarda le spese ammissibili solo per le attività di ricerca e sviluppo, sono incluse esclusivamente le quote di ammortamento relative all'acquisto, anche in licenza d'uso, di privative industriali come brevetti o know-how. Tuttavia, queste spese sono soggette a un limite massimo di 1 milione di euro e sono soggette a tre ulteriori restrizioni. La prima è che non sono ammesse spese infragruppo, cioè spese derivanti da operazioni tra società dello stesso gruppo aziendale; la seconda è che non sono ammesse spese da paesi senza scambio infragruppo, cioè in paesi che non hanno accordi di scambio di informazioni fiscali con l'Italia e, infine, le privative industriali acquistate sono utilizzate esclusivamente per progetti di ricerca e sviluppo (MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica, 2024).

Un ulteriore aspetto da considerare riguardo al credito d'imposta in ricerca e sviluppo, innovazione e design, concerne la regolamentazione dei controlli e delle sanzioni. A tal proposito, l'Agenzia delle Entrate, attraverso la Circolare 31/E del 23 dicembre 2020, ha fornito specifiche indicazioni sui tempi e sulle modalità di verifica dei crediti d'imposta legati alla ricerca e sviluppo, al fine di accertare il rispetto delle condizioni necessarie per

l'accesso al beneficio e la corretta applicazione delle norme previste. Inoltre, l'Agenzia ha stabilito le modalità di recupero e le sanzioni in caso di errato utilizzo dei crediti, distinguendo due tipologie principali: il *credito inesistente* e il *credito non spettante*, come specificato di seguito:

- **Credito inesistente:** nel caso in cui il credito utilizzato sia inesistente, il recupero dell'importo deve avvenire entro il 31 dicembre dell'ottavo anno successivo a quello di utilizzo. In questo caso, la sanzione applicata può variare dal 100% al 200% dell'importo del credito stesso (Dipartimento delle Finanze, 1997). Se l'importo annuo utilizzato è superiore a 50.000 euro, la sanzione prevede anche una pena detentiva, che prevede la reclusione da un anno e sei mesi a sei anni.
- **Credito non spettante:** nel caso in cui il credito d'imposta non sia dovuto, il recupero deve essere effettuato entro il 31 dicembre del quinto anno successivo a quello in cui il credito è stato utilizzato. In tale circostanza, è prevista una sanzione pari al 30% dell'importo del credito fruito e, in aggiunta, qualora l'importo annuo superi i 50.000 euro, si applica una pena detentiva che va da sei mesi a due anni, come nel caso precedente (Dipartimento delle Finanze, 1997).

Per assicurare la corretta applicazione della normativa e una classificazione adeguata delle attività, l'Agenzia delle Entrate può chiedere al MIMIT di fornire un parere ufficiale, se nel corso delle verifiche e dei controlli si rendano necessarie valutazioni tecniche relative alla qualificazione e alla categorizzazione delle attività (MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica, 2024).

Per permettere la regolarizzazione dei crediti utilizzati in modo improprio a causa di errori o interpretazioni non corrette, purché non siano presenti elementi di dolo o frode, l'articolo 5 del D.L. n. 146/2021 (Gazzetta Ufficiale delle Repubblica Italiana, 2021) ha introdotto una sanatoria. Questa si applica ai soggetti che, alla data di entrata in vigore del decreto, abbiano compensato il credito d'imposta relativo a investimenti in attività di Ricerca e Sviluppo maturato nei periodi d'imposta compresi tra il 2015 e il 2019.

Le casistiche ammesse includono situazioni in cui:

- Le attività svolte non sono, in tutto o in parte, qualificabili come R&S secondo i criteri definiti nel manuale di Frascati (Gazzetta Ufficiale delle Repubblica Italiana, 2021).
- Vi è una non conformità rispetto alla norma di interpretazione autentica contenuta nell'ex articolo 1, comma 72, della legge n. 145/2018, come nel caso di attività commissionate dall'estero (Gazzetta Ufficiale delle Repubblica Italiana, 2021).
- Sono stati riscontrati errori nel calcolo o nell'identificazione delle spese idonee, oppure nella definizione della media storica di riferimento adottata per il calcolo del beneficio (Gazzetta Ufficiale delle Repubblica Italiana, 2021).

Per contro, l'accesso alla sanatoria è escluso qualora il credito d'imposta risulti derivante da condotte fraudolente o simulate, siano esse oggettive o soggettive. Qualora tali comportamenti vengano accertati successivamente, la procedura decade e le somme già versate sono considerate acconti sugli importi effettivamente dovuti. Inoltre, sono escluse dalla sanatoria le situazioni in cui il credito sia già stato oggetto di un provvedimento di recupero definitivo entro il 22 ottobre 2021.

Per quanto concerne i vantaggi, la regolarizzazione tramite la sanatoria consente di evitare l'applicazione di sanzioni e interessi, oltre a garantire l'esclusione dalla punibilità per indebita compensazione di crediti, ai sensi dell'ex articolo 10-quater del D.Lgs. n. 74/2000.

Infine, per quanto riguarda le modalità e le tempistiche, i soggetti interessati avevano la possibilità di presentare un'apposita istanza all'Agenzia delle Entrate utilizzando il modello previsto, entro il 31 ottobre 2024. Tale termine, inizialmente fissato al 31 luglio 2024 dalla Legge di Bilancio 2023, è stato prorogato dall'articolo 5 del D.L. n. 145/2023. Il versamento delle somme deve essere stato effettuato in un'unica soluzione entro il 16 dicembre 2024, oppure in tre rate annuali di pari importo con scadenza rispettivamente il 16 dicembre 2024, il 16 dicembre 2025 e il 16 dicembre 2026.

In seguito alla trattazione della sanatoria per il credito d'imposta, risulta pertinente fare riferimento al decreto-legge n.73/2022, noto come *decreto semplificazioni*. In particolare, l'articolo 23, introduce misure volte a semplificare le procedure fiscali, con un focus specifico sull'agevolazione delle attività legate alla ricerca e sviluppo. Una delle principali novità introdotte dal decreto riguarda la possibilità di richiedere una certificazione, sia preventiva sia ex-post, per attestare la corretta qualificazione degli investimenti effettuati e da effettuare. La certificazione ha come oggetto l'attestazione della corretta qualificazione sia delle attività di R&S, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica nell'ambito del nuovo credito d'imposta R&S ed innovazione, sia delle attività di innovazione digitale 4.0 e di transizione ecologica nonché di R&S del vecchio credito R&S.

I soggetti abilitati al rilascio della certificazione, che possono essere sia pubblici che privati, sono tenuti a seguire le disposizioni contenute nelle specifiche linee guida fornite dal Ministero dello Sviluppo Economico (MISE). Tra questi soggetti sono incluse anche le società di consulenza, oltre a università statali e non statali legalmente riconosciute ed enti pubblici di ricerca che dovranno attenersi alle direttive stabilite dal MISE per garantire la corretta qualificazione delle attività.

1.2.4.2 Credito d'imposta per investimenti in nuovi beni materiali e immateriali Industria 4.0

L'agevolazione *del Credito d'imposta per investimenti in nuovi beni materiali e immateriali Industria 4.0* consiste in un beneficio fiscale calcolato come percentuale del costo fiscale di acquisizione di beni strumentali nuovi, sia materiali che immateriali, necessari per la trasformazione tecnologica in linea con il modello Industria 4.0. Tale agevolazione è riservata ai beni destinati a strutture produttive situate sul territorio nazionale (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024).

I destinatari del beneficio sono le aziende con sede legale nel territorio nazionale, comprese le sedi stabili di imprese non residenti. Tale inclusione è valida a prescindere dalla tipologia giuridica, dal settore di attività, dalle dimensioni aziendali e dal sistema fiscale adottato per la definizione del reddito.

Nell'ambito dei beni strumentali materiali ed immateriali, come dichiarato dal MIMIT (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024) risultano agevolabili i beni strumentali nuovi, acquisiti a titolo di proprietà, anche mediante contratti di appalto, di leasing finanziario o costruiti in economia, che appartengono alle seguenti categorie di strumenti e risorse:

- Beni strumentali (relativi *all'allegato A* della legge 11 dicembre 2016, n. 232 - ex Iper-ammortamento): sono beni il cui funzionamento è controllato da sistemi computerizzati e/o gestito tramite opportuni sensori e azionamenti (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024). Ad esempio:
 - Macchine e impianti per la trasformazione di materiali e materie prime.
 - Macchine utensili per assemblaggio, giunzione e saldatura.
 - Macchine per confezionamento ed assemblaggio.
 - Robot e sistemi robotizzati.
 - Magazzini automatizzati e relative macchine, strumenti e dispositivi.

- Sistemi interattivi (Allegato A): dispositivi per l'interazione uomo-macchina e per il miglioramento dell'economia e sicurezza del posto di lavoro (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024). Ad esempio:
 - Banchi e postazioni di lavoro adattabili alle caratteristiche fisiche degli operatori.
 - Sistemi per il sollevamento e lo spostamento dei carichi.
 - Apparecchiature di comunicazione tra operatore e sistema produttivo.
 - Dispositivi di realtà aumentata ed interfacce uomo-macchina.
- Qualità e ambiente (Allegato A): sistemi per l'assicurazione della qualità e della sostenibilità (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024). Ad esempio:
 - Sistemi di monitoraggio in-process che hanno l'obiettivo di assicurare e tracciare la qualità del processo produttivo e/o del prodotto.
 - Soluzioni intelligenti per la gestione, l'utilizzo efficiente ed il monitoraggio dei consumi energetici.
 - Dispositivi per l'etichettatura, l'identificazione o la marcatura automatica dei prodotti.
 - Sistemi di marcatura e tracciabilità dei lotti di produzione e/o dei prodotti singoli, basati su tecnologie come l'identificazione a radiofrequenza (RFID).
- Beni immateriali (definiti nell'*allegato B*, legge n. 232, integrato dall'articolo 1, comma 32, della legge n.205 del 27 dicembre 2017): includono software, sistemi, integrazioni di sistema, piattaforme e applicazioni autonome progettate per interconnettere beni (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024). Ad esempio:
 - Sviluppo di sistemi produttivi che integrano e ottimizzano la gestione dei flussi materiali e informativi.
 - Gestione della produzione con elevate caratteristiche di integrazione con le attività di servizio (logistica di fabbrica e manutenzione).
 - Sorveglianza e gestione delle condizioni operative delle macchine e degli impianti di produzione.

Tra le soluzioni agevolabili rientrano anche le soluzioni di cloud computing (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024). Di seguito si riportano i principali esempi:

- Piattaforme di gestione della catena di approvvigionamento ottimizzate per il modello di drop shipping⁴ nell'ambito del commercio elettronico.
- Software e servizi digitali per la fruizione immersiva, interattiva e partecipativa, ricostruzioni 3D e realtà aumentata.
- Software, sistemi o applicazioni dedicati all'ottimizzazione intelligente degli impianti, che consentono il monitoraggio in tempo reale, la visualizzazione dei consumi energetici e dell'energia autoprodotta o autoconsumata e che implementano soluzioni per l'efficienza energetica attraverso l'acquisizione e l'analisi dei dati provenienti da sensori IoT (Energy Dashboarding⁵). In questo caso, sono inclusi anche i software relativi alla gestione di impresa.

I beni esclusi risultano invece essere (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024):

- Beni cedibili gratuitamente da parte delle aziende che operano in regime di concessione o a tariffa nei settori energetico, idrico, dei trasporti, delle infrastrutture, dei servizi postali, delle telecomunicazioni, del trattamento delle acque reflue e della gestione dei rifiuti.
- Veicoli a deducibilità limitata (i.e. auto a disposizione ed assegnate), compresi i veicoli e altri mezzi di trasporto ex. Art 164, c. 1, T.U.I.R.
- Beni con coefficienti di ammortamento < 6,5% ex DM 31 dicembre 1988.
- Condutture, materiale rotabile, ferroviario e tramviario (Beni Allegato 3 Legge di Stabilità 2016).
- Beni acquisiti tramite contratto di locazione operativa o noleggio.

⁴ Per drop ship si intende un modello di vendita grazie al quale il venditore vende un prodotto ad un utente finale, senza possederlo materialmente nel proprio magazzino (Laura Sargentini, *Vendere su eBay: Guida per le micro, piccole e medie imprese*).

⁵ L'energy dashboarding è una soluzione tecnologica che permette di visualizzare in modo chiaro e intuitivo i dati relativi ai consumi energetici di un'azienda (Francesco Liguori, 2024).

- Fabbricati e costruzioni.

Relativamente ai requisiti tecnici, il MIMIT ha segnalato che, al fine di accedere al credito d'imposta, l'investimento dovrà essere conforme ai requisiti tecnologici del Piano Transizione 4.0 (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024). In particolare, nel caso di beni strumentali il cui funzionamento è regolato da sistemi informatici o gestito mediante l'utilizzo di sensori e dispositivi di azionamento, i requisiti obbligatori da rispettare sono i seguenti:

- Controllo per mezzo di CNC (Computer Numerical Control) e/o PLC (Programmable Logic Controller).
- Interconnessione ai sistemi informatici di fabbrica con caricamento da remoto di istruzioni e/o part program.
- Integrazione automatizzata con il sistema logistico della fabbrica o con la rete di fornitura e/o con altre macchine del ciclo produttivo.
- Interfaccia tra uomo e macchina semplici e intuitive.
- Rispondenza ai più recenti parametri di sicurezza, salute e igiene del lavoro.

A seguito dell'elenco dei principali requisiti, tutte le macchine sopra citate devono essere dotate di almeno due tra le seguenti caratteristiche per renderle assimilabili o integrabili a sistemi Cyber-Fisici (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024):

- Sistemi di tele manutenzione e/o telediagnosi e/o controllo in remoto.
- Monitoraggio continuo delle condizioni di lavoro e dei parametri di processo e additività alle derive di processo.
- Integrazione tra macchina fisica e/o impianto con la modellizzazione e/o la simulazione del proprio comportamento nello svolgimento del processo (sistema Cyber-Fisico).

A questi requisiti si aggiunge l'interconnessione, un prerequisito generale e obbligatorio per tutti i beni elencati nell'allegato A della Legge 232/2016. Per garantire il rispetto di tale requisito, è essenziale che avvenga uno scambio di dati tra sistemi interni ed esterni,

attraverso connessioni basate su protocolli standardizzati, documentati e riconosciuti a livello internazionale (esempi: TCP-IP, http, MQTT, ecc.). Inoltre, è necessario che l'identificazione sia univoca (es. indirizzo IP) per consentire la tracciabilità dell'origine delle informazioni (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024).

Dopo aver delineato i beni ammessi e quelli esclusi dal regime agevolativo e i requisiti tecnici richiesti si rende ora necessario approfondire i valori del credito d'imposta previsti dal Piano.

Nello specifico, per i beni strumentali materiali ad alta tecnologia, i valori del credito d'imposta sono suddivisi per annualità come segue (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024):

- 2021
 - 50% del costo per la quota di investimenti fino a 2,5 milioni di euro.
 - 30% del costo per la quota di investimenti oltre i 2,5 milioni di euro e fino al limite di costi complessivamente ammissibili pari a 10 milioni di euro.
 - 10% del costo per la quota di investimenti tra i 10 milioni di euro e fino al limite di costi complessivamente ammissibili pari a 20 milioni di euro.

Il beneficio fiscale è concesso per gli investimenti realizzati entro il 31 dicembre 2022, a condizione che l'ordine correlato sia stato confermato dal fornitore entro il 31 dicembre 2021 e che siano stati versati anticipi pari ad almeno il 20% del valore complessivo dell'acquisto.

- 2022
 - 40% del costo per la quota di investimenti fino a 2,5 milioni di euro.
 - 20% del costo per la quota di investimenti oltre i 2,5 milioni di euro e fino al limite di costi complessivamente ammissibili pari a 10 milioni di euro.
 - 10% del costo per la quota di investimenti tra i 10 milioni di euro e fino al limite di costi complessivamente ammissibili pari a 20 milioni di euro.

Il credito d'imposta è riconosciuto per gli investimenti effettuati fino al 30 novembre 2023 a condizione che entro la data del 31 dicembre 2022 il relativo ordine risulti accettato dal venditore e sia avvenuto il pagamento di acconti in misura almeno pari al 20% del costo di acquisizione (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024).

- Dal 2023 al 2025
 - 20% del costo per la quota di investimenti fino a 2,5 milioni di euro.
 - 10% del costo per la quota di investimenti oltre i 2,5 milioni di euro e fino al limite di costi complessivamente ammissibili pari a 10 milioni di euro.
 - 5% del costo è riconosciuto per la porzione di investimenti compresa tra 10 milioni di euro e il tetto massimo di spese ammissibili, fissato a 20 milioni di euro.
 - 5% del costo è applicabile alla quota di investimenti che supera i 10 milioni di euro, fino a un limite complessivo di 50 milioni di euro, per gli investimenti previsti dal PNRR. Tali investimenti devono essere finalizzati al raggiungimento degli obiettivi di transizione definiti attraverso un decreto del Ministro dello sviluppo economico, in accordo con il Ministro della transizione ecologica e il Ministro dell'economia e delle finanze.

Il beneficio fiscale è previsto per gli investimenti realizzati entro il 30 giugno 2026, a condizione che l'ordine correlato sia stato accettato dal fornitore entro il 31 dicembre 2025 e che siano stati effettuati pagamenti anticipati pari ad almeno il 20% del valore totale di acquisto (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024).

Invece, per quanto concerne i beni strumentali immateriali tecnologicamente avanzati funzionali ai processi di trasformazione 4.0, il credito d'imposta suddiviso per annualità, risulta essere (MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali, 2024):

- 2021: 20% del costo nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 1 milione di euro.

- 2022: 50% del costo nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 1 milione di euro.
- 2023: 20% del costo nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 1 milione di euro.
- 2024: 15% del costo nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 1 milione di euro.
- 2025: 10% del costo nel limite massimo dei costi ammissibili pari a 1 milione di euro.

Il credito d'imposta è riconosciuto per gli investimenti effettuati fino al 30 giugno dell'anno successivo a condizione che entro la data del 31 dicembre dell'anno in corso il relativo ordine risulti accettato dal venditore e sia avvenuto il pagamento di acconti in misura almeno pari al 20 % del costo di acquisizione.

1.2.4.3 Credito d'imposta formazione Industria 4.0

La misura *Credito d'imposta formazione Industria 4.0* è finalizzata a supportare le imprese nel processo di trasformazione tecnologica e digitale, prevedendo attività formative volte all'acquisizione o al consolidamento delle conoscenze relative alle tecnologie previste dal Piano nazionale Industria 4.0 (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022). Tali attività formative devono riguardare ambiti specifici, quali vendite e marketing, informatica, tecniche e tecnologia di produzione. In particolare:

- Cybersecurity.
- Rapid prototyping.
- Big Data and Data Analysis.
- Cyber-Physical Systems.
- Digital integration of business processes.
- Internet of Things and of machines.
- Human machine interface.
- Cloud and fog computing.

Le misure previste dalla Legge di Bilancio 2020 e successivamente prorogate e ampliate dalla Legge di Bilancio 2021, hanno delineato con precisione le aliquote e i limiti del credito d'imposta per la formazione I4.0, fornendo un quadro normativo chiaro e articolato per supportare le imprese nei loro percorsi di sviluppo tecnologico e innovazione (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022):

- Per le piccole imprese, il beneficio fiscale è riconosciuto nella misura del 50% delle spese ammissibili, con un tetto massimo annuo di 300.000 euro.
- Per le medie imprese, il credito d'imposta è concesso al 40% delle spese ammissibili fino a un limite massimo annuale di 250.000 euro.
- Per le grandi imprese, il credito d'imposta è concesso al 30% delle spese ammissibili fino a un limite massimo annuale di 250.000 euro.

Il credito d'imposta è calcolato sul costo complessivo dei dipendenti per il tempo trascorso nei corsi di formazione I4.0. Inoltre, a determinate condizioni ed entro certi

limiti specifici, è possibile includere tra le spese ammissibili anche il costo del tutor interno nei casi di formazione svolta internamente all'azienda (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022).

La legge di Bilancio 2021 ha esteso il credito d'imposta ai costi diretti e indiretti della formazione, includendo non solo i costi relativi al personale, ma anche una serie di spese dirette ed indirette legate alla formazione. Tra queste, rientrano i costi del tutor, l'ammortamento di strumenti ed attrezzature, i materiali, le forniture, i servizi di consulenza, i canoni di leasing e le spese generali. Questa estensione mira a incentivare ulteriormente gli investimenti in formazione, rendendo il beneficio più accessibile e completo per le imprese (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022).

Successivamente, il decreto-legge *Aiuti* ha ulteriormente rafforzato la misura del credito, prevedendo un significativo incremento delle aliquote del credito d'imposta per la formazione I4.0, innalzandole dal 50% al 70% per le piccole imprese e dal 40% al 50% per le medie imprese, a condizione che vengano soddisfatti determinati requisiti. Nello specifico (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022):

- Le attività formative siano erogate da soggetti individuati con successivo decreto del MISE (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022).
- I risultati relativi all'acquisizione o al consolidamento delle competenze siano certificati secondo le modalità stabilite dal medesimo decreto (MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0, 2022).

1.2.5 Transizione 5.0

Il *Piano Transizione 5.0*, come dichiarato dal MIMIT (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025), si affianca al Piano Transizione 4.0 con l'obiettivo di promuovere la trasformazione digitale e la trasformazione delle imprese. Per il periodo 2024-2025, è previsto un finanziamento totale di 12,7 miliardi di euro, suddivisi in 6,4 miliardi provenienti dal precedente Piano e 6,3 miliardi per il nuovo Piano Transizione 5.0.

Le agevolazioni previste sono riservate alle aziende che realizzano nuovi investimenti e che operano sul territorio nazionale, a partire dal 1° gennaio 2024 e fino al 31 dicembre 2025 (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

In particolare, in linea con le azioni di breve e medio periodo previste dal Piano REPowerEU, Transizione 5.0, con una dotazione finanziaria complessiva pari a 6,3 miliardi di euro, il credito d'imposta introdotto sarà erogato con intensità variabile. Questo beneficio è subordinato al raggiungimento di obiettivi energetici specifici, che includono una riduzione dei consumi energetici della struttura produttiva di almeno il 3% oppure, in alternativa, una diminuzione dei consumi energetici legati ai processi coinvolti nell'investimento di almeno il 5% (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025). L'obiettivo di promuovere la trasformazione dei processi produttivi delle imprese, a supporto della transizione digitale, energetica e sociale del Paese avviene attraverso tre linee di investimento dedicate, che risultano essere (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

1. Beni digitali, per cui è dedicato il 60% del totale pari a 3,78 miliardi di euro. Gli investimenti previsti riguardano beni strumentali materiali e immateriali 4.0.
2. Autoproduzione di energia, cui è previsto il 30% del totale, pari a 1,89 miliardi di euro. Gli investimenti previsti riguardano beni necessari per l'autoproduzione e l'autoconsumo da fonti rinnovabili.
3. Formazione del personale, cui è previsto il 10% del complessivo, pari a 630 milioni di euro. Gli investimenti previsti riguardano la formazione del personale in competenze per la transizione verde.

Relativamente alla prima linea di intervento, associata ai beni strumentali materiali o immateriali 4.0, i progetti ammissibili includono tutti gli investimenti in beni strumentali elencati negli allegati A e B della Legge di Bilancio 2017. Nell'ambito dell'allegato B vengono inclusi i seguenti progetti (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- In primo luogo, sono inclusi software, sistemi, piattaforme e applicazioni dedicati all'ottimizzazione intelligente degli impianti, finalizzati al monitoraggio in tempo reale dei consumi energetici e dell'energia autoprodotta ed auto consumata.
- In secondo luogo, rientrano i software per la gestione aziendale, purché acquistati insieme a quelli menzionati nel punto precedente.

I requisiti richiedono che gli investimenti garantiscano un risparmio energetico minimo del 3% per l'intera struttura produttiva oppure, in alternativa, una riduzione dei consumi di almeno il 5% per il processo specifico oggetto dell'investimento. Per poter accedere al credito d'imposta relativo alla componente di efficientamento energetico, l'investimento dovrà essere conforme ai requisiti del Piano Transizione 4.0 (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025). Inoltre, l'agevolazione prevede tre aliquote distinte, determinate in base alla percentuale di riduzione effettiva dei consumi energetici, che possono portare a un beneficio fiscale massimo del 45%. Il credito d'imposta è calcolato considerando un tetto massimo di spese ammissibili pari a 50 milioni di euro l'anno per ciascun beneficiario, riferito all'anno in cui i progetti di innovazione vengono completati (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

Per quanto riguarda gli adempimenti, il progetto dovrà essere certificato ex-ante da un valutatore esterno indipendente, che dovrà attestare la potenziale riduzione dei consumi energetici ottenibile attraverso gli investimenti nei beni indicati (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025). Successivamente, una certificazione ex-post dovrà accertare che gli investimenti siano stati effettivamente realizzati in linea con quanto previsto dalla certificazione iniziale e che i beni siano stati correttamente integrati nel sistema aziendale di gestione della produzione o nella rete di fornitura. Il credito, non trasferibile a terzi, potrà essere utilizzato esclusivamente in compensazione e gli investimenti dovranno essere completati entro il 31 dicembre 2025, con la possibilità di inviare una

comunicazione di conclusione entro il 28 febbraio 2026 (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

Nell'ambito dei beni strumentali materiali ed immateriali, risultano agevolabili le categorie di strumenti e risorse citati al punto *1.2.4.2 Credito d'imposta per investimenti in nuovi beni materiali e immateriali Industria 4.0*.

Relativamente alla seconda linea di intervento, i progetti ammissibili sono tutti gli investimenti in impianti e sistemi per l'autoproduzione e l'autoconsumo, con cui si intende la produzione di energia elettrica per il proprio consumo, mediante impianti alimentati da fonti rinnovabili come fotovoltaico, idroelettrico, geotermico ed eolico, a esclusione delle biomasse⁶ (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

Tra i progetti idonei sono stati inclusi anche gli impianti dedicati all'accumulo di energia prodotta e quelli per la generazione di energia termica alimentati da fonti rinnovabili, sia tramite energia elettrica autoprodotta e autoconsumata, sia tramite energia certificata come rinnovabile mediante contratti di fornitura (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

I requisiti includono il dimensionamento degli impianti, che viene stabilito tenendo conto di una producibilità massima prevista, la quale non deve superare il 105% del fabbisogno energetico dell'unità produttiva. Inoltre, per quanto riguarda i moduli fotovoltaici, sono consentiti solo quelli indicati nell'articolo 12, comma 1 lettere a), b) e c) del decreto-legge 9 dicembre 2023, n.181 (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- a) Moduli fotovoltaici realizzati negli Stati membri dell'Unione Europea, caratterizzati da un'efficienza a livello di modulo non inferiore al 21,5%. In tale circostanza, sono ammessi senza alcun incremento del costo.
- b) Moduli fotovoltaici con celle fabbricate, in tutto o in parte, negli Stati membri dell'Unione Europea, dotati di un'efficienza a livello di cella non inferiore al 23,5%. In questo caso, sono ammissibili con un aumento del costo del 20%.

⁶ La biomassa include tutti i materiali organici non fossilizzati che possono essere utilizzati per la produzione di energia o altri scopi, tra cui prodotti/rifiuti/residui di origine biologica e rifiuti sia industriali che urbani, purché non pericolosi.

- c) Moduli fotovoltaici integralmente prodotti negli Stati membri dell'Unione Europea, caratterizzati da celle bifacciali basate su eterogiunzione in silicio⁷ o in configurazione tandem⁸ e con una resa minima pari o superiore al 24,0%. Tali moduli sono ammissibili con una maggiorazione del 40% del costo.

