

Cattedra

---

RELATORE

---

CANDIDATO

Anno Accademico

## **Indice**

<i>INDICE</i>	1
<i>INTRODUZIONE</i>	2
<i>1. CAPITOLO 1: Rivoluzione tecnologica 4.0 e transizione verso l'Industria 5.0</i>	6
1.1 Industria 4.0: caratteristiche ed importanza nel contesto industriale	6
1.2 La posizione dell'Italia rispetto alla quarta rivoluzione industriale	17
1.3 L'industria 4.0 non basta: mancanze e debolezze	39
1.4 La risposta del Green Deal	47
<i>2. CAPITOLO 2: Il nuovo paradigma "human-oriented": l'Industria 5.0</i>	66
2.1 Industria 5.0: dimensioni fondanti e principi chiave	66
2.2 Una nuova rivoluzione per l'industria	78
2.3 Nuovi principi etici per un nuovo paradigma industriale	95
<i>3. CAPITOLO 3: Le fondamenta dell'Industria 5.0: i "Critical Raw Materials"</i>	105
3.1 I CRM nel nuovo paradigma industriale	105
3.2 L'intervento dell'Europa: Critical Raw Materials Act	116
3.3 Un esempio concreto: l'industria dei veicoli elettrici a batteria	129
<i>4. CAPITOLO 4: L'Italia è pronta per rispondere a queste nuove sfide</i>	139
4.1 Forze e debolezze dell'industria italiana nella transizione industriale	139
4.2 CRM: la situazione nel sottosuolo italiano e la sua organizzazione	151
4.3 La risposta italiana al CRMA: il data base GeMMA	159
<i>5. CONCLUSIONI</i>	163
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	168
<i>RINGRAZIAMENTI</i>	177

## ***Introduzione***

L'umanità da sempre sfrutta le risorse che la Terra le ha fornito, contribuendo alla nostra salute, alla nostra felicità ed al nostro benessere. Tali risorse, unite all'intelletto umano, hanno permesso di raggiungere i più alti picchi di sviluppo ed innovazione tecnologica, a partire dall'età del rame, passando dalle prime rivoluzioni industriali fino ad arrivare alla cosiddetta Industria 4.0. Quest'ultima nasce come un vero e proprio paradigma economico nel quale la tecnologia consente di ripensare l'intera economia industriale. Il suo punto di forza è dato dall'interrelazione tra le tecnologie più avanzate ed innovative e quelle già esistenti al fine di delineare modelli di business e sistemi di produzione radicalmente nuovi (F. Canna, 2017). Tuttavia, mentre in passato lo sfruttamento eccessivo delle risorse fornite dal nostro pianeta determinava un vantaggio netto per gli esseri umani, il degrado ambientale e l'uso indiscriminato delle risorse stesse ha raggiunto un livello tale da determinare dei rischi per l'esistenza stessa della nostra civiltà.

Come si è visto più volte nel corso della storia, gli sviluppi tecnologici hanno un impatto decisivo sulla vita delle persone, con le tendenze produttive orientate alla tecnologia (in particolare all'IoT ed AI) che modellano la produzione e l'organizzazione industriale, evidenziando tensioni nei lavoratori, che non riescono a seguire i tempi e la velocità del mercato e "subiscono" lo sviluppo sia dal punto di vista reddituale che psico-sociale.

Da ciò, è nata la necessità di "completare" il processo di sviluppo iniziato con l'Industria 4.0. È, infatti, fondamentale garantire il benessere della società e del pianeta, indirizzando l'industria nella transizione da una visione prettamente incentrata sulla ricerca del profitto e dello sviluppo verso una visione sistemica fondata sui tre pilastri su cui si basa la nostra civiltà: Pianeta, Persone e Profitto.

Mentre la quarta rivoluzione industriale si è focalizzata sulla digitalizzazione dei processi e nell'uso di tecnologie evolute per aumentare produttività ed efficienza, l'Industria 5.0 è rivolta a garantire una dimensione intrinsecamente sociale, rivolta all'adozione di tecnologie che non sostituiscano, ma piuttosto integrino le capacità umane, ed una dimensione ambientale che promuova nuove soluzioni basate sulla natura che permettano di prosperare in una rispettosa interdipendenza con i sistemi naturali (M. Crisantemi, 2023).

La stretta interazione tra uomo e macchina, intrinseca nel paradigma di Industria 5.0, solleva questioni etiche in merito all'impatto della tecnologia sulle persone. L'etica, infatti, deve alimentare una relazione simbiotica tra gli esseri umani e il mondo cyber-fisico nell'Industria 5.0 ed in tal senso è fondamentale una progettazione dei sistemi industriali basata su principi che pongono in primo piano il benessere delle persone che interagiscono con le macchine, nonché sull'eticità delle tecnologie stesse (F. Longo *et al.*, 2020).

La mia tesi è rivolta ad approfondire quanto raggiunto dall'industria manifatturiera italiana per ciò che concerne l'adozione del paradigma di industria 4.0 e come la stessa, insieme ai paesi dell'Unione Europea, si stia mobilitando verso la transizione all'Industria 5.0.

La letteratura e le ricerche condotte sull'argomento si rivolgono prettamente alle modalità in cui l'Italia e la sua industria manifatturiera stanno affrontando il necessario processo di ammodernamento delle tecnologie e dei modelli di business richiesto dall'affermazione del paradigma industriale 4.0. In tal senso, sono rilevanti gli sforzi dei governi italiani nell'indirizzare l'industria nazionale verso uno sviluppo ed un'innovazione senza precedenti, seguendo le spinte dell'UE con il programma “*Next Generation – EU*” (NG-EU), che si concretizzano nel “Piano Impresa 4.0”. Il Piano prevede un insieme di misure organiche e complementari in grado di favorire gli investimenti per l'innovazione e per la competitività.

L'analisi fin qui sviluppata ha riguardato le potenzialità, le applicazioni, le declinazioni (M. Messori, 2021), il risultato di tali investimenti (G. Capuano *et al.*, 2020) nonché il gap che tuttora separa l'industria italiana dal raggiungere i livelli medi europei in termini di tecnologie ed innovazioni (L. Romano, 2018). Altrettanto importante è il filone di analisi che ha interessato l'iter di definizione delle caratteristiche della nuova Industria 5.0, a partire dalla sua prima determinazione da parte della Commissione Europea (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021) come naturale evoluzione dei concetti espressi nel “*Green Deal*” fino agli aspetti che la contraddistinguono dalla precedente rivoluzione 4.0 (D. Paschek *et al.*, 2019) ed il suo ruolo nell'affrontare la crisi socio-ambientale in corso in un'ottica “*planet and human-oriented*” (Jože M. Rožanec *et al.*, 2022; F. Longo *et al.*, 2020).

L'uso circolare e la gestione responsabile delle materie prime critiche è una componente cruciale nel processo di trasformazione sistemica in atto sia nel contesto internazionale ed europeo (M. Gislev *et al.*, 2018) che a livello nazionale (M. Lucarini *et al.*, 2020). In quest'ultimo ambito particolarmente rilevanti sono le iniziative messe in campo per allinearsi con le direttive del “*Critical Raw Materials Act*” e le altre normative e direttive europee sul tema, come la realizzazione della banca dati GeMMA, attraverso cui l'INSPRA intende fornire le informazioni minerarie disponibili, affinché esso diventi un valido strumento di supporto per lo sviluppo di politiche nazionali e regionali orientate alla produzione sostenibile ed all'uso efficiente delle risorse minerarie primarie e secondarie.

Tuttavia, poche sono le ricerche che hanno analizzato le potenzialità dell'industria italiana nel contesto della nuova rivoluzione industriale e i ritardi nell'adottare gli elementi caratterizzanti l'industria 5.0. L'analisi qui svolta ha l'obiettivo di evidenziare le potenzialità della manifattura italiana nell'applicazione delle tecnologie e dei sistemi produttivi coerenti con il paradigma dell'Industria 5.0, visti i risultati raggiunti sia in termini di “*circular economy*” sia per ciò che concerne l'uso delle risorse materiche che energetiche, nonché la sua impronta carbonica (F. Traù *et al.*, 2020), evidenziando l'opportunità che l'Italia ha davanti a sé.

Nel primo capitolo si analizzeranno le caratteristiche e le tecnologie che contraddistinguono la quarta rivoluzione industriale, il grado di implementazione delle stesse da parte del comparto manifatturiero italiano, gli elementi di inadeguatezza del paradigma di industria 4.0 rispetto alle sfide sociali ed ambientali attuali e la nuova traiettoria di sviluppo “disegnata” con il “*Green Deal*” europeo.

Il secondo capitolo verte sui principi del nuovo paradigma di Industria 5.0 e di come questi differiscano da quelli di Industria 4.0, le caratteristiche della cosiddetta “transizione gemellare” e come questa interagisca con la società e le Pubbliche Amministrazioni, per poi concentrarsi sui principi etici e di tutela propri di questa rivoluzione industriale.

Il terzo capitolo esamina il ruolo e la rilevanza delle materie prime critiche (CRM) nel contesto dell'Industria 5.0 e come L'UE sia intervenuta per tutelare le catene di approvvigionamento di questi materiali e la copertura del suo fabbisogno interno, tramite

il recupero degli stessi secondo un approccio di economia circolare, con il “*Critical Raw Material Act*” (CRMA). Si riporta, inoltre, l’esempio del settore automotive in cui i CRM sono particolarmente rilevanti per la transizione ai veicoli elettrici.

Infine, il quarto capitolo fornisce una panoramica sul comparto industriale italiano rispetto ai punti di forza e di debolezza in relazione al paradigma di Industria 5.0, la situazione mineraria in Italia e come il nostro Paese abbia sviluppato il database GeMMA per rispondere alle sue necessità interne e di adeguamento al CRMA.

## ***CAPITOLO 1: Rivoluzione tecnologica 4.0 e transizione verso l'Industria 5.0***

Il primo capitolo si concentra sulle tecnologie ed i principi che contraddistinguono la quarta rivoluzione industriale, la cosiddetta Industria 4.0, attraverso un'analisi del suo sviluppo a partire dalla sua prima introduzione fino alla piena esplicitazione di tutte i suoi elementi cardinali sia in termini tecnologico-digitali che concettuali.

Questi stessi elementi sono stati poi "immersi" nel contesto industriale italiano per evidenziare le opportunità che le nostre aziende trarrebbero dall'implementazione delle innovazioni 4.0, nonché i ritardi nella digitalizzazione che caratterizzano il Paese.

Infine, si evidenzierà l'inadeguatezza dei principi 4.0 rispetto al contesto di crisi sociale ed ambientale odierno e di come l'UE intenda porvi rimedio attraverso il "Green Deal" europeo.

### **1.1 Industria 4.0: caratteristiche ed importanza nel contesto industriale**

Il concetto di Industria 4.0 è apparso per la prima volta in un articolo pubblicato nel novembre 2011 dal governo tedesco in seguito ad una conferenza tenutasi ad Hannover in riferimento all'"iniziativa strategica" Industria 4.0, componente centrale del più ampio piano di sviluppo high-tech per il 2020. L'iniziativa è stata lanciata dal "Gruppo di Promotori della Comunicazione dell'Alleanza sulla Ricerca Industriale e Scientifica" (FU), con le raccomandazioni iniziali di attuazione formulate da un apposito gruppo di lavoro sotto il coordinamento dell'Accademia Nazionale di Scienza ed Ingegneria (Acatech).

Si deve, pertanto, alla FU la prima definizione del termine "Industria 4.0", che viene definita come "[...] *la quarta rivoluzione industriale, un nuovo livello di organizzazione e controllo delle catene del valore sull'intero ciclo di vita dei prodotti. Questo ciclo comprende la soddisfazione delle esigenze individuali dei clienti e si estende dall'idea, all'ordine reale, allo sviluppo, alla produzione, alla consegna al cliente e al processo di riciclaggio con i servizi coinvolti. La base per lo sviluppo è costituita dalla disponibilità di tutte le informazioni necessarie in tempo reale grazie all'interconnessione di tutte le istanze coinvolte nella creazione di valore e dalla capacità di ricavare il miglior flusso*

*di valore possibile sulla base dei dati risultanti. Attraverso la connessione di persone, oggetti e sistemi, si svilupperanno reti di valore dinamiche, ottimizzate in tempo reale, auto-organizzate e trasversali all'azienda, che potranno essere ottimizzate in base a diversi criteri, come i costi, la disponibilità e l'efficienza delle risorse”.*

L'Industria 4.0 è, dunque, figlia del processo innovativo avviato dalla quarta rivoluzione industriale (A. C. Pereira *et al.*, 2017), che fa seguito a quelle che l'hanno preceduta e che hanno determinato i principali cambiamenti nel settore manifatturiero nel corso degli ultimi due secoli: la prima rivoluzione industriale si è sviluppata in Inghilterra a metà del XVIII secolo ed è stata trainata dall'invenzione della macchina a vapore. Nella seconda metà del XIX secolo, in Europa e negli Stati Uniti prese piede la Seconda rivoluzione industriale, caratterizzata dalla produzione di massa e dalla sostituzione del vapore con l'energia chimica ed elettrica, che ha determinato l'introduzione di diverse tecnologie industriali e di meccanizzazione, come la catena di montaggio con operazioni automatiche. I progressi nell'uso dell'elettronica e dell'Information Technology consentirono un'ulteriore automazione della produzione grazie all'invenzione del circuito integrato (microchip). Quest'ultimo è stato il progresso tecnologico che ha dato il via alla Terza rivoluzione industriale, emersa negli ultimi anni del XX secolo (A. C. Pereira *et al.*, 2017).

Ogni rivoluzione industriale è stata trainata da un'innovazione tecnica che ha permesso il conseguente sviluppo produttivo: la macchina a vapore per la prima rivoluzione industriale; l'utilizzo dell'elettricità nei processi industriali per la seconda rivoluzione; l'uso delle ICT e dell'automazione industriale per la terza rivoluzione. L'elemento chiave che definisce questa nuova rivoluzione industriale è insito nella connettività dei sistemi produttivi basata sull'interconnessione delle piattaforme utilizzate nell'industria, capace di mettere in contatto spazi e mondi prima nettamente distinti e di sviluppare nuove tecnologie per incrementare l'efficacia e l'efficienza delle imprese, migliorandone le performance economiche (L. S. Dalenogare *et al.*, 2018). La quarta rivoluzione industriale interviene sull'intera catena del valore, dallo sviluppo del prodotto e dai processi di ingegneria alla logistica in uscita, e mira al raggiungimento di una piena integrazione tra le diverse dimensioni dell'impresa. Questa è il risultato della digitalizzazione delle aziende nonché dell'interrelazione tra le tecnologie più avanzate ed innovative e quelle già esistenti, capace di ridefinire i modelli di business, cambiando le



“regole del gioco” ed immaginando soluzioni “disruptive” per ottenere un vantaggio competitivo (L. S. Dalenogare *et al.*, 2018).

È tema di discussione, tuttavia, se il termine "rivoluzione" sia adeguato ad indicare il cambiamento in corso in quanto la trasformazione richiederà diversi decenni per diffondersi in modo omogeneo e gli elementi principali, che costituiscono questo processo di trasformazione, esistono già da tempo. Per tale motivo alcuni ritengono più adeguato il termine “evoluzione” per descrivere il nuovo paradigma industriale. Altri sostengono, invece, che il termine "rivoluzione" sia giustificato, poiché la trasformazione sta avendo un impatto tale da condizionare un'intera epoca industriale, dovuto al cambio di paradigma nella produzione (C. J. Bartodziej, 2016).

Al di là del lessico che si intende scegliere nel definire dell'Industria 4.0, è evidente il suo ruolo nel determinare il cambiamento da una società industrializzata verso una società post-industriale basata sulla conoscenza ed orientata ai servizi ed all'informazione (C. J. Bartodziej, 2016).

L'Industria 4.0, dunque, sta trasformando l'attuale panorama industriale in quanto consente:

- 1) la digitalizzazione della produzione;
- 2) l'automazione;
- 3) il collegamento del sito produttivo in una catena di fornitura completa.

Tali trasformazioni consentono lo sviluppo di processi produttivi in cui le singole componenti sono in grado di controllarsi autonomamente, di attivare azioni e di rispondere ai cambiamenti dell'ambiente che le circonda, dando vita a strutture di produzione flessibili ed efficienti in termini di tempistiche ed utilizzo delle risorse. Si enfatizzano, dunque, le opportunità di integrazione di tutti gli elementi in un sistema in grado di creare valore aggiunto. Numerose sono le tecnologie che rientrano e definiscono il concetto di Industria 4.0: i sistemi cyber-fisici o “*Cyber-Physical System*” (CPS), l’*Internet of Things*” (IoT), l’*Internet of Services*” (IoS), i “*Big Data*”, il “*Cloud Manufacturing*”, la realtà aumentata, sistemi automatizzati, tra cui l'intelligenza artificiale (AI), la robotica, i droni, le nanotecnologie e una serie di input che consentono la personalizzazione, la flessibilità e la produzione rapida (T. Zheng *et al.*, 2019). L'adozione di queste tecnologie è fondamentale per ottenere i benefici di processi di

produzione “smart”, in cui dispositivi, macchine, moduli di produzione e prodotti sono in grado di scambiare informazioni, operare e controllarsi autonomamente a vicenda.

In virtù di tali fondamentali tecnologiche, una definizione più precisa di Industria 4.0 è stata elaborata da Acatech nel 2013, che indicata come “[...] *l'integrazione tecnica delle CPS nella produzione e nella logistica e l'uso dell'Internet of Things and Services nei processi industriali*”. Weyer et al., infatti, affermano nell’articolo “*Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems*” che questo nuovo paradigma industriale è rivolto allo sviluppo di ambienti intelligenti in grado di unire il mondo reale e virtuale (A. C. Pereira et al., 2017). D’altra parte, secondo quanto riportato da Hermann et al. in “*Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*”, il concetto di Industria 4.0 trova la sua ragion d'essere in quattro abilitatori tecnologici: (1) CPS, (2) IoT, (3) IoS e (4) “*Smart Factory*”. Tali cardini sono le sostruzioni da cui poi originano ulteriori tecnologie, quali la comunicazione machine-to-machine e i prodotti intelligenti, con la prima che è un fattore abilitante dell’*Internet of Things*”, mentre i secondi sono un sottocomponente del CPS (A. C. Pereira et al., 2017). Come in pittura i quadri più belli e complessi sono originati da cinque colori primari da cui poi, effettuando le giuste combinazioni, è possibile ottenere ogni possibile sfumatura, allo stesso modo dietro il concetto di Industria 4.0 non esiste un’unica e nuova “Tecnologia” ma, piuttosto, il continuo progresso delle tecniche dell’informazione e della comunicazione, in combinazione con una crescita esponenziale della capacità di calcolo, trasmissione e archiviazione, che consentono l'emergere di nuovi sistemi sempre più potenti e interconnessi (C. J. Bartodziej, 2016).

Andando nel dettaglio, i “*Cyber-Physical System*” rappresentano uno dei progressi più significativi nello sviluppo dell’informatica e delle tecnologie dell’informazione alla base dell’Industria 4.0, consentendo l’interazione tra ambiente fisico e virtuale, nonché integrando, controllando e coordinando i processi e le operazioni e, allo stesso tempo, fornendo una gran mole di dati, volte al progresso delle attività (A. C. Pereira et al., 2017). Kagermann et al. (2013) definiscono le CPS come sistemi sociotecnici aperti, che consentono diverse funzioni, servizi e capacità innovative incorporati nei processi di produzione, nella logistica, nell’ingegneria, nel coordinamento e nella gestione, grazie a dei sensori attraverso cui raccolgono dati che usano, per mezzo di attuatori, per influenzare procedure fisiche (A. C. Pereira et al., 2017).

L'elemento distintivo delle CPS è costituito, da un lato, dall'infrastruttura tecnologica costituita da sistemi embedded, sensori ad alte prestazioni, attuatori e interfacce di comunicazione che forniscono le capacità hardware e, dall'altro, dall'interconnessione di oggetti e processi attraverso reti digitali informative aperte e globali (Internet) (C. J. Bartodziej, 2016).

La rete di connessioni ed interazioni che si viene a creare dal collegamento ad Internet dei CPS prende il nome di "*Internet of Things*" (IoT), ossia la connessione a Internet e tra di loro di oggetti fisici e di sistemi che vanno così a determinare un ambiente di produzione intelligente. Haller et al. hanno definito l'IoT come "*un mondo in cui gli oggetti fisici sono perfettamente integrati nella rete di informazioni ed in cui possono diventare partecipanti attivi nei processi aziendali. Sono disponibili servizi per interagire con questi oggetti intelligenti tramite Internet, interrogare il loro stato e qualsiasi informazione ad essi associata, tenendo conto delle questioni di sicurezza e di privacy*" (A. C. Pereira et al., 2017).

Più recente è, invece, il concetto di Internet of Services (IoS), che è descritto come: "[...] una parte di Internet che fornisce servizi e funzionalità come componenti software granulari e basati sul web. I fornitori li rendono disponibili su Internet e li offrono in base alla domanda effettiva [...]. Le aziende possono orchestrare i singoli componenti software in soluzioni complesse ma sempre flessibili (basate su architetture orientate ai servizi) [...]" (C. J. Bartodziej, 2016). L'IoS, dunque, fornisce le basi tecniche per la creazione di reti commerciali tra fornitori e clienti, seguendo un approccio simile a quello dell'IoT ma applicato ai servizi invece che alle entità fisiche, consentendo di incrementare la creazione di valore dalla relazione tra gli stakeholders della catena del valore.

L'IoT apre a nuove frontiere e molte applicazioni stanno emergendo in virtù delle tre principali caratteristiche che ne contraddistinguono l'adozione come: l'ottimizzazione dei processi, del consumo di risorse e la creazione di sistemi autonomi complessi più intelligenti, affidabili e autonomi, favorendo la fornitura di prodotti e servizi a valore aggiunto (A. C. Pereira et al., 2017).

In coerenza con la focalizzazione che il nuovo paradigma ha verso il comparto manifatturiero, è stato introdotto il termine "*Industrial Internet of Things*" (IIoT), da cui scaturiscono le cosiddette "*Smart Factories*".

Le “*Smart Factories*” sono un ulteriore aspetto chiave della nuova rivoluzione industriale e si distinguono per l’ampia adozione delle tecnologie digitali (dispositivi mobili, cloud computing, intelligenza artificiale, “*Internet of Things*”) e di nuovi modelli di business (compresi gli strumenti di navigazione, le app “*ride-sharing*”, servizi di consegna e di trasporto ed i veicoli autonomi) in una catena del valore globale ed interoperabile, ma anche condivisa da molte aziende di molti Paesi (B. Tjahjono *et al.*, 2017).

Le tre caratteristiche generali che definiscono la “*Smart Factory*” sono:

- Integrazione orizzontale attraverso reti di valore: integrazione dei sistemi informatici nelle diverse fasi produttive e di pianificazione aziendale che comportano lo scambio di materiali, energia e informazioni sia all'interno di un'azienda (logistica in entrata, produzione, logistica in uscita, marketing) sia tra diverse aziende (reti di valore).
- Integrazione digitale “*end-to-end*” dell'ingegneria lungo l'intera catena del valore: sistemi informatici in grado di fornire un supporto end-to-end all'intera catena del valore, dallo sviluppo del prodotto all'ingegneria del sistema di produzione, alla produzione stessa ed ai servizi.
- Integrazione verticale e sistemi di produzione in rete: integrazione di vari sistemi IT ai diversi livelli gerarchici di un'azienda al fine di fornire una soluzione di tipo “*end-to-end*” (C. J. Bartodziej, 2016).

Come chiave per i futuri scenari dell'Industria 4.0, i Prodotti “*Smart*” risultanti dal processo produttivo hanno un elevato potenziale per la realizzazione dell'integrazione digitale end-to-end e, di conseguenza, per un cambiamento di paradigma nella produzione di cui sono artefici le “*Smart Factories*”, integrandosi con l'intera catena e monitorando le proprie fasi di produzione. Inoltre, i prodotti intelligenti, in quanto prodotti finali, sono autoconsapevoli dei parametri all'interno dei quali dovrebbero essere utilizzati, fornendo informazioni sul loro stato durante l'intero ciclo di vita.