In merito alle spese ammissibili, gli investimenti nei beni indicati alle lettere b) e c) contribuiscono a definire la base imponibile per il credito d'imposta, riconoscendo rispettivamente una percentuale del 120% e del 140% del costo sostenuto. Il costo massimo ammissibile è determinato in euro/kWh, in base ai parametri definiti nell'allegato 1 del decreto attuativo (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

In termini di adempimenti, sono certificati gli impianti dotati di moduli fotovoltaici, purché, sulla base di apposita attestazione rilasciata dal produttore, rispettino i requisiti di carattere tecnico e territoriale richiesti dalla normativa. In merito all'operatività dei beni, è previsto che entrino in esercizio entro un anno dalla data di completamento del progetto di innovazione, garantendo il rispetto delle tempistiche stabilite (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025). Inoltre, anche in questo caso, il credito non è cedibile ed è utilizzabile esclusivamente in compensazione e gli investimenti dovranno essere conclusi entro il 31/12/25, con la possibilità di trasmettere un'apposita comunicazione di completamento entro il 28/02/26 (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

Per verificare l'efficacia degli investimenti in termini di efficientamento energetico, è necessario applicare un calcolo basato su specifici indicatori e criteri. Nello specifico, la riduzione dei consumi energetici viene calcolata seguendo i seguenti approcci (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- Confrontando la stima dei consumi energetici annuali conseguibili per il tramite degli investimenti complessivi in beni trainanti con i consumi energetici registrati nell'esercizio precedente a quello di avvio del progetto di innovazione, in

⁷I pannelli fotovoltaici bifacciali sono pannelli che producono energia da entrambi i lati della cella fotovoltaica. La tecnologia a eterogiunzione, combinando le qualità del silicio cristallino con quelle del film sottile basato su silicio, è in grado di assorbire maggior quantità di energia e di ottenere rendimenti elevati.

⁸ Queste celle solari utilizzano due o più strati attivi sovrapposti, ognuno dei quali è ottimizzato per assorbire una diversa parte dello spettro solare.

relazione alla struttura produttiva o al processo interessato dell'investimento. Questo criterio è generalmente applicabile a tutti i progetti (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

- Con riferimento al medesimo bene o servizi reso, assicurando una normalizzazione rispetto ai volumi produttivi e alle condizioni esterne che influiscono sulle prestazioni energetiche, operata attraverso l'individuazione di indicatori di prestazione energetica caratteristici della struttura produttiva, ovvero del processo interessato dall'investimento. Questo criterio viene utilizzato in caso di variazioni nei volumi o nelle condizioni operative (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).
- Rispetto ai consumi energetici della struttura produttiva, se il progetto di innovazione ha come oggetto investimenti in più di un processo produttivo (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

Esistono, inoltre, casi particolari in cui il calcolo della riduzione dei consumi energetici deve seguire indicazioni specifiche, adattandosi alle caratteristiche dell'investimento o della struttura produttiva coinvolta (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- Impresa attiva con assenza di dati di consumi energetici relativi all'anno precedente a quello di avvio del progetto: in questo caso si procede con il calcolo di una stima operata attraverso l'analisi dei carichi energetici basata su dati tracciabili (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).
- Impresa attiva che ha variato l'attività almeno nei sei mesi dall'avvio del progetto: la riduzione dei consumi è calcolata rispetto ai consumi medi registrati nel periodo di attività, riproporzionata su base annuale (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).
- Impresa di nuova costituzione: i consumi energetici relativi all'esercizio precedente a quello di avvio del progetto di investimento sono determinati tramite la determinazione dello scenario controfattuale⁹ (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

⁹ Il DM Transizione 5.0 prevede che lo scenario controfattuale sia rappresentato dalla struttura produttiva o processo interessato di imprese dello stesso settore di attività economica e di analoga dimensione dell'impresa di nuova

Infine, per quanto riguarda la terza linea di intervento, che concerne la formazione del personale, i progetti ammissibili includono tutte le spese per la formazione del personale, finalizzate all'acquisizione o al consolidamento delle competenze nelle tecnologie rilevanti per la transizione digitale ed energetica dei processi produttivi. Tali percorsi devono avere durata non inferiore a dodici ore, anche in modalità a distanza, e prevedere il sostenimento di un esame finale con attestazione del risultato conseguito. In merito ai requisiti, è previsto che le attività formative dovranno essere erogate da soggetti esterni individuati tramite un decreto attuativo, mentre per ciò che concerne le spese agevolabili, è indicato un limite massimo fino al 10% degli investimenti complessivi, con un massimale di 300 mila euro (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

In termini di adempimenti, in analogia con il Piano Formazione 4.0, sarà necessario predisporre i prospetti riportanti le ore del personale impiegato in attività di formazione, oltre a una scheda tecnica descrittiva dei corsi. Inoltre, anche in quest'ultimo caso, il credito non è cedibile ed è utilizzabile esclusivamente in compensazione e gli investimenti dovranno essere conclusi entro il 31/12/25, con la possibilità di trasmettere un'apposita comunicazione di completamento entro il 28/02/26 (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

Dopo aver illustrato le linee di intervento del Piano Transizione 5.0, con un'analisi approfondita dei progetti ammissibili, dei requisiti, delle spese agevolabili, degli adempimenti e delle tempistiche, si procede ad esaminare la struttura delle aliquote di incentivazione, i progetti esclusi e le modalità di certificazione previste dal Piano.

In particolare, la principale novità riguarda lo schema delle aliquote di incentivazione, che variano in base all'ammontare dell'investimento e alla classe di efficienza energetica raggiunta.

costituzione dotati, in luogo dei beni oggetto del progetto di innovazione, di beni che costituiscono le alternative disponibili sul mercato.

Se la quota d'investimento è fino a 2,5 milioni di euro, è possibile rientrare in uno dei seguenti casi (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- Se non si ottiene alcun risparmio energetico: in questo caso la percentuale di credito d'imposta corrisponde a quella dell'Industria 4.0, pari al 20%.
- Classe I, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici tra il 3% e il 6%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione tra il 5% e il 10%: a queste condizioni la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 35%.
- Classe II, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici tra il 6% e il 10%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione tra il 10% e il 15%: in questa situazione la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 40%.
- Classe III, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici oltre il 10%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione oltre il 15%: in tale circostanza la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 45%.

Se la quota d'investimento è da 2,5 a 10 milioni di euro, è possibile rientrare in uno dei seguenti casi (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- Se non si ottiene alcun risparmio energetico: in questo caso la percentuale di credito d'imposta corrisponde a quella dell'Industria 4.0, pari al 10%.
- Classe I, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici tra il 3% e il 6%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione tra il 5% e il 10%: in queste condizioni la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 15%.
- Classe II, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici tra il 6% e il 10%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione tra il 10% e il 15%: in questa situazione la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 20%.

- Classe III, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici oltre il 10%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione oltre il 15%: in tale circostanza la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 25%.

Se la quota d'investimento è da 10 a 50 milioni di euro, è possibile rientrare in uno dei seguenti casi (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- Se non si ottiene alcun risparmio energetico: in questo caso la percentuale di credito d'imposta corrisponde a quella dell'Industria 4.0, pari al 5%.
- Classe I, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici tra il 3% e il 6%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione tra il 5% e il 10%: in queste condizioni la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 5%.
- Classe II, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici tra il 6% e il 10%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione tra il 10% e il 15%: in questa situazione la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 10%.
- Classe III, nel caso in cui la struttura produttiva registri una percentuale di riduzione dei consumi energetici oltre il 10%, oppure se il processo specifico mostri una riduzione oltre il 15%: in tale circostanza la percentuale di credito d'imposta Transizione 5.0 è del 15%.

Per quanto riguarda i progetti esclusi, al fine di non arrecare un danno significativo all'ambiente (*principio DNSH*¹⁰) non sono agevolabili gli investimenti destinati ad (Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 2024):

- Attività direttamente connesse ai combustili fossili, compreso l'uso a valle, con alcune eccezioni particolari.

¹⁰ Il principio Do No Significant Harm (DNSH) prevede che gli interventi previsti dai PNRR nazionali non arrechino nessun danno significativo all'ambiente.

- Attività nell'ambito del sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (ETS) che generano emissioni di gas a effetto serra previste non inferiori ai pertinenti parametri di riferimento. L'eccezione è rappresentata dai progetti di innovazione che non impattano direttamente sui consumi energetici, come quelli relativi a flussi di fonte che rientrano nel piano di monitoraggio della CO₂ o che presentano emissioni inferiori alle soglie consentite.
- Attività connesse alle discariche di rifiuti, agli inceneritori e agli impianti di trattamento meccanico biologico, salvo investimenti in efficienza energetica o miglioramento del riciclaggio senza aumento di capacità o estensione della durata degli impianti.
- Attività nel cui processo produttivo venga generata un'elevata dose di sostanze inquinanti classificabili come rifiuti speciali pericolosi e il cui smaltimento a lungo termine potrebbe causare un danno all'ambiente, con alcune eccezioni.

Sono anche esclusi gli investimenti in beni gratuitamente devolvibili delle imprese operanti in concessione e a tariffa nei settori dell'energia, acqua, trasporti, infrastrutture, poste, telecomunicazioni, raccolta e depurazione delle acque di scarico e smaltimento dei rifiuti, se costituiscono un obbligo verso l'ente pubblico concedente o se sono previsti meccanismi che eliminano il rischio economico dell'investimento.

Infine, in merito alla certificazione per gli investimenti con finalità green, cumulo, documentazione contabile ed amministrativa, i soggetti certificatori, abilitati a produrre tali certificazioni risultano essere (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025):

- Esperti in Gestione dell'energia (EGE) accreditate UNI CEI 11339.
- Energy Service Company (ESCO) accreditate UNI CEI 11352.
- Ingegneri iscritti nelle sezioni A e B dell'albo professionale, nonché i periti industriali iscritti nelle sezioni meccanica ed efficienza energetica e impiantistica elettrica ed automazione.

Ulteriori considerazioni da evidenziare per il credito d'imposta Transizione 5.0 riguardano le spese di certificazione ex-ante ed ex-post: per le PMI, le spese sostenute per adempiere all'obbligo di certificazione relativa alla riduzione dei consumi energetici

sono riconosciute come incremento del credito d'imposta per un importo pari a 10.000 euro.

Per concludere, il credito d'imposta Transizione 5.0 non è cumulabile con il credito d'imposta ordinario Transizione 4.0 né con il credito d'imposta ZES e ZLS¹¹, ma è cumulabile con altre agevolazioni finanziate con risorse nazionali per i medesimi costi, a condizione che tale cumulo non superi il costo sostenuto (MIMIT Piano Transizione 5.0, 2025).

¹¹ ZES: Zona Economica Speciale; ZLS: Zone Logistiche Semplificate

2

Politiche Fiscali e Innovazione Tecnologica: Un'Analisi degli Impatti Economici

In questo capitolo viene analizzato il ruolo strategico degli incentivi fiscali e delle tecnologie avanzate nel promuovere l'innovazione e la competitività del sistema produttivo italiano. La discussione si articola in tre sezioni principali, che affrontano aspetti specifici di queste dinamiche, fornendo una visione integrata degli strumenti di politica fiscale e tecnologica:

- La prima esamina i risultati ottenuti dagli incentivi più recenti, analizzando i principali esiti emersi dallo studio del Comitato Transizione 4.0, volto a valutare l'impatto degli incentivi fiscali introdotti con il Piano Transizione 4.0. L'obiettivo principale è esaminare come tali misure abbiano influito sugli investimenti delle imprese italiane in beni strumentali materiali avanzati e quali siano stati gli effetti sugli investimenti, sull'occupazione e sul fatturato.
- La seconda approfondisce gli effetti degli incentivi introdotti con il Piano 4.0 del 2017. I risultati principali sono suddivisi per dimensione aziendale, settore e area geografica, fornendo una panoramica delle caratteristiche strutturali delle imprese beneficiarie e delle dinamiche settoriali e territoriali.
- La terza esplora gli effetti delle tecnologie abilitanti sull'economia. Si discutono gli impatti su produttività, dinamiche del lavoro e accesso al credito, evidenziando il ruolo delle tecnologie digitali nel favorire l'innovazione e la competitività del sistema produttivo.

L'obiettivo è fornire un quadro completo degli strumenti fiscali e delle innovazioni tecnologiche che hanno contribuito alla trasformazione del tessuto produttivo italiano.

2.1 Risultati del Piano Transizione 4.0

In questa sezione, si procede all'analisi dei risultati principali ottenuti dallo studio condotto dal *Comitato Transizione 4.0*¹² (2024) che valuta l'impatto degli incentivi fiscali introdotti con il Piano Transizione 4.0. L'indagine analizza gli effetti economici derivanti dall'adozione di beni materiali e immateriali avanzati, con un focus su investimenti, occupazione e crescita del fatturato, oltre alle dinamiche settoriali e territoriali.

Il Piano Transizione 4.0 (*per maggiori dettagli vedere paragrafo 1.2.4*) rappresenta un intervento strategico per sostenere l'innovazione tecnologica e digitale delle imprese italiane, con particolare attenzione ai beni strumentali materiali avanzati. L'obiettivo principale del programma è quello di stimolare investimenti in innovazione, con effetti positivi sull'occupazione, sulla crescita del fatturato e sulla competitività del sistema produttivo nazionale.

Tra il 2020 e il 2022, che rappresentano i primi tre anni di vigenza della misura, i crediti di imposta maturati hanno raggiunto i 29 miliardi di euro, di cui oltre l'80% destinato ai beni materiali 4.0 (*figura 15*).

¹² Il decreto del Ministro dell'Economia e delle Finanze del 23 novembre 2021 ha istituito il Comitato scientifico per la valutazione dell'impatto economico degli interventi del *Piano Transizione 4.0*. Tale Comitato è composto da rappresentanti del Ministero dell'Economia e delle Finanze, del Ministero delle Imprese e del Made in Italy e della Banca d'Italia. Il Comitato ha il compito di valutare l'impatto economico, l'efficacia e l'efficienza degli interventi previsti dal Piano Transizione 4.0 e di elaborare e approvare un rapporto intermedio entro il mese di novembre 2024 ed un rapporto finale entro il mese di maggio 2026.

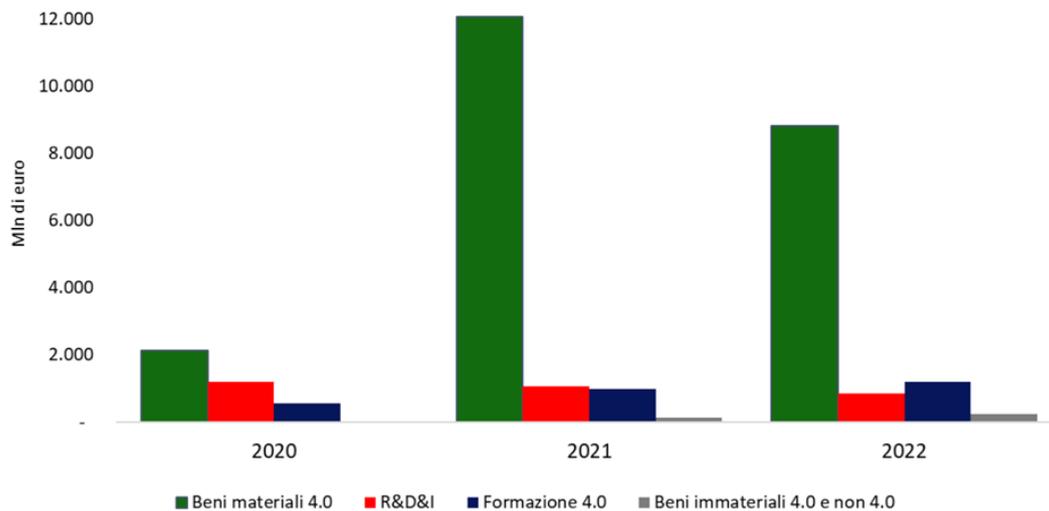


Figura 15: Crediti d'imposta del Piano Transizione 4.0 maturati per tipo di investimento. Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024

Considerando i crediti d'imposta per investimenti in beni materiali 4.0, la distribuzione per classe dimensionale evidenzia un ruolo preminente delle medie imprese, che hanno rappresentato il 31,7% del totale dei crediti (5,7 miliardi di euro), seguite dalle piccole imprese con il 30,8% (5,6 miliardi di euro). Le grandi imprese, pur costituendo una quota numericamente inferiore, hanno maturato il 23,1% del credito complessivo (4,2 miliardi di euro), mentre le microimprese si sono attestate al 14,4% (2,6 miliardi di euro). Inoltre, il credito medio cresce all'aumentare della dimensione d'impresa e questo sottolinea come le risorse delle aziende di maggiori dimensioni abbiano reso più facile l'accesso agli incentivi (Comitato Transizione 4.0, 2024).

Dal punto di vista territoriale, circa il 70% del credito d'imposta per investimenti materiali 4.0 (12,6 miliardi di euro) è stato maturato dalle imprese residenti nel Nord: il Nord Ovest ha maturato il 36,4% del credito complessivo (6,6 miliardi di euro), mentre il Nord Est il 32,7% (5,9 miliardi di euro). Le regioni del Centro e del Sud e Isole hanno beneficiato in misura minore degli incentivi, rispettivamente con il 14,2% e il 16,7% del totale (Comitato Transizione 4.0, 2024).

Dal punto di vista settoriale, il manifatturiero è emerso come il principale beneficiario, assorbendo oltre il 60% dei crediti di imposta maturati (11,5 miliardi di euro), seguite dalle imprese dei settori del commercio e delle costruzioni. L'energia e la manifattura, in

particolare, rappresentano i settori con i crediti medi per impresa più elevati, con valori rispettivamente pari a 231 mila e 225 mila euro, evidenziando il ruolo strategico di questi comparti nel panorama industriale italiano (Comitato Transizione 4.0, 2024).

Temporalmente, il 2021 si è rivelato l'anno più significativo, con crediti maturati per 9 miliardi di euro. Tale risultato è attribuibile sia alle aliquote più favorevoli introdotte per quel periodo, sia alla ripresa economica post-pandemica, che ha incentivato investimenti in beni strumentali avanzati (Comitato Transizione 4.0, 2024).

Approfondendo l'impatto su alcune misure, la *figura 16* mostra gli effetti dell'utilizzo degli incentivi Transizione 4.0 sul tasso d'investimento delle imprese. In particolare, è stato stimato un modello *Synthetic Difference-in-Differences* SDID¹³, utilizzando come variabile dipendente il tasso d'investimento separatamente per ogni classe dimensionale d'impresa e coorte di trattamento¹⁴. Il tasso di investimento, nello studio, è stato calcolato come rapporto tra gli investimenti in beni materiali riportati in bilancio in un anno e il valore dell'attivo di bilancio dell'anno precedente, eliminando i valori molto alti che sono considerabili come outliers (Comitato Transizione 4.0, 2024).

¹³ Il modello Synthetic Difference-in-Differences (SDID) combina i metodi Difference-in-Differences e Synthetic Control, offrendo una stima causale robusta per dati panel. Rispetto ai metodi tradizionali, il SDID presenta una maggiore robustezza teorica ed empirica, soprattutto in contesti in cui gli stimatori convenzionali sono comunemente utilizzati. Il modello considera fattori latenti unità-specifici e tempo-specifici per garantire coerenza e normalità asintotica (Arkhangelsky et al., 2021).

¹⁴ La coorte di trattamento si riferisce a un insieme di unità (ad esempio, imprese) che hanno iniziato a beneficiare di un intervento, come un incentivo fiscale, in uno specifico periodo di tempo (ad esempio, un anno). Questo approccio consente di distinguere gli effetti dell'intervento in base al momento dell'adozione e di analizzare le dinamiche temporali dell'impatto (Angrist & Pischke, 2014).

	Dimensioni impresa			
	Grandi (1)	Medie (2)	Piccole (3)	Micro (4)
Var dip: Tasso d'investimento				
Coorte 2020	0,3835 *** (0.0015)	0,6425 *** (0.0009)	1,8254 *** (0.0013)	3,5909 *** (0.0026)
Coorte 2021	0,4910 *** (0.0008)	0,7733 *** (0.0007)	1,7848 *** (0.0026)	3,3498 *** (0.0032)
Coorte 2022	0,4645 *** (0.001)	0,8450 *** (0.0008)	1,8289 *** (0.0016)	3,7163 *** (0.0023)

Standard errors in parentheses

*p<0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

Figura 16: Effetti medi di trattamento sul tasso d'investimento per coorte di trattamento (punti percentuali). Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024

In *figura 16* emerge come le imprese che hanno beneficiato del Piano Transizione 4.0, hanno aumentato il tasso di investimento rispetto a un gruppo di controllo sintetico¹⁵, con effetti decrescenti al crescere della dimensione aziendale. L'aumento medio è di 0,5-0,8 punti percentuali per le imprese medie e grandi, 1,8 punti percentuali per le piccole e tra 3,3 e 3,7 punti percentuali per le microimprese. Questi incrementi sono significativi, considerando che il tasso medio di investimento prima degli incentivi era circa del 2% (Comitato Transizione 4.0, 2024).

Considerando la *figura 17*, si evidenzia che gli investimenti in tecnologie 4.0 hanno incrementato l'occupazione delle imprese beneficiarie di Transizione 4.0 rispetto al gruppo di controllo sintetico, con aumenti medi tra il 3% e l'8% a seconda del gruppo. Gli effetti sono generalmente positivi e significativi, tranne per le grandi imprese che hanno investito in beni materiali 4.0 nel 2022 e per le microimprese delle coorti 2021 e 2022.

¹⁵ Il gruppo di controllo sintetico è un metodo utilizzato per creare un gruppo di confronto che approssima le caratteristiche del gruppo trattato prima dell'intervento. Questa tecnica combina i dati di più unità non trattate, assegnando pesi ottimali per massimizzare la somiglianza con il gruppo trattato. Per maggiori dettagli, si veda Abadie et al. (2010).

Gli effetti medi variano in base all'orizzonte temporale considerato per ciascuna coorte (Comitato Transizione 4.0, 2024).

	Dimensioni impresa			
	Grandi (1)	Medie (2)	Ficcole (3)	Micro (4)
	Var dip: log(numero di occupati)			
Coorte 2020	0,0467 *** (0,0109)	0,0748 *** (0,0096)	0,0800 *** (0,0079)	0,0590 *** (0,0088)
Coorte 2021	0,0286 ** (0,0117)	0,0529 *** (0,0071)	0,0407 *** (0,0065)	-0,0055 (0,0116)
Coorte 2022	0,0118 (0,0115)	0,0368 *** (0,0057)	0,0359 *** (0,0057)	-0,0059 (0,0071)

Standard errors in parentheses
*p<0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

Figura 17: Effetti medi di trattamento sul logaritmo del numero di occupati per coorte di trattamento.
Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024

Le stime della *figura 17* hanno permesso al Comitato Transizione 4.0 di quantificare l'aumento occupazionale generato dal Piano Transizione 4.0, calcolando uno scenario controfattuale¹⁶ basato sui livelli occupazionali precedenti al Piano. Nel triennio 2020-2022, il Piano avrebbe creato circa 40.000 nuovi posti di lavoro, con incrementi maggiori nelle piccole (18.000) e medie imprese (15.000), seguite dalle grandi (5.000) e microimprese (1.600). Per micro e grandi imprese, sono considerate solo stime statisticamente significative, riducendo l'effetto totale (Comitato Transizione 4.0, 2024).

La *figura 18* evidenzia che gli investimenti in tecnologia 4.0 hanno generato incrementi positivi e significativi del fatturato per le imprese beneficiarie di tutte le dimensioni rispetto al gruppo di controllo sintetico. L'eccezione riguarda le microimprese, per cui gli

¹⁶ Lo scenario controfattuale rappresenta una stima ipotetica di come si sarebbero evoluti i risultati (es. occupazione o investimenti) in assenza del trattamento. Questa tecnica è fondamentale per identificare effetti causali, isolando le variazioni attribuibili esclusivamente all'intervento (Imbens & Rubin, 2015).

effetti positivi e significativi sul fatturato sono stati riscontrati solo nella coorte del 2020, analogamente a quanto osservato per l'occupazione (Comitato Transizione 4.0, 2024).

	Dimensioni impresa			
	Grandi (1)	Medie (2)	Piccole (3)	Micro (4)
	Var dip: log(fatturato)			
Coorte 2020	0,1372 *** (0.0151)	0,1576 *** (0.0112)	0,2223 *** (0.0119)	0,0930 *** (0.0196)
Coorte 2021	0,0699 *** (0.0146)	0,0943 *** (0.0076)	0,1126 *** (0.0068)	-0,0148 (0.0138)
Coorte 2022	0,0493 * (0.0252)	0,0351 *** (0.0095)	0,0361 *** (0.0070)	-0,0423 (0.0110)

Standard errors in parentheses
*p<0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

Figura 18: Effetti medi di trattamento sul logaritmo del fatturato per coorte di trattamento.
Fonte: Comitato Transizione 4.0, 2024

Dalle evidenze emerse, l'analisi e lo studio condotto hanno confermato l'impatto positivo del piano su investimenti, occupazione e fatturato delle imprese beneficiarie. In particolare, le imprese che hanno usufruito degli incentivi hanno registrato performance nettamente superiori rispetto a quelle del gruppo di controllo. Tuttavia, si rileva che circa il 70% delle imprese beneficiarie ha usufruito del credito di imposta per un solo anno, evidenziando la necessità di interventi più strutturali e continuativi. Inoltre, le microimprese hanno mostrato tassi di investimento relativamente più bassi, riflettendo le loro limitazioni finanziarie e organizzative (Comitato Transizione 4.0, 2024).

In conclusione, il Piano Transizione 4.0 rappresenta una leva fondamentale per la modernizzazione del tessuto produttivo italiano, incentivando investimenti rilevanti in tecnologie avanzate, in particolare nel settore manifatturiero e nelle regioni settentrionali. Nonostante questo, permangono sfide relative al coinvolgimento delle

microimprese e delle aree meno sviluppate, suggerendo la necessità di politiche complementari per ridurre le disuguaglianze territoriali e dimensioni, rafforzando così il potenziale innovativo dell'intero sistema economico.

2.2 Impatto dei precedenti incentivi fiscali 4.0

Gli studi sugli incentivi del Piano 4.0 del 2017 hanno rappresentato un punto di riferimento fondamentale per analizzare l'impatto delle politiche fiscali sulla trasformazione tecnologica delle imprese italiane. Le evidenze emerse hanno permesso di identificare le caratteristiche strutturali delle imprese beneficiarie, le dinamiche settoriali e geografiche e gli effetti sulla produttività. Di seguito, si riportano i risultati principali suddivisi per dimensione aziendale, settore e area geografica.

Dal punto di vista delle dimensioni, Bratta et al. (2023) evidenziano come le medie imprese, sebbene numericamente inferiori rispetto al totale del campione analizzato, abbiano realizzato una parte significativa degli investimenti totali in iper-ammortamento mentre le grandi imprese, pur costituendo una minoranza del campione, hanno rappresentato una quota elevata degli investimenti complessivi, confermando la loro centralità economica. Questo risultato è coerente con quanto osservato da Cefis et al. (2024) e da Gherardini e Pessina (2020) i quali hanno sottolineato che, al crescere della dimensione aziendale, c'è una maggiore partecipazione al Piano 4.0. Questo fenomeno è giustificabile con la maggiore disponibilità di risorse delle grandi imprese, che non si limita a una superiore capacità finanziaria e di accesso al credito, ma include anche una dotazione più elevata di competenze manageriali e personale altamente qualificato.

Dal punto di vista settoriale, gli incentivi fiscali sono stati prevalentemente utilizzati nel comparto manifatturiero, con una particolare concentrazione nei settori della produzione di metalli e, in misura minore, delle macchine industriali, dei prodotti chimici e della plastica (Bratta et al., 2023). Questi comparti, caratterizzati da una forte esposizione alle trasformazioni tecnologiche, hanno dimostrato una propensione superiore a sfruttare le opportunità offerte dal Piano. In linea con questi risultati, Gherardini e Pessina (2020) hanno ottenuto che il settore metalmeccanico e della plastica erano sovrarappresentati tra i beneficiari rispetto ad altri, a causa della loro capacità innovativa e della qualità dei processi produttivi, oltre al fatto che il metalmeccanico rappresenta uno dei settori più sviluppati in Italia. Al contrario, comparti come il farmaceutico o i mezzi di trasporto, pur caratterizzati da un'elevata intensità

tecnologica, hanno registrato un'adesione minore, probabilmente a causa di investimenti significativi effettuati prima dell'introduzione del Piano (Bratta et al., 2023).

Analogamente, la distribuzione geografica ha evidenziato un impatto disomogeneo, riflettendo la diversa densità industriale delle aree italiane. Gli investimenti si sono concentrati principalmente nelle regioni settentrionali, quali Lombardia, Veneto ed Emilia-Romagna, confermando la loro rilevanza come poli manifatturieri nazionali (Bratta et al., 2023). Le regioni del Centro e del Sud hanno mostrato una partecipazione più limitata, salvo alcune eccezioni rappresentate da specifici distretti industriali. Infatti, secondo Gherardini e Pessina (2020), le aziende distrettuali hanno avuto una probabilità superiore del 34% di accedere agli incentivi rispetto a quelle situate al di fuori di tali aree. Questa dinamica è stata attribuita alla presenza dell'*effetto filiera*, che obbliga le imprese ad intensificare la loro interconnessione, all'*effetto distretto*, che racchiude l'insieme di fattori economici e sociali che consentono alle imprese di ottenere performance superiori rispetto a quelle localizzate in contesti differenti, ma anche all'*effetto composizione*, legato alla maggiore propensione all'investimento tipica dei distretti e all'*effetto contesto*, determinato dalle esternalità socioeconomiche locali che facilitano l'adozione di nuove tecnologie.

Oltre agli effetti distributivi, gli incentivi fiscali hanno avuto un impatto rilevante sulla produttività aziendale, specialmente nel settore manifatturiero. Cefis et al. (2024) hanno osservato che sia le imprese a bassa intensità tecnologica sia quelle ad alta intensità hanno tratto beneficio dagli investimenti incentivati. Nei settori dei servizi, invece, l'effetto è stato significativo per quelli a bassa e alta intensità di conoscenza, mentre è risultato non significativo per i servizi finanziari.

Tali dinamiche offrono una panoramica chiara sull'impatto degli incentivi fiscali nelle diverse aree geografiche e settori produttivi, evidenziando il ruolo cruciale delle politiche pubbliche nel favorire la trasformazione tecnologica. Tuttavia, per comprendere pienamente il potenziale innovativo delle varie misure introdotte, è essenziale analizzare come l'adozione delle tecnologie abilitanti abbia concretamente trasformato le performance aziendali, il mercato del lavoro e le dinamiche finanziarie.

2.3 Gli Effetti delle Tecnologie Abilitanti

Dopo aver osservato quali sono gli effetti degli incentivi fiscali e identificato le caratteristiche delle aziende che ne beneficiano maggiormente, è bene sottolineare che la loro applicazione non sempre si traduce automaticamente in investimenti effettivi da parte delle imprese. Sebbene gli incentivi fiscali, come quelli previsti dal Piano Transizione 4.0, rappresentino un importante strumento di politica economica per stimolare l'innovazione tecnologica, la loro efficacia è strettamente legata alla capacità delle imprese di adottare le tecnologie abilitanti, che rappresentano una leva chiave per migliorare la produttività e la competitività e dipendono da molteplici fattori. Tra questi, rivestono un ruolo cruciale le caratteristiche specifiche delle singole imprese, il contesto settoriale e le condizioni economiche locali. Pertanto, dopo aver analizzato l'efficacia degli incentivi nell'accelerare gli investimenti, è importante esaminare come l'adozione delle tecnologie 4.0 abbia concretamente trasformato le performance aziendali, il mercato del lavoro e le dinamiche finanziarie.

Considerando la produttività aziendale, numerosi studi dimostrano che l'adozione di tecnologie 4.0 ha un impatto positivo e significativo. Ad esempio, Bettiol et al. (2023), utilizzando il modello Pooled Ordinary Least Squares (OLS)¹⁷, hanno stimato un aumento della produttività del lavoro del 7,4% nelle micro, piccole e medie imprese (MSME) che adottando nuove tecnologie. Analogamente, Cirillo et al. (2023), con un modello Diff-in-Diff con effetti fissi (FE)¹⁸, hanno rilevato un incremento del 5% nella produttività del lavoro per le imprese che investono in tecnologie digitali rispetto a quelle che non lo fanno. Anche Cefis et al. (2024), stimando un modello Diff-in-Diffs¹⁹ sull'intero campione, hanno osservato che gli investimenti in tecnologie dell'Industria 4.0 hanno determinato un incremento della produttività del 3,9%, evidenziando un effetto medio positivo degli

¹⁷ Il modello Pooled Ordinary Least Squares (OLS) stima una regressione lineare considerando tutte le osservazioni combinate, senza distinguere tra unità o periodi. È una tecnica semplice che presuppone omogeneità tra le unità e nel tempo, ma può portare a stime distorte se sono presenti differenze non osservate (Wooldridge, 2010).

¹⁸ Il modello Difference-in-Differences con effetti fissi (FE) combina il controllo per differenze specifiche tra unità e nel tempo con l'analisi dei cambiamenti dovuti al trattamento. Questa tecnica è utile per stimare effetti causali in contesti con eterogeneità non osservata, garantendo maggiore robustezza rispetto al Diff-in-Diff semplice (Wooldridge, 2010).

¹⁹ Il metodo Difference-in-Differences (Diff-in-Diffs) è una tecnica di analisi causale utilizzata per stimare l'effetto di un intervento confrontando i cambiamenti nel tempo tra un gruppo trattato e un gruppo di controllo. L'assunzione chiave è che, in assenza del trattamento, le due serie di dati avrebbero seguito un andamento parallelo nel tempo (assunzione di parallel trend). Questo approccio è particolarmente utile in contesti in cui un esperimento randomizzato non è possibile (Wooldridge, 2010).

investimenti digitali sulla produttività. Conclusioni simili sono state ottenute da Benassi et al. (2020), che utilizzando un modello econometrico basato su stime OLS e stime con effetti fissi (FE), hanno analizzato il ruolo dei brevetti 4IR nello sviluppo della produttività. Le imprese che iniziano a brevettare tecnologie 4.0 registrano un evidente salto di produttività, specialmente nel primo periodo di sviluppo. Inoltre, la crescita dello stock di brevetti 4IR contribuisce a incrementi stabili della produttività del lavoro, mostrando come l'innovazione tecnologica sia un motore chiave per il miglioramento delle performance. Questi risultati, confermati da stime econometriche robuste, sottolineano che gli investimenti in tecnologie abilitanti favoriscono miglioramenti concreti nella produttività aziendale.

Un ulteriore approfondimento di Bettiol et al. (2023) evidenzia che l'adozione di nuove tecnologie genera benefici immediati sulla produttività del lavoro, con incrementi significativi nel primo e nel secondo anno (+5,8% e +6,1%). Tuttavia, questi effetti tendono a svanire entro il secondo anno, principalmente a causa dei costi nascosti legati alla manutenzione, agli aggiornamenti tecnologici e alle modifiche organizzative. Queste difficoltà, particolarmente rilevanti per le MSME, sottolineano l'importanza di competenze interne e risorse adeguate a sfruttare appieno il potenziale delle tecnologie.

Valutato l'effetto positivo sulla produttività delle imprese, è necessario sottolineare che gli effetti delle tecnologie 4.0 variano significativamente in base alla dimensione e all'età delle imprese. Cefis et al. (2024), ad esempio, evidenziano che le microimprese e le grandi imprese ottengono i maggiori benefici: le prime, grazie alla loro flessibilità e all'assenza di costi organizzativi pregressi, sfruttano meglio le tecnologie per accedere rapidamente ai mercati internazionali, mentre le grandi imprese massimizzano i benefici grazie alle loro risorse finanziarie e umane. Cirillo et al. (2023) rilevano che, nel breve termine, le PMI registrano un incremento del 6% nella produttività, mentre nelle grandi imprese gli effetti si manifestano più lentamente a causa della maggiore complessità organizzativa e dei tempi di adattamento tecnologico. In sintesi, mentre le PMI ottengono benefici immediati, i vantaggi per le grandi imprese tendono a concretizzarsi nel medio-lungo termine.

Anche l'età aziendale, secondo gli studi accademici, influisce sulle performance aziendali. Secondo Cirillo et al. (2023), le imprese giovani, già vicine alla frontiera

tecnologica, beneficiano meno degli investimenti digitali rispetto alle imprese mature, che possono sfruttare le tecnologie per colmare il divario tecnologico. Benassi et al. (2020) esaminano ulteriormente il ruolo dell'esperienza²⁰ nello sviluppo delle tecnologie 4IR, classificando le imprese in tre categorie e ottenendo i seguenti risultati:

- Bassa esperienza: registrano guadagni di produttività più elevati, grazie a un significativo salto iniziale.
- Media esperienza: mostrano miglioramenti moderati.
- Alta esperienza: i benefici sono marginali, spesso legati a innovazioni incrementali.

Un elemento centrale è il *boost effect*, associato al primo sviluppo delle tecnologie 4IR: le imprese che iniziano a brevettare registrano guadagni maggiori rispetto a quelle che proseguono. Tuttavia, il mantenimento di questi benefici richiede investimenti mirati e capacità di gestire la crescente complessità tecnologica e organizzativa. Le imprese con bassa esperienza, in conclusione, ottengono i maggiori guadagni di produttività dallo sviluppo delle tecnologie 4IR; le imprese con livelli medi di esperienza ottengono anch'esse un guadagno significativo, ma di minore entità mentre per le imprese con alta esperienza, uno stock maggiore di brevetti 4IR è associato a una produttività inferiore (Benassi et al., 2020).

In conclusione, gli studi considerati convergono nell'evidenziare che gli investimenti in tecnologie 4.0 rappresentano un fattore cruciale per aumentare la produttività aziendale. Questi risultati sottolineano l'importanza delle politiche di supporto per favorire l'adozione delle tecnologie e migliorare la competitività delle imprese. Infatti, l'adozione di tecnologie dell'Industria 4.0 sembra aver aumentato l'efficienza nel processo produttivo, favorito la creazione di nuove conoscenze per la produzione e portato sia a una maggiore integrazione funzionale all'interno dei confini aziendali sia a una maggiore collaborazione tra l'impresa e i suoi fornitori (Bettiol et al., 2023).

²⁰ L'esperienza è stata definita come il numero di anni trascorsi dalla prima richiesta di brevetto 4IR.

Oltre agli effetti sulla produttività, l'introduzione delle tecnologie 4.0 ha avuto implicazioni significative anche sul mercato del lavoro, ridefinendo non solo i salari ma anche i livelli occupazionali e le competenze richieste.

Relativamente ai salari, secondo Cirillo et al. (2023), l'adozione di tecnologie digitali ha un impatto positivo sui salari medi solo nelle PMI con meno di 50 dipendenti, con un aumento del 2,3%. Nelle aziende medio-grandi e grandi, invece, gli investimenti tecnologici non mostrano effetti significativi, a causa della maggiore dispersione salariale interna e dei tempi più lunghi di adeguamento tra produttività e salari.

In termini di occupazione, secondo Bratta et al. (2023), le tecnologie ADP (Automatic Data Processing) hanno determinato un aumento significativo delle assunzioni. Inoltre, le imprese che hanno beneficiato dell'iper-ammortamento hanno registrato un incremento medio delle assunzioni del 10,3% tra il 2017 e il 2019 rispetto al 2016. L'effetto è stato particolarmente marcato nelle grandi imprese (+10,9 punti percentuali), mentre è risultato più contenuto nelle micro e piccole imprese. Inoltre, gli effetti positivi si concentrano maggiormente sui giovani under 35 (+2,6 punti percentuali di assunzioni) rispetto agli over 35 (+1,3 punti percentuali) e sui colletti blu di media qualificazione (+2,2 punti percentuali), in linea con la crescente domanda di competenze complementari alle tecnologie digitali.

L'introduzione delle tecnologie digitali, infatti, non si limita ai processi produttivi ma coinvolge l'intera struttura aziendale, con un impatto significativo anche sulla forza lavoro. L'Industria 4.0, attraverso l'adozione di macchinari avanzati in grado di comunicare e operare autonomamente, riduce la necessità di manodopera tradizionale, trasformando profondamente i profili professionali richiesti (Kazancoglu et al., 2018). In questo contesto, le competenze dei lavoratori devono evolversi per rispondere alle nuove esigenze: oltre a conoscenze tecniche e specifiche per ogni mansione, sono sempre più indispensabili abilità trasversali come l'utilizzo delle tecnologie informatiche, la comprensione dei processi organizzativi, l'interazione con interfacce avanzate, la fiducia nelle nuove tecnologie, l'attenzione alla sicurezza e alla protezione dei dati, nonché la flessibilità per adattarsi a ruoli e ambienti in continua evoluzione. Questi cambiamenti, pertanto, influiscono inevitabilmente sui processi di selezione del personale, con particolare attenzione ai ruoli legati alla gestione delle operazioni.

Infine, per quanto riguarda le modalità di accesso al credito e le dinamiche finanziarie, l'analisi di Bronzini et al. (2024) evidenzia come l'adozione di tecnologie digitali (DT) migliori significativamente le condizioni finanziarie delle aziende, riducendo la probabilità di restrizioni creditizie grazie all'effetto segnaletico che riflette una trasformazione delle loro capacità tecnologiche, consentendo alle imprese di accedere più facilmente al credito, aumentando la leva finanziaria e riducendo il costo del debito. Inoltre, si osserva un effetto di composizione: l'adozione di DT determina un incremento della quota di debito bancario rispetto a quello finanziario, in linea con la preferenza delle banche per imprese più innovative. Le banche, ricevendo richieste di prestito dalle imprese, classificano le applicazioni in base all'affidabilità creditizia e alla solidità dei progetti. Le imprese coinvolte nella trasformazione digitale presentano prospettive più favorevoli in termini di redditività, il che riduce la loro probabilità di subire razionamenti del credito.

L'efficacia delle DT nel migliorare le prospettive di redditività e l'affidabilità creditizia si manifesta in contesti di *relationship lending*, come quello italiano, dove la prossimità tra banche e imprese agevola la valutazione delle tecnologie adottate. A livello aggregato, l'adozione di DT contribuisce al consolidamento delle imprese tecnologicamente avanzate, accentuando l'eterogeneità nella produttività. Tuttavia, per sfruttare appieno il potenziale delle tecnologie, le imprese devono disporre di infrastrutture adeguate, forza lavoro qualificata e modelli organizzativi flessibili. Le politiche pubbliche, pertanto, dovrebbero supportare questi aspetti complementari per massimizzare i benefici delle DT (Bronzini et al., 2024).

In conclusione, le tecnologie dell'Industria 4.0 non solo migliorano la produttività e stimolano la crescita occupazionale, ma ridefiniscono anche le competenze richieste, promuovendo una forza lavoro più qualificata e flessibile, capace di operare in un ambiente caratterizzato da crescente complessità e intelligenza. Parallelamente, trasformano le modalità di accesso al credito e le dinamiche finanziarie, favorendo un sistema economico più innovativo e competitivo. Questi risultati confermano il ruolo delle tecnologie abilitanti come leva strategica per migliorare la competitività delle imprese e stimolare una crescita sostenibile nel lungo periodo.

In sintesi, l'analisi degli incentivi e delle tecnologie avanzate, affrontata in questo capitolo, evidenzia un impatto positivo sugli investimenti e sulla produttività, sebbene con differenze significative tra settori, dimensioni aziendali e aree geografiche. Questi risultati sottolineano la necessità di politiche complementari per garantire una diffusione equa dei benefici dell'innovazione su tutto il territorio italiano. Questo capitolo ha evidenziato i principali impatti economici delle politiche fiscali e delle tecnologie abilitanti, ponendo le basi per un'analisi approfondita delle sfide e delle opportunità future nell'ambito della transizione industriale.

3

Tecnologie Abilitanti nei Processi Produttivi Manifatturieri

Le tecnologie abilitanti della Quarta Rivoluzione Industriale (*vedere paragrafo 1.1.3 per ulteriori approfondimenti descrittivi*) stanno trasformando profondamente i processi nell'industria manifatturiera, ottimizzando le operazioni interne, favorendo incrementi di produttività, sostenibilità e resilienza e ridefinendo il modo in cui le aziende creano valore e competono sul mercato globale.

Il capitolo è strutturato come segue:

- Prima parte: analisi dell'applicazione delle tecnologie associate ad ogni processo industriale attraverso la letteratura, integrata con esempi applicativi.
- Seconda parte: discussione dei fattori critici di implementazione, come la leadership e la gestione delle competenze.

Questo capitolo ha l'obiettivo di dimostrare come l'integrazione tecnologica possa aumentare l'efficienza e l'efficacia delle operazioni, mettendo in evidenza le sfide e i fattori critici legati all'implementazione di queste soluzioni.

3.1 Applicazione delle Tecnologie nei Processi Industriali

Manifatturieri

La presente sezione si concentra sull'analisi di come le tecnologie influenzano i principali processi industriali, basandosi su framework teorici e applicativi come quello proposto da Zheng et al. (2021) e integrando contributi recenti.

Attraverso una prospettiva applicativa, vengono esaminati i dieci processi chiave caratterizzanti l'industria manifatturiera, analizzando le applicazioni specifiche di alcune tecnologie abilitanti su ciascun processo.

I principali processi aziendali di produzione risultano essere: *sviluppo di nuovi prodotti, configurazione della catena di fornitura, pianificazione integrata della Supply Chain, logistica interna, pianificazione e controllo della produzione, gestione dell'energia, gestione della qualità, gestione della manutenzione, gestione delle relazioni con i clienti, gestione post-vendita.*

3.1.1 Sviluppo di nuovi prodotti

Lo sviluppo di nuovi prodotti rappresenta una delle attività strategiche più rilevanti per garantire la competitività delle imprese manifatturiere in un contesto globale sempre più dinamico e complesso. Questo processo include la progettazione, i test, la prototipazione di un prodotto prima della sua produzione e commercializzazione, la concettualizzazione e l'eventuale riprogettazione di nuove versioni del prodotto. Tra le principali tecnologie abilitanti che hanno rivoluzionato il processo si evidenziano i Big Data and Analytics, la Simulazione (Simulation) e l'Additive Manufacturing che, quando vengono integrate in maniera sinergica, riducono i tempi di sviluppo e migliorano la qualità dei prodotti, conferendo alle aziende un vantaggio competitivo.

I Big Data and Analytics rappresentano una tecnologia abilitante fondamentale nello sviluppo di nuovi prodotti, offrendo capacità di analisi avanzate per trasformare vasti volumi di dati in informazioni utili per decisioni strategiche. Questa tecnologia consente alle imprese di comprendere meglio le preferenze dei clienti, anticipare le tendenze di mercato e ottimizzare i processi di sviluppo dei prodotti. Tra le principali applicazioni dei BDA allo sviluppo di nuovi prodotti si evidenziano:

- Estensione della raccolta dati: Dubey et al. (2021) affermano che l'impiego di Big Data abilita le aziende a espandere la raccolta di informazioni oltre i propri sistemi informativi interni, includendo fonti esterne come catene di approvvigionamento, fornitori, clienti e social media. Questo ampliamento delle fonti di dati fornisce una panoramica più ricca e variegata, cruciale per scoprire nuove opportunità di innovazione e affinare le previsioni nel processo di sviluppo di nuovi prodotti.
- Decisioni informate: secondo Govindarajan e Ananthanpillai (2024), l'approccio data-driven consente alle aziende di prendere decisioni strategiche basate su dati concreti piuttosto che su ipotesi, migliorando l'affidabilità delle scelte aziendali. Ad esempio, l'analisi dei Big Data è stata utilizzata nel settore retail per identificare schemi di acquisto ricorrenti, permettendo la creazione di offerte mirate e un aumento della fidelizzazione.

- **Analisi delle tendenze di mercato:** secondo Govindarajan e Ananthanpillai (2024), l'utilizzo dei Big Data and Analytics, consente di individuare tendenze emergenti attraverso l'analisi approfondita di dati provenienti da varie fonti, come ricerche online, vendite o attività dei competitor, al fine di fornire alle aziende una visione sui mercati in evoluzione e sugli scenari futuri. Ad esempio, nel settore automobilistico, l'analisi dei Big Data ha permesso alle imprese di anticipare la crescente richiesta dei veicoli elettrici, rendendo possibile un incremento degli investimenti nelle nuove linee di produzione e in tecnologie innovative.

Integrando i BDA nei processi di sviluppo, le imprese possono migliorare la qualità e la pertinenza dei nuovi prodotti, garantendo un vantaggio competitivo sostenibile.

La Simulazione è una delle tecnologie più rilevanti per lo sviluppo di nuovi prodotti, poiché fornisce strumenti avanzati che consentono di ottimizzare il design, testare configurazioni e ridurre i tempi di sviluppo. Essa si basa sulla creazione di modelli virtuali altamente dettagliati, capaci di replicare fedelmente il comportamento dei prodotti in diverse condizioni operative. Questa tecnologia permette alle aziende di esplorare molteplici configurazioni progettuali, testare materiali innovativi e prevedere il comportamento del prodotto in scenari complessi, riducendo la necessità di test fisici costosi e dispendiosi in termini di tempo. Di seguito sono illustrati i principali vantaggi in cui la Simulazione impatta lo sviluppo di nuovi prodotti:

- **Ottimizzazione del design:** Ang et al. (2017) evidenziano come la Simulazione abbia trasformato il settore navale, permettendo di ottimizzare la forma dello scafo per migliorare l'efficienza energetica e ridurre i costi operativi. Applicata allo sviluppo di nuovi prodotti, questa tecnologia consente di analizzare configurazioni innovative e materiali avanzati, accelerando il ciclo di progettazione e minimizzando gli sprechi. Ad esempio, aziende del settore automobilistico utilizzano la Simulation per ottimizzare i telai delle vetture, migliorandone la sicurezza e riducendo il peso complessivo.
- **Stima degli impatti complessivi:** Mabey et al. (2021) propongono un framework basato sulla Simulazione computazionale per valutare gli impatti sociali, economici e ambientali dei prodotti già in fase di progettazione. Questo approccio consente ai team di sviluppo di integrare parametri di sostenibilità

nelle decisioni progettuali, migliorando la conformità normativa e l'accettazione del prodotto sul mercato. Nel settore biomedico, ad esempio, la Simulazione può essere utilizzata per modellare l'impatto di dispositivi medici innovativi sulle abitudini dei pazienti, garantendo al contempo efficienza operativa e sicurezza.

- Riduzione dei rischi: la Simulazione è fondamentale per identificare e mitigare potenziali criticità prima della produzione. Nel settore navale, Ang et al. (2017) sottolineano come la Simulazione di turbine in condizioni meteorologiche estreme abbia migliorato la durata e l'efficienza di queste apparecchiature, evitando costosi errori di progettazione. Analogamente, nei settori ad alta criticità come l'aerospaziale, la Simulazione consente di testare virtualmente materiali e configurazioni, riducendo i rischi legati a fallimenti strutturali.

Pertanto, nel contesto dello sviluppo di nuovi prodotti, la Simulazione non solo accelera il ciclo di progettazione, ma consente anche di migliorare la qualità dei prototipi e di rispondere prontamente alle mutevoli esigenze del mercato.

L'Additive Manufacturing consente di realizzare oggetti tridimensionali aggiungendo materiale strato per strato a partire da un modello digitale. Tra le principali tecniche AM si identificano il *Powder Bed Fusion*, che utilizza un letto di polveri metalliche o polimeriche fuso mediante laser o fasci di elettroni e il *Directed Energy Deposition*, che deposita materiale direttamente sulla superficie desiderata tramite ugelli. Questi metodi permettono una maggiore flessibilità nella progettazione, una riduzione degli scarti di materiale e un miglior controllo sulle proprietà finali del prodotto. Questa tecnologia si è dimostrata fondamentale nel processo di sviluppo di nuovi prodotti per i seguenti motivi:

- Prototipazione rapida: grazie all'AM, è possibile creare prototipi funzionali in tempi significativamente ridotti rispetto ai metodi tradizionali, permettendo test rapidi e iterativi sulle caratteristiche del prodotto. De Almeida et al. (2021) evidenziano che l'AM consente una prototipazione più flessibile e collaborativa, migliorando il time-to-market.
- Personalizzazione di massa: la capacità di produrre parti personalizzate su piccola scala è un altro vantaggio. Turkcan et al. (2022) sottolineano come questa tecnologia consenta alle aziende di rispondere rapidamente alle esigenze

specifiche dei clienti, aumentando la soddisfazione e il valore percepito del prodotto.

- Riduzione dei costi e degli sprechi: l'AM elimina molte delle inefficienze dei processi tradizionali, riducendo gli scarti di materiale e i costi di produzione per piccoli lotti. De Almeida et al. (2021) descrivono come l'utilizzo di polveri riciclabili nei processi AM migliori l'efficienza delle risorse, mentre Turkcan et al. (2022) enfatizzano la riduzione degli sprechi nelle fasi di prototipazione e produzione.

L'Additive Manufacturing, pertanto, si sta affermando come una delle tecnologie fondamentali nello sviluppo di nuovi prodotti, contribuendo non solo a migliorare l'efficienza produttiva, ma anche a rispondere in modo più preciso ed efficiente alle esigenze del mercato e dei consumatori.

In conclusione, l'integrazione di Big Data and Analytics, Simulation e Additive Manufacturing nello sviluppo di nuovi prodotti rappresenta un cambiamento che contribuisce a ottimizzare ogni fase del processo di progettazione, prototipazione e lancio. Le aziende che utilizzano queste tecnologie possono ridurre i tempi di sviluppo, migliorare la qualità del prodotto e rispondere con maggiore velocità e precisione alle esigenze del mercato. La sinergia tra queste tecnologie consente di ottimizzare l'intero ciclo di vita del prodotto, accelerando il time-to-market e migliorando la competitività.

3.1.2 Configurazione della catena di fornitura

La configurazione della catena di fornitura costituisce un processo fondamentale per l'ottimizzazione dei flussi di materiali, risorse e informazioni tra gli attori coinvolti nelle fasi produttive e distributive. Questo processo decisionale è legato alle scelte strategiche generalmente adottate a livello manageriale, sia per quanto riguarda la configurazione della rete (numero di livelli, selezione dei fornitori, strategia *make or buy*) sia per il layout della fabbrica, inclusa la gestione dei flussi di materiali e il posizionamento degli asset. Tecnologie avanzate come l'integrazione dei sistemi, l'Internet of Things e la Simulazione risultano determinanti per ottimizzare il processo, favorendo una gestione più efficiente delle operazioni.

L'integrazione orizzontale e verticale nella configurazione della catena di fornitura rappresenta un approccio fondamentale per ottimizzare i flussi e ridurre i costi operativi. L'integrazione verticale implica l'unione di fasi diverse della catena di fornitura, come la produzione e la distribuzione, migliorando così il controllo sulle risorse e riducendo le inefficienze. Invece, l'integrazione orizzontale coinvolge la collaborazione tra attori della stessa fase, come più produttori o più trasportatori. Questa forma di integrazione consente di ottenere economie di scala, ridurre la concorrenza interna e migliorare l'efficienza complessiva del sistema (Kholodenko et al., 2020). Per comprendere meglio i benefici derivanti dall'integrazione orizzontale e verticale, è utile esplorare i principali vantaggi che queste tecnologie portano alla configurazione della catena di fornitura:

- **Miglioramento dell'efficienza operativa:** l'integrazione verticale consente una gestione centralizzata dei flussi, eliminando i colli di bottiglia e migliorando la sincronizzazione tra produzione e distribuzione. Inoltre, l'integrazione orizzontale facilita la condivisione delle risorse tra le aziende della stessa fase della catena, ottimizzando i costi di gestione (Aldana & Guerrero Azpeitia, 2021). In questo modo, entrambe le forme di integrazione portano a una riduzione delle inefficienze e ad una maggiore efficienza operativa complessiva.
- **Ottimizzazione dei flussi produttivi:** grazie all'integrazione verticale, la coordinazione tra i vari stadi della catena permette di ridurre i tempi di ciclo e rispondere più velocemente alle richieste del mercato. L'integrazione orizzontale,

invece, permette alle aziende di condividere risorse e ridurre il numero di attori concorrenti, il che ottimizza ulteriormente la produttività e riduce i costi operativi (Kholodenko et al., 2020).

- Miglioramento della competitività: un sistema verticale riduce i costi operativi e migliora la capacità dell'azienda di adattarsi rapidamente ai cambiamenti del mercato, mentre l'integrazione orizzontale riduce la competizione tra aziende della stessa fase produttiva, facilitando il miglioramento dei processi e aumentando la competitività a livello complessivo (Aldana & Guerrero Azpeitia, 2021).

In conclusione, l'integrazione orizzontale e verticale dei sistemi nella catena di fornitura non solo ottimizza i flussi e riduce i costi, ma migliora anche la competitività e la capacità di adattamento dell'azienda alle dinamiche di mercato globali. Questi approcci sono particolarmente vantaggiosi in settori strategici come quello del trasporto, dove la cooperazione tra attori può generare notevoli risparmi e aumentare l'efficienza operativa complessiva.