Ulteriori avanzamenti tecnici sono previsti nei seguenti ambiti:

- Integrazione di sensori in rete che consentono di ridurre il sovraccarico di dati sulla stessa, facilitando lo scambio di informazioni;

- Sviluppo dei cosiddetti “gemelli digitali” per facilitare il monitoraggio della catena produttiva e programmare e prevedere azioni di manutenzione preventiva;
- Potenziamento delle competenze dei lavoratori tramite supporti virtuali quali VR/AR;
- Adozione di sistemi di intelligenza artificiale in diverse macchine o robot così che siano in grado di eseguire i rispettivi compiti basandosi sulle loro capacità di apprendimento (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

In virtù della struttura tecnologica appena descritta, è possibile sintetizzare i quattro aspetti dell'Industria 4.0 che spiccano tra gli altri:

- Rete verticale di sistemi di produzione intelligenti: Questo tipo di rete si basa sui CPS per costruire fabbriche riconfigurabili e flessibili in grado di far fronte ai cambiamenti dell'ambiente e della domanda di mercato, assicurando una personalizzazione di massa.
- Integrazione orizzontale attraverso una nuova generazione di reti globali delle catene del valore: L'implementazione del CPS all'interno della fabbrica intelligente richiede strategie, reti e modelli di business per realizzare un'integrazione orizzontale in tutte le fasi di produzione, dallo sviluppo alla distribuzione.
- Supporto ingegneristico per tutto il ciclo di vita del prodotto lungo l'intera catena del valore
- Accelerazione attraverso le tecnologie esponenziali, caratterizzate da un miglioramento inarrestabile, in accordo con i principi della Legge di Moore (B. Tjahjono *et al.*, 2017).

Altrettanto importante è evidenziare come l'Industria 4.0 porti con sé due questioni ulteriori: le modalità con cui le persone si interfacciano con i macchinari (“*Human Machine Interface*” - HMI) e l'emergere di nuove tipologie di lavoro (C. J. Bartodziej, 2016). In riferimento alla prima, le interfacce uomo-macchina promuovono l'interazione e la necessaria comunicazione tra macchine intelligenti, prodotti intelligenti e dipendenti, potenziata dallo sviluppo di IoT e IoS abilitata dalle CPS, facendo sì che si crei una linea

di contatto con il personale all'interno del contesto industriale e consentendo una gestione in tempo reale lungo tutta la catena del valore.

Relativamente alla seconda questione, fortemente correlata alla fabbrica intelligente, l'ambiente di lavoro cambia rapidamente per via dell'integrazione di automatismi nei sistemi produttivi e della crescente implementazione di nuove tecnologie, andando ad impattare sui profili professionali, nonché sulla gestione, l'organizzazione e la pianificazione del lavoro, trasformando le attività e le competenze richieste.

In tale contesto, la sfida principale è evitare la cosiddetta “disoccupazione tecnologica” attraverso la ridefinizione degli attuali posti di lavoro e l'adozione di misure volte ad adattare la forza lavoro alle trasformazioni in corso (A. C. Pereira *et al.*, 2017).

Elementi quali la riduzione dei cicli di vita dei prodotti, la breve durata e l'intercambiabilità tra i modelli di business, lo sviluppo di reti di imprese, la diffusione di modelli di “*open innovation*”, intrinseci al paradigma di Industria 4.0, sono la causa del rischio che “i lavoratori non riescano a muoversi al ritmo del mercato”, lasciati indietro sia dal punto di vista reddituale che psico-sociale (F. Canna, 2017).

Le infrastrutture pubbliche e private devono saper leggere ed assecondare gli impulsi dettati dal processo di transizione, costante e generalizzata, al fine di costruire un nuovo modello di mercato del lavoro inclusivo ed in grado di offrire pari opportunità.

Lo sviluppo delle competenze è uno dei fattori chiave per il successo dell'adozione e dell'implementazione dell'Industria 4.0, che richiede nuove figure professionali, capaci di acquisire velocemente le competenze richieste attraverso una formazione di alta qualità. L'acquisizione del bagaglio di conoscenze tecniche comporterà che i lavoratori effettuino momenti di riqualificazione professionale ad ogni età, ripensando, quindi, il concetto di “invecchiamento attivo” nell'ottica del potenziamento della persona (“*lifelong learning*”) (F. Canna, 2017). L'obiettivo consiste nel generare un “profilo trasversale” alle diverse conseguenze del salto tecnologico, facendo riferimento sia alle competenze di tipo tecnico-specialistico sia alle “*soft skills*”, che possono consentire ai lavoratori un miglior approccio a scenari mutevoli e complessi.

Al di là delle conseguenze immediate della tecnologia e dell'automazione sull'occupazione, è necessario considerare anche i cambiamenti sociali di medio e lungo periodo indotti dalla combinazione tra innovazione ed andamenti demografici (F. Canna, 2017). Da questo punto di vista, se da un lato non vanno trascurati gli impatti

occupazionali, dall'altro non sono da sottovalutare le potenzialità delle tecnologie che già oggi, ed in misura sempre maggiore, garantiscono sicurezza ed efficienza ergonomica ai lavoratori, riducendo gli elementi di sforzo e fatica, così da ridurre al minimo le potenziali conseguenze negative che potrebbero soffrire in futuro.

D'altro canto, è proprio grazie alla tecnologia che, negli ultimi decenni, si è ottenuto un miglioramento della qualità del lavoro e della produttività delle imprese, oltre che della vita di ognuno, e, allo stesso tempo, la creazione di nuovi lavori (F. Canna, 2017). Dalle stime OCSE relative ai 27 Paesi europei, si calcola che la digitalizzazione abbia prodotto 11,6 milioni di posti di lavoro aggiuntivi tra il 1999 e il 2010, ma non senza determinare anche la scomparsa di alcuni di essi, seguendo, però, quelle che sono le caratteristiche di un fenomeno di sostituzione e trasformazione e non di pura distruzione.

Il progresso tecnologico, negli anni a venire, non avrà il potere di rendere definitivamente inutile la presenza e l'importanza del lavoro umano, che, invece, sarà in grado di esprimersi in amplissimi campi, rispondendo a esigenze vitali delle singole persone e della società. Infatti, sarà la stessa disponibilità di lavoro umano, generata dalla scomparsa dei vecchi mestieri, a stimolare la creazione di nuovi, determinando la nascita di un Lavoro 4.0 in grado di affiancare l'Industria 4.0 (F. Canna, 2017).

Ciò risulta ancor più necessario se si considera che, nonostante l'adozione sempre più consistente di soluzioni "smart", molte decisioni saranno ancora prese dalle persone, pertanto, gli Oggetti Smart dovranno andare oltre l'interazione nelle reti basate su sistemi IoT e svilupparsi verso una più efficace comunicazione con le persone incaricate di prendere le decisioni.

Gli oggetti Smart, come detto in precedenza, interagiscono con i propri utenti tramite le interfacce uomo-macchina (HMI), che non forniscono solo informazioni, ma anche raccomandazioni sul processo decisionale basate su dati precedentemente aggregati (C. J. Bartodziej, 2017). Tecnologie che sono in grado di accumulare dati relativamente ai comportamenti umani e dell'utente consentono di diagnosticare, simulare, prevedere e supportare le attività umane nelle interazioni con gli oggetti intelligenti. Atzori et al. in *"From "smart objects" to "social objects": The next evolutionary step of the internet of things"*, hanno osservato come anche per le macchine si possa individuare un processo evolutivo che, per determinati aspetti, può essere avvicinato a quello dell'evoluzione

umana, passando dagli oggetti intelligenti (*res sapien*) agli oggetti che agiscono (*res agens*) fino a quelli che chiamano oggetti sociali (*res socialis*). Un oggetto sociale avrebbe una coscienza sociale, che farebbe parte di una comunità di oggetti e dispositivi, in quella che definiscono una IoT sociale (C. J. Bartodziej, 2017).

I potenziali benefici della quarta rivoluzione industriale per l'intero comparto produttivo sono innumerevoli e vanno a toccare diversi ambiti. S. Al Zadjali *et al.* (2021), nell'analizzare l'impatto dell'Industria 4.0 sul comparto manifatturiero, hanno individuato 6 principali benefici del nuovo paradigma industriale:

- 1) Aumento della produttività: come già detto in precedenza, l'implementazione del paradigma di Industria 4.0 consente di aumentare la produttività delle aziende manifatturiere, grazie ad un'adeguata condivisione delle informazioni attraverso le tecnologie IoT ed a quelle basate sul cloud, permettendo all'organizzazione di esaminare efficacemente ogni fase della catena di fornitura, rendendo più facile per le organizzazioni sviluppare strategie per la gestione della supply chain e della produzione. I compiti più ripetitivi delle organizzazioni possono essere svolti da macchine intelligenti, rendendo possibile produrre più beni in un tempo limitato, determinando un aumento nel tasso di produzione dell'organizzazione.
- 2) Rimanere competitivi: la corretta gestione dei ritmi di produzione e della catena di fornitura garantiti dalle tecnologie CPS e IoT, consente all'organizzazione di soddisfare i bisogni in diversi segmenti del mercato. In tal senso, l'implementazione di Industria 4.0 può aiutare a evitare, da un lato, il rischio di non poter provvedere alla domanda di mercato e, dunque, perdere competitività rispetto ai propri competitors e, dall'altro, di ridurre al minimo il problema della produzione in eccesso, che comporta lo spreco di materiali e risorse preziose (Castelo-Branco *et al.* 2018).
- 3) Maggiore condivisione delle conoscenze e lavoro collaborativo: tramite l'uso di tecnologie di condivisione delle informazioni basate sull'IoT e sul cloud, che aiutano a condividere le informazioni rilevanti all'interno dei diversi reparti, si viene a generare un flusso di dati che consente ai reparti stessi di gestire il loro lavoro, aiutando anche a migliorare la collaborazione tra team e facilitando il raggiungimento degli obiettivi fissati.



- 4) Efficienza dei costi: l'automatizzazione delle attività di produzione garantita dalle tecnologie intelligenti permette di eseguire compiti ripetitivi senza alcun errore. Di conseguenza, le organizzazioni possono gestire i propri cicli di produzione in maniera efficiente.
- 5) Flessibilità e agilità: implementando le tecnologie che definiscono l'Industria 4.0, diventa più facile raggiungere un livello tale di produzione che consenta di attivare dell'economia di scala, includere nuove linee di prodotti o di rimodulare la produzione sulla base delle evoluzioni di contesto.
- 6) Migliore esperienza del cliente: l'uso di tecnologie intelligenti e dell'automazione nella produzione contribuisce a migliorare la qualità dei prodotti ed i tempi di produzione. Il miglioramento della qualità dei prodotti contribuisce ad aumentare il livello di soddisfazione dei clienti e di conseguenza alla loro diffusione, favorendo l'aumento dei tassi di produzione e consentendo all'organizzazione di gestire la disponibilità dei prodotti nei diversi mercati, cosicché i clienti non riscontrino problemi nel reperirli.

## 1.2 La posizione dell'Italia rispetto alla quarta rivoluzione industriale

Negli ultimi anni, il comparto manifatturiero ha dovuto affrontare diversi fenomeni che hanno determinato l'incremento della concorrenza tra le aziende in ogni ambito nonché la crescente complessità e personalizzazione delle richieste che clienti presentano alle imprese, continuamente sollecitate a soddisfarne le diverse preferenze per creare valore sia attraverso il “*time-to-market*”, sia attraverso una maggiore affidabilità e qualità dei prodotti. Per questo motivo, la possibilità di ottenere un processo produttivo capace di garantire un'elevata flessibilità e la personalizzazione del prodotto, pur mantenendo le condizioni economiche della produzione di massa attraverso l'adozione di tecnologie disruptive, ha rapidamente attirato l'attenzione mondiale di imprese e governi (T. Zheng *et al.*, 2019).

Quest'ultimi hanno rapidamente abbracciato il nuovo paradigma, fornendo documenti e piani industriali nazionali (EFFRA, 2013; Governo federale tedesco-BMBF, 2010, 2014; “*Gouvernement Française-Ministère de L'économie*”, 2016; Governo italiano-Ministero dello Sviluppo Economico, 2016) che, nonostante la convergenza ed interdipendenza tra le politiche nei vari Paesi, soprattutto all'interno dell'Unione Europea, hanno registrato un disallineamento rispetto all'adozione delle tecnologie abilitanti, poiché ogni Paese è presenta specifiche peculiarità del proprio panorama produttivo che portano a diversi livelli di adozione e implementazione dei principi fondamentali dell'Industria 4.0 (T. Zheng *et al.*, 2019).

I dati recenti relativi allo stadio raggiunto in termini di adozione e applicazione delle tecnologie 4.0 in ambito industriale rivelano come l'Italia abbia una posizione di tutto rilievo sia a livello europeo che nel panorama mondiale. L'Italia, infatti, grazie alle circa 5.400 imprese manifatturiere “*high-tech*”, rientra fra i primi quattro Paesi in Europa (insieme a Germania, UK e Polonia), dove si contano nel complesso circa 46.000 imprese ad alta tecnologia, e tra le prime dieci a livello mondiale per quanto riguarda molte delle tecnologie abilitanti (M. Sabatini *et al.* (Deloitte), 2018).

Per ciò che concerne il settore della robotica industriale, sebbene si tratti di un settore altamente concentrato e dominato da alcune delle principali potenze mondiali (Germania, Cina, Corea del Sud, Giappone e Stati Uniti), l'Italia si posiziona al settimo posto al mondo. Secondo UCIMU, la produzione di macchine utensili, robotica e automazione nel

2022 ha raggiunto un risultato che vede un tasso di crescita del 14,6% rispetto al 2021, mentre la domanda è cresciuta del 31,3% nel medesimo arco temporale (Anitec-Assinform, 2023).

Rilevanti sono anche i risultati in termini di “intensità robotica industriale”, cioè il rapporto tra il numero di robot industriali e la dimensione della forza lavoro presente in azienda, vista la sua crescente diffusione nell’ambiente aziendale, che consente agli addetti di dedicarsi ad attività di maggior valore, lasciando alle macchine quelle maggiormente ripetitive, meccaniche o pericolose, adattandole a svolgere diversi task in completa autonomia.

Altrettanto importanti sono i risultati raggiunti dall’Italia nel mercato dell’IoT che, nel 2017, ha raggiunto un valore superiore ai 3,5 miliardi di euro, registrando un tasso di crescita del 32%.

Le principali applicazioni dell’*“Internet of Things”* riguardano la manutenzione preventiva e predittiva, la tracciabilità dei prodotti, la gestione dei consumi energetici e la gestione degli asset logistici. In particolare, i comparti *“Smart Metering”*, sistemi per la lettura e la gestione telematica dei contatori di energia elettrica, gas e acqua, e *“Smart Car”* sono stati quelli che hanno registrato il maggior valore assoluto (980 e 810 milioni di euro), seguiti dal comparto degli *“Smart Building”* (520 milioni) e dalle soluzioni dell’*“Internet of Things”* per la logistica industriale (360 milioni) (M. Sabatini, 2018).

Dalle stime dell’OECD, l’Italia risulta tra i Paesi leader (al 6° posto nel mondo) anche nell’ambito dell’interconnessione fra le macchine industriali (*“M2M communication”*), risultato che ben si collega con quanto osservato in precedenza, in quanto costituisce l’infrastruttura alla base dell’*“Internet of Things”*, insieme all’implementazione delle tecnologie CPS. Infatti, la diffusione in Italia delle SIM card installate in macchine e sensori (essenziali per la *“M2M communication”*) è pari a 16,4 ogni 100 abitanti, valore che è in linea con quanto registrato in Paesi come Cina e Germania ed addirittura superiore ai valori del Giappone (12,7) e della Corea del Sud (8,3) (M. Sabatini, 2018).

Tutti settori industriali hanno partecipato nel raggiungere questi risultati, ma l’assoluto protagonista che ha consentito e trainato il progresso e l’evoluzione di tali tecnologie, è stato il settore manifatturiero, confermandosi uno dei più dinamici anche in Italia ed Europa, fucina di innovazioni e principale motore dell’economia nazionale.

Questo ha fatto sì che nel 2022 il mercato digitale registrasse una crescita del 2,4%, con andamenti differenziati tra i diversi segmenti, attestandosi ad un valore complessivo di 77,1 miliardi di euro, sebbene inferiore alla crescita del PIL nazionale (+3,7%) (Anitec-Assinform, 2023).

I Servizi ICT hanno fatto osservare la più spiccata accelerazione (+8,5% e 14,8 miliardi di euro), dovuta principalmente ai servizi di “*cloud computing*”, di “*cybersecurity*” e, in misura minore, ai servizi di “*system integration*” (Anitec-Assinform, 2023).

Le dinamiche alla base della crescita del mercato digitale sono state:

- l’adozione sempre più diffusa del “*cloud*” sia infrastrutturale che applicativo trasversale a tutti i settori;
- il miglioramento innovativo della “*customer experience & engagement*”;
- l’incremento del grado di sicurezza e privacy dei dati e delle informazioni aziendali;
- l’utilizzo di sistemi avanzati di analisi dei dati e delle informazioni basati sull’Intelligenza Artificiale.

Quest’ultimo punto assume particolare importanza in quanto la generazione di gran moli di dati interessa ormai tutte le funzioni di un’azienda che, attraverso loro gestione, è in grado di estrarre valore. Le analisi sui “*Big Data*” permettono di supportare al meglio le decisioni strategiche, gestire le politiche di contenimento dei costi, ideare ed applicare tecnologie e scenari evolutivi, ottenere un maggior coordinamento e controllo lungo le catene del valore, aderire meglio alle direttive di compliance e, in alcuni casi, indirizzare le curve di sviluppo dell’innovazione di processo, di prodotto o di servizio, tanto che sempre più spesso si parla di organizzazioni data-centriche o “*data-driven*” (Anitec-Assinform, 2023).

Molte aziende stanno, quindi, implementando iniziative di “*data strategy*” attraverso processi che puntano a migliorare le modalità di acquisizione, archiviazione, gestione, condivisione ed utilizzo dei dati (interni o acquisiti all’esterno, ossia open data) in possesso dell’azienda stessa, finalizzati all’affinamento di metodi, tecnologie e comportamenti.

Ciò è sottolineato dal buon andamento degli investimenti nelle tecnologie alla base del paradigma industriale 4.0, che si sono attestati ad un valore di circa 3,5 miliardi di euro e

si sono rivolti principalmente all'acquisto di macchinari e attrezzature (50%), al potenziamento ed allo sviluppo di attività immateriali (software, formazione e processi aziendali), per un valore percentuale pari al 38%, trainati in larga parte dagli investimenti in software, ed agli investimenti in R&S (12%) (Anitec-Assinform, 2023).

La pandemia da Covid-19 è risultata un fattore determinante nel processo di accelerazione all'adozione di tecnologie digitali innovative nel comparto manifatturiero in Italia, come evidenziato dal fatto che il 41% delle imprese italiane afferma di effettuato investimenti o aver adottato misure per aumentare il grado di digitalizzazione aziendale, mentre il 47% ha sviluppato o introdotto nuovi prodotti, processi o servizi. Questa crescita ha consentito al 68% delle imprese di adottare almeno una della tecnologia digitali più avanzate, in linea con gli altri paesi dell'UE (69%). Significative sono state quelle relative al “*remote working*”, impiegato dal 67% delle aziende, e misure di sicurezza informatica, passando da una percentuale del 34,4% nel 2019 al 48,2%, contro una media UE del 37%, alle tecnologie e specialisti nell'ambito ICT, dove la quota di imprese con 10 o più addetti che impiega specialisti ICT ha registrato una crescita rispetto al livello medio osservato nel 2020 (12,6%) attestandosi al 13,4%, seppur ancora inferiore alla media UE (21%) (Anitec-Assinform, 2023).

Il 2022 ha confermato la forte accelerazione degli investimenti da parte delle aziende italiane nelle soluzioni e servizi dell' “*Artificial Intelligence*”, evidenziata facendo riferimento ai livelli di spesa nel settore AI, che è arrivato a raggiungere un valore assoluto di 435 milioni di euro, determinando una crescita consistente del 32,4% rispetto ai livelli dell'anno precedente (Anitec-Assinform, 2023).

È stato evidenziato da una survey realizzata da NetConsulting Cube come il settore abbia amplissimi margini di sviluppo, viste le innumerevoli opportunità di implementazione di una tecnologia rivoluzionaria e versatile come l'AI, fondamentale per raggiungere i livelli più alti di ottimizzare dei processi business.

Numerose sono, poi, le funzioni aziendali che sono coinvolte nel processo di implementazione delle tecnologie alla base del paradigma 4.0, ma il maggiore impatto è registrato nelle fasi relative all'R&S, alla produzione, all'IT, la direzione e alle risorse umane (T. Zheng *et al.*, 2019). Tra queste, la produzione risulta essere la funzione aziendale in cui il tasso di implementazione delle nuove tecnologie risulta maggiore viene implementata la maggior parte delle tecnologie, in quanto rivolto soprattutto a migliorare

la capacità produttiva dell'azienda nonché la sua adattabilità e flessibilità alle caratteristiche esterne dell'ambiente esterno.

Anche l'area di R&S è risulta cruciale nel processo di implementazione delle tecnologie abilitanti dell'Industria 4.0 in quanto ha il compito di sviluppare soluzioni innovative che partono da esse e che devono essere adattate alle specifiche caratteristiche dell'azienda. Infatti, la R&S è la funzione che agisce a più stretto contatto con le tecnologie più innovative dal momento che è la prima ad entrarvi in contatto e verificare le possibilità d'adozione, soprattutto nei casi di tecnologie non completamente mature.

Allo stesso modo, l'IT agisce da albero di trasmissione nel determinare l'adozione delle nuove tecnologie nelle altre fasi del processo aziendale, permettendo la raccolta e la condivisione delle informazioni in tempo reale tra i diversi reparti. Un'adeguata individuazione e scambio di dati, garantita da un funzionale sistema IT aziendale, costituisce la base necessaria per l'implementazione e per il corretto funzionamento dei sistemi CPS e dell'IoT.

Un impatto significativo nel meccanismo di attuazione dei cambiamenti necessari per l'applicazione del paradigma industriale 4.0 è determinato dalla funzione di direzione, in virtù del suo ruolo di guida allo sviluppo dell'azienda e delle funzioni della stessa.

Infine, decisivo è il compito svolto dalle risorse umane nel selezionare, reclutare e formare il personale in base al cambiamento necessario. Infatti, l'ambiente manifatturiero definito dal paradigma 4.0 richiede manodopera manageriale e produttiva dotate delle necessarie competenze verso i nuovi materiali, macchine e tecnologie (T. Zheng *et al.*, 2019).

I risultati raggiunti dal manifatturiero in Italia, nonché la sua propensione verso tale innovazione, sono determinati dalle caratteristiche del contesto italiano, favorevole agli investimenti in tecnologia 4.0 che gli forniscono alcuni fattori competitivi:

- La dimensione assoluta del suo comparto industriale: l'Italia, infatti, parlando in termini di valore aggiunto, risulta la seconda potenza europea per dimensione assoluta dell'Industria e la settima al mondo. Il nostro paese, dunque, offre una ampia domanda potenziale che risulta di enorme rilievo per tutti coloro che vogliono investire sulle tecnologiche 4.0 destinate al “*business-to-business*” (B2B).

- Ampia diversificazione delle sue produzioni: il grado di diversificazione produttiva dell'Italia è il quarto più alto a livello mondiale (L. Romano e F. Traù, 2019), il che garantisce un'ampia pletora di possibili applicazioni industriali in cui applicare soluzioni digitali ed innovative.
- Solida produzione di macchinari e apparecchiature industriali, che si traduce in una posizione preminente e strategicamente rilevante dell'Italia a livello mondiale, in quanto assicura all'industria nazionale la possibilità di avere un controllo diretto e di avviare processi di sviluppo endogeno delle tecnologie 4.0.
- Stetti rapporti con l'industria tedesca: sebbene la Germania risulti la principale competitor dell'Italia in ambito industriale, la sua preminenza nella capacità di sviluppare soluzioni innovative nell'adozione delle tecnologie digitali offre a molte realtà produttive italiane il vantaggio strategico di poter agganciare il percorso evolutivo intrapreso dalle imprese tedesche. Ciò consente di ridurre nel nostro comparto manifatturiero i rischi associati agli investimenti in ricerca e innovazione, anche in virtù della loro posizione di fornitori a monte (L. Romano, 2018).

Tuttavia, sono da evidenziare anche gli altrettanto consistenti e rilevanti punti deboli del comparto manifatturiero italiano, che spiegano il motivo per cui l'Italia stia dimostrando una maggiore tendenza a subire il cambiamento piuttosto che a guidarlo:

- Elevato grado di frammentazione verticale delle catene del valore: la manifattura italiana è caratterizzata da un elevatissimo numero di PMI di dimensioni modeste e specializzate in singole fasi del processo produttivo, determinando un basso livello di coordinamento delle strategie d'investimento.

L'assenza di imprese di grandi dimensioni o di una strategia d'investimento comune tra imprese di dimensioni modeste rappresenta un ostacolo strutturale alla implementazione delle tecnologie 4.0. Infatti, il vincolo dimensionale dell'industria in Italia è dovuto al fatto che le imprese di minori dimensioni trovano poco conveniente sostenere i costi fissi necessari alla transizione verso il paradigma 4.0, siccome il perimetro aziendale determina "l'area" entro cui misurare costi e benefici dell'implementazione tecnologica. L'assenza di coordinamento strategico tra imprese riduce sensibilmente la possibilità che si crei

un contesto tale da valorizzare ed incentivare possibili sinergie tecnico-produttive tra le diverse componenti delle filiere nazionali.

- Deboli legami tra le imprese, università e centri di ricerca: l'ambiente accademico viene percepito come distante dalle esigenze sottolineate dalle industrie ed il suo contributo è risultato marginale nel potenziare la competitività del comparto manifatturiero italiano, evidenziando come, anche in tale ambito, risulti complessa e tortuosa la condivisione delle strategie d'investimento in innovazione tecnologica.
- Bassa diffusione della cultura manageriale: componente essenziale dell'impresa per avviare il processo di trasformazione dell'adozione delle nuove tecnologie 4.0 e delle competenze organizzative in opportunità di creazione di valore aggiunto.
- Scarsa alfabetizzazione digitale: il comparto manifatturiero italiano presenta una scarsa adozione delle tecnologie ICT di base, struttura portante delle “*smart factories*” digitalizzate (L. Romano, 2018).

In riferimento alla ridotta alfabetizzazione digitale, le ricerche svolte dal Centro Studi di Confindustria (CSC) (L. Romano, 2018) hanno permesso di individuare una classificazione che distingue le aziende italiane relativamente al grado implementazione ed al numero di tecnologie digitali adottate sulla base di tre indicatori:

- 1) L'uso di una tra queste tecnologie: software ERP (“*Enterprise Resource Planning*”), CRM (“*Customer Relationship Management*”) e SCM (“*Supply Chain Management*”);
- 2) Disponibilità di specialisti in ambito ICT;
- 3) Aver effettuato investimenti in almeno due ambiti tra: soluzioni di IoT, manifattura additiva, robotica intelligente, “*cloud computing*”, “*big data analytics*”, realtà aumentata/virtuale, nel periodo compreso tra il 2014 ed il 2016.

Dall'analisi così svolta, è stato possibile individuare cinque differenti categorie di imprese (Figura 1):

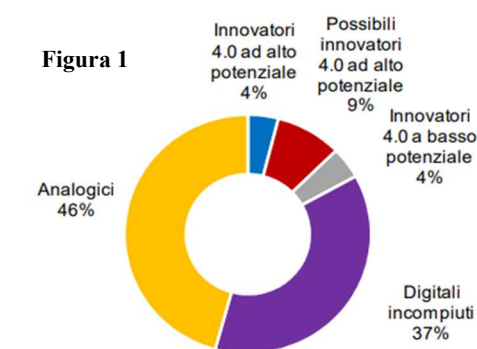
- Innovatori 4.0 ad alto potenziale: così definite in virtù dell'adozione all'interno dell'azienda di software ICT per la raccolta dei dati, accompagnati dalle necessarie competenze specialistiche nel medesimo ambito, e degli investimenti



in almeno due tecnologie 4.0. Tale categoria corrisponde al 4% del totale delle imprese manifatturiere con più di 10 addetti, ossia 2.700 imprese circa.

- Possibili innovatori 4.0 ad alto potenziale: tale classe di imprese differisce da quella precedente per la mancanza di investimenti pregressi in almeno due ambiti tecnologici 4.0. Le imprese rientranti in questo gruppo costituiscono il 9% del totale delle imprese manifatturiere con più di 10 addetti (~6.100 imprese).
- Innovatori 4.0 a basso potenziale: tali imprese si definiscono “a basso potenziale” poiché, sebbene si riscontri la presenza di software ICT volti alla raccolta dei dati e l’impresa si sia impegnata nell’investimento in almeno due ambiti delle tecnologie digitali indicate, non dispongono delle competenze specialistiche in ambito ICT. Questo insieme racchiude il 4% del totale delle imprese manifatturiere con più di 10 addetti, (~2.700 imprese).
- Digitali incompiuti: si caratterizzano per la sol presenza di software ICT di raccolta dati ma risultano privi delle competenze specialistiche necessarie per il corretto funzionamento dei software stessi e non hanno effettuato investimenti che vado a toccare almeno due delle tecnologie riportate nell’indicatore. Tale classe presenta un’alta percentuale di imprese italiane tra quelle con più di 10 addetti, ossia il 37% (~25.000 imprese).
- Analogici: risultano carenti in tutti e tre gli ambiti analizzati dagli indicatori su cui si fonda la ricerca del CSC e corrispondono al il restante 46% del totale delle imprese manifatturiere con più di 10 addetti (~31.000 imprese) (L. Romano, 2018).

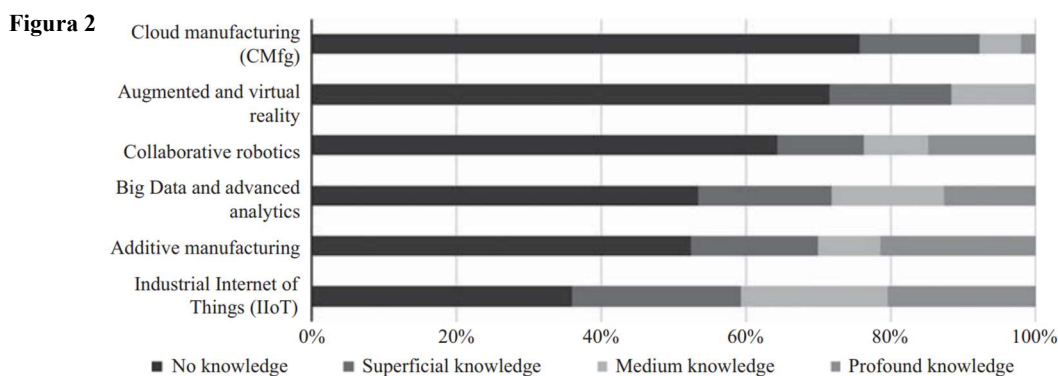
Da quanto si evince dall’analisi del CSC, le aziende italiane, dunque, non sono contraddistinte da un’approfondita conoscenza e competenza nell’ambito delle tecnologie abilitanti l’Industria 4.0, tanto che l’assenza di un’adeguata struttura ICT di base, pilastro portante dell’implementazione delle innovazioni



Fonte: elaborazioni CSC su dati Istat - Indagine ICT.

digitali in azienda, caratterizza poco meno della metà delle imprese manifatturiere con più di 10 addetti e la percentuale sfiora il 90% se si fa riferimento alla mancanza delle necessarie competenze tecniche e specialistiche (L. Romano, 2018).

È possibile notare, tuttavia, come vi sia discontinuità tra il livello di conoscenza delle diverse tecnologie 4.0, con l'IIoT (“*Industrial Internet of Things*”) che risulta essere l'unica tecnologia conosciuta da oltre la metà (64%) delle imprese del comparto manifatturiero italiano, sebbene spesso si tratti una conoscenza solamente superficiale (Figura 2). Non si può dire altrettanto della robotica collaborativa, un'incognita per il 65% delle imprese considerate, e delle tecnologie Cloud e di realtà aumentata applicata all'ambiente industriale, sconosciute al 70% del campione analizzato da T. Zheng *et al.*, 2019.



Fonte: “The impacts of industry 4.0: a descriptive survey in the italian manufacturing sector” (Ting Zheng *et al.*)

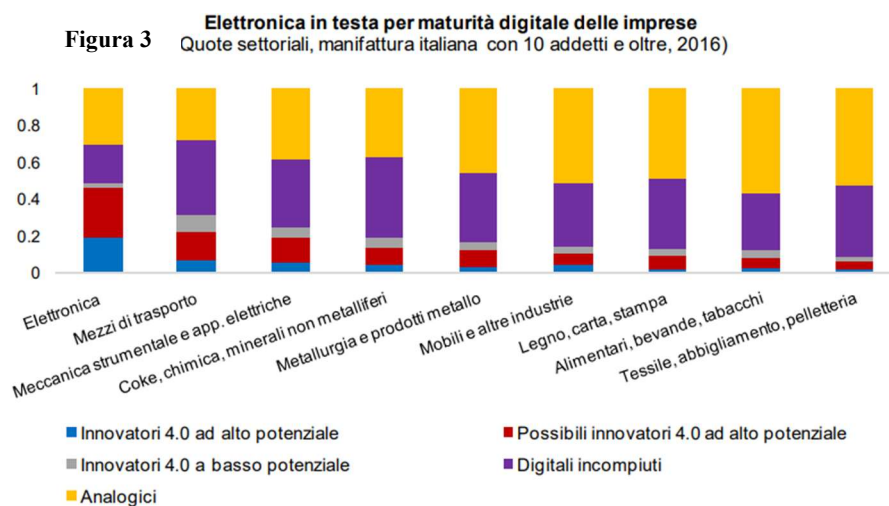
La maggior competenza relativa all'IIoT è spiegata dalla rilevanza che questa ha nel paradigma 4.0 stesso, in quanto risulta essere la chiave di volta necessaria per l'implementazione delle altre tecnologie digitali che, per funzionare e portare risultati, richiedono una serrata condivisione di dati tra le diverse strutture e macchine digitali (M2M), nonché per le enormi potenzialità che ha nel potenziare le capacità computazionali, organizzative e produttive dell'impresa (Wilkesmann e Wilkesmann, 2018).

Relativamente alle tecnologie quali la realtà aumentata, la tecnologia Cloud, “*Big Data*” e gli “*advanced analytics*”, queste stanno raggiungendo un livello di maturità tale da

veder un numero sempre maggiore di imprese che vi entrano in contatto; tuttavia, risultano essere ancora una minoranza per via dell'accentuata dispersione delle loro possibili applicazioni in ambito industriale.

Spostando l'attenzione su un'analisi a livello settoriale del grado di maturità digitale, le ricerche svolte dal CSC evidenziano come i settori dell'elettronica e della meccanica strumentale e delle apparecchiature elettriche siano quelli che hanno investito maggiormente nei principi del paradigma Industria 4.0, prevalentemente in veste di produttori di beni strumentali digitali, mentre, quale attivatore della domanda di tali strumenti, spicca il settore dei trasporti. Di contro, i settori più tradizionali e rientranti nella definizione di "Made in Italy", legati all'ambito alimentare, della moda e del design, fanno da "fanalino di coda" per investimenti nella digitalizzazione (Figura 3).

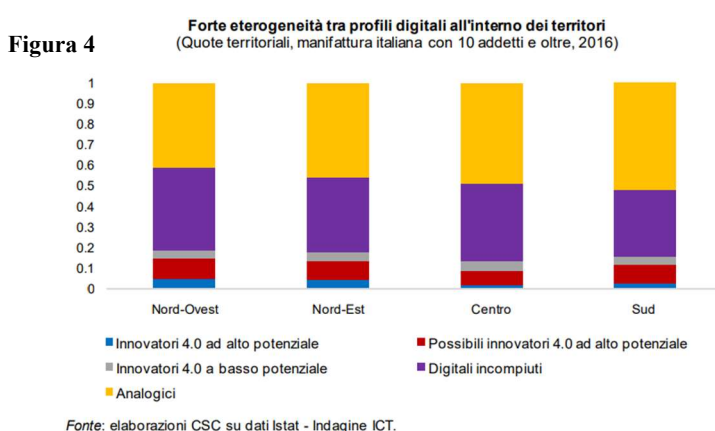
È necessario precisare, tuttavia, come tali differenze in termini di investimenti nel digitale potrebbero essere il risultato di "divari di competitività" tra settori oppure poiché gli stessi sottendono a logiche di produzione diverse e con una diversa necessità di capitale fisso nel processo di generazione del valore (L. Romano 2018).



Fonte: elaborazioni CSC su dati Istat-Indagine ICT.

I distinti livelli di maturità digitale fin qui osservati tra le imprese del comparto manifatturiero italiano, mantengono delle percentuali simili indipendentemente dalla macroregione territoriale osservata, se non per poche, seppur rilevanti, differenze. Nelle regioni più a nord del paese si posiziona il più folto gruppo di imprese "innovatrici 4.0 ad

alto potenziale” e di “possibili innovatrici 4.0 ad alto potenziale”, tuttavia, se si sommano i numeri registrati da queste due classi, tali imprese risultano ancora una piccola minoranza rispetto alle imprese classificate come “digitali incompiuti” o “analogici”. Le regioni più centrali del paese registrano il minor numero di imprese con profili digitali evoluti, a causa della maggiore specializzazione nei settori del “*Made in Italy*” tradizionale e, dunque, con il minor impegno negli investimenti nel digitale. Il Sud è in linea con la media nazionale per quanto riguarda il rilievo delle classi aziendali più evolute, sebbene sia l’area italiana in cui si concentra la più alta percentuale di imprese “analogiche” (Figura 4).



Le aziende con un più elevato livello di maturità digitale e che hanno implementato il paradigma 4.0 nel proprio ambiente aziendale ottengono benefici superiori rispetto a quelli attesi da chi, invece, è rimasto indietro nell’adozione delle tecnologie più innovative. Inoltre, maggiore è il grado di digitalizzazione raggiunto e maggiori sono i benefici, soprattutto in termini di riduzione delle tempistiche del “*time-to-market*” nonché nel miglioramento del servizio fornito ai clienti, confermando l’evidenza che più si è orientati al paradigma 4.0, più rilevanti sono i benefici che si possono ottenere.

È essenziale la definizione di una strategia di crescita nel lungo termine capace di garantire l’adozione delle nuove tecnologie, in quanto costituiscono il fattore competitivo cruciale su cui gli imprenditori italiani stanno cercando di colmare il gap con i propri competitor internazionali. La visione di sviluppo ed innovazione delle imprese deve necessariamente essere di largo respiro e puntare al futuro, nel tentativo di riuscire a leggere con anticipo i cambiamenti del panorama internazionale, di costruire e di mantenere un vantaggio competitivo e, di conseguenza, una leadership di mercato.

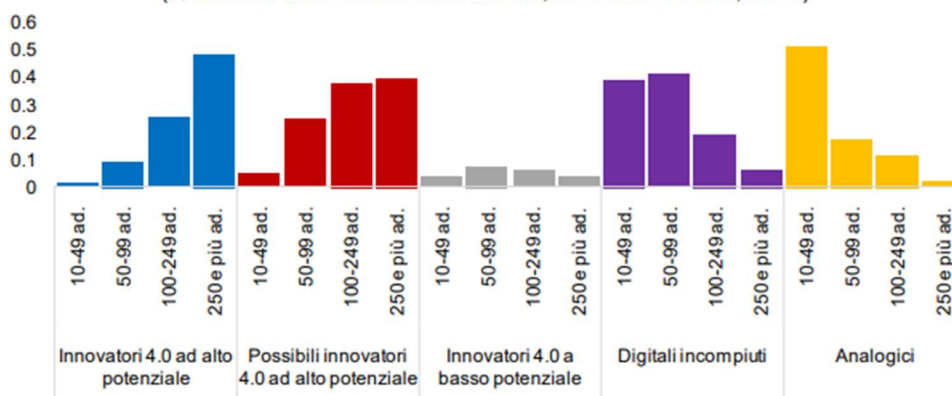
In riferimento alla frammentazione delle catene del valore, è ben noto che le PMI rappresentino la stragrande maggioranza nel contesto manifatturiero italiano e ciò va ad impattare sul loro approccio all'Industria 4.0 rispetto a quello dimostrato dalle imprese di maggiori dimensioni. Infatti, le grandi aziende dimostrano maggiore consapevolezza delle potenzialità del paradigma 4.0 (T. Zheng *et al.*, 2019) e, in virtù di ciò, presentano elevati livelli sia di conoscenza che di adozione delle tecnologie 4.0 abilitanti. Al contrario, le PMI risultano spesso sprovviste di una strategia volta ad aumentare le loro competenze tecniche.

Questa è una diretta conseguenza delle minori risorse finanziarie di cui dispongono le PMI e delle maggiori difficoltà nel reperire il budget necessario per progetti in ambiti più avanzati ed innovativi, come l'AI, rispetto a quelle più strutturate e di maggiori dimensioni, che possiedono, generalmente, più risorse e sono, dunque, contraddistinte da un livello di digitalizzazione dell'azienda e del personale elevato, dimostrando come la maggiore disponibilità di risorse favorisca l'adozione di tecnologie digitali. Ciò è evidente osservando come tra le grandi imprese con più di 250 addetti si raggiunga un livello base di digitalizzazione nel 97,1% dei casi, mentre per le imprese più piccole la percentuale si riduce al 67,5% (L. Romano, 2018).

Tra le imprese che presentano tra i 10 ed i 49 addetti, più della metà risulta essere allo stadio "analogico", che se unite alle imprese rientranti nella classe "digitali incompiuti", porta a raggiungere l'89% del totale. Di contro, tra le imprese con 250 o più addetti oltre la metà è classificata come "innovatori 4.0 ad alto potenziale" e, se nel conteggio si fanno rientrare anche le imprese classificate come "possibili innovatori 4.0 ad alto potenziale", si raggiungono l'88% del totale (Figura 5).

Figura 5

**Alta maturità digitale per le grandi, bassa per le piccole imprese**  
(Quota in ciascuna classe dimensionale, manifattura italiana, 2016)



Fonte: elaborazioni CSC su dati Istat - Indagine ICT .

Nel fare il confronto tra imprese di grandi dimensioni e quelle di grandissime dimensioni, tali differenze si riducono drasticamente, facendo intendere come vi sia una “dimensione soglia” che consente di superare i limiti finanziari e tecnologici delle PMI e di beneficiare delle capacità di cui dispone la grande impresa (L. Romano 2018).

In assenza del potere di spesa delle grandi aziende, le PMI devono effettuare una valutazione completa e approfondita che consenta di definire un percorso volto all’incremento dell’efficienza dei processi attuali attraverso un processo di prioritizzazione degli investimenti necessari (T. Zheng *et al.*, 2019).

Nonostante ciò, molte PMI sono riuscite ad implementare con successo il paradigma Industria 4.0 grazie e soprattutto al forte impegno del management aziendale, poiché, oltre alle dimensioni dell’azienda, è necessario tradurre il processo di transizione in un piano completo sia dal punto di vista strategico che tecnologico, capace di descrivere dettagliatamente ogni fase e che includa un’analisi dei costi e dei benefici in grado di realizzare un’integrazione appropriata di sistemi e infrastrutture sia preesistenti che nuovi (T. Zheng *et al.*, 2019).

Un esempio è la “strategia di attesa” che molte imprese di minori dimensioni adottano per osservare il ciclo di vita di una data tecnologia innovativa, nonché l’andamento delle performance e dei risultati aziendali che le imprese di maggiori dimensioni conseguono dall’implementazione della stessa, per poi effettuare degli investimenti mirati una volta che la tecnologia abbia raggiunto la fase di maturità e sia comprovata la sua efficace implementazione in ambito industriale. Altra possibile strategia è la cosiddetta “*training on the job*”, che porta all’adozione di tecnologie innovative, pur non possedendo una

conoscenza e competenza adeguata delle stesse, grazie alla disponibilità di incentivi finanziari e fiscali da parte dei piani industriali nazionali.

Tuttavia, facendo riferimento ai dati riportati nel “Report Italia 4.0” sviluppato da Deloitte (M. Sabatini *et al.*, 2019), si può osservare come permanga un forte senso di incertezza da parte delle imprese manifatturiere, delle quali solamente un terzo (32%) ritiene di possedere un solido business model capace di garantire l’implementazione del paradigma 4.0 e lo sviluppo delle soluzioni tecnologiche digitali che ne sono alla base. Medesima è la percentuale delle imprese (35%) che dispone delle competenze e conoscenze necessarie per poter modificare la struttura produttiva ed organizzativa della propria azienda in funzione delle tecnologie 4.0, apportando quelle trasformazioni cruciali all’interno dell’organizzazione per adattarla ai cambiamenti del contesto esterno.

L’incertezza e la mancanza di competenze legate alla trasformazione tecnologica si traducono in una visione opaca e torbida su come affrontare le nuove sfide dettate dal mercato, nonché sulla riorganizzazione dell’impresa (M. Sabatini *et al.*, 2019). La sfida, dunque, consiste nel riuscire ad individuare nuovi modelli di business che siano innovativi ed orientati a promuovere soluzioni disruptive, portando in tal modo le imprese alla creazione di nuovi mercati, alla definizione di una chiara visione di sviluppo, così da risultare attrattivi per i migliori talenti.

Guardando alle debolezze strutturali del sistema produttivo italiano, è assolutamente necessario un maggiore impegno nella formazione del personale, visto che l’industria italiana risulta essere priva delle competenze ICT adeguate nel 90% dei casi (L. Romano, 2018).

Sulla base delle stime del Ministero dell’Economia e delle Finanze, l’Italia risulta ben al di sotto della media europea per quanto riguarda il radicamento delle competenze digitali nella forza lavoro, rendendo inutile l’acquisto stesso di tecnologie 4.0 od ottenendo risultati inferiori rispetto al loro potenziale (L. Romano, 2018). L’empowerment del lavoratore è la preconditione necessaria per garantire lo sviluppo dell’impresa e della sua competitività (F. Canna, 2017), a conferma della necessità di adottare una visione strategica che guardi al futuro, investendo maggiormente nella preparazione dei talenti lungo un percorso di apprendimento e crescita continua. La spinta, in tal senso, non deve riguardare unicamente l’incremento della domanda di specialisti da parte delle imprese

ma, soprattutto, il potenziamento dell'offerta sul mercato del lavoro di persone dotate delle necessarie competenze e, dunque, dell'aspetto formativo del nostro paese in tali ambiti innovativi al fine di ridurre il divario che ci separa dagli altri Paesi europei.

Infatti, in termini di studenti iscritti negli Istituti Tecnici Superiori (ITS), in Italia ammontano a 9.000, poco più dell'1% rispetto ai 760.000 della Germania, poco meno del 2% rispetto ai 529.000 della Francia e pari al 2,25% dei 400.000 della Spagna (M. Sabatini *et al.*, 2018). Gli ITS devono, pertanto, sviluppare un percorso organico capace di preparare al mondo del lavoro, arricchendo l'apprendimento teorico con esperienze di alternanza scuola-lavoro e diversi percorsi di apprendistato concentrati nel prendere confidenza con le tecnologie 4.0, garantendo tutte le misure di sicurezza sul lavoro ed il diritto dei giovani ad avere un percorso formativo che consenta lo sviluppo di un pensiero critico e la definizione della propria persona, nonché rafforzare i dottorati industriali attraverso la revisione dei programmi e degli obiettivi formativi degli stessi (L. Romano, 2018).

Di pari passo rispetto alle competenze tecniche, altrettanto deve essere l'impegno nello sviluppo delle necessarie competenze manageriali affinché l'elevata complessità organizzativa e lo sviluppo di modelli di business innovativi, richiesti dalla trasformazione digitale, siano gestiti da figure professionali competenti nell'affiancare gli imprenditori (L. Romano, 2018).

La complessità della sfida tecnologica e la forte eterogeneità all'interno del sistema manifatturiero italiano richiedono una politica industriale che non accentui le divergenze nei percorsi evolutivi delle imprese, ma premi gli sforzi delle imprese volti al raggiungimento di forme di coordinamento tecnico-produttivo lungo le filiere, distribuendo l'impegno finanziario ed il rischio ma incrementando il potenziale ritorno economico degli investimenti e consentendo alle imprese fornitrici italiane di ottenere una posizione contrattuale preminente nei confronti dei committenti esteri (L. Romano, 2018). Ne sono un esempio i contratti di Rete, strumento efficace nell'accrescere la resilienza delle imprese italiane di minori dimensioni o le iniziative relative allo sviluppo di Digital Innovation Hub, Competence Center e dei Cluster tecnologici, indispensabili per creare una stretta connessione tra il mondo della ricerca scientifica a quello delle imprese (L. Romano, 2018).



A tal proposito, la maggioranza dei dirigenti italiani vede nelle istituzioni pubbliche ed nei governi nazionali (77%), prima ancora che nelle aziende private (63%), gli attori principali in grado di influenzare e orientare l'impatto e l'adozione delle tecnologie fondanti dell'Industria 4.0 (M. Sabatini *et al.*, 2019).

È per dare risposte a tali richieste che venne definito il “Piano nazionale Impresa 4.0” da parte delle istituzioni italiane nel 2017, che aveva lo specifico obiettivo di aprire la strada al progresso ed alle innovazioni digitali nel tessuto industriale.

Il Piano consiste nello sviluppo di una politica industriale articolata di sostegno pubblico volta all'adozione di tecnologie 4.0 da parte delle imprese, sostenendo gli sforzi innovativi delle aziende ad alto potenziale e creando, simultaneamente, le condizioni affinché anche le componenti più fragili ed arretrate abbiano gli strumenti necessari ad affrontare la sfida della digitalizzazione.