L'Internet of Things rappresenta una tecnologia fondamentale nella configurazione della catena di fornitura, consentendo alle imprese di ottimizzare le loro operazioni attraverso l'impiego di sensori e dispositivi connessi. Grazie alla capacità di raccogliere, elaborare e analizzare i dati in tempo reale, l'IoT offre una visibilità continua e dettagliata su ogni fase della catena di fornitura, migliorando la gestione dei flussi di materiali e risorse. Alcuni vantaggi principali dell'IoT nella configurazione della catena di fornitura risultano essere:

- Maggiore visibilità e monitoraggio in tempo reale: l'IoT, tramite l'uso di sensori avanzati e dispositivi connessi, consente un monitoraggio costante delle merci e delle risorse lungo l'intera catena di fornitura. Questo livello di visibilità permette di prendere decisioni tempestive e informate riducendo inefficienze, ritardi e migliorando la gestione dei flussi materiali (Adeusi et al., 2024).
- Ottimizzazione dell'efficienza operativa: l'IoT facilita l'automazione e l'ottimizzazione dei processi operativi, in particolare nella gestione degli inventari e nella pianificazione della produzione. Attraverso l'analisi dei dati in tempo reale, le aziende possono rivedere la configurazione della Supply Chain,

ottimizzando i flussi di materiali e riducendo i costi complessivi, migliorando così l'efficienza operativa (Adeusi et al., 2024).

- Gestione proattiva dei rischi: grazie alla continua raccolta e analisi dei dati, l'IoT consente di identificare tempestivamente eventuali problematiche lungo la catena di fornitura, come interruzioni nei flussi o danni ai beni. Sensori specializzati monitorano parametri ambientali critici, come temperatura e umidità, riducendo i rischi di deterioramento dei prodotti e migliorando la resilienza della catena di fornitura (Srai e Lorentz, 2019).

Riassumendo, Adeusi et al. (2024) evidenziano come l'IoT migliori l'efficienza operativa e la trasparenza, contribuendo a rendere i processi più dinamici rispetto alle evoluzioni del mercato. Parallelamente, Srai e Lorentz (2019) sottolineano come l'Internet of Things supporti una gestione integrata e ottimizzata dei processi di approvvigionamento e produzione, elemento chiave per strutturare una Supply Chain efficace.

La Simulazione, nel contesto della configurazione della Supply Chain, è una tecnologia che permette alle aziende di testare e ottimizzare le operazioni, migliorando la gestione delle risorse e la logistica. Tra le principali applicazioni della Simulazione, è possibile identificare:

- Ottimizzazione delle politiche di approvvigionamento e produzione: la Simulazione consente di testare politiche come il Just-In-Time (JIT)²¹, migliorando l'inventario e la risposta alle fluttuazioni della domanda. Utilizzando repliche digitali, le aziende possono esplorare vari scenari per ottimizzare i flussi e le risorse, senza interrompere le operazioni quotidiane (Xanthopoulos & Kostavelis, 2024).
- Previsione accurata della domanda e gestione delle risorse: grazie alle simulazioni, le aziende possono prevedere in modo più preciso le variazioni della domanda, ottimizzando la programmazione della produzione. Inoltre, la gestione dei flussi materiali risulta più efficiente, riducendo i costi operativi e aumentando

²¹ La politica Just-In-Time (JIT) è un approccio alla gestione della produzione che si concentra sulla riduzione dei tempi di fabbricazione e dei costi di magazzino, mantenendo al minimo le scorte di materie prime, prodotti in lavorazione e prodotti finiti. L'obiettivo è produrre esattamente ciò che è necessario, nei volumi richiesti e al momento giusto, migliorando così l'efficienza complessiva e riducendo gli sprechi. Questa strategia è stata diffusa dalla Toyota negli anni '70 come parte del Toyota Production System.

la reattività alle dinamiche del mercato (Xanthopoulos & Kostavelis, 2024; Kumar et al., 2018).

- Test sicuri di scenari futuri: la Simulazione offre un ambiente sicuro per testare scenari e politiche di Supply Chain, permettendo alle aziende di esplorare le risposte a eventi imprevisti, come variazioni nella domanda o cambiamenti nei fornitori. Questo approccio riduce i rischi operativi e consente decisioni più informate senza compromettere la continuità operativa (Kumar et al., 2018).

In sintesi, secondo Xanthopoulos e Kostavelis (2024), le simulazioni creano repliche digitali delle catene di fornitura fisiche, permettendo di esplorare diverse politiche operative, come il JIT, per migliorare l'efficienza senza le limitazioni dei modelli tradizionali, mentre Kumar et al. (2018) evidenziano che la Simulazione è fondamentale per ottimizzare la gestione delle risorse e perfezionare il layout delle fabbriche, portando a un miglioramento delle operazioni e della logistica della Supply Chain.

Sulla base dei documenti analizzati, l'adozione di tecnologie abilitanti gioca un ruolo determinante nel definire la struttura della catena di fornitura. In particolare, l'integrazione, intesa sia in chiave orizzontale che verticale, favorisce un miglioramento dei flussi di materiali e informazioni, incidendo positivamente sull'efficienza operativa e sulla competitività. Con la capacità di fornire dati in tempo reale, l'IoT permette una gestione più efficace delle risorse e un'ottimizzazione dei processi, mentre l'utilizzo della Simulazione consente alle aziende di adottare decisioni più consapevoli e di mitigare i rischi operativi. Se implementate correttamente, queste tecnologie, oltre a migliorare le performance della catena di fornitura, offrono anche una maggiore flessibilità e capacità di adattamento in un mercato in costante evoluzione.

3.1.3 Pianificazione integrata della Supply Chain

La pianificazione integrata della Supply Chain riguarda la pianificazione della domanda, l'approvvigionamento, la produzione, il posizionamento dei materiali e la distribuzione. Si basa sulla sincronizzazione dei flussi di dati, delle risorse e dei processi con l'obiettivo di migliorare la reattività e la sostenibilità dell'intera catena, garantendo una gestione ottimale. Questo processo implementa tecnologie avanzate, come i sistemi Cyber-Fisici, i Big Data and Analytics e il cloud computing, che forniscono strumenti in grado di affrontare le complessità operative e strategiche delle moderne catene di fornitura.

I sistemi Cyber-Fisici rappresentano un ponte tra il mondo fisico e quello digitale, combinando sensori, attuatori e modelli digitali per il monitoraggio continuo e l'automazione dei processi, come evidenziato da Hofmann e Rüsç (2017). Inoltre, Nagy et al. (2018) sottolineano che i CPS permettono una gestione proattiva delle risorse, riducendo i tempi di inattività e minimizzando i rischi legati a interruzioni operative. Di seguito sono analizzate nel dettaglio queste tecnologie e i relativi benefici:

- Automazione e integrazione avanzata: i CPS favoriscono la sincronizzazione di dati e processi tra diverse funzioni aziendali, eliminando colli di bottiglia e riducendo errori umani. Questo consente di velocizzare i cicli produttivi e garantire una maggiore coerenza operativa (Hofmann & Rüsç, 2017).
- Monitoraggio in tempo reale: i sensori distribuiti lungo la Supply Chain raccolgono dati critici come flussi di materiali e condizioni ambientali, permettendo di prendere decisioni tempestive basate su molti dati accurati (Nagy et al., 2018).
- Resilienza operativa ottimizzata: i CPS identificano rapidamente anomalie e suggeriscono interventi correttivi, prevenendo interruzioni operative e riducendo i costi di fermo macchina (Hofmann e Rüsç, 2017).

I sistemi CPS, in sintesi, rappresentano una rivoluzione nella gestione della Supply Chain, trasformandola in un ecosistema altamente interconnesso e resiliente. Grazie alla loro capacità di monitoraggio in tempo reale e di gestione proattiva, i CPS consentono alle

aziende di rispondere efficacemente alle sfide operative, riducendo rischi e inefficienze, e migliorando la capacità di adattamento alle dinamiche di mercato globali.

I Big Data and Analytics offrono strumenti avanzati per raccogliere, elaborare e analizzare grandi volumi di dati, supportando previsioni accurate e decisioni strategiche. Secondo Ardito et al. (2019), queste tecnologie consentono di migliorare la previsione della domanda, ottimizzando l'allocazione delle risorse e riducendo i costi operativi, mentre Gruzauskas et al. (2018) evidenziano l'importanza dell'analisi predittiva per promuovere una gestione più sostenibile, riducendo consumi energetici ed emissioni di CO₂. Le applicazioni principali riguardano:

- Previsioni avanzate della domanda: l'analisi dei dati storici e in tempo reale migliora la capacità di anticipare fluttuazioni del mercato, ottimizzando la pianificazione delle risorse e riducendo sprechi e costi operativi (Ardito et al., 2019).
- Ottimizzazione della distribuzione: modelli analitici avanzati supportano una gestione più efficiente della logistica, riducendo i costi di trasporto e i tempi di consegna (Gruzauskas et al., 2018).
- Sostenibilità operativa: i Big Data permettono di identificare aree di inefficienza energetica lungo la Supply Chain, promuovendo interventi mirati per ridurre l'impatto ambientale (Gruzauskas et al., 2018).
- Miglioramento della collaborazione: gli strumenti di analisi favoriscono la trasparenza e lo scambio di informazioni tra i partner della Supply Chain, rafforzando la cooperazione strategica (Ardito et al., 2019).

I Big Data and Analytics rappresentano un cambio di paradigma, poiché grazie alla loro capacità di fornire analisi approfondite e previsioni accurate, trasformano la Supply Chain in un processo basato sui dati, garantendo efficienza, sostenibilità e un maggiore controllo operativo.

Il cloud computing consente alle aziende di centralizzare dati e processi, migliorando l'accesso e la condivisione delle informazioni in tempo reale. Secondo Garay-Rondero et al. (2019), il cloud facilita la creazione di piattaforme collaborative che integrano informazioni e processi, promuovendo una gestione più efficiente e coordinata. Inoltre,

Gruzauskas et al. (2018) sottolineano come il cloud consenta di monitorare e ottimizzare le prestazioni ambientali, favorendo una gestione sostenibile delle risorse, come mostrato di seguito:

- Centralizzazione dei dati: il cloud fornisce repository scalabili per l'archiviazione e l'elaborazione dei dati, riducendo inefficienze e migliorando la capacità decisionale (Garay-Rondero et al., 2019).
- Collaborazione migliorata: piattaforme cloud agevolano la comunicazione tra i partner della Supply Chain, aumentando la trasparenza e la coordinazione operativa (Gruzauskas et al., 2018).
- Sostenibilità ambientale: attraverso il monitoraggio di consumi energetici ed emissioni, il cloud favorisce una gestione ambientale più consapevole e responsabile (Gruzauskas et al., 2018).
- Flessibilità e scalabilità: il cloud consente di adattarsi rapidamente ai cambiamenti operativi, supportando espansioni e contrazioni della Supply Chain in modo efficiente (Garay-Rondero et al., 2019).

Il cloud computing si distingue come una tecnologia essenziale per la gestione moderna della Supply Chain, combinando efficienza operativa, collaborazione interaziendale e sostenibilità. Grazie alla sua flessibilità e scalabilità, questa tecnologia permette di affrontare con successo le sfide globali, trasformando la Supply Chain in un ecosistema collaborativo e dinamico.

In conclusione, l'integrazione di tecnologie come i CPS, i Big Data and Analytics e il cloud computing rappresenta un passaggio essenziale per le aziende che desiderano ottimizzare la pianificazione della Supply Chain e affrontare le sfide di un mercato in continua evoluzione. I CPS garantiscono automazione, integrazione e resilienza operativa, mentre i Big Data forniscono strumenti per decisioni strategiche e sostenibili. Il cloud computing, infine, offre la flessibilità e la collaborazione necessarie per adattarsi rapidamente alle dinamiche di mercato.

3.1.4 Logistica interna

La logistica interna è un processo che include diverse attività operative della fabbrica, come lo *stoccaggio*, la *movimentazione interna dei prodotti* e l'*alimentazione della produzione*, per garantire una movimentazione efficiente dei materiali e dei prodotti intermedi all'interno degli stabilimenti. L'adozione di tecnologie abilitanti come l'Internet of Things e i robot autonomi offre nuove opportunità per affrontare le complessità operative e migliorare le prestazioni dei sistemi logistici (Chen et al., 2021; Ivankova et al., 2020).

L'Internet of Things consente l'integrazione di sensori, dispositivi intelligenti e piattaforme analitiche per raccogliere, trasmettere e analizzare dati in tempo reale. Le applicazioni principali nel contesto della logistica risultano essere:

- Monitoraggio delle scorte: sensori IoT nei magazzini tracciano il livello, lo stato e la posizione delle scorte, riducendo errori umani e ottimizzando la gestione degli inventari (Chen et al., 2021; Ivankova et al., 2020).
- Ottimizzazione dei flussi logistici: i dispositivi IoT permettono di raccogliere informazioni essenziali per monitorare le esigenze di approvvigionamento e per programmare automaticamente i riordini, evitando carenze o surplus di materiali (Chen et al., 2021; Ivankova et al., 2020).
- Tracciabilità dei materiali: grazie a tecnologie come RFID (*Radio Frequency Identification*) e GPS (*Global Positioning System*), l'IoT offre una visibilità in tempo reale dei materiali lungo l'intero percorso interno, garantendo maggiore sicurezza e riduzione dei rischi di smarrimento (Chen et al., 2021; Ivankova et al., 2020).

L'IoT supporta una logistica più agile e resiliente, in grado sia di adattarsi rapidamente ai cambiamenti delle condizioni operative sia di migliorare la visibilità operativa, consentendo decisioni informate e riducendo inefficienze e costi (Chen et al., 2021; Ivankova et al., 2020).

Per quanto riguarda i robot autonomi, essi rappresentano una delle innovazioni più significative nella logistica interna. Diversamente dagli AGV, gli AMR operano

autonomamente, adattandosi dinamicamente a contesti ambientali in evoluzione (Bernardo et al., 2022; Fragapane et al., 2021):

- Trasporto intelligente: gli AMR si muovono autonomamente evitando ostacoli, ottimizzando i percorsi e collegando diverse aree produttive, riuscendo a far ridurre i tempi di movimentazione (Bernardo et al., 2022; Fragapane et al., 2021).
- Collaborazione nelle operazioni di picking: negli ambienti di magazzino, gli AMR assistono gli operatori trasportando contenitori e migliorando l'efficienza complessiva del processo (Bernardo et al., 2022; Fragapane et al., 2021).
- Manipolazione avanzata: alcuni AMR sono dotati di bracci robotici che consentono operazioni complesse come il carico e scarico automatico, migliorando la sicurezza e riducendo i tempi di lavorazione (Bernardo et al., 2022).

L'adozione degli AMR, in sintesi, garantisce maggiore flessibilità, efficienza e sicurezza, rendendoli una soluzione strategica per affrontare le sfide operative nell'ambito della logistica.

In conclusione, l'integrazione di IoT e di robot autonomi nella logistica interna consente significativi miglioramenti in termini di produttività, efficienza e trasparenza. Queste tecnologie trasformano la logistica in un sistema adattabile e resiliente, in grado di rispondere rapidamente alle dinamiche di mercato e alle esigenze operative.

3.1.5 Pianificazione e controllo della produzione

La pianificazione e il controllo della produzione rappresentano il processo che ha come obiettivo la gestione efficiente delle risorse produttive e il raggiungimento degli obiettivi di qualità, flessibilità e costi. L'uso di tecnologie innovative come la Simulation e i Big Data sta cambiando questo processo, poiché offrono strumenti avanzati per affrontare la crescente complessità operativa e le sfide poste da ambienti di produzione dinamici e interconnessi.

La Simulazione è una tecnologia centrale per modellare e analizzare sistemi produttivi complessi in un ambiente virtuale. Le applicazioni principali nell'ambito della pianificazione e del controllo della produzione risultano essere:

- Pianificazione della capacità e gestione del rischio: modelli simulativi permettono di testare scenari ipotetici, come improvvisi aumenti della domanda o interruzioni nella disponibilità di risorse. Attraverso la Simulazione, è possibile valutare diverse strategie per bilanciare la capacità produttiva e mitigare i rischi, garantendo continuità operativa e rispetto delle tempistiche (Longo et al., 2019).
- Ottimizzazione dei flussi e dei layout produttivi: la Simulazione consente di analizzare configurazioni alternative dei layout produttivi per ridurre i tempi di attraversamento dei materiali, migliorare i flussi logistici interni e incrementare l'efficienza operativa complessiva. Questa applicazione è particolarmente utile per le aziende che affrontano frequenti cambiamenti nei processi produttivi (Longo et al., 2019).

In sintesi, grazie all'utilizzo di modelli simulativi, le aziende possono anticipare l'impatto di decisioni strategiche e operative, riducendo i rischi e migliorando la produttività complessiva (Longo et al., 2019).

I Big Data rappresentano una delle tecnologie più promettenti per la pianificazione e il controllo della produzione, offrendo strumenti per l'analisi di grandi quantità di dati

provenienti da diverse fonti aziendali, come sensori IoT, sistemi ERP/MES²² e dati di mercato:

- Previsione della domanda: l'analisi dei Big Data combina informazioni storiche e in tempo reale con modelli avanzati di machine learning, tra cui reti neurali e *support vector machines*, per affinare le previsioni di domanda. Questo approccio aiuta le aziende a regolare la produzione in base alle variazioni di mercato, limitando il rischio di eccessi o carenze di scorte (Luo et al., 2023).
- Allocazione delle risorse e scheduling: l'analisi dati permette di ottimizzare l'allocazione delle risorse (macchinari, personale, materiali) e i programmi produttivi, riducendo i tempi morti e massimizzando l'utilizzo delle risorse disponibili. Questa applicazione è importante per ambienti produttivi caratterizzati da flessibilità e alta variabilità della domanda (Luo et al., 2023).
- Monitoraggio e miglioramento continuo delle prestazioni: i Big Data permettono di analizzare i processi produttivi in tempo reale, identificando inefficienze e colli di bottiglia. Interventi tempestivi e basati su dati migliorano la qualità del prodotto, riducono i tassi di scarto e incrementano l'efficienza operativa complessiva (Luo et al., 2023).

Luo et al. (2023), in sintesi, evidenziano come l'utilizzo dei Big Data consente di migliorare significativamente le performance operative e strategiche se applicate al processo di pianificazione e controllo della produzione.

L'integrazione di Simulation e Big Data rappresenta una sinergia unica per la pianificazione e il controllo della produzione. La Simulazione fornisce strumenti per testare e ottimizzare scenari produttivi in ambienti virtuali, mentre i Big Data offrono insight in tempo reale per supportare decisioni operative e strategiche. Herrmann et al. (2022) evidenziano come questa combinazione consenta alle aziende di migliorare la resilienza, la flessibilità e la capacità di adattamento ai cambiamenti di mercato.

²² ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution System*) rappresentano due sistemi software distinti ma complementari per la gestione aziendale. Il sistema ERP integra e coordina i processi di business essenziali di un'entità organizzativa in una singola architettura informativa, facilitando così un'efficiente distribuzione delle risorse e un miglioramento della comunicazione interdipartimentale. Il sistema MES, invece, è specificamente progettato per il controllo e la supervisione dei processi produttivi in tempo reale all'interno delle linee di produzione, con l'obiettivo di ottimizzare le operazioni di fabbrica e incrementare la produttività industriale.

3.1.6 Gestione dell'energia

La gestione dell'energia è il processo che riguarda il monitoraggio e il controllo di tutte le risorse utilizzate per la produzione e per il funzionamento generale della fabbrica, con il fine di migliorare l'efficienza operativa e ridurre l'impatto ambientale. L'utilizzo di tecnologie abilitanti come l'Internet of Things e i Cyber-Physical Systems permette alle aziende di monitorare, analizzare e ottimizzare il consumo energetico, contribuendo significativamente alla sostenibilità e alla competitività delle imprese nell'era dell'Industria 5.0.

L'Internet of Things è una tecnologia essenziale per il monitoraggio continuo e l'ottimizzazione del consumo energetico. Le applicazioni principali nell'ambito della gestione dell'energia risultano essere:

- **Energy Consumption Monitoring:** i sensori IoT monitorano i consumi energetici di macchinari, impianti e reti in tempo reale. Questo approccio consente di identificare sprechi energetici e adottare misure correttive immediate, migliorando l'efficienza complessiva dei processi produttivi (Kwak et al., 2023).
- **Ottimizzazione dinamica della domanda energetica:** sistemi IoT integrati con piattaforme di gestione energetica regolano automaticamente i consumi durante i picchi di domanda, riducendo il carico sulla rete e abbattendo i costi associati alla produzione di energia (Kwak et al., 2023).
- **Integrazione con smart grids:** l'IoT facilita l'interazione con reti intelligenti, migliorando la gestione di fonti energetiche distribuite, come pannelli solari e turbine eoliche, per ottimizzare la resilienza e la stabilità delle reti decentralizzate (Kwak et al., 2023).

Secondo Kwak et al. (2023), in sintesi, i sensori IoT, integrati con piattaforme cloud, consentono di raccogliere dati in tempo reale su consumi energetici, rendendo possibile l'identificazione di inefficienze e l'adozione di interventi mirati per migliorare l'efficienza operativa.

I CPS rappresentano una soluzione tecnologica innovativa, basata sull'interazione tra elementi fisici e digitali, che permette di ottenere una gestione integrata e ottimizzata dell'energia. In particolare, i vantaggi e le applicazioni risultano essere:

- **Service-Oriented Energy Management:** grazie all'utilizzo di algoritmi di controllo, i CPS coordinano e gestiscono sistemi di accumulo energetico distribuito (DESA), migliorando la stabilità e la flessibilità del sistema. Inoltre, questi meccanismi consentono di fornire servizi energetici personalizzati in base alle esigenze delle reti e degli impianti produttivi (Jin et al., 2024).
- **Ottimizzazione predittiva:** Kumar Jain et al. (2022) propongono un modello basato su *fuzzy logic*²³ e machine learning che utilizza dati storici e in tempo reale per anticipare picchi di consumo e ottimizzare la distribuzione delle risorse energetiche. Questi sistemi migliorano la capacità predittiva e riducono gli sprechi (Jin et al., 2024; Kumar Jain et al., 2022).
- **Gestione in tempo reale della distribuzione energetica:** i CPS utilizzano osservatori distribuiti per monitorare e regolare il consumo energetico, garantendo un controllo preciso e stabile dei flussi energetici. Questo approccio minimizza le inefficienze e aumenta la resilienza operativa (Jin et al., 2024; Kumar Jain et al., 2022).

Jin et al. (2024) e Kumar Jain et al. (2022), pertanto, sottolineano l'importanza dei CPS nel fornire un approccio service-oriented, coordinando risorse energetiche distribuite per bilanciare domanda e offerta in tempo reale.

In conclusione, le tecnologie IoT e CPS offrono approcci complementari per la gestione dell'energia: l'IoT eccelle nel monitoraggio granulare e nel controllo rapido dei consumi energetici, mentre i CPS si distinguono per il controllo distribuito e predittivo, offrendo una gestione energetica più integrata e scalabile, adatta a sistemi complessi. Queste tecnologie, pertanto, forniscono strumenti avanzati per monitorare, ottimizzare e prevedere i consumi energetici, garantendo alle imprese maggiore resilienza, competitività e sostenibilità nel lungo termine.

²³ La fuzzy logic è un'estensione della logica booleana tradizionale che permette di gestire il ragionamento approssimativo più tipico del pensiero umano rispetto a quello binario delle macchine. Nella fuzzy logic, invece di un approccio vero o falso, le variabili possono avere un grado di verità che varia in un continuum tra 0 e 1.

3.1.7 Gestione della qualità

La gestione della qualità rappresenta il processo aziendale che consente di ridurre i difetti, utilizzando tecnologie digitali come la Simulation e la Realtà Aumentata. Infatti, questi strumenti innovativi, migliorano il controllo qualità, poiché vengono implementati approcci predittivi e assistiti visivamente per garantire la massima efficienza e accuratezza.

In particolare, la Simulazione consente di modellare e prevedere i risultati dei processi produttivi. Nell'ambito della gestione della qualità, i principali vantaggi riguardano i seguenti punti:

- Rilevazione dei difetti di qualità: la Simulazione utilizza tecniche avanzate, come il modello di Monte Carlo, per rilevare potenziali difetti nei prodotti prima della produzione, migliorando l'affidabilità dei processi e la soddisfazione del cliente (Morán-Zabala et al., 2023).
- Ottimizzazione dei parametri di processo: attraverso modelli simulativi, è possibile individuare e ottimizzare le variabili di processo critiche, garantendo una produzione conforme agli standard di qualità richiesti (Morán-Zabala et al., 2023; Carvajal et al., 2019).
- Riduzione delle inefficienze nei sistemi complessi: i modelli di Simulazione supportano la progettazione di processi produttivi robusti, ottimizzando i flussi operativi e riducendo gli sprechi legati a configurazioni inadeguate (Morán-Zabala et al., 2023).

Questa tecnologia è particolarmente utile per identificare e mitigare i difetti di qualità prima della produzione reale, riducendo i costi associati a rilavorazioni e scarti (Morán-Zabala et al., 2023; Carvajal et al., 2019).

L'AR fornisce un'interfaccia visiva immersiva che integra informazioni digitali sovrapposte al mondo reale. Nell'ambito del processo di gestione della qualità, i vantaggi che apporta riguardano:

- Controllo di qualità visivo-digitale: l'AR consente agli operatori di confrontare modelli virtuali e specifiche tecniche con i prodotti fisici, facilitando l'identificazione di difetti in tempo reale (Ho et al., 2022; Nagy et al., 2018).
- Ispezioni visive assistite: i visori AR guidano gli operatori durante le ispezioni, fornendo istruzioni dettagliate ed evidenziando aree critiche per ridurre il rischio di errori (Ho et al., 2022).
- Formazione interattiva: l'AR migliora la formazione degli operatori, simulando scenari complessi e aumentando la comprensione delle procedure di controllo qualità (Ho et al., 2022).

Questa tecnologia, pertanto, supporta gli operatori durante le attività di controllo qualità, migliorando la precisione e riducendo gli errori umani (Ho et al., 2022; Nagy et al., 2018).

In conclusione, la combinazione di Simulation e Augmented Reality rappresenta un approccio complementare per la gestione della qualità. La Simulazione eccelle nell'identificazione predittiva di problemi e nell'ottimizzazione dei processi a monte, mentre l'AR supporta il controllo qualità durante e dopo la produzione, garantendo ispezioni accurate e formazione avanzata. Se combinate, queste tecnologie migliorano l'efficienza operativa, riducono i costi e aumentano la qualità dei prodotti, rendendole essenziali per l'industria moderna.

3.1.8 Gestione della manutenzione

La gestione della manutenzione rappresenta la gestione degli asset presenti all'interno della fabbrica (includendo sia la manutenzione correttiva sia quella preventiva o predittiva). L'introduzione delle tecnologie dell'Industria 4.0, come i Cyber-Physical Systems e l'Internet of Things, ha trasformato profondamente l'approccio tradizionale alla manutenzione, passando da strategie reattive a soluzioni predittive e automatizzate. Studi di Shaheen e Németh (2022), Longo et al. (2019), Velmurugan et al. (2022) e Neirotti et al. (2018) evidenziano il ruolo cruciale di queste tecnologie nell'ottimizzare i processi di manutenzione, riducendo i tempi di inattività e migliorando la sostenibilità operativa.

I CPS integrano risorse fisiche e digitali in un ecosistema interconnesso, offrendo strumenti avanzati per la raccolta, l'elaborazione e l'utilizzo di dati in tempo reale. Le ricerche condotte da Shaheen e Németh (2022) evidenziano come tali sistemi permettano un controllo continuo dello stato dei macchinari, generando informazioni utili per prevenire malfunzionamenti o guasti improvvisi. Anche gli studi di Longo et al. (2019) identificano nei CPS una risorsa fondamentale per organizzare i flussi informativi, facilitando valutazioni approfondite e azioni mirate. In particolare, si sottolineano i seguenti vantaggi:

- Monitoraggio basato sulle condizioni (*Condition-Based Monitoring*): i CPS raccolgono dati operativi tramite sensori avanzati, monitorando continuamente parametri critici come vibrazioni, temperatura e pressione. Questi dati vengono analizzati per rilevare deviazioni che potrebbero indicare guasti imminenti (Shaheen e Németh, 2022).
- Manutenzione predittiva avanzata: utilizzando algoritmi di apprendimento automatico, i CPS sono in grado di stimare la vita residua utile dei componenti, pianificando interventi preventivi prima che si verifichino guasti critici (Shaheen e Németh, 2022; Longo et al., 2019).
- Automazione degli interventi: i CPS integrano attuatori che possono eseguire regolazioni autonome o interventi correttivi su parametri fuori specifica,

riducendo la necessità di intervento umano e migliorando l'efficienza operativa (Shaheen e Németh, 2022; Longo et al., 2019).

L'integrazione dei CPS nei sistemi di manutenzione offre vantaggi significativi, tra cui una drastica riduzione dei tempi di fermo macchina, un miglioramento della sicurezza e un'ottimizzazione delle risorse. Questo approccio consente alle aziende di passare da una manutenzione correttiva a una manutenzione proattiva, migliorando la resilienza operativa.

L'IoT estende ulteriormente le capacità della gestione della manutenzione, creando un ecosistema di sensori connessi che raccolgono e trasmettono dati operativi in tempo reale. Velmurugan et al. (2022) evidenziano come l'IoT sia fondamentale per il monitoraggio continuo delle condizioni operative delle apparecchiature, supportando decisioni basate sui dati raccolti, mentre Neirotti et al. (2018) descrivono l'IoT come una tecnologia essenziale per rilevare anomalie e ottimizzare la pianificazione degli interventi. In particolare:

- **Acquisizione e strutturazione dei dati industriali per l'analisi della manutenzione:** l'IoT raccoglie enormi volumi di dati da sensori distribuiti, che vengono organizzati e analizzati per identificare schemi di deterioramento e migliorare la precisione degli interventi manutentivi (Velmurugan et al., 2022; Neirotti et al., 2018).
- **Monitoraggio delle anomalie in tempo reale:** i sensori IoT raccolgono una grande quantità di dati che vengono inviati alle piattaforme cloud, nel quale gli algoritmi avanzati analizzano i parametri operativi per identificare eventuali anomalie. Grazie a questo approccio, è possibile inviare notifiche automatiche che permettono interventi tempestivi, riducendo il rischio di guasti critici (Velmurugan et al., 2022; Neirotti et al., 2018).
- **Pianificazione intelligente degli interventi:** integrando i dati IoT con sistemi gestionali (ERP), è possibile ottimizzare la tempistica e l'allocazione delle risorse per interventi più efficienti e meno costosi (Neirotti et al., 2018).

L'IoT, in sintesi, migliora la capacità di rilevare problemi potenziali, riducendo i costi e aumentando la disponibilità operativa. La sua integrazione con altre tecnologie, come i

CPS, amplifica ulteriormente i benefici, rendendo possibile una gestione manutentiva completamente data-driven.

In conclusione, i CPS offrono un'infrastruttura avanzata per il monitoraggio continuo e l'automazione degli interventi, consentendo alle aziende di anticipare i problemi e ottimizzare le risorse, mentre l'IoT estende questa capacità grazie alla raccolta e analisi di dati distribuiti in tempo reale, supportando le decisioni strategiche. Insieme, queste tecnologie consentono di trasformare la manutenzione da una funzione operativa a una leva strategica per migliorare l'efficienza produttiva, la sostenibilità e la competitività aziendale. Gli studi analizzati confermano che questa combinazione tecnologica rappresenta una soluzione indispensabile per affrontare le sfide della manutenzione nell'Industria 4.0.

3.1.9 Gestione delle relazioni con i clienti

La gestione delle relazioni con i clienti (*Customer Relationship Management, CRM*) rappresenta un processo strategico per comprendere meglio le esigenze dei clienti, migliorare la loro esperienza e rafforzarne la fidelizzazione. Con l'espandersi dell'Industria 4.0, l'uso di tecnologie avanzate come i Big Data and Analytics e l'Additive Manufacturing sta trasformando il modo in cui le imprese personalizzano il proprio processo di CRM.

In particolare, i Big Data sono una tecnologia abilitante essenziale per il CRM, poiché offrono alle aziende la possibilità di raccogliere, analizzare e interpretare grandi volumi di dati relativi ai comportamenti, alle preferenze e alle interazioni dei clienti. Ijomah et al. (2024) sottolineano come il *customer profiling* sia reso più efficace grazie ai dati provenienti da fonti eterogenee, come social media, cronologie di acquisto e interazioni dirette. Inoltre, Ijomah et al. (2024) e Zhang et al. (2020) evidenziano che l'analisi avanzata dei Big Data non solo migliora la segmentazione dei clienti, ma facilita anche l'innovazione nei servizi offerti:

- **Profilazione del cliente:** attraverso l'integrazione di dati provenienti da diverse fonti, come social media, acquisti e feedback, si creano profili dettagliati dei clienti per analizzare le loro preferenze. Questo permette di personalizzare offerte e comunicazioni, migliorando il tasso di conversione e scoprendo segmenti di mercato inesplorati, che possono portare all'introduzione di nuove strategie di marketing (Ijomah et al., 2024; Zhang et al., 2020).
- **Innovazione del servizio:** l'analisi predittiva permette di sviluppare servizi innovativi anticipando le esigenze dei clienti. Si ottimizzano i servizi in tempo reale attraverso l'utilizzo di dati operativi raccolti da interazioni precedenti e si migliora l'esperienza del cliente sviluppando soluzioni personalizzate e mirate (Zhang et al., 2020).
- **Fidelizzazione dei clienti:** l'utilizzo di algoritmi predittivi per individuare i clienti a rischio di abbandono, permette di definire strategie personalizzate come offerte promozionali su misura o proposte di fidelizzazione. Inoltre, analizzare le cause

di insoddisfazione risulta fondamentale per migliorare i prodotti e i servizi offerti (Ijomah et al., 2024).

In sintesi, l'uso dei Big Data nel CRM consente alle aziende di passare da un approccio reattivo a uno proattivo, migliorando le relazioni con i clienti e aumentando il loro valore nel lungo termine.

L'Additive Manufacturing offre una soluzione innovativa per soddisfare la crescente domanda di personalizzazione dei prodotti. Questa tecnologia consente di progettare e produrre beni su misura, rispondendo alle specifiche esigenze dei clienti in modo rapido ed efficiente. Khorasani et al. (2022) enfatizzano come l'AM permetta la co-creazione di prodotti personalizzati, migliorando il coinvolgimento del cliente nel processo produttivo; mentre, secondo Turner e Oyekan (2023), i processi produttivi personalizzati consentono l'adozione di strategie di mercato innovative, che contribuiscono a ridurre gli sprechi e a promuovere una maggiore sostenibilità. I principali vantaggi riguardano:

- Personalizzazione del prodotto: la personalizzazione del prodotto viene eseguita attraverso la produzione di articoli su misura, specificamente progettati per soddisfare le necessità particolari dei clienti, come dispositivi medici adattati individualmente o beni di lusso realizzati su specifica commissione (Khorasani et al., 2022).
- Individualizzazione del prodotto: l'individualizzazione del prodotto si manifesta nello sviluppo di design esclusivi destinati a clienti premium o mercati di nicchia. Si integra l'uso di materiali innovativi e tecniche di stampa avanzate per fornire prodotti distintivi. Inoltre, i prodotti vengono adattati alle caratteristiche fisiche o alle esigenze specifiche di singoli clienti, migliorando così la loro utilità e il valore percepito (Turner e Oyekan, 2023).
- Produzione sostenibile: attraverso l'ottimizzazione dell'uso delle risorse, si impiegano tecniche di produzione additiva che riducono gli sprechi rispetto ai metodi tradizionali. Inoltre, si promuove la creazione di filiere più sostenibili mediante la produzione decentralizzata e on-demand, che consente una maggiore efficienza e un minor impatto ambientale (Turner e Oyekan, 2023).

L'AM, pertanto, oltre a migliorare le relazioni tra l'azienda e il cliente, consente anche di rispondere a tendenze emergenti come la sostenibilità e l'economia circolare.

Come dimostrato dagli studi considerati, l'integrazione di queste tecnologie nel CRM rappresenta un cambiamento importante per le aziende moderne, poiché i Big Data permettono un'analisi dettagliata dei clienti, facilitando la personalizzazione dei servizi e migliorando la loro fidelizzazione, mentre l'Additive Manufacturing trasforma il rapporto cliente-azienda, offrendo prodotti su misura che aumentano il valore percepito e migliorano la customer experience. Questa combinazione tecnologica è essenziale per affrontare le sfide del mercato contemporaneo, fornendo strumenti per comprendere meglio i clienti e rispondere in modo efficace alle loro esigenze.

3.1.10 Gestione post-vendita

Il processo di gestione post-vendita (*After-Sales Management*) rappresenta una fase cruciale per le imprese, poiché garantisce la continuità del valore fornito al cliente attraverso attività post-vendita efficienti e personalizzate, comprendendo fasi relative all'assistenza tecnica e alla manutenzione del prodotto, alla gestione dei pezzi di ricambio, al recupero e allo smaltimento dei prodotti alla fine del loro ciclo di vita.

L'impiego del cloud computing permette di centralizzare e gestire in tempo reale dati complessi, in modo da supportare l'esecuzione di numerose attività all'interno del processo di gestione post-vendita. In particolare, si evidenziano le seguenti applicazioni:

- Memorizzazione ed elaborazione dei dati dei prodotti in uso: le soluzioni cloud permettono di raccogliere, archiviare e analizzare i dati relativi all'impiego del prodotto durante l'intero ciclo di vita. Bougdira et al. (2019) evidenziano come tali funzionalità siano in grado di migliorare la manutenzione predittiva e proattiva, poiché consentono di prendere decisioni tempestive e precise basate su dati costantemente aggiornati. Questo approccio migliora sia l'efficienza operativa che la qualità del servizio fornito.
- Gestione e controllo della logistica inversa: la gestione della logistica inversa, ovvero il controllo dei flussi relativi ai resi, beneficia in modo significativo delle piattaforme cloud. Dev et al. (2019) mostrano come il cloud semplifichi la tracciabilità dei prodotti e ottimizzi i processi decisionali legati al recupero di valore dai prodotti restituiti, con un impatto positivo sia economico che ambientale.

In sintesi, il cloud computing si dimostra uno strumento essenziale per rendere il processo di gestione post-vendita più agile e orientato ai dati, migliorando la capacità di rispondere rapidamente alle esigenze dei clienti.

La Realtà Aumentata rivoluziona il modo in cui le aziende offrono supporto post-vendita, combinando interattività e praticità. In particolare, l'applicazione caratterizzante riguarda il supporto remoto:

- Supporto alla manutenzione remota: l'AR consente di fornire supporto visivo e interattivo a distanza, eliminando la necessità di interventi tecnici in loco. Come spiegato da Blanco-Novoa et al. (2018), attraverso dispositivi AR, gli utenti possono ricevere istruzioni precise sovrapposte all'immagine reale, migliorando la comprensione delle operazioni da svolgere e riducendo errori operativi. Questo approccio si dimostra particolarmente utile nei casi di manutenzione complessa o urgente.

Pertanto, grazie alla Realtà Aumentata, è possibile rendere il supporto tecnico più accessibile, efficace e personalizzato, con evidenti benefici sia per i clienti che per le imprese.

In conclusione, l'integrazione di queste tecnologie nel processo di gestione post-vendita rappresenta un'importante opportunità, poiché mentre il cloud garantisce la centralizzazione e l'elaborazione dei dati, l'AR arricchisce l'esperienza degli utenti con strumenti interattivi e intuitivi, migliorando l'efficienza operativa e rafforzando la soddisfazione del cliente.

3.2 Fattori Critici e di Successo per l'Implementazione

Tecnologica

L'implementazione efficace delle tecnologie abilitanti nell'industria manifatturiera è fondamentale per la transizione verso l'Industria 4.0 e 5.0. Tuttavia, questo processo di trasformazione digitale può essere influenzato da numerosi fattori critici, che possono agevolare o ostacolare il percorso. Un'analisi condotta da Pozzi et al. (2023) evidenzia l'importanza di una gestione continua del miglioramento, sottolineando il ruolo determinante della leadership del top management. Questi elementi risultano essere fondamentali per il successo dell'implementazione, in particolare per la formazione di team interfunzionali e per l'esecuzione di attività preparatorie e formative adeguate.

Tra le principali barriere all'adozione di nuove tecnologie emerge la resistenza al cambiamento, che risulta essere un fenomeno spesso radicato nella mancanza di conoscenza o nella paura dell'ignoto, rappresentando un ostacolo significativo (Sony et al., 2021). Tale barriera è confermata da Contieri et al. (2021) che illustrano come, in contesti come il Brasile, la digitalizzazione a livello di *shop-floor* (piano operativo della produzione) e la cybersecurity siano percepite non solo come priorità ma anche come sfide complesse a causa delle mancanze culturali e strutturali presenti nelle aziende. In aggiunta, le competenze tecniche specifiche rappresentano un'altra grande barriera: questo aspetto è stato sottolineato da Dikhanbayeva et al. (2021) nel contesto del Kazakistan, dove l'investimento in capitale umano si è rivelato determinante per superare le difficoltà.

Questi vincoli, che ostacolano i processi di trasformazione digitale, sono stati riscontrati anche nell'analisi svolta da Confindustria (2023): le imprese hanno segnalato come principali barriere la mancanza di competenze (43% del campione analizzato), i costi elevati degli investimenti (42%), una cultura aziendale inadeguata (29%), ma anche la scarsa propensione della filiera all'integrazione (18%) e una conoscenza limitata degli incentivi disponibili (13%).

Per affrontare queste sfide con successo, è fondamentale una leadership con una visione chiara e un forte investimento nella formazione del personale, così da poter sviluppare

le competenze necessarie per l'adozione delle nuove tecnologie. Inoltre, avviare progetti pilota e collaborare con fornitori di tecnologie e consulenti può favorire l'adozione di nuove soluzioni e accelerare il processo di digitalizzazione (Sony et al., 2021).

Il recente report ISTAT del 2023 (Istat, 2023) sulle imprese e l'ICT in Italia mette in luce come i problemi di implementazione precedentemente menzionati si riflettano nella maturità digitale²⁴ delle imprese italiane.

Secondo il report ISTAT, nel 2023 le PMI italiane (10-249 addetti) presentano ritardi significativi nelle attività digitali che richiedono competenze specialistiche avanzate e una maggiore complessità organizzativa. Ad esempio, solo il 25,7% delle PMI utilizza tecniche di analisi dei dati, rispetto al 74,1% delle grandi imprese. Simili divari si riscontrano nell'uso di software gestionali ERP (41,4% contro l'85,0%) e CRM (18,5% contro il 53,4%). Inoltre, la digitalizzazione delle attività legate ai social media (almeno due piattaforme) coinvolge appena il 28,0% delle PMI, contro il 55,0% delle grandi imprese. Anche l'adozione di servizi sofisticati di cloud computing presenta un notevole divario: 54,6% per le PMI contro l'80,1% delle grandi imprese.

A livello di maturità digitale complessiva, il Digital Intensity Index evidenzia che solo il 21,3% delle PMI ha raggiunto un livello avanzato di digitalizzazione, contro il 68,1% delle grandi imprese. Questo dato riflette le difficoltà delle PMI nell'adozione di tecnologie avanzate e nella trasformazione digitale, indicando la necessità di interventi mirati per colmare questo divario.

²⁴ La digitalizzazione aziendale è analizzata attraverso 12 caratteristiche specifiche che compongono il *Digital Intensity Index*, un indicatore composito utilizzato per identificare le aree in cui le imprese italiane ed europee incontrano maggiori difficoltà.

	Attività economiche												10+	250+
	C	D	E	F	G	H	I	J	L	M	N			
1. addetti connessi > 50%	34,0	80,7	33,2	34,4	66,5	50,4	29,4	96,7	66,3	95,1	46,7	47,1	58,3	
2. utilizzo di IA	4,9	16,3	2,9	2,6	3,7	3,5	4,0	21,0	2,7	9,2	6,7	5,0	24,1	
3. velocità BL fissa in download >= 30 Mbit/s	82,6	94,1	86,7	83,0	85,1	82,3	86,1	97,1	89,7	97,2	82,6	84,8	96,9	
4. analisi dei dati effettuata all'interno o all'esterno dell'impresa	29,3	50,7	25,1	15,3	34,4	23,2	14,3	39,1	24,5	33,8	22,7	26,6	74,1	
5. acquisto di servizi di cloud computing	61,2	78,4	58,8	61,7	62,1	57,9	47,2	83,7	68,9	80,6	62,7	61,4	85,7	
6. acquisto di servizi di cloud computing sofisticati o intermedi	56,1	74,7	54,0	54,7	55,0	48,9	40,5	77,8	62,8	77,1	55,5	55,1	80,1	
7. utilizzo di social media	50,6	48,4	49,2	44,5	69,2	37,5	85,3	68,4	43,1	54,4	50,2	57,3	81,4	
8. utilizzo di software ERP	54,2	58,0	43,6	33,1	45,6	34,6	16,1	57,5	34,1	43,9	31,2	42,2	85,0	
9. utilizzo di software CRM	19,2	38,4	16,3	10,2	25,3	14,4	12,0	46,9	16,9	26,2	14,9	19,2	53,4	
10. utilizzo di almeno due social media	24,5	27,0	18,9	15,6	35,6	12,4	54,0	41,6	20,2	24,1	22,4	28,5	55,0	
11. valore vendite online >=1% ricavi tot	10,3	11,4	4,2	3,4	19,7	9,9	30,9	14,3	9,2	6,3	9,5	13,5	37,5	
12. vendite web >1% ricavi tot e B2C >10% ricavi web	3,1	5,4	1,9	1,2	12,6	5,3	30,4	8,4	7,3	2,8	4,4	8,3	13,7	

Legenda Attività economiche: C-ATT. MANIFATTURIERE; D-FORNIT. ENERGIA; E-FORNIT. ACQUA; RETI FOGNARIE, GESTIONE RIFIUTI; F-COSTRUZIONI; G-COMM. INGROSSO E DETTAGLIO; H-TRASPORTO E MAGAZZINAGGIO; I- SERVIZI DI ALLOGGIO E RISTORAZIONE; J-SERVIZI DI INFORMAZIONE E COMUNICAZIONE; L-ATTIVITÀ IMMOBILIARI; M-ATTIVITÀ PROFESSIONALI, SCIENTIFICHE E TECNICHE; N-NOLEGGIO, AGENZIE VIAGGIO, SUPPORTO ALLE IMPRESE.

Figura 19: Indicatori della transizione digitale italiana. Anno 2023, valori percentuali. Fonte: Istat (2023)

Questi risultati sono confermati anche dall'analisi condotta dai Digital Innovation Hub di Confindustria (Confindustria, 2023), che conferma come la maturità digitale delle imprese italiane si attesti a una media di 2,85 su una scala da 1 a 5. In particolare, il livello di digitalizzazione delle micro e piccole imprese è minore rispetto alle medio-grandi, principalmente a causa di carenze nelle competenze e nella cultura aziendale. Un ulteriore dato significativo emerso dall'analisi è che solo un terzo delle imprese considera l'Industria 4.0 parte integrante della propria strategia aziendale, e meno della metà ritiene di avere una cultura aziendale matura per affrontare questa transizione.

Secondo Confindustria, è fondamentale accelerare l'integrazione delle filiere produttive per favorire la competitività e sostenere la transizione digitale ed ecologica. Inoltre, il vicepresidente di Confindustria per il Digitale, Agostino Santoni, sottolinea l'importanza di sviluppare un'*Economia dei Dati*, valorizzando le informazioni raccolte attraverso tecnologie come l'Internet of Things e il cloud. Questa visione, definita *evoluzione naturale del 4.0*, richiede la creazione di competenze adeguate attraverso percorsi formativi e programmi di *upskilling* e *reskilling*.

Questi dati e analisi confermano come il divario digitale tra le PMI e le grandi imprese rappresenti un ostacolo significativo per la competitività del tessuto produttivo italiano. Interventi strategici, politiche mirate e una maggiore collaborazione tra pubblico e privato sono indispensabili per colmare questo divario e promuovere una trasformazione digitale inclusiva e sostenibile.

4

L'impatto dei distretti industriali: evidenze empiriche

L'obiettivo di questo capitolo è analizzare e comprendere se l'appartenenza ad un distretto industriale possa o meno rappresentare una variabile rilevante nel determinare differenze tra le imprese. La ricerca si propone di valutare in che modo essa influisca sull'accesso agli incentivi, sulla loro efficacia nei processi aziendali e sull'impatto dell'adozione delle tecnologie abilitanti in termini di competitività dell'azienda sul mercato.

La trattazione si articola in tre sezioni principali:

- Nella prima parte, è descritta la metodologia seguita per poter rispondere alle domande di ricerca. Sono illustrati il processo di costruzione del questionario, le modalità di raccolta dei dati, i criteri adottati per definire la popolazione di riferimento e il campione ottenuto, verificandone la rappresentatività rispetto al contesto di riferimento.
- Nella seconda parte, sono presentate le analisi statistiche condotte sui dati raccolti approfondendo empiricamente le tre domande chiave del questionario.
- Nella terza parte, sono esposti commenti qualitativi, le principali conclusioni tratte dallo studio, le limitazioni della ricerca e possibili spunti per futuri approfondimenti.

4.1 Metodologia e Obiettivi della Ricerca

4.1.1 Creazione questionario

In questo lavoro di tesi, è stato realizzato un questionario, prendendo come riferimento quello dell'INAPP (Istituto Nazionale per l'Analisi delle Politiche Pubbliche) *Rilevazione Imprese e Lavoro RIL*, con l'obiettivo di raccogliere informazioni sulle dinamiche di innovazione, accesso agli incentivi, evoluzione occupazionale e sostenibilità all'interno delle imprese oggetto di analisi.

Lo strumento di raccolta dati (*vedere Allegato 1 per il testo completo*) si focalizza su quattro macroaree principali: innovazione, incentivi, lavoro e transizione green, come evidenziato di seguito:

- **Innovazione:** è stato indagato se l'azienda ha praticato innovazioni nella gamma dei prodotti, dei servizi e nei processi aziendali negli ultimi sei anni (2019-2023), con domande specifiche volte a comprendere le tecnologie adottate, i principali benefici riscontrati e le barriere che hanno rallentato o ostacolato la trasformazione digitale dell'impresa.
- **Incentivi:** è stata analizzata l'adozione degli incentivi disponibili, il loro impatto in termini di realizzazione degli investimenti in tecnologie, in che misura hanno contribuito a migliorare l'efficienza dei processi produttivi e la difficoltà di accesso per l'azienda.
- **Lavoro:** si è esaminata l'evoluzione della struttura occupazionale delle imprese, in termini di variazione dei profili professionali ricercati e di età dei dipendenti assunti negli anni 2019-2023. Inoltre, è stato dedicato uno spazio specifico alla formazione e all'aggiornamento professionale, cercando di valutare se le imprese abbiano attivato percorsi formativi per preparare i dipendenti alla trasformazione digitale e tecnologica in corso.
- **Tecnologie green:** si è approfondito l'utilizzo degli incentivi dedicati alla transizione ecologica, analizzando se e in che misura le imprese abbiano usufruito di agevolazioni per investimenti in sostenibilità. Un focus specifico è stato dedicato ai benefici percepiti derivanti da questi investimenti, valutando la

riduzione delle emissioni di CO₂, il risparmio energetico e l'abbattimento dei costi operativi.

Questa strutturazione ha permesso di raccogliere dati interessanti e coerenti con gli obiettivi della ricerca, fornendo informazioni per rispondere alle tre domande di ricerca poste nel questionario (B7, B5 e A7), che risultano essere:

- B7: L'accesso agli incentivi è stato semplice?
- B5: In che misura gli incentivi hanno contribuito a migliorare l'efficienza dei processi aziendali?
- A7: Quanto ritiene che l'adozione delle tecnologie 4.0 abbia migliorato la competitività della sua azienda sul mercato?

4.1.2 Popolazione di riferimento

Per decidere le aziende a cui inviare il questionario, è stato utilizzato il tool Aida²⁵ e sono stati adottati criteri mirati a garantire la rappresentatività e la rilevanza dei dati raccolti.

I criteri di selezione sono stati i seguenti (*vedere Allegato 2 per la strategia di ricerca*):

- Ubicazione geografica: le aziende selezionate sono localizzate nelle province di Cuneo, Alessandria e Asti, su cui si estende il distretto considerato nello studio, *Vini di Langhe, Roero e Monferrato*²⁶.
- Codici ATECO: sono stati considerati solo i codici ATECO rilevanti, concentrandosi sulle imprese che operano nella produzione di beni strategici per l'adozione delle tecnologie 4.0 e 5.0.

In particolare, sono stati considerati i seguenti settori della classificazione:

- 28.1: Fabbricazione di macchine di impiego generale.
- 28.2: Fabbricazione di altre macchine di impiego generale.
- 28.3: Fabbricazione di macchine per l'agricoltura e la silvicoltura.
- 28.4: Fabbricazione di macchine per la formatura dei metalli e di altre macchine utensili.
- 28.9: Fabbricazione di altre macchine per impieghi speciali.
- 29.1: Fabbricazione di autoveicoli.

²⁵ Database con dati finanziari e software per l'analisi immediata delle aziende italiane. Aida consente la ricerca, la consultazione, l'analisi e l'elaborazione delle informazioni economico-finanziarie, anagrafiche e commerciali di tutte le società di capitali che operano in Italia.

²⁶ Per fornire un quadro generale sul distretto vitivinicolo di Langhe, Roero e Monferrato, nel 2024 si è registrato un calo delle esportazioni del 3,5%, in parte dovuto alla flessione dei consumi nei mercati internazionali e alla crescente concorrenza globale. La continua innovazione nelle pratiche agricole e la crescente attenzione verso la sostenibilità ambientale sono state scelte strategiche per rispondere alle sfide del mercato e rafforzare la competitività (Galleri, 2024). Inoltre, le iniziative di digitalizzazione e l'adozione di tecnologie avanzate, sostenute anche dagli incentivi 4.0 e 5.0, hanno permesso a molte aziende del distretto di ottimizzare i processi produttivi e di migliorare la qualità del prodotto (Centro Studi Confindustria Piemonte, 2024).

- 29.2: Fabbricazione di carrozzerie per autoveicoli; fabbricazione di rimorchi e semirimorchi.

Questa selezione è stata effettuata per garantire la comparabilità tra le aziende analizzate. Il distretto vinicolo delle Langhe, Roero e Monferrato è caratterizzato da una forte presenza di cantine vinicole, ma il confronto con aziende del settore manifatturiero meccanico avrebbe potuto portare a risultati distorti. Per questa ragione, si è scelto di concentrarsi su imprese operanti nello stesso ambito produttivo, facilitando così l'analisi dell'adozione tecnologica e degli incentivi.

- Requisiti di dimensione: sono state incluse solo le aziende con almeno tre dipendenti, garantendo così la partecipazione di imprese strutturate con una certa stabilità operativa.
- Disponibilità dei bilanci: è stato richiesto che le aziende avessero i bilanci disponibili per gli ultimi cinque anni, selezionando così solo quelle con almeno cinque anni di operatività, escludendo le imprese di recente costituzione.

A partire da questi criteri, sono state individuate 283 aziende, di cui 5 sono state eliminate in quanto risultavano in stato di liquidazione e quindi non idonee all'analisi. Il totale della popolazione oggetto di studio è quindi di 278 aziende, che è stato suddiviso per dimensione aziendale (micro, piccole, medie e grandi) e per appartenenza al distretto. Ogni azienda, infatti, è stata classificata manualmente per determinare se appartenesse al distretto dei vini delle Langhe, Roero e Monferrato, in base alla tipologia di prodotti e macchinari offerti. In particolare, sono state considerate appartenenti al distretto tutte le aziende legate alla filiera del vino: produttrici di macchine agricole, di attrezzature per la vinificazione, di produzione di bottiglie di vetro, di macchine per l'imbottigliamento, di produzione di tappi di sughero, di celle refrigerate per il trasporto di liquidi e affini.

Questa classificazione ha permesso di suddividere la popolazione totale di 278 aziende in 104 appartenenti al distretto e 174 esterne, come mostrato in *figura 20*.