Il Piano nazionale di Industria 4.0 si compone di un insieme di misure tra loro cumulabili volte ad intervenire su alcuni dei principali vincoli strutturali del nostro comparto manifatturiero attraverso:

- L'eliminazione del vincolo di banda delle infrastrutture ICT attraverso stanziamenti volti al completamento delle reti a banda ultra-larga su tutto il territorio nazionale, come indicato nel piano “Banda Ultra-Larga”: necessaria dal momento che costituisce la condizione basilare per riuscire ad estrarre valore dalla raccolta di dati interni od esterni all'azienda, dalla loro conservazione e trasmissione in tempo reale ed a costi contenuti;
- L'allentamento del vincolo delle risorse finanziarie: il Piano mette a disposizione numerosi incentivi e risorse finanziarie per stimolare gli investimenti in tecnologie 4.0 da parte delle imprese attraverso gli strumenti dell'iper- e super-ammortamento, nonché attraverso la possibilità di ottenere forme di credito agevolato per sostenere gli investimenti grazie a “Nuova Sabatini” e Fondo di Garanzia;
- L'allentamento del vincolo delle competenze interne tramite lo sfruttamento degli incentivi sopramenzionati, passando dal credito d'imposta alla formazione 4.0 ed il potenziamento degli ITS: l'obiettivo è creare nuove opportunità di crescita attraverso l'incentivazione degli investimenti in capitale umano, dotato di

competenze specialistiche e manageriali in ambito digitale, cruciali nella gestione della maggiore complessità dei processi;

- Il miglioramento del coordinamento tecnico-produttivo lungo le filiere grazie alla creazione e il finanziamento dei Centri di Competenza digitale e lo sviluppo dei Digital Innovation Hub: un basso livello di coordinamento tra le imprese riduce la capacità dell'intero sistema industriale di implementare al meglio la trasformazione digitale, poiché il valore che la singola impresa trae dall'investimento in tecnologie 4.0 dipende dall'ammontare degli investimenti nel medesimo campo tecnologico lungo tutta la filiera produttiva. Ciò costituisce una barriera competitiva, in quanto le imprese di minori dimensioni hanno difficoltà nel sostenere i costi richiesti da tali investimenti per riuscire a mantenere un adeguato livello di competitività sul mercato, a meno di sfruttare economie di scala in collaborazione con altri componenti della filiera (L. Romano, 2018).

Il Piano, quindi, vuol portare l'industria italiana ai più alti livelli di competitività, contribuendo attivamente allo sviluppo ed all'adozione delle tecnologie abilitanti la trasformazione digitale, al rinnovamento delle logiche che sottendono l'organizzazione dei processi ed al coinvolgimento di tutte le funzioni aziendali. Centrale è, poi, la creazione di una rete di relazioni tra le imprese, i fornitori e clienti, indicando un percorso rivolto all'innovazione ed alla digitalizzazione (L. Romano, 2018).

Tali interventi hanno il merito di aver completato la strategia nazionale per la digitalizzazione industriale, in quanto intervengono su misure in parte già attive prima della definizione ed entrata in vigore del Piano ed i cui obiettivi rientrano nei campi di azione della più recente politica industriale. Tra questi risaltano il credito d'imposta per la R&S, i diversi strumenti per i singoli progetti di ricerca e innovazione di MISE e MIUR ed il piano per il Cluster tecnologico nazionale Fabbrica Intelligente (L. Romano, 2018). Fra i principali obiettivi del Piano, infatti, vi è la crescita degli investimenti privati in R&S (stimata in 11,3 miliardi di € nel triennio 2017-2020) e tecnologie 4.0, con gli incentivi e sgravi fiscali che hanno dato il via ad un ampio programma di finanziamenti rivolto ad oltre due terzi (67%) delle imprese italiane, impegnatesi ad investire nel paradigma 4.0, sebbene con delle differenze dipendenti dall'aspetto dimensionale: il 96,7% delle aziende di grandi dimensioni ha effettuato degli investimenti in tecnologie 4.0, mentre la percentuale scende al 42% in riferimento alle imprese di minori dimensioni,

sebbene le PMI mantengano, comunque, un ruolo di tutto rilievo nel tessuto produttivo e industriale del Paese (M. Sabatini *et al.*, 2019).

Il Piano è finanziato con circa 13 miliardi di euro nel decennio 2017 – 2027 e non prevede la richiesta attraverso un bando, in quanto l'accesso al pacchetto degli incentivi soprammenzionati è riconosciuto automaticamente in seguito alla dimostrazione di possedere determinati requisiti.

Gli investimenti hanno riguardato principalmente macchinari e reti altamente innovativi e tecnologicamente avanzati, di cui ~8,9 miliardi di euro in beni materiali e ~2,5 miliardi di euro in beni immateriali, oltre al sostegno del venture capital, alla diffusione della banda ultra-larga ed alla formazione del capitale umano (G. Capuano *et al.*, 2020).

Facendo riferimento al Disegno di Legge di Bilancio del 2017, il superammortamento in relazione agli investimenti in beni materiali avrebbe un valore di circa 71 miliardi, con la conferma da parte del Ministero dello Sviluppo Economico che l'utilizzo delle agevolazioni fiscali previste dal Piano nel triennio 2017-2020 favorisce un effetto leva degli investimenti in tecnologie e competenze 4.0.

L'impatto delle misure introdotte dal "Piano nazione di Industria 4.0", sebbene questo sia rivolto al comparto manifatturiero nella sua totalità, risulta superiore in determinati settori che, dunque, beneficiano maggiormente degli sgravi fiscali previsti, tra cui quelli legati alla produzione di macchinari (4.887,95 milioni di euro) ed alla fabbricazione di prodotti in metallo (4.120,49 milioni di euro). Tali settori, infatti, risultano essere quelli con le maggiori potenzialità di implementazione e coordinamento di macchinari e tecnologie all'avanguardia, combinandole in reti capaci di scambiare dati e di instaurare una interrelazione di tipo M2M garantita dalla tecnologia IoT. Inoltre, è proprio in questi settori che si riscontra una dimensione media delle imprese superiore rispetto a quanto osservato altrove, il che richiama quanto detto in precedenza relativamente ai vantaggi determinati dall'aspetto dimensionale (G. Capuano *et al.*, 2020).

Scendendo nel dettaglio, tuttavia, si osserva come il valore complessivo degli investimenti in beni materiali e immateriali connessi a tecnologie 4.0 (~13 miliardi di euro), se messo in correlazione con il numero di imprese beneficiarie (~53 mila) e, soprattutto, con il numero di chi ha usufruito del superammortamento (oltre un milione di contribuenti), risulti ancora limitato rispetto alle necessità del nostro comparto manifatturiero (G. Capuano *et al.* 2020). Inoltre, ben 2/3 degli incentivi caratterizzanti il

Piano sono stati usufruiti da imprese di medie o grandi dimensioni, ad evidenza della perdurante difficoltà delle piccole e piccolissime imprese nel superare i vincoli nelle risorse dovuti alla loro limitata dimensione.

Nonostante gli incentivi messi a disposizione, solo 95 imprese in Italia hanno effettuato investimenti in valore superiore ai 8,9 milioni di euro e meno di 250 hanno impegnato investimenti dal valore superiore a 3 milioni di euro in progetti di ricerca e sviluppo (G. Capuano *et al.*, 2020).

Sulla base di tali dati, si può affermare che le potenzialità e gli strumenti messi a disposizione dal “Piano nazionale di Industria 4.0” non sono ancora pienamente sfruttate da parte delle imprese italiane, in particolare da parte di quelle di minori dimensioni. A supporto del pieno sfruttamento del Piano, si dovrebbe far leva sui fondi previsti dal “Piano Nazionale di Riforma” (PNR) finalizzati anche, ma non solo, alla realizzazione dell’innovazione 4.0 (Anitec-Assinform, 2023). Questo consiste nell’applicazione nazionale di uno strumento che rientra in uno più ampio ed articolato sviluppato dal Consiglio Europeo e che prende il nome di “*Next Generation - EU*” (NG - EU), il cui programma principale è il “*Recovery and Resilience Facility*” (RRF), il cui obiettivo è quello di garantire ai paesi membri dell’Unione Europea le risorse necessarie per poter risollevarne l’economia del mercato unico in seguito alla profonda crisi subita con la diffusione della pandemia da Covid-19 e delle conseguenti misure di contenimento prese dalle autorità (M. Buti *et al.*, 2020).

L’RRF mette a disposizione dei paesi dell’UE una fonte di risorse che si dividono in trasferimenti (312,5 miliardi di euro) e prestiti (360 miliardi di euro) per un totale di 672,5 miliardi di euro, coinvolgendo il 90% delle risorse totali ricomprese nel NG - EU. Queste saranno distribuite ai diversi paesi dell’Unione seguendo diversi principi in base alla loro natura di prestiti o trasferimenti (M. Buti *et al.*, 2020):

- I prestiti seguono una suddivisione basata sul reddito nazionale lordo del paese richiedente (non superiore al 6,8%);
- I trasferimenti vedono le risorse assegnate suddivise secondo le seguenti modalità:
  - Il 70% compensa il trend negativo del reddito pro capite e dei tassi di disoccupazione accumulato dagli Stati membri nel lustro precedente la pandemia, pesandoli in relazione alla popolazione del paese richiedente;

- Il 30% serve a riportare il PIL del paese richiedente ai livelli antecedenti allo shock pandemico (M. Buti *et al.*, 2020).

Sulla base di tali parametri di distribuzione, l'Italia è, in termini assoluti, il principale beneficiario dei fondi stanziati dalla Commissione Europea, in virtù di un potenziale accesso a oltre 200 miliardi di euro attraverso lo strumento del RRF, (M. Buti *et al.*, 2020). Tali risorse, tuttavia, potranno essere sfruttate solo per progetti e riforme volti a rilanciare lo sviluppo e la crescita delle economie nazionali dei paesi UE e, di conseguenza, dell'Europa. I singoli Piani nazionali di ripresa e resilienza (PNRR) sono, pertanto, valutati dalla Commissione europea ed approvati dal Consiglio dell'UE prima che ciascuno Stato membro possa accedere alle risorse del RRF.

Al fine di poter ricevere tali risorse, il programma nazionale di riforma (PNR) dovrebbe assolvere almeno tre compiti:

1. L'eliminazione di quei "colli di bottiglia", causa del susseguirsi di fasi di stagnazione e recessione dovute ai vincoli strutturali, precedentemente analizzati, che devono essere risolti per raggiungere lo sviluppo e la crescita, così come richiesti dall'RRF e, in generale, dal programma NG-EU. Il PNR, dunque, italiano deve indicare con chiarezza le riforme e gli aggiustamenti da attuare, nonché l'impatto delle stesse sul rapporto debito pubblico/PIL.
2. La costruzione di una strategia che coordini le riforme e gli investimenti precedentemente attuati secondo un'organizzazione per insiemi o "componenti", che permettono di classificare i progetti secondo chiare priorità e di combinarli per raggiungere gli obiettivi europei.
3. La definizione di una governance complessiva che supervisioni la gestione dei singoli progetti attraverso un monitoraggio trasparente da parte delle istituzioni pubbliche europee e nazionali, affinché siano completati nei tempi e nei costi stabiliti (M. Buti *et al.*, 2020).

L'importanza e la complessità degli strumenti a disposizione rende necessario coinvolgere stakeholder pubblici e privati attraverso nuove forme di cooperazione tra le parti che sfruttino le risorse europee, dando continuità alle riforme attuate. La rilevanza di reti cooperative pubblico-private è evidente, ad esempio, in relazione alla questione dimensionale delle imprese italiane: queste, infatti, sebbene riescano ad ottenere

importanti risultati in termini economici in virtù della spiccata diversificazione e qualità della produzione ed essere in grado di imitare gli innovatori, sostenendo lo sviluppo macroeconomico del Paese, non hanno le capacità di tenere il passo delle grandi organizzazioni nell'adozione delle nuove tecnologie, vista la limitata capacità nel sostenere l'investimento finanziario richiesto. La definizione di forme di coordinamento strategico e lo sviluppo di strumenti di finanziamento non bancario efficaci permetterebbero di affrontare questo "collo di bottiglia" (M. Buti *et al.*, 2020), con le misure e gli incentivi istituzionali capaci di creare le condizioni economiche e sociali per la sua rimozione, generando consenso da parte dei rappresentanti delle imprese e dei lavoratori (M. Buti *et al.*, 2020).

Il PNR italiano, pertanto, deve coinvolgere "le energie" di privati, istituzioni ed organismi intermedi per la definizione di uno sforzo collettivo che veda alla sua base una governance che si assuma la responsabilità politico-istituzionale di definire le priorità, l'esecuzione dei progetti e la verifica dei risultati, attraverso la mobilitazione della PA e dei principali stakeholder nazionali (M. Buti *et al.*, 2020).

Gli investimenti che nel PNR sono destinati al digitale si concentrano principalmente in tre ambiti:

- Digitalizzazione della PA (Missione 1) allo scopo di innovare attraverso la digitalizzazione quello che è da considerare come la principale forza propulsiva per lo sviluppo del Paese;
- Digitalizzazione del Sistema Sanitario (Missione 6)
- Digitalizzazione delle imprese (Missione 1) attraverso gli incentivi identificati dal Piano Transizione 4.0 (Anitec-Assinform, 2023).

In particolare, nella Missione 1 sono ricompresi:

- La realizzazione del Polo Strategico Nazionale (PSN), basato sulla collaborazione tra le società TIM, Leonardo, CDP e Sogei;
- La creazione della Piattaforma Digitale Nazionale Dati (PDND), contenente il catalogo nazionale dati e le aggiornate linee guida per la realizzazione della piattaforma da parte delle PA Locali;

- La “Citizen Inclusion”, che ha avviato il monitoraggio di siti web/app al fine di migliorare l’accessibilità dei servizi pubblici digitali;
- Il potenziamento dei sistemi Cloud, con oltre 14.000 Amministrazioni tra comuni, scuole ed ASL che si stanno mobilitando per la migrazione al cloud promossa dal Dipartimento per la trasformazione digitale;
- L’istituzione dell’Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale (ACN), con l’assegnazione di 42 milioni di euro per la PA Locale e 21,8 milioni di euro per la PA Centrale, allo scopo di ottenerne il potenziamento in ambito Cyber (Anitec-Assinform, 2023).

Dall’analisi svolta da NetConsulting Cube su un campione di aziende di grandi e medie dimensioni emerge, tuttavia, che la capacità delle aziende di far pieno uso dei fondi a disposizione non risulta ancora pienamente sviluppata. Infatti, solo il 23% delle imprese analizzate ha attivato progetti che fanno uso dei fondi stanziati dal PNRR, principalmente nell’ambito “*Smart Factories*” e IoT, il 27% sta valutando la possibilità di avviare progetti simili, mentre il restante 50% non è riuscito ad individuare opportunità concrete per far uso di tali fondi.

L’ambito della “*Smart Factory*” rimane il principale destinatario delle maggior parte degli investimenti fin qui realizzati e altrettanto importanti sono gli investimenti nell’ambito dell’IoT, in cui l’attenzione è prettamente rivolta alle sue applicazioni nel campo della manutenzione predittiva dei macchinari ed efficientamento energetico (Anitec-Assinform, 2023).

### 1.3 L'industria 4.0 non basta: mancanze e debolezze

L'attuale quarta rivoluzione industriale, figlia dei processi di digitalizzazione, di automazione di interconnessione e dello scambio di dati, in linea con lo sviluppo dei sistemi IoT, si è concentrata sull'integrazione di tecnologie evolute nei processi manageriali e produttivi per aumentare produttività ed efficienza (CORDIS, Commissione Europea, 2018). Tuttavia, nella ricerca del più alto grado di efficientamento nella produzione aziendale, l'Industria 4.0 non ha prestato l'attenzione necessaria a due ambiti che, ad oggi, sono di primaria importanza: l'aspetto legato alla sostenibilità ed alla tutela dell'ambiente, l'aspetto sociale relativo alla valorizzazione del personale e del luogo di lavoro in cui il paradigma viene implementato (M. Crisantemi, 2023).

Diverse sono le ricerche e gli studi che hanno affrontato le debolezze dell'Industria 4.0, portando alla generazione di un'ampia letteratura: Saniuk et al. hanno analizzato quelle che loro hanno individuato essere le "barriere" sociali e di mercato dell'Industria 4.0, arricchendo la discussione riguardante i gap del nuovo paradigma. Ranghino e Bonilla et al. si sono focalizzati sull'impatto e sui rischi ambientali delle tecnologie 4.0, mentre Gajdzik et al. sul rilievo del concetto di sostenibilità nell'Industria 4.0. Luthra e Mangla si sono concentrati sulle catene di fornitura e di come l'ambiente subisca il loro impatto e Lopes et al. ha osservato il potenziale e le mancanze dell'Industria 4.0 in termini di economia circolare. Infine, le possibilità di ottenere una produzione sostenibile derivante dall'adozione delle nuove tecnologie 4.0 sono state presentate da Stock e Seliger (S. Grabowska *et al.*, 2022).

L'obiettivo di tali ricerche consiste nel concentrare l'attenzione delle varie comunità scientifiche, politiche ed imprenditoriali sulla necessità di coniugare le priorità sociali e ambientali con il processo di digitalizzazione 4.0.

La comunità internazionale, pertanto, necessita di una trasformazione industriale tale da trainare la società verso uno stile di vita sostenibile, che sia rivolto alla protezione ed alla rigenerazione della natura, determinando un cambiamento altrettanto radicale nei modi di pensare, di lavorare, di collaborare nonché nelle nostre capacità pratiche di ricerca e innovazione. Sharan Burrow, Segretario Generale della ITUC, afferma, infatti, che "*non ci sono posti di lavoro su un pianeta morto*", recluso in un circolo vizioso di pandemie, catastrofi ambientali e conseguenti crisi (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).



Tali concetti, e gli studi fatto a riguardo, sono ben presto giunti all'attenzione della Commissione Europea, che, nel Policy briefing pubblicato nel 2022 sul tema, ha riconosciuto come *“nell’ultimo decennio, l’Europa ha gradualmente intensificato il suo impegno per la trasformazione industriale, soprattutto lavorando alla transizione verso la cosiddetta industria 4.0, un paradigma essenzialmente tecnologico, incentrato sull’emergere di oggetti cyber-fisici, che promette una maggiore efficienza grazie alla connettività digitale e all’intelligenza artificiale. Tuttavia, il paradigma dell’Industria 4.0, così come attualmente concepito, non è adatto allo scopo in un contesto di crisi climatica e di emergenza planetaria, né affronta le profonde tensioni sociali. Al contrario, è strutturalmente allineato con l’ottimizzazione dei modelli di business e del pensiero economico che sono alla base delle minacce che stiamo affrontando. L’attuale economia digitale è un modello “winner-takes-all” che crea monopolio tecnologico e una gigantesca disuguaglianza di ricchezza”*.

L'Industria 4.0, infatti, risulta priva degli elementi di progettazione e performance che servono a far sì che la trasformazione sistemica in atto sia rivolta al *“decoupling”* dello sfruttamento delle risorse e dei materiali dagli impatti negativi sull'ambiente, il clima e la società (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Queste cosiddette *“dimensioni necessarie”* del processo di transizione includono:

- Le caratteristiche rigenerative dell'economia circolare nel processo di trasformazione industriale, pilastro fondamentale nella progettazione delle catene del valore;
- *“Una dimensione intrinsecamente sociale”*, rivolta al benessere dei lavoratori, all’inclusione sociale e all'adozione di tecnologie che integrino le capacità umane piuttosto che rimpiazzarle completamente;
- *“Una dimensione obbligatoriamente ambientale”*, volta all’eliminazione dei combustibili fossili ed al raggiungimento di soluzioni innovative che garantiscano l'efficienza energetica, la rigenerazione della natura e la tutela della biodiversità, creando un progresso interdipendente con i sistemi naturali (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Gli analisti della Commissione Europea precisano che *“senza un chiaro riorientamento e orientamento della trasformazione digitale per consentire un’economia meno*

*dispendiosa, più efficiente dal punto di vista energetico, più rigenerativa, distribuita, diversificata e inclusiva – più umana, rispettosa del benessere e del senso di sé delle persone – l'affidamento all'economia digitale è un pilastro molto traballante della "transizione gemella". La digitalizzazione deve passare da un "internet delle cose" a un "digitale per le persone-pianeta-prosperità".*

Diversi, dunque, sono i rischi da dover bilanciare:

- L'eccessiva preminenza e centralità in termini di potere economico e creazione di valore nelle mani di poche aziende all'avanguardia;
- La supremazia di modelli di business lontani dai principi di sostenibilità economica, sociale e ambientale;
- La situazione di dipendenza e precarietà che stanno vivendo molti lavoratori;
- L'aumento delle emissioni dovute al consumo energetico e materico determinato dalle nuove tecnologie digitali, evidente nel fatto che Internet è il principale "polo di attrazione" di combustibili fossili del mondo, in quanto genera il 14% delle emissioni globali entro il 2040;
- La crescente domanda di beni customizzati sulle necessità dei clienti e la ricerca di una disponibilità degli stessi sempre più immediata, determinata dalla diffusione delle piattaforme digitali (M. Crisantemi, 2023).

Proseguire la corsa frenetica dello sviluppo tecnologico, ignorando le problematiche e le mancanze delle politiche economiche, sociali e ambientali, nonché l'impatto negativo di azioni deliberatamente messe in atto al solo scopo di perseguire il massimo profitto ed un "progresso con i paraocchi" incentrato unicamente sugli aspetti economici, sono da considerare tra i fattori centrali e scatenanti dell'impatto drammatico della pandemia da Covid-19. La crisi sanitaria, infatti, ha evidenziato che un paradigma caratterizzato dalla crescita, dall'estrazione di valore, dall'alta intensità energetica, dallo spreco di materiali, dallo sfruttamento disattento di risorse inquinanti e da una visione rivolta al breve termine, non può rappresentare una strada percorribile verso uno sviluppo sostenibile. Al contrario, l'attuale paradigma industriale è tra le cause dell'accelerazione del riscaldamento globale e della perdita di ecosistemi e risorse essenziali da cui dipendono il benessere e la sopravvivenza della nostra specie (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

È su tale paradigma di ottimizzazione che sono state sviluppate le catene globali del valore che, sebbene possano risultare efficienti ed efficaci nel breve periodo, presentano dei rischi dovuti alle complesse interdipendenze che spostano la responsabilità aziendale lungo una rete di disposizioni contrattuali e schemi di certificazione privata. Il Covid-19, insieme alle crisi politiche internazionali, hanno “scoperchiato” queste fragilità dovute alla mancanza di diversificazione delle fonti di approvvigionamento, evidenziando come le recenti crisi del gas e dei microchip siano degli esempi della propensione a favorire le dipendenze industriali e dalle risorse piuttosto che investimenti in nuove infrastrutture e nell'autosufficienza (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

In tal senso, facendo riferimento agli obiettivi di sviluppo sostenibile (“*Sustainable Development Goals*”, SDGs) dell’Agenda 2030, il concetto di “sostenibilità” verso cui è necessario tendere non riguarda unicamente l’ambiente, ma, appunto, anche la società e l’economia: la seconda si può definire sostenibile se consente alle future generazioni di godere dello stesso benessere e risorse di cui hanno goduto quelle passate, così come è sostenibile una società incentrata sull’inclusione di tutti i suoi componenti (M. Crisantemi, 2023).

Tuttavia è importante osservare come l’impatto ambientale e sociale delle nuove tecnologie digitali sia duplice: da un lato, le tecnologie digitali richiedono energia e materie prime rare per poter funzionare, producono inquinamento atmosferico e rischiano di determinare la scomparsa di numerosi occupazioni lavorative; dall’altro, consentono il risparmio di energia e la riduzione degli sprechi di materiali essenziali e preziosi, nonché la creazione di nuove opportunità per la creazione di ambiti lavorativi prima difficili anche solo da immaginare (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

La sfida principale, dunque, consiste nella definizione di un nuovo paradigma in grado di garantire la protezione, la sicurezza, l’inclusione e lo sviluppo della società e di ciascuna persona, in un’epoca caratterizzata da un processo di transizione rapida e continua e dalle accentuate disuguaglianze economiche e sociali (F. Canna, 2017).

È necessario, cioè, il superamento di approccio puramente orientato al profitto e focalizzato in misura minore sul benessere e sull’importanza della “persona” all’interno del complesso aziendale rispetto ai processi di digitalizzazione, volti ad incrementare l’efficienza, il profitto e la flessibilità (D. Cecchetti, 2022).

Non bisogna, però, lasciare che le spinte alla sostenibilità ambientale, sociale ed economica portino ad abbandonare completamente quanto fino ad oggi raggiunto e conseguito. Infatti, le tecnologie digitali hanno, oramai, un ruolo centrale ed insostituibile nella vita delle persone, sia in ambito privato che sul luogo di lavoro, e sono la base necessaria per migliorare in modo significativo l'industria manifatturiera europea, per garantirle una posizione di vantaggio e tutelare i lavoratori, arrivando alla conclusione condivisa da più analisti che *“l'industria europea sarà digitalizzata o cesserà di esistere”* (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'obiettivo sta nello sfruttamento dei benefici che le tecnologie apportano ed alla contemporanea riduzione e successiva eliminazione delle debolezze e dell'impatto negativo delle stesse.