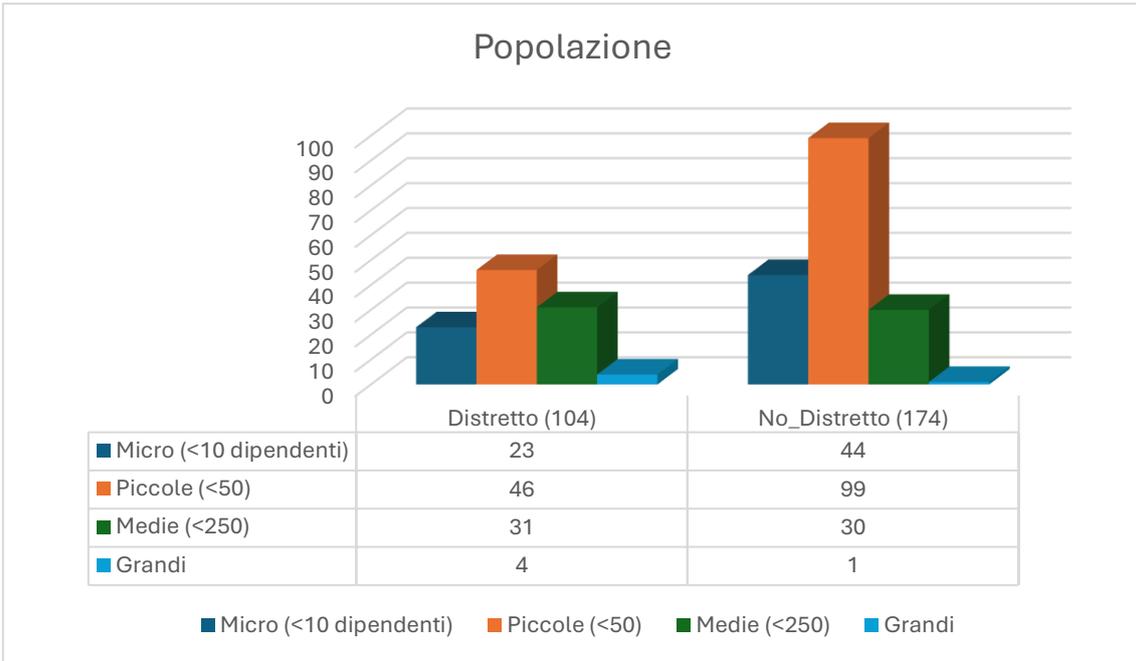


Figura 20: Suddivisione della popolazione per appartenenza al distretto e per dimensione

4.1.3 Campione analizzato

Il questionario è stato inviato via e-mail tra il 1° dicembre 2024 e il 15 gennaio 2025 e, con un tasso di risposta inferiore al 33%, hanno risposto 90 aziende, ottenendo la suddivisione mostrata in *figura 21*.

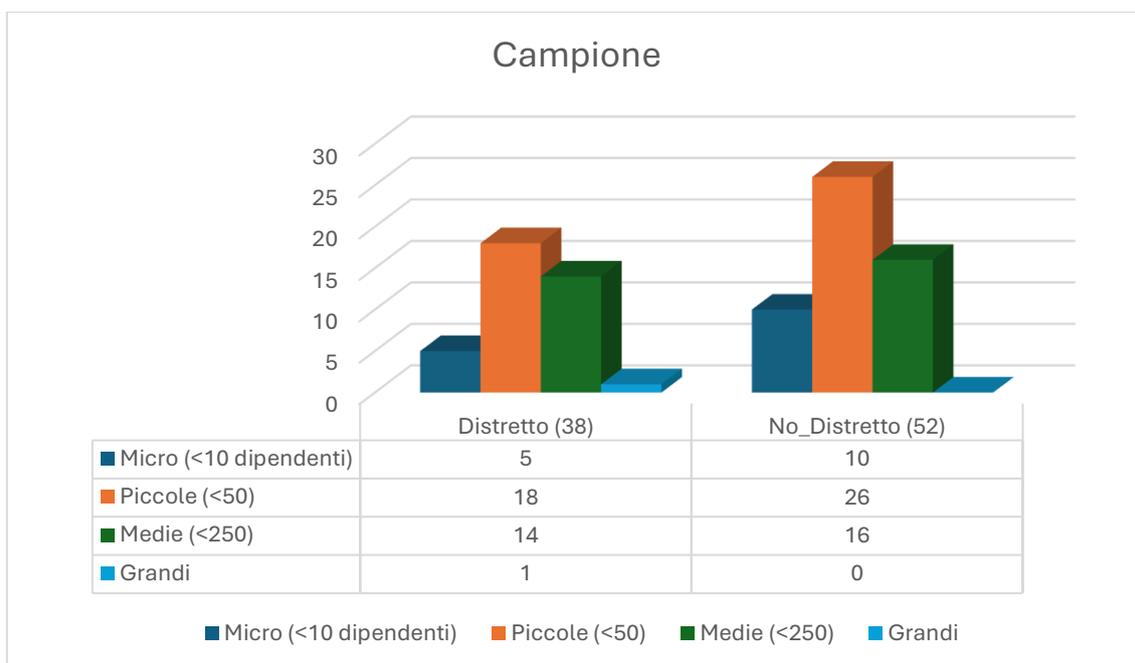


Figura 21: Suddivisione del campione ottenuto per appartenenza al distretto e per dimensione

Dalle risposte ottenute, è stata esclusa la risposta proveniente dalla grande impresa appartenente al distretto, sia perché la popolazione totale di riferimento per questa classe dimensionale risulta essere molto ridotta (solo cinque aziende, come mostrato in *figura 20*), sia per evitare che la presenza di una singola osservazione in questa categoria potesse distorcere i risultati, generando una distribuzione non confrontabile con le altre classi dimensionali. Il campione utilizzato per le analisi, pertanto, è quello mostrato in *figura 22*.

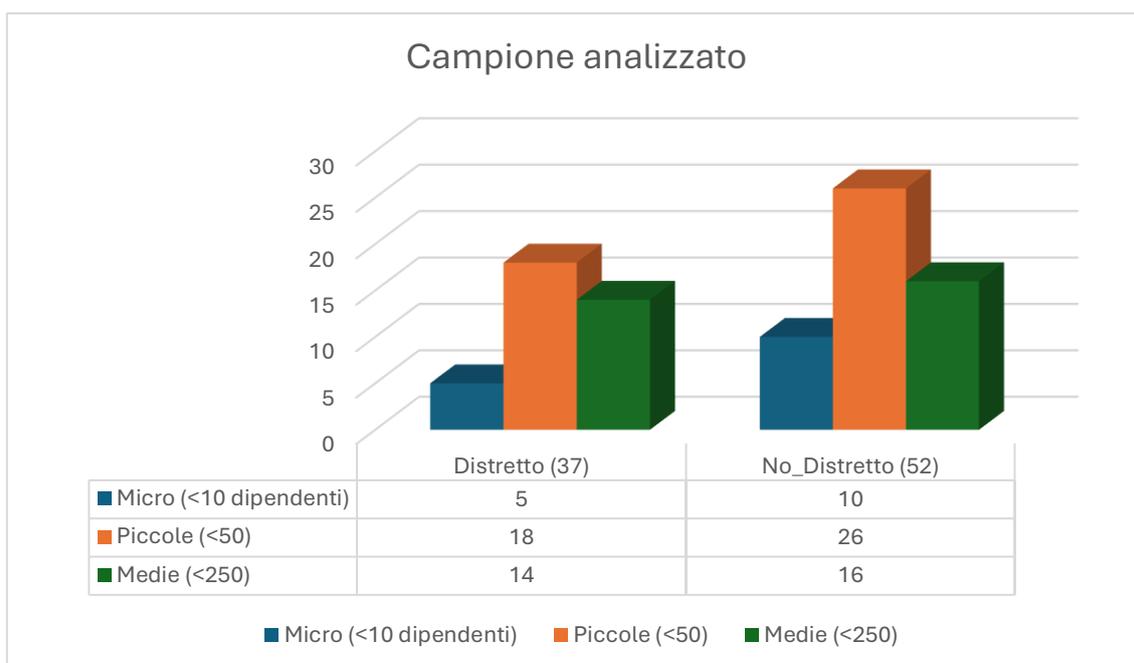


Figura 22: Suddivisione del campione analizzato per appartenenza al distretto e per dimensione

Prima di procedere con le analisi dei dati raccolti per rispondere alle domande di ricerca, si è reso necessario verificare la rappresentatività del campione di aziende analizzato rispetto alla popolazione di riferimento. A tal fine, è stato condotto il test non parametrico del chi-quadrato di bontà di adattamento (*Goodness-of-Fit Test*) per valutare se le frequenze osservate nel campione fossero coerenti con le frequenze attese della popolazione.

Il test è stato condotto con il seguente modello:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

Dove k è il numero di categorie, O_i rappresenta la frequenza osservata in ciascuna categoria ed E_i la frequenza attesa.

Le ipotesi nel test del chi-quadrato Goodness-of-Fit sono le seguenti:

- H_0 : la distribuzione dei dati del campione si adatta alla distribuzione dei dati della popolazione.
- H_1 : altrimenti.

Se il test non rileva differenze significative, si può ritenere che il campione sia ben allineato alla popolazione e quindi utilizzabile per le analisi successive.

Per svolgere il test, sono state considerate sei categorie per consentire di analizzare separatamente il comportamento delle diverse classi dimensionali d'impresa in funzione della loro appartenenza o meno al distretto industriale di riferimento, come mostrato in *tabella 1*:

	Distretto (campione)	Distretto (popolazione)	No_Distretto (campione)	No_Distretto (popolazione)
Micro	5	23	10	44
Piccole	18	46	26	99
Medie	14	31	16	30

Tabella 1: Suddivisione del campione analizzato e della popolazione per appartenenza al distretto e per dimensione

Le frequenze attese sono state calcolate applicando la formula standard per il test di Goodness-of-Fit, che confronta la distribuzione del campione con quella della popolazione di riferimento. Per ciascuna categoria considerata, la frequenza attesa è stata determinata come:

$$E_i = \frac{\text{Frequenza della categoria nella popolazione}}{\text{Totale popolazione}} * \text{Totale campione},$$

dove E_i rappresenta la frequenza attesa per la categoria i ; la frequenza della categoria nella popolazione è il numero di osservazioni registrate nella popolazione di riferimento per quella categoria; il totale della popolazione è la somma complessiva delle osservazioni nelle diverse categorie (273) e il totale del campione corrisponde alla

somma delle osservazioni campionate. Questo metodo assicura che le frequenze attese riflettano la distribuzione proporzionale della popolazione all'interno del campione.

	O _i Distretto	E _i Distretto	O _i No_Distretto	E _i No_Distretto
Micro	5	7,498	10	14,344
Piccole	18	14,996	26	32,274
Medie	14	10,106	16	9,780

Tabella 2: Frequenze osservate e frequenze attese suddivise per appartenenza al distretto e per dimensione

I risultati ottenuti sono:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^6 \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = 9,4255$$

$$p\text{-value} = 0,0932$$

Nel test del chi-quadro di Goodness-of-Fit, i gradi di libertà g.d.l. rappresentano il numero di categorie indipendenti che possono variare senza vincoli, una volta fissati i totali. In questo caso, poiché il test confronta la distribuzione osservata con quella attesa senza stimare alcun parametro aggiuntivo, i gradi di libertà sono determinati come:

$$\text{g. d. l.} = k - 1$$

Poiché si hanno sei categorie, il numero di gradi di libertà è dato da:

$$\text{g. d. l.} = 6 - 1 = 5$$

Per determinare se la statistica calcolata sia significativa, è necessario confrontarla con il valore critico della distribuzione chi-quadrato per il livello di significatività scelto. I valori critici della distribuzione sono ottenuti dalle tavole della distribuzione e, nel caso di cinque gradi di libertà, il valore critico risulta essere:

$$\text{Per } \alpha=0.05 \text{ (95\% di confidenza), } \chi_{0,05;5}^2 = 11,07$$

Nel test condotto, la statistica ottenuta è pari a 9,4255 che risulta inferiore a 11,07 e il p-value di 0,0932 risulta superiore al livello di significatività comunemente adottato ($\alpha = 0,05$). Pertanto, non vi sono evidenze sufficienti per rifiutare l'ipotesi nulla e, in altri termini, i risultati suggeriscono che i dati osservati nel campione non si discostano in modo significativo dalla distribuzione teorica di riferimento, supportando l'idea che il campione possa essere considerato un'adeguata approssimazione della popolazione di interesse, permettendo di procedere con le analisi successive.

4.2 Analisi Statistiche

4.2.1 Prima domanda di ricerca

La domanda B7 *L'accesso agli incentivi è stato semplice?* è stata inserita nel questionario al fine di valutare la percezione della facilità di accesso da parte delle aziende. In particolare, l'obiettivo è verificare se le aziende appartenenti al distretto abbiano riscontrato un accesso più agevole rispetto a quelle non appartenenti. A tal proposito, è stata richiesta una valutazione su una scala ordinale a quattro livelli:

- Molto semplice
- Abbastanza semplice
- Complesso
- Molto complesso

A ciascun livello è stato associato un valore numerico (0, 1, 2, 3) che riflette l'ordine crescente del grado di complessità percepita. Si sottolinea tuttavia che, trattandosi di una scala ordinale, non è garantita un'equidistanza tra le categorie (ad esempio, lo scarto tra 0 e 1 potrebbe non corrispondere allo scarto tra 1 e 2) e, ai fini delle analisi statistiche, si assume ipoteticamente che ciascun intervallo abbia la stessa ampiezza.

Le risposte, classificate in base all'appartenenza o meno al distretto, sono riportate in *tabella 3*.

	Distretto	No_Distretto
Molto semplice (0)	0	0
Abbastanza semplice (1)	8	4
Complesso (2)	17	19
Molto complesso (3)	12	29

Tabella 3: Frequenze delle risposte alla domanda B7 suddivise per appartenenza al distretto

4.2.1.1 Test Mann Whitney U

Poiché i dati rilevati sono di natura ordinale e l'obiettivo principale consiste nel confrontare due gruppi (aziende appartenenti al distretto e aziende non appartenenti), si è optato per l'impiego di tecniche non parametriche. Tali metodologie risultano appropriate qualora non sia possibile garantire l'assunzione di normalità e la variabile osservata non sia di tipo continuo (come accade, ad esempio, in presenza di scale ordinali). In particolare, uno strumento comune per confrontare due gruppi indipendenti in presenza di dati ordinali o non normalmente distribuiti è il test di *Mann-Whitney U*. Le principali assunzioni da rispettare per l'applicazione del test risultano essere:

- La variabile dipendente deve essere almeno ordinale: la variabile dipendente (difficoltà accesso agli incentivi nell'analisi in esame) deve essere espressa con valori numerici.
- La variabile indipendente deve essere dicotomica: nello studio in esame, la variabile indipendente è rappresentata dall'appartenenza o meno al distretto.
- Indipendenza delle osservazioni: i due gruppi (Distretto e No_Distretto) devono essere tra di loro reciprocamente indipendenti e, all'intero di ciascun gruppo, le singole osservazioni devono essere indipendenti l'una dall'altra.

L'ipotesi nulla H_0 è che non vi è differenza tra i due gruppi in termini di distribuzione (o di posizione mediana), mentre l'ipotesi alternativa H_1 prevede che vi sia una differenza significativa nella distribuzione (o nella posizione mediana) tra i due gruppi.

Il calcolo del test di Mann-Whitney U prevede la combinazione di tutte le osservazioni provenienti dai due gruppi in un unico set di dati. Tale insieme viene quindi ordinato in senso crescente, al fine di assegnare a ciascun valore un rango (*rank*) e, in presenza di osservazioni identiche (*tie*), viene attribuito il medesimo rango medio.

Successivamente, i dati, correttamente ordinati e muniti di rango, vengono suddivisi nuovamente nei due gruppi originari. Per ciascun gruppo si procede al calcolo della somma dei ranghi, indicata rispettivamente con R_1 e R_2 , annotando contestualmente le dimensioni campionarie (n_1, n_2) di ciascun gruppo.

La statistica U viene quindi calcolata attraverso le seguenti formule:

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1 + 1)}{2},$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2 + 1)}{2},$$

dove U_1 e U_2 rappresentano rispettivamente la statistica calcolata per il primo e per il secondo gruppo. Per facilitare l'interpretazione, si adotta generalmente $\min(U_1, U_2)$ quale valore di sintesi, in quanto tale statistica quantifica il grado di separazione tra le distribuzioni dei due gruppi.

Il p-value associato al test viene ottenuto confrontando il valore osservato di U con la distribuzione teorica di riferimento della statistica Mann-Whitney U. Per campioni di dimensioni sufficientemente grandi, è possibile utilizzare l'approssimazione normale mentre per campioni di piccole dimensioni, si fa ricorso alla distribuzione esatta di U. Il p-value rappresenta la probabilità, sotto l'ipotesi nulla di assenza di differenze tra i gruppi, di osservare un valore di U almeno altrettanto estremo quanto quello rilevato. Se tale probabilità risulta inferiore al livello di significatività stabilito (ad esempio, $\alpha=0,05$) si rigetta l'ipotesi nulla, concludendo che vi è una differenza statisticamente significativa nella distribuzione della variabile in esame tra i due gruppi.

L'analisi statistica mediante il test di Mann-Whitney U ed eseguita con calcolo esatto sul software Python tramite il comando `stats.mannwhitneyu`, ha prodotto i seguenti risultati:

$$U = 695,5 \text{ e } p = 0,02657$$

	Distretto	No_Distretto
Somma Ranghi	1398,5	2606,5
Rango Medio	37,797	50,125
Statistica U	695,5	1228,5
Mediana	2	3
Media	2,108	2,48
Deviazione Standard	0,737	0,641

Tabella 4: Risultati del test di Mann Whitney U relativamente alla domanda B7

I valori ottenuti evidenziano una differenza statisticamente significativa al livello del 95% tra le aziende appartenenti ai distretti industriali e quelle situate al di fuori degli stessi, relativamente alla difficoltà percepita per l'accesso agli incentivi.

In particolare, il rango medio, la mediana e la media dei punteggi delle aziende distrettuali risultano inferiori rispetto a quelli delle aziende non appartenenti, a dimostrazione del fatto che le imprese considerate, se localizzate nel distretto industriale dei vini delle Langhe, Roero e Monferrato, incontrano minori difficoltà nell'accesso agli incentivi rispetto alle controparti esterne.

L'evidenza statistica ottenuta supporta l'ipotesi secondo cui le aziende appartenenti ai distretti percepiscono una maggiore facilità di accesso agli incentivi per l'innovazione e la trasformazione tecnologica.

4.2.1.2 Modello Logit Ordinale

Tuttavia, sebbene il test di Mann-Whitney U abbia evidenziato una relazione significativa tra l'appartenenza al distretto e la difficoltà di accesso agli incentivi, questa analisi si limita a una distinzione dicotomica tra imprese situate dentro e fuori dai distretti.

Per approfondire ulteriormente la questione, si è ritenuto necessario considerare anche la dimensione aziendale, poiché la letteratura suggerisce che imprese di dimensioni diverse possano avere capacità differenti nell'accesso alle agevolazioni pubbliche, sia in termini di risorse amministrative disponibili per la richiesta degli incentivi, sia per la struttura organizzativa e la capacità di investimento.

Per questo motivo, è stata condotta una seconda analisi che, oltre a considerare la dicotomia Distretto/No_Distretto, ha introdotto la variabile dimensionale, distinguendo tra micro, piccole e medie imprese. L'obiettivo era verificare l'eventuale interazione tra questi due fattori e comprendere come la loro combinazione influenzasse la percezione della difficoltà di accesso agli incentivi.

Di conseguenza, si è adottato un modello di regressione logistica ordinale, adatto all'analisi di una variabile dipendente ordinale, in cui le categorie seguono un ordine intrinseco. Questo approccio consente di stimare la probabilità cumulativa che un'osservazione appartenga a una determinata categoria o a una inferiore, senza imporre vincoli sugli spazi tra i livelli.

L'interpretazione dei coefficienti avviene attraverso gli *odds ratio*²⁷, che quantificano l'effetto delle variabili esplicative sulla probabilità di percepire difficoltà nell'accesso agli incentivi. In particolare, il modello assume la proporzionalità degli odds, ovvero che l'effetto delle variabili indipendenti sia costante su tutte le soglie che separano le categorie dell'outcome. Inoltre, si presuppone l'indipendenza delle osservazioni e si verifica l'assenza di multicollinearità tra i predittori, condizioni necessarie per garantire la robustezza delle stime.

²⁷ Gli odds rappresentano il rapporto tra la probabilità che un evento si verifichi e quella che non si verifichi. Nel modello logit, ogni coefficiente esprime la variazione nei log-odds per un incremento unitario del predittore. Questo consente di interpretare in maniera intuitiva l'effetto relativo dei fattori esplicativi sul fenomeno analizzato.

In sintesi, l'adozione della regressione logistica ordinale rappresenta la scelta metodologica più adeguata al contesto di analisi, permettendo di esaminare in modo coerente l'effetto combinato della dimensione aziendale e dell'appartenenza a un distretto industriale sulla difficoltà percepita di accesso agli incentivi.

La suddivisione dei dati per categoria di impresa e livello di difficoltà di accesso agli incentivi è riportata nella *tabella 5*.

	Distretto	No_Distretto
Micro (0)	Complesso: 2 risposte Molto Complesso: 3	Complesso: 3 Molto Complesso: 7
Piccole (1)	Complesso: 10 Molto Complesso: 8	Complesso: 9 Molto Complesso: 17
Medie (2)	Abbastanza semplice: 8 Complesso: 5 Molto Complesso: 1	Abbastanza semplice: 4 Complesso: 7 Molto Complesso: 5

Tabella 5: Classificazione delle risposte al questionario in merito alla domanda B7, suddivise per classe dimensionale e per appartenenza al distretto

Prima di procedere con la stima del modello, si è reso necessario controllare l'assenza di multicollinearità per poter utilizzare la regressione logistica ordinale. A tal fine, è stato calcolato il *Variance Inflation Factor* (VIF), che quantifica il livello di correlazione lineare tra ciascuna variabile indipendente presente nel modello. Un valore di VIF superiore a cinque potrebbe indicare un problema di multicollinearità, compromettendo l'affidabilità delle stime.

Per calcolare il VIF in Python, si è utilizzata la funzione *variance_inflation_factor* della libreria *statsmodels*, che richiede come input una matrice contenente le variabili indipendenti. Il risultato ottenuto è pari a:

$$\text{VIF} = 1,0051$$

Il valore del Variance Inflation Factor (VIF) conferma l'assenza di problemi di multicollinearità tra le variabili *Distretto* e *Dimensione*, con valore molto vicino a 1. Questo indica che le due variabili non sono fortemente correlate tra loro, garantendo l'affidabilità delle stime del modello.

Dopo aver verificato l'assenza di problemi di multicollinearità tra le variabili indipendenti, si è proceduto alla stima del modello logit ordinale, la cui retta stimata assume la forma:

$$\log\left(\frac{P(Y \leq k)}{P(Y > k)}\right) = \alpha_k - \beta_1 * \text{Distretto} - \beta_2 * \text{Dimensione}$$

Dove:

- $\log\left(\frac{P(Y \leq k)}{P(Y > k)}\right)$ rappresenta il logaritmo degli odds cumulativi, ovvero il rapporto tra la probabilità di trovarsi in una categoria $\leq k$ e la probabilità di trovarsi in una categoria superiore.
- α_k è la soglia che definisce il punto di transizione tra le categorie. In particolare, nel modello, α_1 rappresenta la prima soglia, oltre la quale un'osservazione ha maggiore probabilità di appartenere alla categoria 2 (Complesso) piuttosto che rimanere nella categoria 1 (Abbastanza semplice). α_2 , invece, è la seconda soglia e definisce il punto a partire dal quale la probabilità di trovarsi nella categoria 3 (Molto complesso) diventa maggiore rispetto alla probabilità di appartenere alle categorie 1 o 2.
- β_1 è il coefficiente della variabile *distretto*, che indica come varia il logaritmo degli odds al variare dell'appartenenza a un distretto industriale.
- β_2 è il coefficiente associato alla variabile *dimensione*, che misura l'effetto della classe dimensionale dell'azienda sulla percezione della difficoltà di accesso agli incentivi.

Per stimare il modello logit ordinale è stato utilizzato il comando *OrderedModel* in Python, specificando le variabili indipendenti e la variabile dipendente. I risultati della regressione sono riportati in *tabella 6*.

	Coefficiente	Standard error	Z	p-value
Distretto	-0,8415	0,439	-1,918	0,055
Dimensione	-1,5534	0,377	-4,124	0,0001
Soglia 1-2 α_1	-4,4414	0,720	-6,165	0,0001
Soglia 2-3 α_2	0,8858	0,160	5,547	0,0001

Tabella 6: Output ottenuto in Python della logit ordinale

Le due rette stimate risultano essere:

$$\log\left(\frac{P(Y \leq 1)}{P(Y > 1)}\right) = -4,4414 + 0,8415 * \text{Distretto} + 1,5534 * \text{Dimensione}$$

$$\log\left(\frac{P(Y \leq 2)}{P(Y > 2)}\right) = 0,8858 + 0,8415 * \text{Distretto} + 1,5534 * \text{Dimensione}$$

I risultati della regressione logit ordinale confermano che sia l'appartenenza a un distretto industriale sia la dimensione aziendale influenzano la percezione della difficoltà nell'accesso agli incentivi.

In particolare, il coefficiente associato alla variabile *distretto* risulta negativo e marginalmente significativo al livello del 10% ($\beta_1 = -0,8415$ e $p = 0,055$), suggerendo che un'azienda che appartiene a un distretto registra un aumento di 0,8415 negli odds cumulativi, ossia una maggiore probabilità di appartenere ad una categoria inferiore, che corrisponde a una percezione di accesso agli incentivi più semplice.

Analogamente, la variabile *dimensione* mostra un effetto negativo altamente significativo ($\beta_2 = -1,5534$ e $p = 0,0001$). Questo risultato suggerisce che, all'aumentare della dimensione aziendale, l'azienda incrementa di 1,5534 per unità l'odds cumulativo di essere classificata in una categoria inferiore, cioè di percepire l'accesso agli incentivi meno complesso.

Le soglie del modello, pari a $\alpha_1 = -4,4414$ e $\alpha_2 = 0,8858$, definiscono i punti di separazione tra le categorie della variabile dipendente. In particolare, il fatto che la prima soglia sia molto negativa implica che la probabilità di appartenere alla prima categoria sia molto bassa. Di conseguenza, la maggior parte delle imprese tende a percepire l'accesso agli incentivi come complesso. Al contrario, il valore positivo della seconda soglia indica che solo alcune aziende, con caratteristiche specifiche, raggiungono livelli di difficoltà percepita più elevati.

È opportuno sottolineare, inoltre, che nel modello logit ordinale analizzato, la soglia tra la categoria *molto semplice* e quella successiva non è stata stimata, poiché nessun rispondente ha selezionato l'opzione *molto semplice* in risposta alla domanda. In altre parole, quella categoria risulta inesistente nei dati, rendendo impossibile assegnare un'osservazione ad essa.

Dopo aver interpretato i coefficienti della regressione logit ordinale, è stato possibile calcolare la probabilità che un'azienda appartenga a ciascuna delle categorie della variabile dipendente.

Nel modello logit ordinale, la probabilità cumulativa fino alla categoria k è espressa dalla funzione:

$$P(Y \leq k) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha_k + 0,8415 * Distretto + 1,5534 * Dimensione)}}$$

Considerando la variabile *distretto* come una dummy pari a 1 se l'azienda appartiene al contesto distrettuale dei vini delle Langhe, Roero e Monferrato e 0 altrimenti, e *dimensione* una variabile che assume valore 0 per le aziende micro, 1 per le piccole e 2 per le medie, le probabilità si possono calcolare come segue:

- Probabilità di appartenere alla categoria 1 *Abbastanza semplice*:

$$P(Y = 1) = P(Y \leq 1)$$

- Probabilità di appartenere alla categoria 2 *Complesso*:

$$P(Y = 2) = P(Y \leq 2) - P(Y \leq 1)$$

- Probabilità di appartenere alla categoria 3 *Molto complesso*:

$$P(Y = 3) = 1 - P(Y \leq 2)$$

Ai fini di comprensione, si mostrano i passaggi per calcolare le probabilità di appartenenza alla tre categorie per una media azienda (*dimensione=2*) appartenente al distretto industriale (*distretto=1*). Gli altri risultati sono mostrati in *tabella 7*.

$$\log\left(\frac{P(Y \leq 1)}{P(Y > 1)}\right) = -4,4414 + 0,8415 * 1 + 1,5534 * 2 = -0,4931$$

$$\log\left(\frac{P(Y \leq 2)}{P(Y > 2)}\right) = 0,8858 + 0,8415 * 1 + 1,5534 * 2 = 4,8341$$

$$P(Y \leq 1) = \frac{1}{1 + e^{-(-0,4931)}} = 0,379$$

$$P(Y \leq 2) = \frac{1}{1 + e^{-(4,8341)}} = 0,992$$

Pertanto, le probabilità di appartenere ad ogni categoria risultano essere:

$$P(Y = 1) = P(Y \leq 1) = 0,379 = 37,9\%$$

$$P(Y = 2) = P(Y \leq 2) - P(Y \leq 1) = 0,992 - 0,379 = 61,3\%$$

$$P(Y = 3) = 1 - P(Y \leq 2) = 1 - 0,992 = 0,8\%$$

	Distretto	Dimensione	Prob(Y=1)	Prob(Y=2)	Prob(Y=3)
Micro Distretto	1	0	2,7%	82,2%	15,1%
Micro No_Distretto	0	0	1,2%	69,9%	29,2%
Piccola Distretto	1	1	11,5%	84,9%	3,6%
Piccola No_Distretto	0	1	5,3%	86,6%	8,1%
Media Distretto	1	2	37,9%	61,3%	0,8%
Media No_Distretto	0	2	20,9%	77,3%	1,8%

Tabella 7: Tabella riassuntiva delle probabilità di ogni azienda di appartenere ad un gruppo (Y=1: Abbastanza semplice, Y=2: Complesso, Y=3: Molto complesso)

La *tabella 7* fornisce una visione dettagliata delle probabilità stimate per ciascuna categoria di risposta in funzione delle variabili considerate, evidenziando le differenze tra le imprese appartenenti e non appartenenti a un distretto. A complemento di questa analisi, il grafico delle curve a S consente di visualizzare in modo più intuitivo l'andamento delle probabilità al variare del predittore lineare LP, mostrando come la percezione della difficoltà di accesso agli incentivi si distribuisca tra le diverse categorie di risposta, come mostrato in *figura 23*.