A supporto di ciò, Esben H. Østergaard, fondatore dell'azienda “Universal Robots”, evidenzia come *“nei processi produttivi, l'automazione può essere sfruttata al massimo delle sue potenzialità solo quando c'è anche una scintilla di creatività umana che influenza i processi. Da sola, una produzione automatizzata con robot industriali tradizionali farà solo ciò che gli viene detto, spesso solo dopo lunghi e faticosi sforzi di programmazione. I robot collaborativi, invece, lavorano in sincronia con i dipendenti umani. Queste due forze si completano a vicenda e prosperano insieme, poiché l'uomo può aggiungere il cosiddetto “qualcosa di speciale”, mentre il robot elabora ulteriormente il prodotto o lo prepara per l'attenzione umana. In questo modo, il dipendente viene responsabilizzato e utilizza il robot come uno strumento multifunzionale. Il cobot non è destinato a sostituire la forza lavoro umana, ma ad assumere compiti faticosi o addirittura pericolosi. In questo modo, i dipendenti umani possono usare la loro creatività per dedicarsi a progetti più complessi”* (M. Crisantemi, 2023).

Questo evidenzia come l'ineluttabilità del verificarsi di una massiccia perdita di posti di lavoro, dovuta alla sostituzione del personale umano con tecnologie e macchine automatizzate e digitali, è argomento di un acceso dibattito, come d'altronde è già avvenuto per ogni nuova fase industriale.

La digitalizzazione delle professioni o dei servizi, la definizione e sovrapposizione di nuovi mercati e settori produttivi e l'incessante evoluzione dei bisogni e dei costumi determinano un continuo “effetto turnover” di lavoratori ed occupazioni (F. Canina, 2017).

Tuttavia, i dati relativi ai livelli di disoccupazione in Europa ed altrove risultano essere tra i più bassi di sempre, mentre il tasso di occupazione ha toccato un punto di minimo storico, evidenziando il potenziale dello sviluppo tecnologico e digitale.

Al fine di comprendere appieno l'impatto del paradigma industriale 4.0, l'Unione Europea ha sviluppato il progetto "BEYOND4.0" per plasmare delle politiche ambientali, sociali, economiche ed industriali capaci di andare oltre i limiti del paradigma 4.0 (CORDIS, Commissione Europea, 2018).

Il progetto si è concentrato sulle modalità con cui le aziende implementano le nuove tecnologie e come ciò determini la creazione di posti di lavoro ed una crescita inclusiva. Steven Dhondt, coordinatore scientifico di BEYOND4.0, nonché ricercatore presso l'"Organizzazione dei Paesi Bassi per la Ricerca Scientifica Applicata" (TNO), evidenzia come l'analisi svolta si sia basata sulla definizione di due diverse tipologie di azienda: *«abbiamo operato una distinzione tra due tipologie di società: le aziende basate su un ambiente di apprendimento e le aziende principalmente incentrate sulla generazione di profitti rapidi. Mentre il primo tipo concentra l'attenzione sulla creazione di luoghi di lavoro che incentivino l'apprendimento, consentendo ai dipendenti di acquisire nuove conoscenze, e che promuovano l'innovazione dei prodotti e la crescita professionale, il secondo garantisce i profitti, ma prevalentemente a discapito dei dipendenti e della società. Le ricerche che evidenziano il rischio associato alla perdita di posti di lavoro a causa della tecnologia riguardano perlopiù questa ultima tipologia di aziende»*.

La sua analisi si conclude nella convinzione che *«se vogliamo che la rivoluzione digitale apra le porte a nuove opportunità di lavoro e a migliori condizioni occupazionali, le società devono concepire degli ambienti di lavoro che offrano ai dipendenti possibilità di apprendimento»*, in quanto lo sviluppo e l'ampliamento proattivo delle competenze del personale rappresenta un fattore di successo dell'impresa in una società sostenibile e resiliente (CORDIS, Commissione Europea, 2018).

Nel processo di "up-grade" delle competenze del personale, è centrale garantire la *"sostenibilità in termini personali, familiari e sociali"* dei dipendenti, evitando, dunque, una connessione costante con gli strumenti di lavoro (fenomeni di "overworking") e garantendo il "diritto alla disconnessione", affinché i lavoratori possano godere di un giusto bilanciamento con le attività legate alla sfera personale e curare il proprio equilibrio psico-fisico (F. Canna, 2017).

Altro importante ambito d'analisi coinvolge gli approcci manageriali e alla cultura organizzativa, considerati tra i principali fattori di successo dell'Industria 4.0 (D. Paschek *et al.*, 2019) e la cui mancanza determina un'insufficiente competenza e conoscenza per procedere con l'implementazione delle tecnologie 4.0.

Le competenze manageriali necessarie per poter applicare il paradigma 4.0 nell'ambiente aziendale, infatti, risultano cruciali nell'affrontare ostacoli quali la paura dei lavoratori di poter perdere il proprio lavoro a causa del processo di robotizzazione ed automatizzazione in corso, nonché i problemi relativi alla sicurezza ed alla affidabilità dei sistemi (D. Paschek *et al.*, 2019).

L'ultimo passo per completamento e superamento del paradigma di Industria 4.0 verso una "nuova rivoluzione" sta nella necessità di comprendere l'interazione tra uomo e tecnologia: ancora non si è raggiunto un adeguato adattamento tra le due realtà (tecnologica ed umana) capace di porre in enfasi la centralità dell'uomo (D. Paschek *et al.*, 2019), nonostante le innovazioni tecniche dell'Industria 4.0 consentano, ad esempio, di supportare ed includere al meglio i lavoratori disabili nell'ambiente di lavoro permettendogli di svolgere ogni tipo di mansione.

Le persone devono poter sviluppare le proprie capacità e creatività, ma, allo stesso tempo, è fondamentale che godano del supporto delle tecnologie digitali, che devono aiutare a svolgere le relative funzioni e non rimpiazzarli in maniera definitiva (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

Come visto in precedenza, l'adozione e l'implementazione delle nuove tecnologie digitali ha comportato lo sviluppo di modelli di business capaci di permeare le caratteristiche del paradigma 4.0, che, tuttavia, non rispecchiano le sfide principali verso l'attenzione alla sostenibilità ed all'equilibrio tra aspetti economici, sociali e ambientali (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

Nonostante l'esistenza di diversi quadri di riferimento, risulta fondamentale il ruolo del "designer", o progettista industriale, che costituisce il ruolo cardine per ottenere la coesistenza del paradigma di Industria 4.0 con le pratiche di sostenibilità in un'azienda che mostrano come ottenere la coesistenza del paradigma di Industria 4.0 con le pratiche di sostenibilità in un'azienda. In tale ambito, il principale ostacolo alle spinte dei progettisti verso la sostenibilità sono i produttori orientati al profitto e che non tengono conto dell'urgenza di una transizione "green" (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

I progettisti industriali sono i protagonisti del processo di transizione a sostegno dell'ambiente ed affinché l'azienda diventi un luogo "sostenibile", prestando particolare attenzione nel garantire delle condizioni di lavoro decorose e coerenti con i diritti e le norme in materia, nonché nel progettare sistemi e meccanismi di approvvigionamento dei materiali e delle forniture nel processo in accordo con gli impegni presi.

In tal senso, l'integrazione tra il design industriale e le tecnologie abilitanti l'Industria 4.0 può facilitare il perseguimento di un cambiamento rivolto alla sostenibilità, rafforzando il rilievo delle soluzioni più sostenibili e di quei processi produttivi, ottenuti attraverso le tecnologie digitali dell'Industria 4.0 (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

Il tema dell'incoraggiamento al cambiamento nei sistemi e strutture esistenti all'interno della società è stato più volte al centro del dibattito dei progettisti industriali, con l'obiettivo di "*migliorare la vita delle persone*", la qualità del loro lavoro ed il modo in cui l'ambiente aziendale funziona intorno a loro, creando ed innovando in modo mirato delle soluzioni che impattino sia sui consumatori che sull'ambiente (M. Crnjac Zizic *et al.*, 2022).

## 1.4 La risposta del Green Deal

Le crescenti preoccupazioni ed attenzione sulla concentrazione di gas serra nell'atmosfera e sui conseguenti cambiamenti climatici derivanti dagli stessi, nonché le ricadute sulla società e l'economia, sono state l'elemento propulsivo per la determinazione di accordi internazionali a tutela del nostro pianeta e della nostra specie in questi ultimi anni. Le iniziative più rilevanti si sono rivolte alla riduzione delle emissioni di GHG ed all'adozione di misure volte a limitare l'incremento della temperatura media ad 1,5 C° e non oltre 2 C° (come stabilito con gli Accordi di Parigi sul clima nel 2015) (J. F. Gómez, 2022).

Il riorientamento alla sostenibilità ed all'etica sociale, nell'ottica di una strategia energetico-climatica consapevole rispetto alle energie rinnovabili, all'efficienza energetica e, appunto, alle emissioni di gas serra, hanno determinato la nascita della Comunicazione della Commissione europea chiamata "*A European Green deal*" (EGD) nel dicembre 2019.

L'EGD, figlio della strategia "*Europa 2020*", consiste nella strategia di crescita e competitività a lungo termine dell'Unione Europea e rappresenta un cambiamento radicale nelle basi della concorrenza nella maggior parte dei mercati di prodotti e servizi, definendo una tabella di marcia che gli Stati membri devono seguire per cogliere le opportunità dalle sfide climatiche e ambientali, rendendo la transizione giusta e inclusiva per tutti (J. F. Gómez, 2022).

La Commissione Europea, guidata dalla Presidente Ursula von der Leyen, definisce il "*Green Deal*" come il frutto delle iniziative, delle politiche e delle misure volte a: "*trasformare l'UE in una società equa e prospera, con un'economia moderna, efficiente sotto il profilo delle risorse e competitiva, in cui non vi siano emissioni nette di gas serra nel 2050 e in cui la crescita economica sia disaccoppiata dall'uso delle risorse*" (M. Munta, 2020).

Lo scopo di tale riforma è garantire un futuro "*sostenibile*", ossia la creazione di uno scenario in cui la nostra generazione sia in grado di soddisfare i propri bisogni e rispondere alle proprie necessità, assicurandosi che tali possibilità siano riconosciute anche e soprattutto alle generazioni future (A. Schmidt *et al.*, 2021).



La risposta dell'UE alla crisi climatica e ambientale mira al raggiungimento di una crescita economica armonica con l'ambiente e con la società, tutelando, nella transizione verde, le scarse risorse naturali di cui disponiamo ed i soggetti più vulnerabili della società.

L'EGD richiede un maggiore sforzo e sostegno politico nel garantire la piena integrazione delle politiche e delle attività industriali nei diversi settori con le strategie ed i piani di intervento ambientale e climatico, creando sinergie utili a sostenere e non a frenare la crescita.

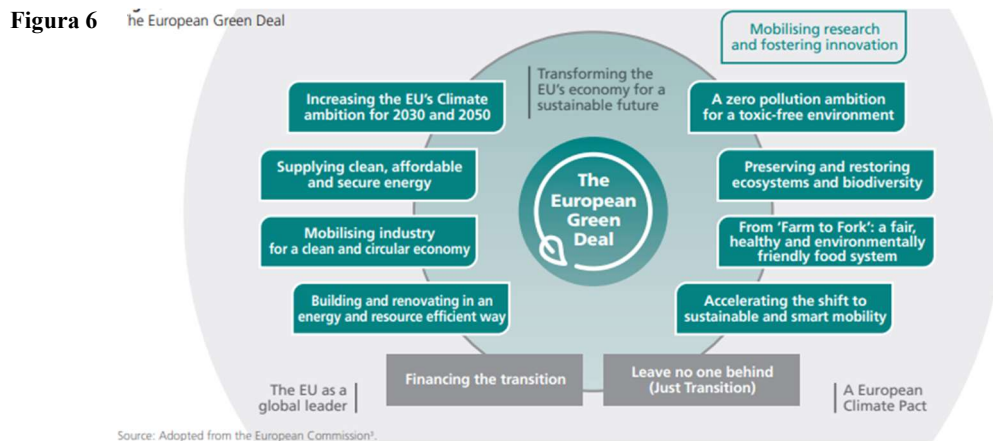
Il "*Green Deal*", infatti, non è rivolto alla creazione di "appendici ambientali" delle politiche settoriali, ma alla realizzazione di una società giusta e prospera, che goda di un'economia moderna, competitiva, efficiente nell'utilizzo delle risorse e che sia ad impatto zero sull'ecosistema naturale entro il 2050, assicurando il "decoupling" della crescita economica dall'uso delle risorse e migliorando il capitale naturale ed umano dell'UE.

La transizione avrà successo se riuscirà a trovare l'equilibrio tra giustizia ed inclusività, riconoscendo il primato alle persone nonché l'attenzione alle regioni, alle industrie e ai lavoratori che dovranno affrontare tale rivoluzione (J. F. Gómez, 2022).

Nello specifico, il "*Green Deal*" si articola intorno a sette missioni (Figura 6):

1. Ridurre le emissioni di carbonio del 50% e del 100% rispettivamente per il 2030 e il 2050;
2. Garantire l'accesso in modo sicuro a fonti di energia pulita e rinnovabile;
3. Determinare la transizione industriale che si allontani dalla "lean-production" verso un sistema produttivo fondato sui principi dell'economia circolare e con consumi sostenibili;
4. Sostenere il corretto sviluppo della "*twin-transition*", avviando azioni nei settori economici per l'introduzione del digitale e delle tecnologie ad esso connesse, responsabilizzando i cittadini e garantendo l'equità sociale;
5. Adottare una mobilità sostenibile e intelligente;
6. Assicurare una produzione alimentare rispettosa dell'ambiente e che fornisca alimenti sani ed equi;

7. Preservare e ripristinare gli ecosistemi e la biodiversità attraverso l'eliminazione delle sostanze tossiche (M. Munta, 2020).



Le ambiziose missioni portate avanti dall'EGD possono essere racchiuse in quattro macro-ambiti di riferimento:

- Raggiungimento della neutralità climatica entro il 2050
- Salvaguardia dell'ambiente
- Transizione da un'economia lineare a un'economia circolare
- Raggiungimento di una transizione “giusta”

Tale approccio mira alla definizione di un percorso di crescita sostenibile di lungo periodo incentrato su vite più sane, protezione dell'ambiente, cultura del lavoro ecologica e migliore istruzione (R. Sharma *et al.*, 2021), perseguendo gli obiettivi di sviluppo sostenibile 2030 delle Nazioni Unite (Agenda 2030) quale primo step per il raggiungimento del reale cambiamento che la crisi climatica e sociale ci richiede.

In ciascuna delle macroaree sopracitate è evidente come il raggiungimento dell'obiettivo prefissato richieda necessariamente la piena mobilitazione da parte del comparto industriale dell'Unione Europea, con le aziende che, dunque, hanno il dovere di assumere il ruolo di protagonisti della transizione, facendo ricorso ai percorsi più adatti a garantire la sostenibilità della produzione e delle altre attività che caratterizzano il proprio business (Commissione europea, 2019).

La chiave del successo nella trasformazione “green” richiesta dalla Commissione Europea sta nell’allineare le strategie aziendali, le proposte di valore e le azioni di sviluppo con i principi di sostenibilità e gli obiettivi ad essi associati, in quanto costituiscono la primaria fonte di competitività nel nuovo contesto industriale (J. F. Gómez, 2022).

in tal senso, il “Green Deal” ha definito una road-map completa che indica le diverse tappe attraverso le quali si mira ad aumentare le sinergie tra l’ambito ambientale e climatico ed i settori dal maggior peso specifico in Europa come i trasporti, l’energia, l’edilizia, l’agricoltura, la finanza, la politica sociale, raggiungendo una “rivoluzione” nell’organizzazione dei processi di produzione, operativi, logistici e commerciali (J. F. Gómez, 2022; M. Munta, 2020).

L’EGD impatta su tutte le fonti e i fattori di competitività di un’impresa, influenzando i suoi costi, la sua attitudine all’adozione di innovazioni ed alla generazione di valore, differenziando i prodotti ed i servizi nonché i suoi processi (J. F. Gómez, 2022), garantendo anche il giusto profitto

La Commissione Europea ha analizzato e sviluppato piani d’azione specifici rivolti al perseguimento dei quattro macro-obiettivi nei settori dove la transizione richiede uno sforzo maggiore per potersi allineare con i principi di sostenibilità (il settore energetico, l’industria dell’idrogeno e dell’energia rinnovabile offshore ed il settore edilizio) oppure rivolti ad obiettivi trasversali (la riduzione delle emissioni di metano, lo sviluppo di prodotti chimici sostenibili, l’aumento dell’efficienza, la mobilità sostenibile e lo sviluppo di batterie elettrochimiche avanzate) (Commissione europea, 2019).

È importante evidenziare anche il contesto in cui è maturata l’agenda del “Green Deal”: è stata approvata durante la prima diffusione del Covid-19, quando le sofferenze ed il dramma di un morbo diffusosi a livello mondiale hanno fatto emergere la centralità dell’uomo e dell’ambiente, facendo maturare una presa di coscienza sulla necessità vitale di avviare processi di transizione sostenibile. Il piano di ripresa dell’UE, infatti, si è articolato intorno a due pilastri principali: il programma “Next Generation EU” ed il quadro finanziario pluriennale 2021-2027, all’interno del bilancio a lungo termine dell’UE (J. F. Gómez, 2022).

Oltre il 30% dei finanziamenti messi a disposizione è rivolto alla transizione verso un’economia sostenibile e ad emissioni nette zero, a cui la Commissione ha aggiunto un

piano di investimenti ad hoc per il perseguimento degli obiettivi “*Green Deal*” pari a 1.000 miliardi di euro, di cui 503 miliardi di euro riportati nel bilancio dell'UE e concordati nel quadro finanziario pluriennale 2021-2027 e 114 miliardi di euro di co-finanziamento nazionale.

Per ciò che concerne la parte restante, la Commissione fa riferimento ai mercati finanziari, sfruttando la componente di fondi provenienti dal bilancio dell'UE come garanzia per il Gruppo Banca Europea per gli Investimenti (BEI) che le Banche Nazionali di Promozione e gli istituti internazionali. In virtù di tale garanzia, le istituzioni sono in grado di accumulare a loro volta del capitale sui mercati da utilizzare sotto forma di prestiti a soggetti pubblici e privati, che possono investire in progetti rivolti all’ambito “*green*” e con un profilo di rischio più elevato, in quanto sono supportati dalla BCE con l’aumento dei prestiti legati all’aspetto ambientale dal 25% al 50%.

A finanziare il Piano “*green*” europeo partecipano, infine, ulteriori fonti di reddito provenienti dalla tassazione degli imballaggi in plastica non riciclabile, che devono essere smaltiti una volta utilizzati, nonché una quota derivante dai flussi di denaro associati al sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (M. Munta, 2020).

In riferimento, al primo dei macro-ambito in cui sono raggruppati gli obiettivi dell’EGD, la Commissione Europea vuole introdurre misure per il conseguimento degli step intermedi fissati per il 2030, tra i quali assume il primato la riduzione del 55% delle emissioni di gas serra rispetto ai livelli registranti nel 1990.

L’UE dovrà raggiungere la decarbonizzazione nei settori e comparti per i quali tale trasformazione risulta difficoltosa e dispendiosa, come i trasporti e, più in generale, il settore dell’energia, che rappresentano circa il 77% delle emissioni totali di gas serra nell'UE-27 (J. F. Gómez, 2022).

Il fine ultimo è rivolto alla creazione di un’economia europea ad emissioni ed impatto zero, senza che ciò determini una riduzione della competitività del suo comparto industriale e manifatturiero, ma anzi sfruttando le opportunità della “*rivoluzione green*”. In tale processo risultano fondamentali le azioni volte alla “*compensazione*” di ciò che viene emesso con ciò che viene rimosso dall’atmosfera tramite numerose pratiche quali: l’imboschimento, miglior utilizzo del suolo e del terreno, tecnologie di cattura e sequestro del carbonio, scambio di emissioni, ecc. (M. Munta, 2020).

La priorità, oltre alla riduzione dei consumi energetici, deve essere data all'abbattimento delle emissioni ed alla sostituzione del carbonio e dei combustibili fossili all'interno dei processi industriali attraverso la ricerca di fonti di energia pulita e rinnovabile. L'integrazione intelligente delle energie rinnovabili, il conseguente incremento dell'efficienza energetica nonché le altre soluzioni sostenibili contribuiranno a conseguire la decarbonizzazione al minor costo possibile (Commissione Europea, 2019).

L'UE, per garantire tale transizione energetica, ha impostato le fondamenta dell'EGD, indirizzando verso la creazione di un mercato interno dell'energia rinnovabile, caratterizzato da infrastrutture intelligenti transfrontaliere, capaci di ridurre le perdite di energia rinnovabile, che, una volta prodotta, non era immagazzinata, trasportata e consumata in modo efficiente (M. Munta, 2020).

Il "*Green Deal*" vuole incidere sul percorso di trasformazione dell'economia verso neutralità climatica, in continuità con il percorso già intrapreso tra il 2015 e il 2018 in cui l'UE ha ridotto le proprie emissioni di gas serra, senza che ciò frenasse l'economia, cresciuta del 61 %. L'accordo preso da tutti gli Stati Membri all'interno del "*Green Deal*", eccetto la Polonia, vuole favorire l'obiettivo di azzerare le emissioni di gas serra entro il 2050, perché, nonostante i progressi fatti, l'aggravarsi del cambiamento climatico evidenzia la necessità di avviare contromisure rapide ed efficaci nel trovare sinergie e convergenze dei singoli settori utili ad invertire un trend che al momento ci allontanerebbe dall'obiettivo dichiarato (Commissione Europea, 2019). L'impegno dei Paesi firmatari è sottoposto ai controlli del sistema di monitoraggio della Commissione, che dovrà valutare l'adeguatezza delle azioni e politiche intraprese, affinché l'UE nel suo complesso sia in grado di mantenere i propri obblighi entro le scadenze fissate (M. Munta, 2020).

Ulteriore slancio al "*Green Deal*" è dato dal pacchetto "*Fit for 55*", che, dal 2021, rende vincolante per legge la riduzione delle emissioni di gas serra e comprende proposte per aggiornare ed accelerare il processo di decarbonizzazione, in sinergia con quanto già incluso nel EGD (il sistema europeo di scambio delle quote di emissione, le emissioni "negative", l'aggiornamento degli atti legislativi in materia di regolamentazione e progettazione del mercato dell'energia, la mitigazione della rilocalizzazione delle emissioni di carbonio...) (J. F. Gómez, 2022).

Va anche sottolineato che la crisi climatica è un pericolo che l'UE non può affrontare da sola e con provvedimenti che interessano solamente gli Stati che ne fanno parte e fintanto

non si definisca un quadro internazionale condiviso e fondato su medesimi principi che guidando il “*Green Deal*”, esisterà il rischio che diverse catene di produzione si trasferiscano verso altri paesi sprovvisti delle medesime ambizioni in ambito ambientale dell’UE, determinando uno spostamento dei centri di emissione del carbonio nonché la realizzazione di prodotti a maggiore intensità di carbonio.

Ciò rederebbe vani gli sforzi dell’UE e delle sue industrie nel perseguire quanto stabilito non solo nell’EGD ma ancor prima nell'accordo di Parigi, evidenziando come l’attuale contesto di crisi non permetta che vi siano diverse scale di ambizione tra i diversi Paesi nel tutelare il nostro pianeta ed in cambiamento climatico.

In tal senso, è stato predisposto un intervento che regola il prezzo delle importazioni in relazione al carbonio “speso” nella realizzazione dei beni primari; questo meccanismo di adeguamento rivolto ad attenuare e/o sfavorire la rilocalizzazione delle emissioni di carbonio è per ora limitato agli Stati limitrofi all’UE (Commissione Europea, 2019).

L’impegno richiesto dal “*Green Deal*” comporta delle trasformazioni nelle operazioni di business da parte delle aziende europee, in particolare modo da quelle che prevedono un’alta intensità energetica e di emissioni, che si devono confrontare con l’adozione di soluzioni tecnologiche tali da adattarsi alle norme e regolamenti dell’EGD e devono incrementare la propria competitività sui mercati internazionali, sviluppando prodotti e servizi innovativi ed ecosostenibili (J. F. Gómez, 2022).

Le principali fonti di gas serra dell’industria sono legate all’uso di combustibili fossili (come i derivati di petrolio e metano) nella fase primaria di lavorazione, nonché alle emissioni collaterali di processo legate sempre all’utilizzo dei combustibili fossili. A queste fonti devono sostituirsi le possibili alternative che consentono di abbattere le emissioni generate, tra cui le energie rinnovabili. Laddove vi sono settori in cui i combustibili alternativi non presentino la medesima efficacia di quelli tradizionali, si punta sull’efficientamento del consumo di energia per mezzo dell’ottimizzazione dei processi e il miglioramento di attrezzature ed infrastrutture, l’utilizzo di soluzioni tecnologiche volte alla cattura del carbonio generato o presente nell’atmosfera.