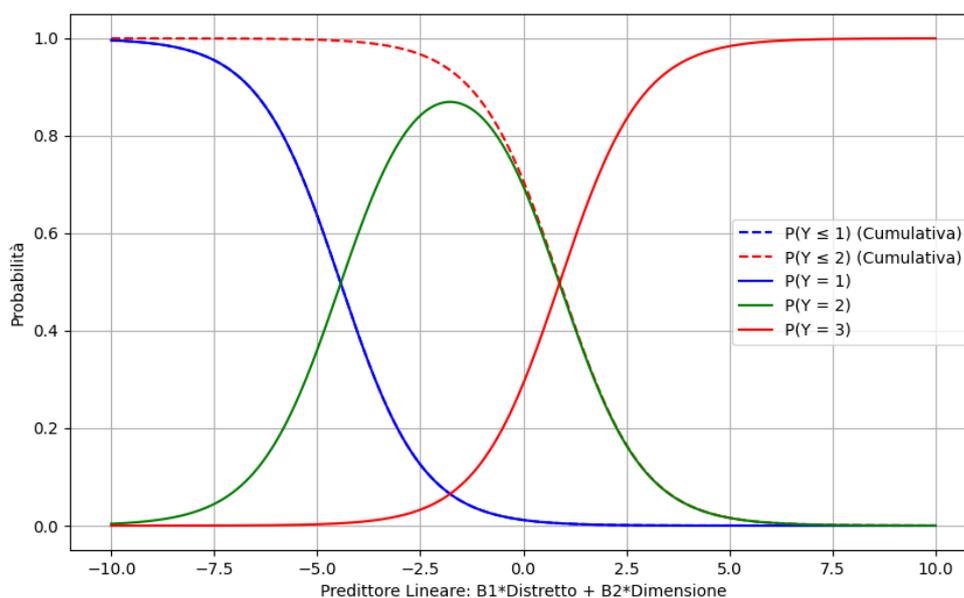


Figura 23: Curve Logistiche e probabilità per categorie (Modello Ordinale)

Nel grafico sono riportate le probabilità previste per ciascuna categoria di risposta, in funzione del predittore lineare LP definito come:

$$\text{Predittore lineare} = \beta_1 * \text{Distretto} + B_2 * \text{Dimensione}$$

Valori più bassi del predittore lineare, sono associati a una percezione di maggiore semplicità nell'accesso agli incentivi. Al contrario, valori più alti indicano una percezione di maggiore complessità.

La curva ad S decrescente, segnata in blu, rappresenta la probabilità che la risposta sia nella prima categoria *molto semplice* (Y=1). Per valori bassi del predittore lineare, la probabilità di appartenere a questa categoria è elevata e, all'aumentare del LP, la probabilità decresce in modo progressivo.

La curva a campana, in verde, relativa all'appartenenza alla seconda categoria *complesso* (Y=2), è calcolata come differenza tra le due funzioni logistiche associate alle due soglie e, per valori molto bassi o molto alti del LP assume valori bassi, mentre assume il massimo per valori intermedi.

La curva ad S crescente, in rosso, è associata alla probabilità che la risposta appartenga alla terza categoria *molto complesso* ($Y=3$). All'aumentare del LP, la percezione di complessità nell'accesso agli incentivi diventa sempre più probabile.

I risultati del test logit ordinale, in conclusione, evidenziano che la dimensione aziendale e l'appartenenza a un distretto influenzano la percezione dell'accesso agli incentivi. In particolare, le aziende più piccole tendono a percepire l'accesso come più complesso, mentre le aziende medie, soprattutto se appartenenti al distretto, hanno una maggiore probabilità di considerare l'accesso più semplice.

Concluse le due analisi in merito alla prima domanda di ricerca, emerge come l'appartenenza a un distretto industriale influenzi la percezione della difficoltà di accesso agli incentivi. In particolare, mentre il test di Mann-Whitney U ha rilevato una differenza significativa tra le imprese appartenenti e non appartenenti a un distretto, suggerendo che il contesto territoriale possa rappresentare un vantaggio in termini di accesso alle agevolazioni, i risultati del modello di regressione logistica ordinale indicano che, quando si considerano simultaneamente più fattori, l'effetto del distretto si attenua e non risulta statisticamente significativo al livello del 5%. Questa differenza tra le due analisi potrebbe essere dovuta al fatto che il ruolo del contesto territoriale venga in parte assorbito dalla dimensione aziendale, che si conferma il principale determinante della facilità di accesso agli incentivi.

Questi risultati indicano che le politiche pubbliche dovrebbero considerare le specifiche esigenze delle imprese di dimensioni diverse: le micro e le piccole spesso incontrano maggiori difficoltà e, pertanto, necessitano di strumenti mirati come la semplificazione burocratica e il supporto tecnico-amministrativo per colmare il divario rispetto alle imprese più grandi, che dispongono di risorse e competenze maggiori per accedere agli incentivi. Inoltre, sarebbe utile che i Governi sviluppassero strategie volte a favorire la diffusione delle informazioni e il trasferimento di conoscenze anche tra le imprese non inserite in contesti distrettuali, così da rendere il sistema di incentivazione più accessibile ed efficace.

4.2.2 Seconda domanda di ricerca

Per valutare in che modo gli incentivi abbiano contribuito a migliorare l'efficienza dei processi aziendali, è stata considerata la domanda B5 del questionario, che prevedeva quattro possibili risposte ordinali:

- Per Nulla
- Poco
- Abbastanza
- Molto

A ciascuna di queste categorie è stato assegnato un valore numerico crescente, rispettivamente da 0 a 3, assumendo che le distanze tra le categorie fossero equidistanti.

L'obiettivo dell'analisi è verificare se, oltre a una maggiore facilità di accesso agli incentivi, le imprese distrettuali abbiano percepito un impatto più significativo degli incentivi sui loro processi aziendali rispetto alle imprese non distrettuali. In altre parole, si vuole capire se il contesto produttivo influenzi l'efficacia percepita degli incentivi.

Di seguito sono riportate le distribuzioni delle risposte per i due gruppi:

	Distretto	No_Distretto
Per Nulla (0)	2	3
Poco (1)	11	21
Abbastanza (2)	15	18
Molto (3)	9	10

Tabella 8: Classificazione delle risposte al questionario in merito alla domanda B5, suddivise per categoria e per appartenenza al distretto

Per confrontare le risposte dei due gruppi, anche in questo caso, è stato applicato il test di Mann-Whitney U che consente di valutare se esistono differenze significative tra due distribuzioni indipendenti, ottenendo i seguenti risultati:

$$U = 854,5 \text{ e } p = 0,3708$$

	Distretto	No_Distretto
Somma Ranghi	1772,5	2232,5
Rango Medio	47,905	42,932
Statistica U	1069,5	854,5
Mediana	2	2
Media	1,837	1,673
Deviazione Standard	0,866	0,856

Tabella 9: Risultati del test di Mann Whitney U relativamente alla domanda B5

Avendo ottenuto un p-value maggiore di 0.05, non si dispone di evidenze sufficienti per rifiutare l'ipotesi nulla. Inoltre, le mediane dei due gruppi coincidono e anche i valori medi sono molto simili. Di conseguenza, l'analisi non evidenzia differenze statisticamente significative tra le due categorie in merito all'impatto percepito degli incentivi sull'efficienza dei processi aziendali. Questo risultato suggerisce che gli incentivi abbiano generato benefici simili indipendentemente dall'appartenenza o meno al distretto industriale dei vini delle Langhe, Roero e Monferrato. È possibile che altri fattori come il settore di attività o il livello di maturità digitale abbiano un'influenza maggiore rispetto alla sola localizzazione geografica.

4.2.3 Terza domanda di ricerca

Per rispondere alla terza domanda di ricerca, che indaga in che misura l'adozione delle tecnologie 4.0 abbia migliorato la competitività delle imprese sul mercato, è stata considerata la domanda A7 del questionario. Ai rispondenti è stato chiesto di esprimere il proprio giudizio su questo aspetto scegliendo tra quattro possibili categorie ordinali:

- Per Nulla
- Poco
- Abbastanza
- Molto

A ciascuna di queste categorie è stato assegnato un valore numerico crescente, rispettivamente da 0 a 3, assumendo che le distanze tra le categorie fossero equidistanti.

L'obiettivo dell'analisi è verificare se, oltre a una maggiore facilità di accesso agli incentivi, le imprese distrettuali abbiano percepito un miglioramento più significativo della propria competitività rispetto alle imprese non distrettuali derivante dall'adozione delle tecnologie avanzate. In altre parole, si vuole comprendere se il contesto produttivo influenzi l'impatto percepito delle tecnologie 4.0 sulla posizione dell'azienda nel mercato.

Di seguito sono riportate le distribuzioni delle risposte per i due gruppi:

	Distretto	No_Distretto
Per Nulla (0)	8	13
Poco (1)	20	31
Abbastanza (2)	9	8
Molto (3)	0	0

Tabella 10: Classificazione delle risposte al questionario in merito alla domanda A7, suddivise per categoria e per appartenenza al distretto

Per confrontare le risposte dei due gruppi, anche in questo caso, è stato applicato il test di Mann-Whitney U, che consente di valutare se esistono differenze significative tra due distribuzioni indipendenti.

Dai calcoli effettuati, si ottengono i seguenti risultati:

$$U = 870 \text{ e } p = 0,4438$$

	Distretto	No_Distretto
Somma Ranghi	1757	2248
Rango Medio	47,486	43,230
Statistica U	1054	870
Mediana	1	1
Media	1,027	0,904
Deviazione Standard	0,686	0,634

Tabella 11: Risultati del test di Mann Whitney U relativamente alla domanda A7

Avendo ottenuto un p-value molto maggiore di 0.05, non si dispone di evidenze sufficienti per rifiutare l'ipotesi nulla. Ciò suggerisce che la percezione dell'impatto delle tecnologie 4.0 sulla competitività aziendale è simile tra le aziende distrettuali e non distrettuali.

Inoltre, la deviazione standard dei due gruppi risulta molto simile (0.686 per le aziende distrettuali e 0.634 per le non distrettuali), indicando una dispersione delle risposte quasi identica. Questo suggerisce che la variabilità interna ai due gruppi non è così marcata da far emergere differenze nette tra le due categorie.

Tale risultato potrebbe essere attribuito al fatto che l'adozione delle tecnologie 4.0 è influenzata da fattori trasversali, come il settore di appartenenza, le strategie aziendali e il livello di digitalizzazione preesistente, più che dalla posizione geografica dell'impresa.

4.3 Considerazioni Finali

4.3.1 Considerazioni qualitative sulle risposte del campione

Oltre all'analisi quantitativa, l'interpretazione delle risposte fornite dalle aziende ha evidenziato alcuni elementi ricorrenti che offrono una visione più approfondita della percezione degli incentivi e delle tecnologie 4.0 e 5.0 nel contesto industriale analizzato.

Un primo aspetto ricorrente nelle risposte riguarda il rallentamento iniziale dei processi aziendali a seguito dell'introduzione delle nuove tecnologie. Questo fenomeno è stato osservato soprattutto nelle piccole imprese, poiché è necessario un periodo di apprendimento più lungo per il personale, a seguito dell'adozione di strumenti avanzati. In molti casi, inoltre, le aziende hanno evidenziato come, nel breve termine, le tecnologie abbiano comportato un aumento del tempo necessario per svolgere determinate attività, a causa della curva di apprendimento e dell'adattamento ai nuovi sistemi. Tuttavia, è stato sottolineato che, superata questa fase iniziale, i vantaggi in termini di efficienza e produttività tendono a diventare più evidenti.

Un secondo elemento rilevante riguarda la tendenza ad assumere figure professionali molto giovani. Questo dato suggerisce che le imprese, soprattutto quelle più strutturate, vedano nelle nuove generazioni una risorsa chiave per l'adozione e l'integrazione delle tecnologie digitali. L'orientamento verso profili giovani potrebbe essere motivato dalla necessità di competenze aggiornate in ambiti come l'automazione, l'analisi dei dati e la gestione di software avanzati, ma anche da una maggiore disponibilità di queste figure a adattarsi a contesti produttivi in evoluzione. Tuttavia, nelle realtà più piccole, emerge ancora una certa resistenza al ricambio generazionale, spesso per motivi di continuità aziendale o per la difficoltà nel trovare profili con le competenze richieste.

Più in generale, il tema delle competenze dei nuovi dipendenti rappresenta un elemento chiave emerso dall'analisi. Le aziende segnalano che, rispetto al passato, le competenze richieste ai nuovi assunti sono notevolmente aumentate, con una maggiore enfasi su conoscenze digitali, gestione dei dati e utilizzo di macchinari automatizzati. Questo trend ha portato a un generale miglioramento della qualità della forza lavoro, ma ha anche rappresentato una barriera per molte imprese, in particolare per le micro e piccole

aziende, che faticano a reperire personale qualificato. In questi contesti, la carenza di competenze adeguate tra i candidati rende più difficile l'adozione di nuove tecnologie, rallentando il processo di transizione digitale.

Un ultimo aspetto emerso riguarda il basso interesse delle aziende per il *Piano Transizione 5.0*. Molte imprese hanno dichiarato di non essere ancora pronte a investire in questo strumento, ritenendolo troppo complesso, poco accessibile o non ancora chiaro nei suoi meccanismi di attuazione. Questo scarso entusiasmo potrebbe essere legato sia a una conoscenza limitata delle nuove opportunità di finanziamento, sia alla difficoltà di misurare concretamente i benefici che tali incentivi potrebbero portare nel breve termine. In molti casi, le aziende sembrano ancora focalizzate sugli strumenti della Transizione 4.0, che risultano più consolidati e familiari.

Questi elementi offrono spunti di riflessione importanti su come le imprese percepiscono l'evoluzione tecnologica e sulle possibili criticità legate alla sua implementazione.

4.3.2 Considerazioni finali, limiti e prospettive di ricerca

L'analisi condotta nel presente capitolo ha permesso di approfondire il ruolo degli incentivi e delle tecnologie 4.0 e 5.0 nelle imprese, con un focus sulle differenze tra aziende distrettuali e non distrettuali.

Uno dei principali risultati emersi riguarda l'accesso agli incentivi, che risulta generalmente più agevole per le imprese appartenenti ai distretti industriali. Questo potrebbe essere legato a una maggiore disponibilità di informazioni, a una rete di supporto più solida o alla capacità di attivare strategie di investimento più strutturate rispetto alle aziende non distrettuali.

Tuttavia, non sono state riscontrate differenze statisticamente significative nell'impatto percepito degli incentivi e delle tecnologie sui fattori analizzati, come l'efficienza aziendale e la competitività sul mercato. Questo suggerisce che, oltre alla distrettualità, altri fattori potrebbero giocare un ruolo chiave, come il settore di appartenenza, l'investimenti in ricerca e sviluppo, in immobilizzazioni materiali ed immateriali.

Un'ulteriore criticità emersa riguarda la dimensione delle imprese in termini di numero di dipendenti, poiché nel campione analizzato si è osservato che le medie imprese non distrettuali tendevano ad avere dimensioni più contenute rispetto a quelle distrettuali. Considerando che la categoria delle medie imprese comprende realtà molto diverse tra loro (da 50 a 250 dipendenti), la variabilità interna a questa classe potrebbe aver influenzato i risultati, rendendo meno immediato il confronto tra i gruppi. Questo aspetto mette in risalto l'importanza di considerare variabili più dettagliate, come sotto classificazioni dimensionali o il fatturato aziendale, per un confronto più accurato.

I risultati ottenuti rappresentano una base di partenza per ulteriori approfondimenti. Alcune possibili evoluzioni dello studio potrebbero includere:

- Utilizzo di dati economici più strutturati: analizzare direttamente i bilanci delle aziende per verificare l'effettivo impatto degli incentivi su investimenti, produttività e redditività, andando oltre la sola percezione espressa nel questionario.

- Adozione di metodologie longitudinali e utilizzo di analisi con dati panel: analisi basate sull'utilizzo di dati panel permetterebbe di osservare l'evoluzione delle aziende nel tempo, offrendo una stima più accurata dell'effetto degli incentivi e delle tecnologie sulle performance aziendali.
- Considerazione di un numero maggiore di distretti industriali: ampliare l'analisi includendo altri distretti potrebbe offrire una visione più completa sulle dinamiche di accesso agli incentivi e sul loro impatto in settori differenti.
- Espansione del set di variabili analizzate: l'inserimento di fattori come il settore di appartenenza, il numero di dipendenti, il livello di digitalizzazione preesistente e il grado di innovazione dei prodotti potrebbe permettere di individuare eventuali elementi discriminanti nel livello di impatto percepito.
- Allargamento della popolazione di riferimento: un campione più ampio e diversificato, magari includendo imprese di altre regioni o con diverse caratteristiche dimensionali, potrebbe contribuire a rendere i risultati più robusti e generalizzabili.

In sintesi, sebbene l'analisi abbia fornito risultati interessanti sulle dinamiche di accesso agli incentivi, le conclusioni in merito al loro effettivo impatto sulle aziende e all'efficacia percepita delle tecnologie 4.0 e 5.0 rimangono aperte a ulteriori approfondimenti. Future ricerche potrebbero quindi beneficiare di metodologie più avanzate e di una base dati più ampia per comprendere meglio i meccanismi attraverso cui gli incentivi e le innovazioni tecnologiche influenzano realmente le imprese.

5

Conclusioni

L'analisi condotta in questo studio ha evidenziato il ruolo strategico degli incentivi fiscali e delle tecnologie abilitanti nel favorire la trasformazione del sistema produttivo italiano. L'impatto positivo del Piano Transizione 4.0 su investimenti, occupazione e produttività è stato confermato dai dati, mostrando come le imprese beneficiarie abbiano registrato performance superiori rispetto a quelle che non hanno usufruito di tali strumenti. Tuttavia, la distribuzione degli incentivi ha evidenziato alcune criticità, in particolare per quanto riguarda la loro accessibilità per le microimprese e la loro durata limitata nel tempo, fattori che ne riducono l'efficacia complessiva.

Uno degli aspetti più rilevanti emersi dallo studio riguarda la distribuzione geografica degli incentivi e il ruolo dei distretti industriali. Infatti, la revisione della letteratura svolta nel secondo capitolo, ha mostrato come la componente territoriale abbia un impatto significativo sull'accesso alle agevolazioni fiscali. In particolare, Bratta et al. (2023) osservano come gli incentivi si concentrino prevalentemente nelle aree a più alta densità industriale, rafforzando il vantaggio competitivo dei poli produttivi già consolidati. Inoltre, Gherardini e Pessina (2020) hanno ulteriormente dimostrato che le imprese situate nei distretti industriali hanno una probabilità superiore del 34% di accedere agli incentivi rispetto a quelle al di fuori di tali aree. Questo dato mette in discussione il principio di neutralità territoriale delle politiche industriali, suggerendo come l'appartenenza a un ecosistema produttivo strutturato rappresenti un elemento chiave per l'accesso alle risorse pubbliche.

L'analisi empirica condotta nel Capitolo 4 ha confermato questa tendenza, evidenziando come le imprese distrettuali godano di una rete di supporto più solida e di una maggiore disponibilità di informazioni, elementi che facilitano il processo di richiesta e utilizzo degli incentivi. Tuttavia, non sono state riscontrate differenze significative nell'impatto percepito delle agevolazioni su competitività ed efficienza aziendale tra aziende distrettuali e non distrettuali, suggerendo che altri fattori, come la capacità di

investimento, il settore di appartenenza e il livello di innovazione, possano avere un peso maggiore nell'efficacia complessiva degli incentivi.

Parallelamente, l'analisi ha messo in luce le sfide legate all'adozione delle tecnologie abilitanti nel settore manifatturiero. L'integrazione delle soluzioni digitali non è un processo immediato e presenta ostacoli significativi, tra cui la resistenza al cambiamento, la carenza di competenze specialistiche e l'elevato costo iniziale degli investimenti. La maturità digitale delle imprese italiane, infatti, rimane disomogenea: mentre le grandi imprese hanno dimostrato una maggiore capacità di implementare strumenti digitali avanzati, le PMI - in particolare quelle situate al di fuori dei distretti industriali - incontrano maggiori difficoltà nell'adozione delle tecnologie.

Alla luce di questi risultati, emergono alcune implicazioni per le politiche industriali future. In primo luogo, è fondamentale rendere gli incentivi più accessibili e strutturali, evitando che il loro impatto sia limitato a periodi temporali brevi. Inoltre, in secondo luogo, è opportuno sviluppare misure di supporto specifiche per le micro e piccole imprese, che attualmente presentano tassi di investimento più bassi a causa di vincoli finanziari e organizzativi. Infine, per ridurre il divario territoriale, le politiche dovrebbero incentivare l'innovazione anche nelle aree meno industrializzate e dovrebbero favorire la digitalizzazione lungo tutta la filiera produttiva.

In conclusione, la transizione verso l'Industria 5.0 rappresenta una sfida cruciale per il futuro del sistema produttivo italiano. Il successo di questo percorso dipenderà dalla capacità di creare un ecosistema favorevole all'innovazione, in cui le imprese possano accedere agli strumenti e alle competenze necessarie per affrontare i cambiamenti in atto. La sinergia tra incentivi fiscali, investimenti in formazione e sviluppo di infrastrutture digitali sarà fondamentale per garantire una crescita sostenibile ed equilibrata, capace di coinvolgere tutte le realtà produttive del Paese.

6

Bibliografia e Sitografia

- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program. *Journal of the American Statistical Association*, 493-505. doi:10.1198/jasa.2009.ap08746
- Abomhara, M. K. (2015). Cyber Security and the Internet of Things: Vulnerabilities, Threats, Intruders and Attacks. *Journal of Cyber Security*, 65-88. doi:10.13052/jcsm2245-1439.414
- Adeusi, K. B., Adegbola, A. E., Amajuoyi, P., Adegbola, M. D., & Benjamin, L. B. (2024). The potential of IoT to transform supply chain management through enhanced connectivity and real-time data. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. doi:10.30574/wjaets.2024.12.1.0202
- Ahuja, B., Karg, M., & Schmidt, M. (2015). Additive manufacturing in production: challenges and opportunities. *SPIE digital Library*. doi:10.1117/12.2082521
- Alcácer, V., & Cruz-Machado, V. (2019). Scanning the Industry 4.0: A literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 899-919. doi:10.1016/j.jestch.2019.01.006
- Aldana, E. C., & Guerrero Azpeitia, L. A. (2021). Evaluación vertical y horizontal: Una integración entre el Supply Chain Operations Reference y el Balanced Scorecard. *Religación Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 177-195. doi:10.46652/rgn.v6i27.746
- Alqaryouti, O., & Siyam, N. (2018). Serverless Computing and Scheduling Tasks on Cloud: A review. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 235-247. Tratto da https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/3913
- Ang, J. H., Goh, C., Saldivar, A. A., & Li, Y. (2017). Energy-Efficient Through-Life Smart Design, Manufacturing and Operation of Ships in an Industry 4.0 Environment. *Energies*. doi:10.3390/en10050610
- Angrist, J. D., & Pischke, J.-s. (2014). *Mastering 'Metrics: The Path from Cause to Effect*. Princeton University Press.