Un’ulteriore modalità percorribile dall’industria per ridurre le emissioni di gas serra consiste nel migliorare l’efficienza nell’uso dei materiali una progettazione in ottica sostenibile dei prodotti (J. F. Gómez, 2022).

Proprio per poter perseguire tali ambiziosi obiettivi climatici e di riduzione delle emissioni che si è proposta di raggiungere, la Commissione Europea è intervenuta attivamente sulle politiche in materia di clima che interessano le imprese e, in particolar modo, sul meccanismo di scambio delle quote di emissioni, o ETS (*“Emission Trade System”*), che ha interessato principalmente i settori energivori.

Queste industrie hanno una difficoltà cronica ad abbattere i loro consumi in conseguenza dell’elevata intensità energetica e delle emissioni legate al business che perseguono (il comparto chimico e petrolifero, siderurgico e di altri materiali di base) e sono la causa di circa un quarto delle emissioni di GHG nell’UE (M. Elkerbount et al., 2021).

Dal punto di vista politico, economico e climatico, il sistema *“cap-and-trade”* per le emissioni di CO<sub>2</sub> costituisce uno dei principali strumenti introdotti dall’UE e potenziati dal *“Green Deal”* per lo sviluppo futuro di industrie a basse emissioni di carbonio in Europa, consentendo alla stessa di raggiungere una posizione di leadership e traendo i vantaggi economici determinati da tale ruolo (M. Munta, 2020).

Il sistema ETS, tuttavia, non risulta privo di “punti deboli”, tra cui emerge la questione dell’applicazione settoriale, in quanto la quota di emissioni coperta dagli ETS si sta assottigliando. Infatti, mentre il settore energetico risulta sempre più all’avanguardia nell’adozione di tecnologie in grado di ridurre la sua impronta carbonica, altri settori, come il trasporto stradale e l’edilizia, non rientrano nella normativa ETS e, quindi, non contribuiscono con il medesimo ritmo alla riduzione delle emissioni (M. Elkerbount et al., 2021).

L’obiettivo della Commissione è, dunque, quello di ampliare il numero di settori inclusi nel sistema ETS per far sì che la maggior parte delle emissioni dell’UE siano sottoposte ad un unico “tetto massimo” (M. Elkerbount et al., 2021). Fondamentale è il ruolo economico del sistema ETS, che ogni anno consente alla Commissione di raccogliere enormi entrate per le proprie casse e quelle degli Stati membri grazie alla vendita delle quote di emissioni, il cui valore si aggira intorno ai 50 miliardi di euro (M. Elkerbount et al., 2021).

Come detto, tutte queste misure hanno il rischio di determinare un’accelerazione nel processo di rilocalizzazione delle emissioni in Paesi che non dispongono di normative ambientali altrettanto lungimiranti e la Commissione intende limitare il più possibile tale rischio attraverso l’introduzione di una *“carbon border tax”*, volta ad impedire che tali

paesi terzi traggano un vantaggio competitivo dalle ETS ed dal “*carbon leakage*” (M. Munta, 2020).

Sebbene l’Unione Europea sia sulla buona strada verso un processo di transizione “*green*” che la porterà ad azzerare le sue emissioni, il suo comparto industriale risulta essere ancora troppo dipendente da un processo produttivo che vede l’estrazione di nuovi materiali, trasformati successivamente in merci e prodotti per poi essere, infine, smaltiti come rifiuti o emissioni.

Tale logica “lineare” è la principale responsabile di oltre il 20% delle emissioni di GHG nonché della produzione di rifiuti in Europa, in quanto le risorse utilizzate lungo la catena produttiva vengono smaltite senza poterle in alcun modo recuperate (Commissione Europea, 2019).

La soluzione è data dall’introduzione dell’economia circolare, in cui la produzione e la crescita economica sono disaccoppiate dallo sfruttamento delle risorse ed abbracciano i principi dello sviluppo sostenibile attraverso l’allungamento del ciclo di vita dei materiali e dei prodotti, incentivando i consumatori a riparare e riutilizzare i propri beni così da minimizzare la produzione di rifiuti e facendo sì che, nel contesto industriale, i prodotti o le materie prime di scarto siano recuperate e riutilizzate come input produttivi (R. Sharma *et al.*, 2021).

Già con il “Piano d’azione per l’economia” del 2015 ci si era spinti verso la transizione da un paradigma di produzione lineare ad uno circolare tramite la formulazione di normative volte ad incentivare il riutilizzo, il recupero e il riciclo dei materiali. Queste richiedevano alle aziende:

- Un impegno maggiore nel monitoraggio delle fasi del processo produttivo e lungo tutto il ciclo di vita dei prodotti;
- L’adozione dei principi di sostenibilità nella progettazione degli imballaggi, per garantirne il riutilizzo e il riciclaggio;
- L’abolizione della plastica in alcuni prodotti monouso, nell’ottica della tutela dell’ecosistema marino dai rifiuti;
- Il riciclaggio dei materiali dotati ancora di utilità residua (M. Munta, 2020).



Il nuovo “Piano d'azione per l'economia circolare”, adottato nel 2020 quale parte integrante del “*Green Deal*”, espande il numero di settori e prodotti sottoposti alla normativa relativa alla riduzione dell'impronta carbonica ed al rispetto dei principi di sostenibilità nei processi produzione ed incoraggia le imprese alla realizzazione di prodotti durevoli, riutilizzabili e/o riparabili, garantendogli un ciclo di vita ben più lungo rispetto a quello attuale e dal minor impatto ambientale.

Tra gli obiettivi principali del nuovo quadro politico ritroviamo anche lo sviluppo di mercati guidati dai principi della neutralità climatica e della circolarità dei prodotti, sia all'interno che all'esterno dell'UE (M. Munta, 2020).

Le profonde trasformazioni nell'ottica della sostenibilità dei processi e delle strategie aziendali comportano delle spese e degli investimenti molto onerosi per riuscire a tenere il passo con il cambiamento in atto.

L'aggiornamento di infrastrutture, impianti ed attrezzature, però, non deve essere considerata semplicemente come l'aggiunta di nuove e gravose voci nella sezione costi del bilancio delle aziende, in quanto quest'ultime trarranno i frutti di tali investimenti con la compensazione derivante dai minor costi da sostenere per l'approvvigionamento dell'energia e dei materiali, visto il grado di efficienza energetica e materiale che può essere raggiunto (J. F. Gómez, 2022).

L'ottimizzazione nell'uso di energia e dei materiali proietta i benefici potenziali godibili dall'industria verso un orizzonte di lungo periodo, concretizzandosi in una posizione di vantaggio sul mercato, che alimenta ed è alimentata dalla crescita reputazionale legata agli interventi proattivi in ambito “*green*” e da una maggiore capacità economica e tecnica nell'innovare (J. F. Gómez, 2022).

È da evidenziare, pertanto, come la crescita economica è fortemente dipendente dall'adozione ed implementazione delle tecnologie a disposizione per riuscire a ridurre (obiettivo intermedio – 2030) e, in futuro, del tutto annullare (obiettivo finale – 2050) la propria impronta carbonica, creando un risultato sinergico tra l'ambito tecnologico ed ambientale in quella che viene definita, “transizione gemellare”.

L'innovazione e il cambiamento tecnologico e organizzativo rivestono una posizione di primo piano nel “*Green Deal*” europeo e nel piano di potenziamento e sviluppo delle opportunità economiche, industriali e tecnologiche, con ingenti investimenti che devono

essere rivolti alla catena del valore dell'innovazione, negli ambiti relativi all'implementazione di nuove fonti e vettori energetici (particolare enfasi è posta sull'idrogeno) e quelli incentrati su materiali e processi dal ridotto impatto ambientale (J. F. Gómez, 2022).

La partita per raggiungimento della transizione gemellare si gioca sul campo dei sistemi di R&S e innovazione, ai quali spetta il compito di ricercare nuove conoscenze e tecnologie, utili alle imprese e alle industrie in grado di adottarle sotto forma di soluzioni commercialmente valide (J. F. Gómez, 2022). Sostanziale, dunque, è l'impegno che le imprese devono sostenere nel destinare risorse e capitali alle attività di ricerca ed allo sviluppo nonché nell'assumersi rischi associati all'implementazione dei risultati di tale ricerca nei propri processi e modelli di business.

Gli avanzamenti tecnologici nei processi di acquisizione, elaborazione, trasmissione, archiviazione e analisi dei dati, nonché il percorso intrapreso dall'industria verso la digitalizzazione, abilita processi operativi intelligenti che incorporano l'intelligenza artificiale e l'automazione, facilitando lo sviluppo di nuovi modelli di business sostenibili e circolari e di nuove modalità di fornitura di servizi, che riducono l'impronta carbonica dei prodotti industriali e la presa di decisioni basate su evidenze empiriche, migliorando la capacità di comprendere e affrontare le sfide ambientali ed uno sviluppo sostenibile in tutti i settori, dall'agricoltura all'edilizia abitativa, all'energia, ai trasporti, alla biodiversità e al monitoraggio e gestione dell'inquinamento (J. F. Gómez, 2022).

La Commissione etichetta le suddette tecnologie innovative e sostenibili come "critiche" per il perseguimento delle ambizioni europee in tema di ambiente e la mobilitazione dei finanziamenti messi a disposizione dal "*Green Deal*", incoraggiando le iniziative dedite ad usufruire delle potenzialità della trasformazione digitale per sostenere la transizione ecologica (M. Munta, 2020).

L'UE vuole incrementare notevolmente la presenza e l'adozione di nuove tecnologie a livello intra ed intersettoriale in tutto il mercato unico, definendo delle catene del valore ad hoc per poter rispondere ad una sfida che è al di là delle capacità d'intervento dei singoli Stati membri (Commissione Europea, 2019), che dovranno, dunque, collaborare con i propri comparti industriali e con quelli degli altri Paesi per stimolare la ricerca e l'innovazione nei diversi settori indicati nell'EGD come strategici per poter produrre la transizione green (Commissione Europea, 2019).

Il concetto di “transizione gemellare” si collega in modo inequivocabile al paradigma di Industria 4.0, in quanto quest’ultimo si basa sulla digitalizzazione e sull’integrazione nei processi aziendali delle innumerevoli tecnologie digitali che, pertanto, devono contribuire al raggiungimento degli obiettivi dell’EGD (R. Sharma et al., 2021).

L’implementazione delle tecnologie 4.0, il loro impatto sull’impronta carbonica ed i potenziali benefici in termini di sostenibilità che le stesse permettono di conseguire è, tutt’ora, un ambito di ricerca che ha destato l’interesse di molti studiosi ed esperti del settore.

Le analisi svolte hanno individuato come il paradigma della quarta rivoluzione industriale consenta di sviluppare una produzione rivolta alla tutela dell’ambiente ed al riutilizzo delle risorse e capace di diffondere una cultura organizzativa sostenibile nell’ambito aziendale (R. Sharma et al., 2021), fornendo gli strumenti alle imprese per raggiungere il proprio massimo potenziale nel perseguire gli obiettivi di sostenibilità e circolarità richiesti dal “*Green Deal*”.

Il percorso di trasformazione digitale per perseguire la transizione verde non risulta, tuttavia, agevole e le sfide che si prospettano non riguardano solo i fattori tecnologici, ma vertono anche su aspetti legati all’ambito organizzativo ed ambientale.

- Sfide organizzative: tra queste primeggia la riluttanza delle imprese nell’effettuare investimenti di capitale in tecnologie rivolte all’aspetto “*green*” a causa della sproporzione tra le onerose spese attuali e quelli che sono previsti essere i benefici futuri. L’incertezza dei “*payoff*” e la mancanza di adeguate analisi sui rendimenti degli investimenti per la trasformazione digitale frena le aziende dall’intraprendere percorsi di trasformazione tali da garantire un’economia pulita e circolare, una mobilità intelligente e l’attenzione al clima.

La piena adozione dei principi di economia circolare e dell’utilizzo al massimo grado di efficienza delle risorse a disposizione viene bloccata dalle ridotte conoscenze ed informazioni sui meccanismi tecnologici presenti nella maggior parte delle imprese, soprattutto tra quelle di dimensioni ridotte, a causa della forza lavoro poco qualificata e della mancanza di un adeguato percorso di formazione e sviluppo delle competenze delle risorse umane.

- Sfide tecnologiche: prettamente determinate dagli sforzi richiesti alle aziende nell'indirizzare il loro percorso di trasformazione digitale e tecnologica verso gli obiettivi prefissati dal “*Green Deal*”.
- Sfide ambientali o di contesto: si fa riferimento al macroambiente in cui l'impresa si ritrova ad operare, a partire dalla sua posizione all'interno delle catene del valore per poi interessare i rapporti con i propri fornitori e distributori, l'impegno verso la sostenibilità messo in campo dalle imprese, la struttura del settore in cui operano, nonché il contesto normativo a cui devono sottostare (R. Sharma *et al.*, 2021).

Molte sono le tecnologie che l'Industria 4.0 mette a disposizione per poter affrontare ciascuna tipologia di sfida, tuttavia, va evidenziato come, tra le diverse innovazioni che costituiscono le fondamenta della quarta rivoluzione industriale, alcune siano maggiormente propense ad adattarsi alle spinte “*green*” dell'EGD, in virtù della loro versatilità. Infatti, visto il loro potenziale nel contribuire alla gestione dei dati, all'ottimizzazione dell'efficienza energetica e materica, alla prevenzione dei cyberattacchi e al controllo predittivo della manutenzione, AI, “*Big Data Analytics*” (BDA) e IoT possono determinare quel cambiamento che la Commissione sta cercando di attuare (R. Sharma *et al.*, 2021).

Nel dettaglio, la BDA risulta uno strumento di elaborazione e valutazione sistematica di dati complessi ed eterogenei, consentendo di gestire al meglio i modelli di business e le grandi moli di dati necessari ad attuare le strategie di mitigazione ed adattamento ai cambiamenti climatici, la gestione dei disastri, la riduzione dei rischi e la localizzazione delle emissioni nocive.

Altrettanto rilevante è il ruolo dell'IA nei meccanismi e processi di modellazione, pianificazione, simulazione ottimizzazione, manutenzione e rafforzamento delle infrastrutture energetiche e delle fonti di energia (R. Sharma *et al.*, 2021).

La BDA e l'AI permettono alle imprese di affrontare le sfide e le incertezze attraverso previsioni e risultati frutto dell'analisi di immensi database, integrando i processi, condividendo le risorse, minimizzando le complessità operative, ottimizzando il processo decisionale e l'effettiva adozione del paradigma di economia circolare con la gestione sostenibile delle risorse.

Tali tecnologie, infatti, lavorando su dati in tempo reale, forniscono progetti adeguati alle caratteristiche ed agli obiettivi dell'azienda e, allo stesso tempo, permettono la definizione di sistemi di produzione tali da produrre minori emissioni, in virtù del monitoraggio efficiente delle prestazioni nonché della facoltà di prendere decisioni informate da parte del board aziendale (R. Sharma *et al.*, 2021).

Sebbene gran parte degli interventi riguardino le grandi aziende, le piccole e medie imprese non risultano essere estranee alla produzione di importanti quantità di GHG e, nonostante non siano i principali attori nei settori ad alta intensità di carbonio, l'obiettivo di neutralità climatica dell'UE richiede anche il loro contributo proattivo, come rilevato dalla valutazione d'impatto per il 2030 (M. Elkerbout *et al.*, 2021).

La sfida al perseguimento della transizione gemellare delle PMI presenta delle caratteristiche peculiari ed a sé stanti rispetto a quelle incontrate nelle imprese di maggiori dimensioni, dal momento che il processo che porta all'adozione delle innovazioni nelle PMI segue degli step diversi.

Le nuove proposte legislative e normative relative alle politiche ed ai meccanismi della strategia industriale dell'UE si compongono di disposizioni adeguate alle circostanze specifiche delle PMI, in quanto devono sostenere dei costi di transazione proporzionalmente più elevati per raggiungere la transizione richiesta dall'Europa e richiedono soluzioni tecnologiche, di finanziamento e di riqualificazione della forza lavoro specifiche e mirate allo scopo di impedire che un gruppo corposo di imprese sia lasciato indietro nel perseguimento degli obiettivi dell'EGD (M. Elkerbout *et al.*, 2021).

La complessità delle politiche climatiche e industriali e delle attuali catene del valore, soprattutto delle industrie a più alta intensità energetica (principalmente i produttori di materiali di base, costruzioni o edilizie) richiedono delle competenze adeguate in grado di garantire l'efficienza nell'uso delle risorse e, più in generale, delle pratiche di circolarità. Nel settore edilizio, ad esempio, le competenze nel riconoscere le caratteristiche dei materiali a basse emissioni di carbonio, nonché la conoscenza di eventuali sostituti, consente la massima efficienza nell'uso dei materiali a basse emissioni, come il legno, e nel loro riutilizzo (M. Elkerbout *et al.*, 2021).

Altrettanto fondamentali sono le competenze associate al processo di digitalizzazione industriale ed alle tecnologie 4.0, con l'intelligenza artificiale che risulterà determinante

nell'evoluzione dei profili professionali e del modo in cui questi contribuiranno al perseguimento degli obiettivi di sostenibilità, comportando il bisogno di competenze specifiche per adattarsi al suo utilizzo.

Un possibile esempio di questo coordinamento tra ambito digitale, ambientale e delle competenze è il settore minerario, in cui le catene del valore industriali si intrecciano con l'implementazione dell'AI che offre l'opportunità di aumentare l'efficienza e ridurre l'impronta ambientale (M. Elkerbout *et al.*, 2021).

Tale cambiamento nella domanda di competenze rende necessario un adeguamento dell'offerta di lavoratori, con le politiche di "giusta transizione" che dovranno indirizzare le domande di lavoro dalle industrie ad alta intensità di carbonio verso la specializzazione e lo sviluppo delle competenze nei settori che guardano al "*Green Deal*" (M. Elkerbout *et al.*, 2021).

La Commissione ha, inoltre, definito un quadro europeo che indica le competenze, le conoscenze, le abilità e le attitudini rivolte ad sviluppo sostenibile da coltivare presso scuole, istituti tecnici ed università, al fine di assecondare i cambiamenti della domanda di competenze e del tipo di profili necessari nei settori volti ad ottenere basse emissioni di carbonio (Commissione Europea, 2019).

Lo strumento del "Fondo sociale europeo Plus", introdotto come appendice dell'EGD, è dedicato alla riqualificazione e al miglioramento delle competenze della forza lavoro europea, sostenendo finanziariamente il sopraccitato passaggio dei lavoratori dai settori in declino a quelli in espansione, cogliendo i benefici della transizione ecologica ed offrendo posti di lavoro sostenibili e verdi (Commissione Europea, 2019).

L'UE, presa nel suo insieme, dispone della forza necessaria per poter trasformare la sua economia e la sua società, in quanto leader mondiale nelle misure per il clima, l'ambiente, la protezione dei consumatori e per i diritti dei lavoratori, indirizzandole verso la sostenibilità (Commissione Europea, 2019).

Nell'affrontare una sfida simile, come abbiamo visto, risultano cruciali gli strumenti di sostegno attraverso gli investimenti pubblici e l'incanalare i capitali privati verso interventi a favore del clima e dell'ambiente, con L'UE che ambisce alla leadership nel coordinare gli sforzi internazionali verso la nascita di un sistema finanziario e di investimenti coerente con i principi del "*Green Deal*" (Commissione Europea, 2019).

L'approccio alle grandi sfide fa sì che governi ed enti pubblici dovranno assumere un'elevata centralità nei processi di trasformazione e dovranno costituirsi agenti attivi nel regolare e stabilire la direzione generale del percorso innovativo intrapreso, investendo e finanziando i progetti rivolti verso tali innovazioni (Commissione Europea, 2019).

L'UE ha adeguato il quadro di sostegno all'innovazione per allinearli meglio con i grandi obiettivi di sostenibilità e di competitività dell'EGD e si prevede che, per il conseguimento degli obiettivi intermedi fissati per il 2030, vi sarà bisogno di investimenti supplementari rispetto a quelli direttamente previsti nel Piano per un ammontare pari a 260 miliardi di euro l'anno.

Per sopperire a tale fabbisogno supplementare, la Commissione ha posto le basi del piano d'investimenti "per un'Europa Sostenibile", combinando finanziamenti specifici per la sostenibilità in ambito industriale e per le proposte volte a creare un contesto più favorevole agli investimenti verdi (Commissione Europea, 2019).

I profondi cambiamenti strutturali dei modelli d'impresa, delle competenze richieste, la necessità di avviare una transizione giusta richiedono una risposta politica decisa su tutti i livelli, anche attraverso il coinvolgimento e la sensibilizzazione dei consumatori. L'obiettivo che si sta cercando di raggiungere con il meccanismo di finanziamenti, attingendo al bilancio dell'UE e al gruppo guidato dalla Banca Europea per gli Investimenti (in quanto capaci di mobilitare le risorse pubbliche e private necessarie per sostenere i promotori di attività a basse emissioni di carbonio e resilienti ai cambiamenti climatici, nonché per tutelare dei posti di lavoro più vulnerabili), non può prescindere, però, dalle scelte dei consumatori finali che devono orientarsi verso quei prodotti e servizi che più si sono impegnati nella trasformazione etica ed ecologica (Commissione Europea, 2019).

Fondamentale sarà l'integrazione sistematica della sostenibilità nella governance societaria ed il grado di trasparenza dei dati relativi al clima e all'ambiente da parte delle aziende e degli istituti di credito affinché gli investitori e consumatori abbiano a disposizione un quadro completo della situazione dell'impresa così da poter prendere delle decisioni consapevoli per i loro investimenti ed acquisti (Commissione Europea, 2019).

Il meccanismo proposto dal "*Green Deal*", infatti, vuole agevolare agenti ed imprese attraverso l'individuazione di investimenti sostenibili ed attribuendo una garanzia sulla

loro credibilità tramite una etichettatura chiara dei prodotti di investimento e la definizione di una norma UE per le “obbligazioni verdi” che favorisca gli investimenti sostenibili (Commissione Europea, 2019).

La Commissione, insieme agli Stati membri, effettua un'analisi comparativa delle pratiche di bilancio volte ad indirizzare gli investimenti pubblici, i consumi e la tassazione verso le priorità verdi, facilitando la valutazione delle considerazioni dei rischi ambientali nei bilanci annuali e nei piani di bilancio a medio termine (Commissione Europea, 2019).

Il “*Green Deal*” andrà ad intervenire anche a livello nazionale per creare un contesto adatto a riforme fiscali su larga scala che scoraggino l'uso di combustibili fossili e l'inquinamento e tengano conto degli aspetti sociali, spingendo verso la crescita economica, generando una società più equa grazie al sostenimento di una transizione giusta e riconoscendo adeguati segnali di prezzo ed incentivi a produttori, utenti e consumatori affinché assumano comportamenti sostenibili.

Per far leva sulle risorse pubbliche e attrarre capitali privati, i governi degli Stati membri dovranno facilitare lo sviluppo di nuove forme di governance e di collaborazione tra aziende, associazioni imprenditoriali e cluster, università e centri tecnologici e di ricerca e le istituzioni stesse (Commissione Europea, 2019).

I responsabili e leader politici devono, infatti, attivarsi nel garantire gli strumenti per superare le barriere costituite dai vincoli finanziari, dall'incapacità di adottare le nuove tecnologie, soprattutto da parte delle PMI, e causate fattori come la fattibilità tecnologica, la sofisticazione, la conoscenza e la disponibilità (R. Sharma *et al.*, 2021), orientando le loro azioni verso:

1. L'aumento dell'offerta di risorse finanziarie pubbliche che, a loro volta, attirino i flussi di capitale privato;
2. La promozione della domanda di finanziamenti, creando incentivi fiscali per investire nelle tecnologie digitali ed in progetti con elevati ritorni sociali;
3. L'implementazione di politiche specifiche per la crescita e l'innovazione delle PMI, affinché possano perseguire gli obiettivi dell'EGD;
4. Lo sviluppo e il rafforzamento delle istituzioni e delle infrastrutture chiave del mercato finanziario;



5. La creazione quadri politici e normativi stabili, trasparenti, orientati, capaci di convogliare l'attenzione ed aumentare la consapevolezza relativamente ai benefici economici e sociali derivanti dagli investimenti in tecnologie "green";
6. Lo sviluppo di nuove competenze e conoscenze in ambito produttivo e finanziario nelle amministrazioni pubbliche e nelle aziende rivolte all'adozione dell'economia circolare;
7. L'innovazione nei prodotti e nei servizi finanziari orientati ai rischi affrontati dagli investitori nelle tecnologie verdi o digitali (J. F. Gómez, 2022; R. Sharma *et al.*, 2021).

Per far sì che il processo di transizione al centro del "Green Deal" sia sui giusti binari e non risulti in un programma chiuso e rivolto al solo contesto europeo, l'UE ha avviato numerosi dialoghi ed accordi di natura bilaterale con diversi Paesi partner, in particolare con i componenti del G20, dal momento che quest'ultimi non solo rappresentano il polo economico e del processo di digitalizzazione a livello globale, ma anche e soprattutto perché responsabili dell'80 % delle emissioni di gas serra (Commissione Europea, 2019).

La determinazione di un'azione condivisa per il clima che rispecchi i principi dell'EGD comporta l'individuazione di strategie tali da tener conto dei diversi contesti e delle molteplici esigenze locali e che consideri le differenze tra i grandi emettitori attuali e futuri e tra i paesi meno sviluppati e quelli in via di sviluppo, coinvolgendo i Paesi, le regioni, le industrie e le popolazioni la cui crescita economica dipende fortemente dai combustibili fossili (Commissione Europea, 2019).

La Commissione, dunque, vuol arrivare a definire degli standard di crescita sostenibile che siano validi a livello internazionale ed allineati a quelli dell'UE attraverso i cosiddetti "partenariati verdi", dove soggetti pubblici e privati forniscono risorse provenienti da aziende, fondazioni, istituzioni pubbliche e da paesi terzi (J. F. Gómez, 2022).

I progetti e gli accordi di partenariato e cooperazione internazionale realizzati dall'UE forniscono ulteriori risorse alla transizione, in quanto queste risultano ancora insufficienti per raggiungere il cambiamento che la stessa si è prefissata, sebbene l'UE sia responsabile per il 40 % dei finanziamenti pubblici mondiali a sostegno del clima. (Commissione Europea, 2019).

L'impegno e la partecipazione di tutti i portatori di interesse sono cruciali per il successo del “*Green Deal*” europeo, in accordo con quanto si afferma nel paradigma della “*Triple Bottom Line*” (TBL), che evidenzia come un reale cambiamento, per potersi realizzare, deve interessare le dimensioni sociale, economica e ambientale, mettendo a disposizione le risorse necessarie per potersi adeguare le pratiche industriali, far sviluppare le competenze dei lavoratori e tutelare coloro che sono maggiormente esposti ai cambiamenti climatici e al degrado ambientale (R. Sharma et al., 2021).

L'obiettivo è quello accompagnare il processo di transizione attraverso un'azione condivisa da parte dei Paesi maggiormente rilevanti a livello mondiale, così da riuscire ad attivare anche i Paesi in via di sviluppo, affinché il cambiamento che si sta realizzando sia il più “giusto” possibile (M. Munta, 2020).

## **Conclusione**

Il capitolo ha mostrato come l'eccessiva focalizzazione della quarta rivoluzione industriale verso l'efficienza produttiva e la resilienza delle imprese al variare delle tendenze di mercato sia “deragliata” in percorso di “sviluppo per lo sviluppo”, in cui si è persa la cognizione del contesto più ampio e delle effettive necessità dell'uomo e del Pianeta. Il “*Green Deal*” è stato l'elemento di rottura che ha permesso di indirizzare l'innovazione tecnologica e l'industria verso un nuovo paradigma di evoluzione e sviluppo che fosse propriamente “sostenibile”.

## ***CAPITOLO 2: Il nuovo paradigma “human-oriented”: l’Industria 5.0***

Il secondo capitolo, in parallelo rispetto a quanto fatto nel primo per l’Industria 4.0, riporta le tecnologie e gli elementi fondanti del paradigma di Industria 5.0, focalizzandosi sul come questa completi la precedente rivoluzione industriale seguendo un’ottica sociale e “green”, nonché le modalità con cui interagisce con le comunità di persone all’interno ed all’esterno delle imprese e con le Pubbliche Amministrazioni.

Infine, il capitolo si concentra sull’aspetto etico dell’Industria 5.0 e delle sue implicazioni morali.

### **2.1 Industria 5.0: dimensioni fondanti e principi chiave**

L’implementazione delle tecnologie nell’ambito dell’Industria 4.0 è un fenomeno attuale e tutt’ora in corso; tuttavia, lo sguardo è già rivolto al suo miglioramento ed a quella che sarà l’industria del futuro: l’Industria 5.0. La digitalizzazione, la globalizzazione, la centralità del cliente accelerano lo sviluppo, la transizione e la trasformazione delle aziende innovative, che individuano ed anticipano le tendenze future ed i cambiamenti derivanti.

Il concetto di “Industria 5.0” nasce con il “*policy briefing*” della Commissione Europea del gennaio 2021, che per primo ha messo nero su bianco i principi fondanti ed i paradigmi di quella che da molti è ritenuta essere nuova fase evolutiva dell’industria (M. Crisantemi, 2023).

L’industria 5.0 costituisce un ampliamento concettuale di quanto espresso attraverso il termine “Società 5.0”, emerso in Giappone già intorno al 2015/16 e che serve ad individuare “*una società incentrata sull’uomo che bilancia l’avanzamento economico con la risoluzione dei problemi sociali attraverso un sistema che integra fortemente il cyberspazio e lo spazio fisico*”, indicando, quindi, non solo un nuovo paradigma produttivo, ma una trasformazione sociale, dei principi economici e politici tramite la “*human oriented technology*” (M. Crisantemi, 2023).

L’industria 5.0 mira al raggiungimento della Società 5.0 attraverso una progressiva umanizzazione dei processi di digitalizzazione ed automazione, tipici dell’industria 4.0,

implementando tecnologie che perseguono in primo luogo il benessere pubblico, così da bilanciare la tutela degli ecosistemi ambientali e sociali con la crescita economica (A. Pedone, 2023).

La visione dell'Industria 5.0 vuole superare quella poco lungimirante dell'attuale modello economico ed industriale per poter raggiungere una crescita che veda alla sua base la riduzione dei consumi grazie a fonti sostenibili, circolari rigenerative ed eque di valore economico, garantendo la prosperità delle persone e del pianeta.

In tal senso, è possibile evidenziare quelli che sono i principali elementi di distinzione:

L'Industria 4.0:

- Si fonda sulla connettività digitale e l'intelligenza artificiale per ottenere un più alto grado di efficienza produttiva;
- Mira all'ottimizzazione dei modelli di business tramite la minimizzazione dei costi e la massimizzazione dei profitti degli azionisti;
- Trascura le dimensioni del design e della performance, che, invece, sono alla base del “*decoupling*” della crescita economica dagli impatti negativi su ambiente, clima e società (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'Industria 5.0:

- Bilancia competitività e sostenibilità, permettendo all'industria di esprimere il suo potenziale;
- Sostiene un approccio “*human-centric*” delle innovazioni;
- Ricerca applicazioni delle tecnologie sostenibili;
- Inquadra le responsabilità delle aziende all'interno delle catene del valore.
- Introduce indicatori dei progressi raggiunti in termini di benessere, resilienza e sostenibilità complessiva (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Il paradigma di Industria 5.0, quindi, completa quello di Industria 4.0, focalizzando l'attenzione sulla generazione di valore per gli stakeholder, ricercando il benessere dei lavoratori e riconoscendo la ricerca e l'innovazione come fattori abilitanti per un'industria sostenibile, resiliente ed incentrata sull'uomo, nel rispetto dei confini planetari (I. Sassone, 2023).

“Se l’attuale rivoluzione enfatizza la trasformazione delle fabbriche in strutture intelligenti abilitate all’IoT che utilizzano il cloud computing e l’interconnessione, l’Industria 5.0 è destinata a concentrarsi sul ritorno delle mani e delle menti umane nella struttura industriale” (I. Sassone, 2023). Pertanto, le tecnologie informatiche avanzate, l’“Internet of Things”, i robot, l’intelligenza artificiale e la realtà aumentata sono strumenti al servizio della società e dell’ambiente, non del vantaggio economico.

Nelle tre definizioni di Industria 5.0, ad opera di Breque *et al.*, del presidente dell’università di Teheran Nahavandi e di Friedman e Hendry, si evidenzia una spiccata convergenza verso i temi delle centralità umana, della resilienza del sistema e della sostenibilità, puntando verso una visione collaborativa e co-creativa del sistema industriale del futuro in cui, come si legge nel paper della Commissione Europea, “l’Industria 5.0 sarà in grado di apportare benefici all’industria, ai lavoratori e alla società” portando alla nascita di “...una industria europea sostenibile, human centric e resiliente” (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Nel dettaglio, il concetto di “human-centricity” fa sì che l’Industria 5.0 ponga il lavoratore al centro dei sistemi di produzione, prerequisito essenziale delle fabbriche che ricercano flessibilità, agilità e robustezza contro le perturbazioni esterne. La sinergia tra abilità umane e robotiche risulta fondamentale nel migliorare le condizioni di salute e sicurezza dei lavoratori, passando da un approccio guidato dalla tecnologia a uno che si adatti alle caratteristiche ed alle capacità delle persone (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Introdurre il pensiero umano-centrico nei sistemi di lavoro industriali porta al superamento delle barriere sociali preesistenti e ad un miglioramento complessivo delle prestazioni aziendali, introducendo dei robot intelligenti e capaci di comprendere le relazioni che si determinano in ambienti non strutturati, con la “Human-Centric Explainable AI” (HC-XAI) come principale fondamento (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

La sostenibilità quale principio intrinseco al processo produttivo è essenziale per il raggiungimento di uno sviluppo della società basato sull’innovazione di prodotti e servizi che rispetti i limiti naturali del nostro pianeta, facendo uso di fonti di energia rinnovabili, di modelli di economia circolare e di efficienza energetica (Jiewu Leng *et al.*, 2022). I clienti stessi richiedono alle aziende un impegno nell’ambito della sostenibilità che, come

detto nel capitolo precedente (Capitolo 1, pagina 24), fa riferimento sia alla sfera sociale, che ambientale ed economica.

Per resilienza si intende la qualità di un sistema di mantenere o recuperare in breve tempo una condizione di stabilità nonostante le continue spinte dall'ambiente esterno, il verificarsi di cambiamenti sostanziali dovuti a delle svolte nel contesto (geo)politico o causati da eventi naturali catastrofici, come il recente Covid-19 (Jiewu Leng *et al.*, 2022). L'Industria 5.0 non si focalizza sulla capacità delle singole imprese di far fronte a tali momenti di incertezza, ma fa riferimento ad una gamma più ampia di sistemi industriali, come un'intera catena industriale o il sistema industriale di un Paese o di una regione, affinché anch'essi nel loro insieme raggiungano un'elevata resilienza alle perturbazioni dell'ambiente circostante (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Di conseguenza, la quinta rivoluzione industriale si presenta come l'era della fabbrica socialmente intelligente, in cui i robot dialogano con le persone, vi è una comunicazione costante tra componenti umani e CPPS, con l'IA incorporata nelle operazioni umane per migliorarle sotto ogni aspetto, portando al raggiungimento di una composizione armonica tra macchine, esseri umani, valori, compiti, conoscenze e competenze, poi tradotta in prodotti e servizi individualizzati (Jiewu Leng *et al.*, 2022). Ciò determinerà la transizione da un sistema modulare flessibile a un sistema di apprendimento autonomo, capace di autoprogrammarsi, auto-organizzarsi ed auto-ottimizzarsi nel suo rapporto con il capitale umano presente in azienda (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'evoluzione del paradigma industriale richiederà la ristrutturazione delle tecnologie informatiche di nuova generazione, passando per gradi dall'era 4.0, guidata dalla tecnologia, all'era 5.0, guidata dal valore, e facendo progredire le connessioni uomo-macchina, affinché si presti la giusta attenzione al futuro del valore umano nell'innovazione tecnologica.

In tal modo si fornirà un'opportunità storica per lo sviluppo intelligente ed ecologico dell'industria manifatturiera globale, permettendo al concetto di Industria 5.0 di mostrare tutte le sue possibili attuazioni e potenzialità (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'identificazione degli abilitatori tecnologici è il primo passo verso la piena comprensione del concetto di Industria 5.0, in cui le tendenze innovative abilitanti come

HRC, “*digital twin*”, “*blockchain*”, “*big data*”, “*metaverse*”, ingegneria dei fattori umani, sensori in rete, tracker del flusso di lavoro e formazione virtuale creano numerose combinazioni con le competenze ed i concetti di sviluppo, consentendo l’avanzamento tecnologico e lo sviluppo di un modello di Industria 5.0 orientato al valore (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Tuttavia, è da notare come l'avanzare della tecnologia e la nascita di un gran numero di dispositivi intelligenti determini spesso una profonda eterogeneità tra gli stessi, richiedendo soluzioni capaci di realizzare l’integrazione tra tali sistemi. Le risposte fin qui trovate per affrontare tale necessità fanno ricorso alle CPS utilizzati nell'Industria 4.0 e li sviluppano secondo un’ottica 5.0 o “*Human-oriented*”, prendendo forma nei sistemi umano-ciber-fisici (HCPS) e nei sistemi cyber-fisico-sociali (CPSS) (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'HCPS è un sistema intelligente composito in cui si inseriscono esseri umani, sistemi informatici e sistemi fisici e che ricerca il migliore ed armonico approccio al lavoro per coniugare i punti di forza della componente umana e della componente meccanica e digitale in un contesto condiviso, al fine di raggiungere obiettivi sostenibili a un livello ottimizzato (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Per ciò che concerne le CPSS, lo sviluppo della tecnologia cognitiva ha fatto sì che le caratteristiche e le interazioni sociali potessero essere incorporate nel CPS, andando oltre l'integrazione cyber-fisica e riuscendo ad includere la componente sociale.

In tal modo si raggiunge una connessione ed integrazione delle informazioni provenienti dagli spazi cyber-fisici e dal mondo reale, con i CPSS che garantiscono l'auto sincronizzazione tra i domini fisico, informativo e sociale, gestendo l'aumento dei requisiti personalizzati di massa dei clienti a livello di processo produttivo, nonché rimodellando i valori e la qualità dei servizi (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Dal CPS all'HCPS e poi al CPSS, il valore delle persone quali soggetti indipendenti nei vari sistemi viene evidenziato in contesto di eterogeneità multi-sistemica in cui l'uomo, le nuove macchine, il software e la tecnologia dell'informazione saranno integrati e diventeranno un anello di congiunzione dell'innovazione e dell'organizzazione delle risorse verso la creazione di valore e lo sviluppo (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

In questo contesto in continua evoluzione, i dati fungono da guida e da risorsa primaria in quanto costituiscono la necessaria base informativa e di supporto del processo

decisionale umano, indirizzando la società in maniera indiretta verso quei cambiamenti necessari al perseguimento della rivoluzione 5.0 (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

È dall'introduzione dei CPS e dell'IoT nei sistemi di produzione moderna che enormi moli di dati vengono prodotti e scambiati globalmente attraverso i vari dispositivi di comunicazione connessi tra loro e con gli esseri umani.

La sfida consiste nella raccolta e nel processamento di dati in tempo reale provenienti dagli innumerevoli sistemi del mondo reale per analizzarne i processi e ricavare ciò che è utile a supportare i processi decisionali dei lavoratori in loco (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'analisi delle informazioni è essenziale per il corretto funzionamento delle tecnologie basate sull'intelligenza collaborativa, che consiste nel coordinamento reciproco-cognitivo tra l'intelletto umano e l'intelligenza artificiale delle macchine per innovare, progettare e creare prodotti e servizi personalizzati in maniera congiunta. Le persone e l'AI, quindi, hanno la possibilità di valorizzare al massimo grado i rispettivi punti di forza che risultano complementari tra loro: l'intuizione, la leadership, il lavoro di squadra, la creatività, la versatilità, il “*problem solving*” e le abilità sociali dei lavoratori con la velocità, la scalabilità e la precisione quantitativa delle macchine (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Sotto tale punto di vista, l'Industria 5.0 deve far sì che la componente umana individui le modalità per potenziare l'ausilio fornito loro dalle tecnologie e che la componente tecnologica migliori le capacità dei lavoratori nello svolgimento dei rispettivi compiti.

Nel primo dei due scenari, i lavoratori possono ricoprire tre ruoli possibili nell'addestramento dell'AI incorporato negli strumenti aziendali:

- Definire le modalità di svolgimento di compiti specifici;
- Sviluppare possibili risultati controintuitivi o controversi risultanti nello svolgimento delle mansioni;
- Garantire un'adozione responsabile delle macchine (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Dal lato del supporto fornito dalle macchine, invece, l'obiettivo sta nell'attivare le potenzialità del capitale umano in azienda sotto tre aspetti principali:

- Amplificare le capacità cognitive dei lavoratori;
- Liberare i lavoratori da compiti di basso livello, meccanici e ripetitivi;



- Riprodurre le abilità dei lavoratori per estendere le loro capacità fisiche (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

La rivoluzione apportata dall'Industria 5.0 cambierà il concetto stesso legato alla parola "robot", che non saranno considerate solo come macchine programmabili per lo svolgimento di compiti ripetitivi, ma diverranno a tutti gli effetti “*un compagno*” umanoide ideale nel compimento di determinate attività (S. Nahavandi, 2019).

I robot collaborativi, anche detti “*cobot*”, terranno conto della presenza umana, svolgeranno analisi dei rischi e adotteranno gli adeguati criteri di sicurezza, arrivando a percepire e comprendere gli obiettivi e le aspettative di un operatore umano. Proprio come farebbe un normale apprendista, i “*cobot*” osservano le modalità con cui un individuo svolge un dato compito, analizzano il processo ed i risultati ottenuti dallo stesso ed imparano ad eseguirlo a loro volta (S. Nahavandi, 2019).

Il robot osserva il processo tramite dei sensori, lo elabora ed apprende i modelli in automatico, monitorando l'ambiente e deducendo le azioni successive dell'operatore grazie all'analisi dell'intenzione umana alimentata dal “*deep learning*”. Una rete di sensori con una certa intelligenza e potenza di elaborazione ridurrebbe la necessità di un meccanismo di trasferimento dei dati ad alta larghezza di banda, consentendo una preelaborazione locale dei dati, riducendo la latenza e il sovraccarico della rete e creando al contempo un livello di "intelligenza distribuita", fondato su un quadro comune per il trasferimento delle informazioni. Quando il robot ha ottenuto una mole di dati sufficiente, cercherà di aiutare il lavoratore umano, affiancandolo ed aumentando l'efficienza complessiva del processo (S. Nahavandi, 2019).

Dal momento che i “*cobot*” coopereranno con gli esseri umani nello svolgimento del proprio impiego, è necessario che i primi si basino su principi e meccanismi decisionali incorporati nel loro sistema in linea con il comportamento dei secondi.

Le tendenze innovative attuali del “*deep learning*”, dell'apprendimento automatico e dei sistemi embedded mirano al raggiungimento di un elevatissimo livello di percezione, localizzazione, visione, cognizione e potenza di calcolo nelle piattaforme embedded attraverso lo sviluppo delle reti neurali artificiali, base necessaria dell'apprendimento collaborativo (S. Nahavandi, 2019).

I sistemi autonomi intelligenti, dunque, dipenderanno dalla loro capacità di replicare i sensi che le persone utilizzano per cooperare con gli altri e imparare in modo adattivo.

Infatti, oltre alle tecnologie visive e sensoriali, deve migliorare la cognizione delle macchine nel giudicare al meglio in situazione lavorativa in continua evoluzione, sebbene costruire un sistema di questo tipo non è assolutamente banale poiché, con le tecnologie attuali, nessun modello, dato o sistema basato su regole può replicare ciò che un operatore umano farebbe normalmente in ogni determinato scenario (S. Nahavandi, 2019).

I recenti progressi nella ricerca sulla collaborazione uomo-robot (*“human-robot collaboration”*, HRC) risultano essere tra i principali fattori di accelerazione del processo di transizione dall’Industria 4.0 all’Industria 5.0. L’HRC è uno *“stato in cui un sistema robotico appositamente progettato e un operatore lavorano su compiti simultanei all’interno di uno spazio di lavoro collaborativo”* (Jiewu Leng *et al.*, 2022), che ha lo scopo di migliorare la connessione tra utente e robot, rendendo quest’ultimi capaci di sostenere ed implementare molteplici modalità di interazione, come il riconoscimento vocale, il rilevamento degli occhi e delle impronte digitali.

In virtù della visione *“human-oriented”* e resiliente dell’Industria 5.0, l’HRC migliora la produttività, il benessere dei lavoratori ed elimina i possibili errori della produzione manuale o robotizzata, migliorando la flessibilità e la riconfigurabilità.

L’HRC può essere distinto in simbiotico o proattivo:

- L’HRC simbiotico è incentrato sull’interazione tra uomo e macchina in un sistema interconnesso umano-cibernetico-fisico per svolgere compiti produttivi complessi.
- L’HRC proattivo non si limita ad ottenere la collaborazione tra uomo e macchina nel comportamento fisico, ma comprende ed empatizzano in modo proattivo a livello cognitivo, utilizzando la conoscenza come mezzo di comunicazione, con il robot che apprende l’intenzione umana per ottenere una migliore compatibilità e collaborazione con l’utente. Grazie agli sviluppi dell’AR avanzata, dell’IIoT e dell’AI-cognitive computing, l’HRC proattivo potrà mostrare tutto il suo potenziale per assistere la produzione incentrata sull’uomo attraverso diverse soluzioni, come l’approccio basato sul ragionamento visivo per la Mutual-Cognitive Human-Robot Collaboration (MCHRC) (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Considerando l’uomo come il motore ed il centro della nuova Industria 5.0, le scienze umane come la psicologia, la fisiologia e l’anatomia entrano di diritto all’interno del

contesto aziendale e vengono applicate nella progettazione ingegneristica degli spazi e delle tecnologie. In tale contesto, ha grande risalto lo studio relativo all'ergonomia, ossia la ricerca che si occupa *“dei problemi relativi al lavoro umano e che, assommando, elaborando e integrando le ricerche e le soluzioni offerte da varie discipline, tende a realizzare un adattamento ottimale del sistema uomo-macchina-ambiente di lavoro alle capacità e ai limiti psico-fisiologici dell'uomo”* (Enciclopedia Treccani). Tale branca scientifica è rilevante ai fini dell'analisi, della comprensione e della progettazione delle mansioni riconosciute al capitale umano nell'Industria 5.0, in quanto è rivolta al miglioramento dell'efficienza e della qualità del lavoro ed alla soddisfazione delle esigenze dei dipendenti, facendo leva sulle interrelazioni tra le persone e le attrezzature, le strutture, le operazioni e gli ambienti di lavoro (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Ai trend innovativi ed agli ambiti di ricerca fin qui menzionati, l'Industria 5.0 fa emergere anche il ruolo delle tecnologie di gemellaggio digitale, potente strumento di emulazione informatico per la progettazione, configurazione, messa in servizio e il funzionamento ottimizzato delle catene di produzione *“human-oriented”*. Gli algoritmi di intelligenza artificiale ben si adattano all'implementazione di un ambiente di *“staging”*, il gemello digitale, permettendo di simulare e di ottimizzare la rappresentazione delle dinamiche del componente reale in tempo reale, migliorando, così, la qualità della progettazione, l'efficienza operativa e la tempestività di interventi manutentivi o correttivi.

In tal modo, il gemello digitale permette di evitare o di limitare voci di costo considerevoli, dovute alla riconfigurazione completa di un impianto o macchinario qualora si dovessero riscontrare carenze di progettazione durante il processo di implementazione degli stessi oppure si dovesse verificare l'interruzione del processo produttivo a causa di malfunzionamenti che non sono stati prontamente individuati (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Un gemello digitale è, dunque, *“un modello virtuale di un processo, prodotto o servizio”* che, grazie ai recenti progressi nell'elaborazione dei big data e nell'AI, è in grado di *“simulare”* e collegare il mondo virtuale a quello fisico, fornendo alle unità produttive la capacità di analisi dati, monitoraggio del processo di produzione, oltre la possibilità di gestire i rischi prima che si verifichino, ridurre i tempi di inattività e far uso di simulazioni

per modellare correttamente le diverse situazioni operative e le caratteristiche di un processo (S. Nahavandi, 2019).

Direttamente collegato al gemello digitale è il metaverso, potenziale tecnologia abilitante dell'Industria 5.0, che, secondo la definizione del presidente della IEEE Standard Association Dr. Yu Yuan, si riferisce ad un'esperienza in cui gli utenti si confrontano con un universo costruito sulle tecnologie digitali e che è percepito come diverso ("*Realtà virtuale*"), un'estensione digitale della realtà ("*Realtà aumentata*" o "*mista*") o come una controparte digitale del nostro universo attuale ("*Gemello digitale*").