- Ardito, L., Messeni Petruzzelli, A., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2019). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*, 323-346. doi:10.1108/BPMJ-04-2017-0088
- Ardito, L., Petruzzelli, A. M., Panniello, U., & Garavelli, A. C. (2018). Towards Industry 4.0: Mapping digital technologies for supply chain management-marketing integration. *Business Process Management Journal*. doi:10.1108/BPMJ-04-2017-0088
- Arkhangelsky, D., Athey, S., Hirshberg, D. A., Imbens, G. W., & Stefan, W. (2021). Synthetic Difference-in-Differences. *American Economic Review*, 4088-4118. doi:10.1257/aer.20190159
- Benassi, M., Grinza, E., Rentocchini, F., & Rondi, L. (2020). Going Revolutionary: The Impact of 4IR Technology Development on Firm Performance. *SPRU Working Paper Series, SWPS 2020-08 (June)*. doi:10.2139/ssrn.3625592
- Bernardo, R., Sousa, J. M., & Gonçalves, P. J. (2022). Survey on robotic systems for internal logistics. *Journal of Manufacturing Systems*. doi:10.1016/j.jmsy.2022.09.014
- Bettiol, M., Capestro, M., Di Maria, E., & Roberto, G. (2023). Is this time different? How Industry 4.0 affects firms' labor productivity. *Small Business Economics*, 1449-1467. doi:10.1007/s11187-023-00825-8
- Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2019). A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access*. doi:10.1109/ACCESS.2018.2802699
- Bougdira, A., Akharraz, I., & Ahaitouf, A. (2019). A traceability proposal for industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. doi:10.1007/s12652-019-01532-7
- Bratta, B., Romano, L., Acciari, P., & Mazzolari, F. (2023). Assessing the impact of digital technology diffusion policies. Evidence from Italy. *Economics of Innovation and New Technology*, 32:8, 1114-1137. doi:10.1080/10438599.2022.2075357
- Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). Industry 5.0 – Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. *Publications Office of the European Union*. doi:10.2777/308407
- Bronzini, R., Giunta, A., Pierucci, E., & Sforza, M. (2024). More technology, more loans? How advanced digital technologies influence firms' financing

conditions. *Structural Change and Economic Dynamics*.
doi:10.1016/j.strueco.2024.11.011

Camera dei deputati, servizio studi. (2019). *Impresa 4.0*. Tratto da chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.camera.it/temiapi/documentazione/temi/pdf/1105008.pdf?_1563382635341

Carvajal Soto, J. A., Tavakolizadeh, F., & Gyulai, D. (2019). An online machine learning framework for early detection of product failures in an Industry 4.0 context. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*.
doi:10.1080/0951192X.2019.1571238

Cefis, E., Scrofani, S., & Tubiana, M. (2024). Innovation policies and firms' productivity: the Italian Industry 4.0 Plan for digital transformation. Tratto da https://www.researchgate.net/profile/Elena-Cefis/publication/381024216_Innovation_policies_and_firms'_productivity_the_Italian_Industry_40_Plan_for_digital_transformation/links/6659ecc0479366623a33bd57/Innovation-policies-and-firms-productivity-the-Italia

Centro Studi Confindustria Piemonte. (2024). *Piemonte Impresa*. Tratto da chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.confindustria.piemonte.it/documentazione/studi-economici/piemonte-impresa/send/274-piemonte-impresa/2249-piemonte-impresa-novembre-2024

Chen, X., Chen, R., & Yang, C. (2021). Research to key success factors of intelligent logistics based on IoT technology. *The Journal of Supercomputing*.
doi:10.1007/s11227-021-04009-7

Cirillo, V., Fanti, L., Mina, A., & Ricci, A. (2023). New digital technologies and firm performance in the Italian economy. *Industry and Innovation*, 159-188.
doi:10.1080/13662716.2022.2055999

Comitato Transizione 4.0. (2024). *Rapporto intermedio di valutazione dell'impatto economico degli interventi del "Piano Transizione 4.0"*. Ministero delle Finanze, Banca d'Italia, Ministero delle Imprese e del Made in Italy. Tratto da chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mef.gov.it/export/sites/MEF/pubblicita_legale/documenti/Gli-incentivi-in-investimenti-4.0-una-valutazione-dellimpatto-della-misura_DEF_ALL.pdf

Commissione Europea. (2010). *EUROPA 2020: Una strategia per una crescita intelligente, sostenibile e inclusiva*. Bruxelles. Tratto da chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://eur-

lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM%3A2010%3A2020%3AFIN%3Ait%3APDF

- Commissione Europea. (2020, Marzo 11). Comunicazione della Commissione al Parlamento Europeo, al Consiglio, al Comitato Economico e Sociale Europeo e al Comitato delle Regioni. *Un nuovo piano d'azione per l'economia circolare, per un'Europa più pulita e più competitiva*. Bruxelles.
- Confindustria. (2023). L'analisi dei Digital Innovation Hub di Confindustria basato su un test del Politecnico di Milano. Tratto da <https://www.confindustria.it/home/notizie/CONFINDUSTRIA-DIGITALIZZAZIONE-IMPRESA-A-UN-BUON-LIVELLO-6-SU-10-HANNO-SVILUPPATO-PRODOTTI-SMART>
- Contieri, P. G., Anholon, R., & De Santa-Eulalia, L. A. (2021). Industry 4.0 enabling technologies in manufacturing: implementation priorities and difficulties in an emerging country. *Technology Analysis & Strategic Management*. doi:10.1080/09537325.2021.1908536
- Corte dei conti Europea. (2019). Digitalizzazione dell'industria europea: iniziativa ambiziosa il cui successo dipende dal costante impegno dell'UE, delle amministrazioni e delle imprese. Tratto da [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.eca.europa.eu/Lists/ecaDocuments/sr20_19/sr_digitising_eu_industry_it.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ecaDocuments/sr20_19/sr_digitising_eu_industry_it.pdf)
- de Almeida, J. F., Amaral, D. C., & Coelho, R. T. (2021). Innovative Framework to manage New Product Development (NPD) Integrating Additive Manufacturing (AM) and Agile Management. *Procedia CIRP*, 128-133. doi:10.1016/j.procir.2021.10.020
- de Paula Ferreira, W., Armellini, F., & De Santa-Eulalia, L. A. (2020). Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. *Computer & Industrial engineering*, 149. doi:10.1016/j.cie.2020.106868
- Demir, K. A., Döven, G., & Sezen, B. (2019). Industry 5.0 and Human-Robot Co-working. *Procedia Computer Science*, 158, 688-695. doi:10.1016/j.procs.2019.09.104
- Dev, N. K., Shankar, R., & Swami, S. (2019). Diffusion of green products in industry 4.0: Reverse logistics issues during design of inventory and production planning system. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2019.107519
- Di Nardo, M., & Yu, H. (2021). Special Issue "Industry 5.0: The Prelude to the Sixth Industrial Revolution". *Applied system innovation*. doi:10.3390/asi4030045

- Dikhanbayeva, D., Tokbergenova, A., Lukhmanov, Y., Shehab, E., Pastuszak, Z., & Turkyilmaz, A. (2021). Critical Factors of Industry 4.0 Implementation in an Emerging Country: Empirical Study. *future internet*. doi:10.3390/fi13060137
- Dima, A. (2024). Short history of manufacturing: from Industry 1.0 to Industry 4.0. Tratto da <https://kfactory.eu/short-history-of-manufacturing-fromindustry-1-0-to-industry-4-0/>
- Dipartimento delle Finanze. (1997, Dicembre 18). Decreto legislativo n.471. Tratto da https://def.finanze.it/DocTribFrontend/decodeurn?urn=urn:doctrib::DLG:1997-12-18;471_art13-com5
- Dubey, R., Bryde, D. J., Graham, G., Foropon, C., Kumari, S., & Gupta, O. (2021). The role of alliance management, big data analytics and information visibility on new-product development capability. *Ann Oper Res*, 743-767. doi:10.1007/s10479-021-04390-9
- EUROPEAN COMMISSION. (2012). A European strategy for Key Enabling Technologies – A bridge to growth and jobs. Brussels.
- European Parliament, Directorate General for Internal Policies, Policy Department A. (2016). *Industry 4.0*.
- Fragapane, G., de Koster, R., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. O. (2021). Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda. *European Journal of Operational Research*. doi:10.1016/j.ejor.2021.01.019
- Galleri, R. (2024). *Monitor dei distretti del Piemonte*. Tratto da chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://group.intesasanpaolo.com/content/dam/portalgroup/repository-documenti/research/it/monitor-distretti/regionali/ottobre2024/Monitor_dei_Distretti_Piemonte_ottobre_2024.pdf
- Gandomi, A., & Haider, M. (2015). Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. *International Journal of Information Management*, 137-144. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007
- Garay-Rondero, C. L., Martinez-Flores, J. L., Smith, N. R., Morales, S. O., & Aldrette-Malacara, A. (2019). Digital supply chain model in Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*. doi:10.1108/JMTM-08-2018-0280
- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. (2022). Decreto Attuativo CIRSI. Tratto da <https://www.gazzettaufficiale.it>.

- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. (2020, Maggio 26). Decreto-Legge, articolo 5. Tratto da <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2020/07/21/20A03941/sg>
- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. (2021, ottobre 21). Decreto-Legge n.146. Tratto da <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2021/12/20/21A07536/sg>
- Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. (2024). Decreto-Legge n.19. Tratto da chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mimit.gov.it/images/stories/documenti/allegati/Art_38_DL_2_marzo_2024.pdf
- Gherardini, A., & Pessina, G. (2020). Cavalcare l'onda del cambiamento. Il Piano Impresa 4.0 alla prova dei distretti. *L'industria, Rivista di economia e politica industriale*, 191-214. doi:10.1430/97562
- Govindarajan, S., & Ananthanpillai, B. (2024). Leveraging Data Analytics for Product Decision-Making. Tratto da https://www.researchgate.net/publication/380753791_Leveraging_Data_Analytics_for_Product_Decision-Making
- Gruzauskas, V., Baskutis, S., & Navickas, V. (2018). Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2018.02.302
- Herrmann, J.-P., Tackenberg, S., Padoano, E., & Gamber, T. (2022). Approaches of Production Planning and Control under Industry 4.0: A Literature Review. *Journal of Industrial Engineering and Management*. doi:10.3926/jiem.3582
- Ho, P. T., Albajez, J. A., Santolaria, J., & Yagüe-Fabra, J. A. (2022). Study of Augmented Reality Based Manufacturing for Further Integration of Quality Control 4.0: A Systematic Literature Review. *applied sciences*. doi:10.3390/app12041961
- Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the Current Status as Well as Future Prospects on Logistics. *Computers in Industry*, 23-34. doi:10.1016/j.compind.2017.04.002
- Hozdić, E. (2015). Smart factory for Industry 4.0: a review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 28-35. Tratto da https://modtech.ro/international-journal/vol7no12015/Hozdic_Elvis.pdf
- Ijomah, T. I., Idemudia, C., Eyo-Udo, N. L., & Fadilat Anjorin, K. (2024). The role of big data analytics in customer relationship management: Strategies for

- improving customer engagement and retention. *World Journal of Advanced Science and Technology*. doi:10.53346/wjast.2024.6.1.0038
- Imbens, G. W., & Rubin, D. B. (2015). *Causal Inference for Statistics, Social, and Biomedical Sciences*. Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139025751
- Istat. (2023). *Imprese e Ict*. Tratto da <https://www.istat.it/comunicato-stampa/impres-e-ict-anno-2023/>
- Ivankova, V. G., P. Mochalina, E., & Goncharova, N. L. (2020). Internet of Things (IoT) in logistics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/940/1/012033
- Jin, X., Pan, T., Luo, H., & Zhang, Y. (2024). CPS-based power tracking control for distributed energy storage aggregator in demand-side management. *Frontiers in Energy Research*. doi:10.3389/fenrg.2024.1412379
- Jovičić, A., Savković, M., Stefanović, M., Mačužić, I., & Nikolić, N. (2023). The Impact of Horizontal and Vertical System Integration On Quality 4.0. *Journal of Innovations in Business and Industry*, 1(4), 191-200. doi:10.61552/JIBI.2023.04.003
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*. Tratto da chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf
- Karpagam, G., Vinoth Kumar, B., Uma Maheswari, J., & Gao, X.-Z. (2020). *Smart Cyber Physical Systems: Advances, Challenges and Opportunities*. Chapman and Hall/CRC. doi:10.1201/9780429321955
- Kazancoglu, Y., & Ozkan-Ozen, Y. (2018). Analyzing Workforce 4.0 in the Fourth Industrial Revolution and proposing a road map from operations management perspective with fuzzy DEMATEL. *Journal of Enterprise Information Management*, 31(6). doi:10.1108/JEIM-01-2017-0015
- Khan, M., Wu, X., Xu, X., & Dou, W. (2017). Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1-6. doi:10.1109/ICC.2017.7996801
- Kholodenko, A. (2020). Vertical and Horizontal Competition and Cooperation in Supply Chain System. *Estudios de Economia Aplicada*. doi:10.25115/eea.v38i4.4020

- Khorasani, M., Loy, J., Ghasemi, A. H., Sharabian, E., Leary, M., Mirafzal, H., . . . Gibson, I. (2022). A review of Industry 4.0 and additive manufacturing synergy. *Rapid Prototyping Journal*. doi:10.1108/RPJ-08-2021-0194
- Kim, R. Y. (2024). The fifth wave: The sustainability age and new industrial revolution. *IEEE Engineering Management Review*, 1-12. doi:10.1109/EMR.2024.3379036
- Kumar Jain, D., Neelakandan, S., Veeramani, T., Bhatia, S., & Memon, F. H. (2022). Design of fuzzy logic based energy management and traffic predictive model for cyber physical systems. *Computers and Electrical Engineering*. doi:10.1016/j.compeleceng.2022.108135
- Kumar, R., Singh, S. P., & Lamba, K. (2018). Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2018.08.327
- Kwak, S., Lee, J., Kim, J., & Oh, H. (2023). EggBlock: Design and Implementation of Solar Energy Generation and Trading Platform in Edge-Based IoT Systems with Blockchain. In A. Cano-Ortega, & F. Sánchez-Sutil, *IoT for Energy Management Systems and Smart Cities*. mdpi sensors. doi:10.3390/s22062410
- Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business Horizons*, 431-440. doi:10.1016/j.bushor.2015.03.008
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2019). Ubiquitous knowledge empowers the Smart Factory: The impacts of a Service-oriented Digital Twin on enterprises' performance. *Annual Reviews in Control*. doi:10.1016/j.arcontrol.2019.01.001
- Luo, D., Thevenin, S., & Dolgui, A. (2023). A state-of-the-art on production planning in Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 6602-6632. doi:10.1080/00207543.2022.2122622
- Mabey, C. S., Armstrong, A. G., Mattson, C. A., Salmon, J. L., Hatch, N. W., & Dahlin, E. C. (2021). A computational simulation-based framework for estimating potential product impact during product design. *Design Science*. doi:10.1017/dsj.2021.16
- Mellor, S., Hao, L., & Zhang, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 194-201. doi:10.1016/j.ijpe.2013.07.008

- MIMIT Beni strumentali - Nuova Sabatini. (2025). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/agevolazioni-per-gli-investimenti-delle-pmi-in-beni-strumentali-nuova-sabatini>
- MIMIT Credito d'imposta per investimenti in beni strumentali. (2024). Tratto da MIMIT.GOV.IT: <https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/credito-dimposta-per-investimenti-in-beni-strumentali>
- MIMIT Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica. (2024). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<https://www.mimit.gov.it/index.php/it/incentivi/credito-d-imposta-r-s>
- MIMIT Credito d'imposta formazione 4.0. (2022). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/credito-d-imposta-formazione-4-0>
- MIMIT Linee guida per la qualificazione delle attività di ricerca e sviluppo, innovazione, design e ideazione estetica. (2024). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.mimit.gov.it/images/stories/normativa/LineeguidacreditoRS-4luglio2024.pdf>
- MIMIT Patent Box. (2022). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/patent-box-tassazione-agevolata-sui-redditi-derivanti-dalle-opere-di-ingegno>
- MIMIT Piano Transizione 5.0. (2025). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<https://www.mimit.gov.it/it/incentivi/piano-transizione-5-0>
- MIMIT PNRR – Transizione 4.0. (2024). Tratto da MIMIT.GOV.IT:
<https://www.mimit.gov.it/it/pnrr/progetti-pnrr/pnrr-transizione-4-0>
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2017). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 1118-1136.
 doi:10.1080/00207543.2017.1372647
- Morán-Zabala, J. P., & Cogollo-Florez, J. M. (2023). A Goal Programming-Monte Carlo Simulation Methodology for Modeling Process Quality. *Management and Production Engineering Review*, 70-78.
 doi:10.24425/mper.2023.146024
- Nagy, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. (2018). The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain—The Case of Hungary. *Sustainability*. doi:10.3390/su10103491
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0-A Human-Centric Solution. *Sustainability*. doi:10.3390/su11164371

- Neirotti, P., Raguseo, E., & Paolucci, E. (2018). How SMEs develop ICT-based capabilities in response to their environment. Past evidence and implications for the uptake of the new ICT paradigm. *Journal of Enterprise Information Management*. doi:10.1108/JEIM-09-2016-0158
- OECD. (2015). *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development* (7 ed.). OECD Publishing. doi:10.1787/9789264239012-en
- OECD/Eurostat. (2018). *Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation* (4 ed.). OECD Publishing. doi:10.1787/9789264304604-en
- Oztemel, E., & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 127-182. doi:10.1007/s10845-018-1433-8
- Paelke, V. (2014). Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0. environment. *Proceedings of the 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation (ETFA)*, 1-4. doi:10.1109/ETFA.2014.7005252
- Pérez-Lara, M., Saucedo-Martínez, J. A., Marmolejo-Saucedo, J. A., Salais-Fierro, T. E., & Vasant, P. (2020). Vertical and horizontal integration systems in Industry 4.0. *Wireless Netw*, 26, 4767-4775. doi:10.1007/s11276-018-1873-2
- Piccarozzi, M., Acquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in Management Studies: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 10, 3281. doi:10.3390/su10103821
- Pozzi, R., Rossi, T., & Secchi, R. (2023). Tecnologie dell'Industria 4.0: fattori critici di successo per l'implementazione e i miglioramenti nelle aziende manifatturiere. *Production Planning & Control*. doi:10.1080/09537287.2021.1891481
- Riforma delle sanzioni tributarie non penali in materia di imposte dirette, di imposta sul valore aggiunto e di riscossione dei tributi, a norma dell'articolo 3, comma 133, lettera q), della legge 23 dicembre 1996, n. 662 (12 18, 1997).
- Sarveshwaran, V., Chen, J. I.-Z., & Pelusi, D. (2023). *Artificial Intelligence and Cyber Security in Industry 4.0*. Springer. doi:10.1007/978-981-99-2115-7
- Shaheen, B., & Németh, I. (2022). Integration of Maintenance Management System Functions with Industry 4.0 Technologies and Features—A Review. *Processes*. doi:10.3390/pr10112173

- Shi, Z., Xie, Y., Xue, W., Chen, Y., Fu, L., & Xu, X. (2020). Smart factory in Industry 4.0. *Systems Research and Behavioral Science*. doi:10.1002/sres.2704
- Shrouf, F., Ordieres, J., & Miragliotta, G. (2014). Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 697-701. doi:10.1109/IEEM.2014.7058728
- Sony, M., Antony, J., Mc Dermott, O., & Garza-Reyes, J. A. (2021). An empirical examination of benefits, challenges, and critical success factors of industry 4.0 in manufacturing and service sector. *Technology in Society*. doi:10.1016/j.techsoc.2021.101754
- Soori, M., Behrooz, A., & Dastres, R. (2023). Internet of things for smart factories in industry 4.0, a review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 192-204. Tratto da <https://hal.science/hal-04087178v1>
- Srai, J. S., & Lorentz, H. (2019). Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management. *Journal of Purchasing and Supply Management*. doi:10.1016/j.pursup.2018.07.001
- Steinmueller, W. E. (2010). Economics of Technology Policy. *Handbook of the Economics of Innovation*, 1181-1218. Tratto da https://econpapers.repec.org/bookchap/eeehaechp/v2_5f1181.htm
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Elsevier ScienceDirect Journals Complete*. doi:10.1016/j.mattod.2017.07.001
- Turkcan, H., Imamoglu, S. Z., & Ince, H. (2022). To be more innovative and more competitive in dynamic environments: The role of additive manufacturing. *International Journal of Production Economics*. doi:10.1016/j.ijpe.2022.108418
- Turner, C., & Oyekan, J. (2023). Personalised Production in the Age of Circular Additive Manufacturing. *applied sciences*. doi:10.3390/app13084912
- Velmurugan, K., Saravanasankar, S., & Bathrinath, S. (2022). Smart maintenance management approach: Critical review of present practices and future trends in SMEs 4.0. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2022.02.622
- Wang, P., Gao, R. X., & Fan, Z. (2015). Cloud Computing for Cloud Manufacturing: Benefits and Limitations. *Journal of manufacturing science and engineering*. doi:10.1115/1.4030209

- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. (2016). Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. doi:10.1155/2016/3159805
- Weiss, A., Wortmeier, A.-K., & Kubicek, B. (2021). Cobots in Industry 4.0: A Roadmap for Future Practice Studies on Human–Robot Collaboration. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 51, 335-345. doi:10.1109/THMS.2021.3092684
- Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. The MIT Press.
- Xanthopoulos, A., & Kostavelis, I. (2024). Novel Simulation Optimization Approach for Supply Chain Coordination and Management. *Procedia Computer Science*. doi:10.1016/j.procs.2024.01.162
- Xu, X. (2012). From cloud computing to cloud manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated manufacturing*, 75-86. doi:10.1016/j.rcim.2011.07.002
- Zhang, C., Wang, X., Peng Cui, A., & Han, S. (2020). Linking big data analytical intelligence to customer relationship management performance. *Industrial Marketing Management*. doi:10016/j.indmarman.2020.10.012
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59:6, 1922-1954. doi:10.1080/00207543.2020.1824085
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. *12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147-2152. doi:10.1109/FSKD.2015.7382284
- Ziatdinov, R., Atteraya, M. S., & Nabiyev, R. (2024). The Fifth Industrial Revolution as a Transformative Step towards Society 5.0. *Societies*. doi:10.3390/soc14020019

Allegati

7.1 Allegato 1



Sezione A: Innovazione

A1. Negli ultimi sei anni l'impresa ha praticato innovazioni nella gamma dei prodotti e dei servizi?

- Sì, innovazione per l'impresa
- Sì, innovazione per l'impresa e per il mercato
- No

NOTA: L'innovazione di prodotto o servizio consiste nell'introduzione di un prodotto o servizio tecnologicamente nuovo (o significativamente migliorato) in termini di performance, caratteristiche tecniche e funzionali, facilità d'uso, ecc. rispetto ai prodotti o servizi realizzati e offerti sul mercato dall'impresa.

A2. Negli ultimi sei anni l'impresa ha praticato innovazioni nel processo di produzione?

- Sì, l'innovazione per l'impresa
- Sì, l'innovazione per l'impresa e per il mercato
- No

NOTA: Le innovazioni di processo consistono nell'adozione di processi produttivi, attività di gestione della produzione o attività di supporto alla produzione tecnologicamente nuovi, o significativamente migliorati. Tali innovazioni possono riguardare modifiche significative nelle tecniche di produzione, nella dotazione di attrezzature o software, o nell'organizzazione produttiva al fine di rendere l'attività impresale economicamente più efficiente. Tali innovazioni possono anche essere introdotte per migliorare gli standard di qualità, la flessibilità produttiva o per ridurre i pericoli di danni all'ambiente e i rischi di incidenti sul lavoro.

A3. Negli ultimi sei anni l'impresa ha depositato o acquistato brevetti?

- Sì
- No

A4. Nel periodo 2019-2024, l'impresa ha effettuato investimenti in nuove tecnologie

(consentite molteplici risposte):

- Soluzioni di "Internet delle cose" (Rfid, sensori, oggetti connessi..)
- Robotica (robot industriali, collaborativi..)
- Big Data and Analytics
- Realtà aumentata e realtà virtuale
- Sicurezza informatica
- Cloud computing
- Additive manufacturing (stampanti 3D..)
- Cyber-Physical System
- Aggiornamento dei dispositivi esistenti (PC, computer...)
- Altro (specificare).....

SI NO In programma

SI	NO	In programma

A5. Quali sono stati i principali benefici riscontrati dall'adozione delle tecnologie 4.0
(consentite molteplici risposte)?

- Aumento della produttività
- Miglioramento della qualità dei prodotti
- Ottimizzazione dei processi produttivi
- Riduzione dei costi operativi
- Miglioramento sostenibilità ambientale
- Migliore gestione della supply chain
- Altro (specificare):.....

A6. Gli investimenti in tecnologie 4.0 hanno avuto un impatto sull'occupazione nella sua
azienda (consentite molteplici risposte)?

- Incremento del numero di dipendenti
- Incremento delle competenze dei dipendenti attuali
- Nessun impatto significativo
- Riduzione del numero di dipendenti
- Altro (specificare):.....

A7. Quanto ritiene che l'adozione delle tecnologie 4.0 abbia migliorato la competitività della
sua azienda sul mercato?

- Molto
- Abbastanza
- Poco
- Per nulla

A8. Quali sono le principali barriere che hanno rallentato o ostacolato la trasformazione
digitale dell'azienda (consentite molteplici risposte)?

- Mancanza di competenze
- Costi elevati competenze
- Cultura aziendale inadeguata
- Scarsa propensione della filiera all'integrazione
- Conoscenza limitata degli incentivi disponibili
- Altro (specificare):.....
- Non ci sono state barriere

Sezione B. Incentivi

B1. L'impresa per gli investimenti degli ultimi sei anni ha usufruito di uno o più incentivi?

- Sì
- No (Saltare la sezione B)

B2. Di quali dei seguenti incentivi ha usufruito l'impresa nel periodo 2019-2024 (*consentite molteplici risposte*)?

- Iper-ammortamento (per l'anno 2019)
- Super-ammortamento (per l'anno 2019)
- Beni Strumentali (Nuova Sabatini e Nuova Sabatini Green)
- Credito d'imposta ricerca e sviluppo, innovazione tecnologica, design e ideazione estetica
- Credito d'imposta per investimenti in nuovi materiali e immateriali Industria 4.0
- Credito d'imposta formazione Industria 4.0
- Transizione 5.0
- Patent box o Nuovo regime Patent Box
- Altro (specificare):.....

B3. In assenza di questi incentivi l'impresa avrebbe:

- Effettuato comunque l'investimento, per lo stesso ammontare
- Effettuato comunque l'investimento, per un ammontare minore
- Non avrebbe effettuato l'investimento

B4. Gli incentivi ricevuti hanno facilitato la realizzazione dei vostri investimenti in tecnologie 4.0?

- Sì, completamente
- Sì, parzialmente
- No, gli incentivi non sono stati determinanti
- Non so

B5. In che misura gli incentivi hanno contribuito a migliorare l'efficienza dei vostri processi aziendali?

- Molto
- Abbastanza
- Poco
- Per nulla

B6. Ritiene che gli incentivi ricevuti abbiano favorito ulteriori investimenti in innovazione?

- Sì, in modo significativo
- Sì, ma in modo limitato
- No

- Non so

B7. L'accesso agli incentivi è stato semplice?

- Molto semplice
- Abbastanza semplice
- Complesso
- Molto complesso

SEZIONE C: Lavoro

C1. Nel corso degli ultimi 5 anni, come è variata la presenza dei profili professionali (mettere una X nel riquadro corrispondente per ogni profilo. *Consentite molteplici risposte*)?

	Aumentata	Diminuita	Invariata
<input type="radio"/> Alta dirigenza (pianificazione e coordinamento di strategie aziendali)			
<input type="radio"/> Profili scientifici e di elevata specializzazione (analisi di situazioni complesse e sviluppo di nuove conoscenze)			
<input type="radio"/> Profili tecnici (controllo di processi di produzione e applicazione di protocolli operativi)			
<input type="radio"/> Profili esecutivi nel lavoro d'ufficio (acquisizione, trattamento, archiviazione e trasmissione delle informazioni)			
<input type="radio"/> Profili qualificati nelle attività commerciali e nei servizi (assistenza ai clienti, ai consumatori, ai cittadini)			
<input type="radio"/> Operai specializzati (costruzione, riparazione o manutenzione di manufatti, oggetti e macchine)			
<input type="radio"/> Operai non specializzati (conduzione e controllo di macchine industriali e di impianti automatizzati o robotizzati)			
<input type="radio"/> Profili non qualificati (attività semplici e ripetitive per le quali non è previsto un particolare titolo di studio)			

C2. Qual è il numero degli **assunti negli ultimi sei anni**, suddivisi per età media dei dipendenti (va bene una stima, *consentite molteplici risposte*)?

<input type="radio"/> Tra i 20 e i 30 anni	
<input type="radio"/> Tra i 30 e i 40 anni	
<input type="radio"/> Tra i 40 e i 50 anni	
<input type="radio"/> Tra i 50 e i 60 anni	
<input type="radio"/> Oltre	

(Ad esempio, sono stati assunti negli ultimi sei anni, 12 persone tra i 20 e i 30 anni, 8 persone tra i 30 e i 40 e 2 persone tra 40 e 50 anni).

C3. Sono stati erogati o sono in programma corsi di formazione finalizzati a supportare la trasformazione tecnologica e digitale (es. per l'utilizzo di software, del cloud, dei CPS e, in generale, delle tecnologie innovative)?

- Sì
- No

SEZIONE D: Transizione green

D1. L'azienda ha usufruito di incentivi legati alla sostenibilità ambientale (es. Transizione 5.0)?

- Sì
- No

D2. Se sì, quali incentivi sono stati utilizzati (*consentite molteplici risposte*)?

- Credito d'imposta per investimenti green
- Contributi a fondo perduto
- Altro (specificare):.....

D3. Quali tecnologie green ha adottato la sua azienda (*consentite molteplici risposte*)?

- Pannelli solari
- Sistemi di gestione dell'energia (EMS)
- Tecnologie di riciclo
- Veicoli elettrici o ibridi per la logistica
- Altro (specificare):.....

D4. Che percentuale degli investimenti aziendali è stata destinata alle tecnologie green negli ultimi sei anni?

- 0-10%
- 11-25%
- 26-50%
- Oltre il 50%

D5. Quali sono i principali benefici riscontrati dall'adozione di tecnologie green (*consentite molteplici risposte*)?

- Riduzione delle emissioni della CO2
- Risparmio energetico
- Riduzione dei costi operativi
- Altro (specificare):.....

Il presente questionario è realizzato esclusivamente per scopi didattici e di ricerca accademica nell'ambito dello sviluppo della mia tesi di laurea. Le informazioni raccolte saranno trattate in forma anonima, nel pieno rispetto della normativa vigente sulla protezione dei dati personali (Regolamento UE 2016/679 - GDPR).

I dati forniti non saranno divulgati a terzi né utilizzati per fini diversi da quelli dichiarati. In nessun caso sarà possibile risalire all'identità dell'azienda o delle persone coinvolte.

DATA E LUOGO: 03/12/2024, Santa Vittoria d'Alba

FIRMA STUDENTE:



7.2 Allegato 2

	Risultato della ricerca	Risultato della ricerca
1. Regione, provincia, comune: 01004 - Cuneo, 01005 - Asti, 01006 - Alessandria	32.813	32.813
2. NACE Rev. 2: 281 - Fabbricazione di macchine di impiego generale, 282 - Fabbricazione di altre macchine di impiego generale, 283 - Fabbricazione di macchine per l'agricoltura e la silvicoltura, 284 - Fabbricazione di macchine per la formatura dei metalli e di altre macchine utensili, 289 - Fabbricazione di altre macchine per impieghi speciali, 291 - Fabbricazione di autoveicoli, 292 - Fabbricazione di carrozzerie per autoveicoli; fabbricazione di rimorchi e semirimorchi	26.723	649
3. Anni con bilanci disponibili: 2023, 2022, 2021, 2020, 2019	1.423.624	455
4. Dipendenti: Ultimo anno disponibile, min=3	546.646	283
Ricerche Booleane : 1 E 2 E 3 E 4		
	Totale	283