Un metaverso, pertanto, deve essere "*persistente, massiccio, completo, immersivo, autoconsistente, ultra-realistico, accessibile, pervasivo e decentralizzato*" (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'infrastruttura ICT è la pietra angolare del successo del metaverso in quanto, se da un lato il metaverso è una tecnologia emergente che dà un nuovo impulso allo sviluppo industriale, dall'altro le tecnologie di base in esso contenute sono la chiave di volta per la sua implementazione e per il suo pieno sviluppo in ambito industriale. Sfruttando tale tecnologia, è possibile creare un ambiente di realtà mista capace di simulare il processo produttivo ancor prima del suo effettivo avviamento, identificando e risolvendo anticipatamente i problemi che si potrebbero presentare. Attraverso l'empowerment digitale, dunque, il meta-universo indirizza la produzione verso la centralità delle persone, la sostenibilità e la resilienza tipiche dell'Industria 5.0 (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Uno dei vantaggi diretti derivanti dall'adozione di tecnologie innovative come il gemello digitale ed il metaverso consiste nell'adozione di forme di formazione digitale, attraverso cui il tirocinante apprende un compito o un'abilità specifica in un ambiente virtuale o simulato. La formazione virtuale, infatti, nasce da una combinazione di tecniche di realtà virtuale e aumentata che, arricchita con la "*big data analysis*" da parte dell'AI ed i sensori aptici, è in grado imitare il tatto e la sensazione reale degli scenari e delle attività coinvolte.

Tale tecnologia riduce notevolmente i costi e i tempi del percorso di formazione e può essere aggiornata e riconfigurata per nuovi corsi di formazione, soprattutto in quei lavori che presentano una qualche forma di rischio per la salute del dipendente (S. Nahavandi, 2019).

Tra gli innumerevoli elementi che incidono sul grado di sostenibilità e resilienza delle imprese, un aspetto critico nella valutazione di un sistema di produzione è la qualità dei prodotti, a cui risponde il concetto tecnologico di “*Zero Defect Manufacturing*” (ZDM), fattore abilitante della sostenibilità della produzione nell'era dell'Industria 5.0.

Lo ZDM, in sinergia con la visione di incentrato sull'uomo dell'Industria 5.0, mira ad ottimizzare la qualità complessiva dei dipendenti e dell'intera catena di produzione, stimando la probabilità che si verifichino difetti e prevenendoli, nonché accelerando la transizione ad una produzione orientata al valore, secondo i principi della quinta rivoluzione industriale (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Allo ZDM si aggiungono i tracker del flusso di lavoro, capaci di migliorare la tracciabilità della produzione in tempo reale, associando gli ordini di vendita agli ordini di produzione e, di conseguenza, consentendo una gestione ottimale ed efficiente delle risorse (S. Nahavandi, 2019).

Se da un lato l'Industria 5.0 orienta verso visioni e tecnologie innovative e sostenibili per la nuova era industriale, dall'altro deve affrontare delle sfide per raggiungere la piena adozione e poter perseguire i propri obiettivi. I limiti di una ricerca ancora allo stato embrionale, gli ostacoli al progresso sociale determinati dalle attuali condizioni economiche e geopolitiche, le sfide della scienza e della tecnologia nello sviluppare innovazioni che era difficile solo pensare fino a pochi decenni fa, faranno sì che il futuro sviluppo dell'Industria 5.0 si muoverà a tentoni (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Infatti, essendo l'Industria 5.0 un concetto emergente, pochi sono gli studi rilevanti di riferimento disponibili ed esistono opinioni contrastanti sul processo evolutivo e di implementazione dell'Industria 5.0. Ciò porta all'assenza di una chiara visione d'insieme ed alla mancanza di obiettivi mirati alla costruzione dell'architettura dell'Industria 5.0 ed all'uso delle relative tecnologie abilitanti (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Nel sistema tecnologico dell'Industria 5.0, le singole tecnologie non possono funzionare indipendentemente l'una dall'altra, ma, allo stesso tempo, dispositivi intelligenti con supporto tecnico diverso hanno sistemi di controllo diversi e ciò richiede diverse conoscenze provenienti da campi diversi per completare l'intero processo produttivo in una simbiosi organizzata, aumentando la complessità della ricerca stessa. Inoltre, l'eterogeneità tra i sistemi non favorisce lo scambio di informazioni tra piattaforme e il

conseguente miglioramento della produttività, ponendo una sfida alla diversificazione dei sistemi di Industria 5.0 (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'Industria 5.0 è un modello trasformativo figlio dell'evoluzione del nostro pensiero, originatasi acquisendo gli insegnamenti tratti dalla pandemia e spinta dalla necessità di progettare un sistema industriale che sia intrinsecamente più resistente a shock e stress futuri, integrando realmente i principi sociali e ambientali del “*Green Deal*” europeo.

L'adozione dei principi di Industria 5.0 porta ad un deciso allontanamento dai modelli di “capitalismo neoliberista”, incentrati sul profitto e sulla "supremazia degli azionisti", a favore di una visione più ampia del valore e di una concezione polivalente del capitale (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021), prendendo in considerazione quello umano e naturale, oltre che finanziario. Questo cambiamento deve portare al rafforzamento della resilienza lungo tutta la catena del valore tramite un approccio basato su “persone-pianeta-prosperità” (3Ps o “*Triple Bottom Line*”).

Uno dei principali insegnamenti tratti da Covid-19 è stata l'importanza di costruire la resilienza lungo tutta la catena del valore, con le aziende che hanno effettuato stress test e applicato criteri di “*Environmental Social Governance*” (ESG), evidenziandone il ruolo nelle attività di “*de-risking*” (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'enfasi sui rendimenti per gli azionisti, cara alla scuola economica di Chicago di Milton Friedman, è oggi messa in discussione dalla nozione sempre più diffusa del "capitalismo degli stakeholder”, sulla spinta dell'Industria 5.0.

Tutto ciò determina la necessità di “*nuovi orientamenti economici, una nuova concezione dei modelli di business, delle catene del valore e delle catene di fornitura, nuovi scopi per la trasformazione digitale, nuovi approcci alla definizione delle politiche in collaborazione con le imprese e l'industria, nuove capacità e nuovi approcci alla ricerca e innovazione, nonché la coerenza verticale e orizzontale agendo a tutti i livelli di governo e attraverso standard internazionali*” (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

## 2.2 Una nuova rivoluzione per l'industria

L'Europa, nel perseguire la sua missione di creazione di un futuro “migliore”, si trova a dover affrontare un triplice imperativo: proteggere, preparare e trasformare il proprio comparto industriale, la propria politica, nonché la sua società per poter far fronte al cambiamento climatico ed al collasso della biodiversità, affinché che si possa vivere in modo sostenibile e pacifico entro i confini del pianeta (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

In un contesto caratterizzato da cambiamenti geopolitici, eventi naturali e dalla ripresa dalla pandemia da Covid-19, il ruolo dell'industria risulta essere di primaria importanza, in quanto rappresenta una forza trainante dell'economia europea, in termini economici e occupazionali, nonché per la trasformazione del sistema. Tra il 2009 e il 2019, l'industria europea ha costantemente rappresentato circa il 20% del PIL dell'UE (il manifatturiero, in particolare, raggiunge circa il 14,5% del valore dell'economia europea), rendendola la seconda più grande a livello mondiale in termini nominali, dopo gli Stati Uniti, e la terza in termini di parità di potere d'acquisto, dopo Cina e USA (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Il futuro della strategia industriale dell'UE sarà incentrato sugli elementi costitutivi dell'Industria 5.0, permettendo la libera espressione del potenziale industriale europeo sul fronte della competitività e dell'internazionalizzazione. Lo sviluppo industriale europeo, pertanto, deve orientarsi alla resilienza, alla sostenibilità ed alla circolarità in contrapposizione ai modelli di sovrapproduzione e di consumo a breve termine determinati dall'attuale paradigma di crescita.

Ciò richiederà la trasformazione dei modelli di business, la riprogettazione fondamentale delle catene del valore, un cambiamento nella mentalità e negli approcci economici della politica, investimenti finanziari e di corporate governance (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Gli effetti della transizione digitale e sostenibile sulle imprese e sulla società sono stati al centro delle politiche europee, arricchite da un nuovo approccio umano-centrico, ed è in questo contesto che si situa la nuova Strategia industriale europea 5.0, il cui modello di crescita e sviluppo promosso dalla Commissione Europea si basa su tre pilastri fondamentali:

- **Sostenibilità:** in piena coerenza con i principi del “*Green Deal*” europeo, la produzione si deve alimentare attraverso fonti di energia rinnovabili, le emissioni di carbonio devono ridursi del 55% entro il 2030, devono essere implementati sistemi di economia circolare e processi che riutilizzino e riciclino le risorse naturali, riducendo i rifiuti;
- **Persone al centro del modello produttivo:** l’attenzione è focalizzata sugli aspetti sociali e umani, con la tecnologia che deve essere progettata in modo tale da non violare i diritti fondamentali dei lavoratori, come il diritto alla privacy, all'autonomia e alla dignità umana.
- **Resilienza:** è necessario sviluppare una predisposizione ad adattarsi alle situazioni più avverse, soprattutto dopo che la pandemia Covid-19 e i cambiamenti geopolitici hanno evidenziato la fragilità delle industrie europee (A. Pedone, 2023)

L’Industria 5.0 è rivoluzione culturale più che tecnologica, in quanto ha al suo centro un nuovo paradigma basato sulle persone e sull’ambiente in un comparto industriale rigenerativo, ricostituente nella progettazione e nell’azione, interdipendente con il territorio, adattabile ai cambiamenti e basato sulla giustizia sociale. L’Industria 5.0 supera l’Industria 4.0 in quanto indirizza l’innovazione verso nuove forme di valore economico e sociale, così da bilanciare efficacemente il trinomio persone, pianeta e prosperità (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Solo eccellendo rispetto ai concorrenti internazionali sui principi di progettazione per la resilienza, il rinnovamento e la rigenerazione delle risorse, l’industria europea sarà in grado di sostenere a lungo termine la concorrenza esterna e cogliere i benefici di un vantaggio da “*first mover*” nella gestione dei rischi strategici del cambiamento climatico, dell’azione per il clima, del degrado ambientale e dell’instabilità sociale e politica (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

La natura della trasformazione necessaria per cogliere il pieno potenziale dell’Industria 5.0 è sistemica, che implica una trasformazione a livello aziendale nella progettazione di prodotti, servizi e sistemi, nonché una riconfigurazione della catena di fornitura che non



si limiti all'ottimizzazione dei costi, ma che favorisca modelli e sistemi aziendali riparativi e rigenerativi.

Questo cambiamento richiede la costruzione di modelli economici che favoriscano la condivisione, il riutilizzo, la riparazione, la ri-fabbricazione, la rivendita e il riciclaggio di prodotti lungo l'intera catena del valore e diversi sono gli esempi di imprese che riprogettano e sviluppano nuovi modelli di catena del valore per tener conto delle opportunità economiche insite nei modelli di business circolari e rigenerativi. Si spazia da nuovi e più agili modelli di fidelizzazione dei clienti, di vendita, di leasing, di produzione e di inventario, possibili grazie agli attuali strumenti digitali, dal minore impatto carbonico e proattivi al mutevole contesto del commercio globale (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

A tal fine, per le aziende è fondamentale intervenire sulla loro "filosofia" nel perseguimento di una trasformazione sistemica verso i principi dell'Industria 5.0, mettendo da parte l'eccessiva focalizzazione sui guadagni di breve termine, nonché la preminenza degli interessi di ritorno immediato degli azionisti.

L'allontanamento dal modello azionario capitalistico è stato più volte indicato necessario non solo dalle istituzioni europee e nazionali, ma anche da numerosi imprenditori, dall'"*American Business Roundtable*" e dal presidente degli Stati Uniti Joe Biden in occasione del "*World Economic Forum*" (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Tuttavia, il disallineamento esistente tra incentivi aziendali ed obiettivi necessari fa sì che i leader aziendali rivolti al raggiungimento di processi trasformativi siano criticati se non estromessi dai CdA, evidenzia l'urgenza di un nuovo modello di impresa europeo, che misuri in modo coerente il progresso e le performance aziendali sulla base del ruolo che le imprese dovrebbero avere a livello sistemico, affinché le società integrino nella strategia aziendale gli aspetti di sostenibilità, misurabili grazie a specifici target e obiettivi limitati nel tempo e basati sulla scienza (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Gli approcci rigenerativi e di economia circolare rappresentano un framework per la trasformazione sistemica e rendono sostenibili attività commerciali e modelli industriali, in accordo con i tre principi sistemici dell'approccio Industria 5.0:

- Progettare eliminando sprechi ed inquinamento.
- Mantenere prodotti e materiali all'interno del ciclo produttivo.

- Rigenerare l'ambiente naturale e migliorare i processi di assorbimento del carbonio (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Modelli più distribuiti, diversificati e inclusivi per l'industria, basati sulle energie rinnovabili e catene del valore circolari garantirebbero la propulsione necessaria all'Industria 5.0, favorendo sistemi economici circolari, intersettoriali, rigenerativi e rilevanti per l'industria (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Un'industria europea così improntata permetterebbe di inserire nella tabella di marcia digitale dell'Europa obiettivi di sostenibilità, affinché la digitalizzazione funga da leva per ridurre l'impronta materica e di carbonio dell'economia europea, sfruttando le tecnologie digitali anche in materia di clima, in accordo con i principi della transizione gemellare. Infatti, le tecnologie digitali massimizzano l'efficienza, assicurano la trasparenza delle operazioni, forniscono strumenti di progettazione, modelli commerciali e sistemi di produzione che garantiscono la riparazione, l'aggiornamento e la rivendita dei prodotti, nonché la rigenerazione ed il riutilizzo delle risorse impiegate (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

La politica industriale europea e il quadro della transizione gemellare devono garantire che l'Industria 5.0 sia una vera e propria rivoluzione industriale innovativa fondata sulle esigenze umane e planetarie e non solo un "aggiornamento" dell'Industria 4.0, incentrata sulla mera innovazione per il profitto (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

La strategia industriale presentata dalla Commissione Europea nel 2021 richiede che siano definiti indicatori di performance aziendale e di sostenibilità dei modelli di business specifici per la sfida che sta affrontando e che, dunque, non possono più basarsi sugli indicatori di competitività "tradizionali" sanciti da Industria 4.0, ponendo maggiore enfasi sull'economia reale rispetto alle metriche finanziarie e ai profitti a breve termine (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Le metriche utilizzate devono, quindi, riportare l'allontanamento dall'economia lineare ed essere volte ad analizzare: il rendimento dei beni materiali e naturali, nonché dell'energia investita, il "*decoupling*" dei materiali e la valorizzazione del capitale umano e naturale (M. Crisantemi, 2023).

L'Industria 5.0, radicalmente trasformata ed efficiente dal punto di vista delle risorse, permetterebbe di sfruttare nuove forme di valore economico e di prosperità, determinerebbe una maggiore competitività europea e l'indipendenza strategica,

riducendo la dipendenza dell'Europa dalle importazioni di materie prime strategiche e di energia, una necessità che il Covid-19 ha sottolineato.

Infatti, il budget “materico” globale non sarà sufficiente a coprire le esigenze future dei Paesi altamente industrializzati e di quelli emergenti ed è in tale contesto che risulta fondamentale il processo di decarbonizzazione avviato dall’Industria 5.0 che andrà a ridurre la dipendenza dalle importazioni di energia dell'UE dal 54% al 20% entro il 2050 (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Per far sì che l'industria sia la principale sostenitrice della sostenibilità, della rigenerazione della natura e dell'inclusione, sono necessarie nuove politiche, nuovi partenariati e nuovi obiettivi, nonché un approccio di portafoglio ai progetti di ricerca e innovazione, che richiede agilità e fluidità delle risorse per rispondere rapidamente alle mutevoli condizioni di contesto. Inoltre, cruciale sarà la creazione di collegamenti solidi tra i processi politici ed i livelli di governance, affinché l'industria, i cittadini e gli altri stakeholder possano utilizzarli in modo efficiente. L'industria 5.0 ha bisogno, pertanto, di politiche pubbliche adeguate e di una proattiva interazione tra industria e Stato, nel tentativo di affiancare alla quinta rivoluzione industriale un governo che sia anch'esso 5.0, in quanto il saper affrontare le sfide esistenziali ed il cogliere le opportunità che ci si presentano dipende dall'allineamento tra il settore pubblico e quello privato (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Per raggiungere questo risultato sono necessari i seguenti passi.

- I processi politici devono portare alla rottura della “*path dependence*” che finora ha determinato il percorso di crescita europeo e che è insito nelle normative, nelle strutture di incentivazione e nella progettazione delle politiche, ferme ai vecchi modelli di consumo, produzione e organizzazione.  
Bisogna, pertanto, superare l'inerzia dei modelli, delle politiche e dei processi in opposizione ai cambiamenti necessari e auspicabili.
- La governance dei processi politici deve adattarsi ed assecondare i nuovi attori e soluzioni disruptive affinché il cambiamento richiesto a livello sistemico non siano ostacolati e scoraggiati da processi politici inadeguati, con lunghe tempistiche e di tipo sequenziale, che stonano con il ritmo delle innovazioni volte ad affrontare la crisi climatica e sociale.

- I finanziamenti pubblici per la ricerca di innovazioni sostenibili e per l'apertura a nuovi mercati ed ecosistemi industriali devono abbandonare le attuali metriche di avversione al rischio, indipendentemente dalla forma o struttura che essi assumono (sovvenzioni, finanziamenti per progetti, prestiti e investimenti), così da creare le condizioni per finanziare combinazioni intersettoriali e opzioni trasformatrici su larga scala (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).
- I finanziamenti pubblici, oltre che la ricerca di innovazioni sostenibili, devono contenere quegli ammortizzatori sociali, che permettano di gestire le crisi temporanee di occupazione ed il processo di trasformazione delle competenze.

Raggiungere una politica pubblica “a prova di futuro” richiede una governance e una regolamentazione basate sulla previsione dello sviluppo tecnologico e delle tendenze future, ma, allo stesso tempo, capace a sua volta di “plasmare il futuro in modo proattivo”, tramite una forma di regolamentazione adattativa quale la “*better regulation*” (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'integrazione di questi strumenti nella pratica quotidiana della Commissione Europea è ancora embrionale e richiederà degli interventi di orientamento per massimizzare l'impatto e lo sviluppo di percorsi di transizione industriale, secondo quanto definito nell'agenda Industria 5.0 dell'UE (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

In tale contesto, la determinazione di un quadro normativo volto alla creazione di un ambiente favorevole per un'innovazione che guarda alla sostenibilità, è più che mai centrale per poter realizzare la visione delineata per l'Industria 5.0, tenendo conto dei vincoli e degli orientamenti imposti dalle normative vigenti e prendendo in considerazione degli standard comuni per garantire una compatibilità e interoperabilità universale.

Il lavoro di produzione normativa si è concentrato particolarmente sul tema della sicurezza informatica, in quanto rappresenta una preoccupazione trasversale a tutte le tecnologie e le imprese digitali, vista la rilevanza e la sensibilità delle informazioni scambiate o conservate tra i diversi device industriali e non. Tra i numerosi esempi a disposizione, le principali normative che legiferano sull'ambito della cybersicurezza risultano essere gli standard ISO 27000, il “*Cybersecurity Information Sharing Act*” (CISA) degli Stati Uniti, il “*Cybersecurity Act*” dell'Unione Europea (ENISA) e la

“*Network and Information Security Directive II*” (NIS II) dell'Unione Europea (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

Nello specifico:

- Gli standard ISO 27000 “*definiscono un vocabolario comune e forniscono una panoramica dei sistemi di gestione della sicurezza delle informazioni*”.
- La direttiva NIS II mira ad adottare misure volte ad incrementare il livello generale di sicurezza informatica in alcuni enti e settori dell'Unione Europea.
- L’*“European Union Cybersecurity Act”* ha istituito un quadro di certificazione della cybersicurezza per prodotti e servizi e dato mandato permanente all'agenzia dell'UE per la cybersicurezza (ENISA) per informare il pubblico sugli schemi di certificazione e rilasciare i suddetti certificati.
- il CISA ha fornito una base legale per poter condividere le informazioni tra le agenzie governative statunitensi e le entità non governative per migliorare e rendere più efficienti ed efficaci le indagini sui cyberattacchi (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

Strettamente collegata al tema della protezione dei dati, la normativa enfatizza molto la necessità di tutelare la privacy intorno ai dati, non solo delle industrie ma anche e soprattutto delle persone. Anche in questo caso vi sono delle normative che spiccano particolarmente per la tutela della gestione e della condivisione dei dati, come il Regolamento generale sulla protezione dei dati (GDPR), la direttiva “*ePrivacy*” o il “*Data Governance Act*”, emanati dall'Unione Europea (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

In particolare, il GDPR costituisce il quadro giuridico delle linee guida per il trattamento e la raccolta dei dati personali delle persone residenti nell'Unione Europea che regola la protezione dei dati e della privacy, focalizzandosi sul diritto alla riservatezza delle informazioni, sul trattamento dello spam, dei “*cookie*” e dei dati sul traffico. Tale legge, poi, promuove un più ampio riutilizzo dei dati, ma in ambienti di elaborazione sicuri, con tecniche di anonimizzazione dei dati (ad esempio, la privacy differenziale) e di creazione di dati sintetici, stabilendo un regime di licenze per gli intermediari di dati tra i titolari e gli utenti (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

Infine, visto l’impatto dell'intelligenza artificiale nella società e nell’industria moderna, è stato recentemente sviluppato un atto legislativo da parte dell’Unione Europea, che

prende il nome di “*Artificial Intelligence Act*” (AIA), per regolamentarne l'uso e gli aspetti più controversi (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

L'AIA è stata la prima legge di questo tipo emanata da un ente normativo di tale rilievo a livello mondiale, stabilisce i principi, gli obblighi, i diritti e gli strumenti di governance relativi all'uso dell'intelligenza artificiale e classifica le applicazioni di intelligenza artificiale in tre categorie di rischio:

- (a) rischio inaccettabile, per cui l'applicazione dell'AI è vietata (ad esempio è il caso dei sistemi di social scoring), che sono vietati;
- (b) rischio elevato, in cui l'applicazione dell'AI è soggetta a specifici requisiti legali (un esempio sono le applicazioni di scansione del curriculum);
- (c) applicazioni che non rientrano nelle categorie (a) e (b), ad oggi ancora non regolamentate (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

I governi non devono limitarsi ad aggiustare l'orientamento normativo, ma hanno anche il compito di incentivare gli investimenti nelle tecnologie digitali intelligenti ed a basse emissioni di carbonio, facilitando la creazione di nuovi mercati, ecosistemi di business e catene del valore rivolte all'energia rigenerativa e circolare, così da attrarre e motivare la domanda, anche tramite politiche di approvvigionamento ed il meccanismo dei prezzi. Le autorità pubbliche devono orientare lo sviluppo economico guidando gli investimenti a sostegno dei “volenterosi” e degli “innovativi”, che mirano a trasformare ed innovare secondo i principi del paradigma verde e sociale 5.0, e tassando i ritardatari e chi utilizza i combustibili fossili, in linea con il principio “chi inquina paga” (S. Dixson-Declève *et al.*, 2021).

L'attuale era di incertezza ed instabilità rende necessaria una spiccata fluidità delle risorse e l'accentuazione della leadership della componente pubblica nel guidare il cambiamento, assecondando l'ambiziosa agenda UE rivolta ad una trasformazione sistemica, in netto contrasto con le strutture di incentivi, le competenze esistenti e le rigidità istituzionali che caratterizzano l'odierno processo decisionale.

L'Industria 5.0 definisce un paradigma favorevole al rapido sviluppo e diffusione dell'innovazione all'interno dell'industria e della resilienza nelle catene del valore che deve essere sostenuto da un aumento dei finanziamenti ed investimenti nel settore R&S,

in quanto costituisce un acceleratore per la competitività del comparto industriale europeo (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Gli approcci strategici e sistemici all'innovazione sono centrali per sostenere la trasformazione 5.0 delle imprese esistenti nella progettazione di nuovi ecosistemi industriali e catene del valore, adottando i principi di rigenerazione, circolarità e resilienza ed incentivando le piccole e medie imprese (PMI), attraverso la formazione di appositi cluster industriali multi-nodali che facilitino la condivisione di principi comuni e forniscano una maggiore resilienza alla catena di approvvigionamento (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

La politica europea per la ricerca e l'innovazione deve incoraggiare approcci più flessibili, sperimentali e capaci di affrontare i rischi, minimizzandoli su catene distribuite e collaborando con l'industria per garantire una minore burocrazia per accedere al sostegno della R&S, maggiori incentivi per l'impollinazione incrociata tra le fasi della ricerca e dell'innovazione e tra i vari settori e per realizzare un approccio mutualistico tra la politica e la programmazione della R&S industriale (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Un esempio virtuoso in tal senso è il progetto europeo Sure5.0 (*“Supporting the Sustainability and Resilience transition towards industry 5.0 in the mobility, transport & automotive, aerospace and electronics European Ecosystems”*), che sfrutta i finanziamenti stanziati dalla Commissione Europea con il programma *“Horizon Programme Europe”* per sostenere le PMI europee nel processo di trasformazione digitale e di allineamento ai principi di sostenibilità e resilienza, grazie a rapporti di valutazione 5.0, *“webinar”* aperti, *“roadmap”* individuali, servizi su misura, eventi di *“networking”* e di apprendimento ed supporto finanziario necessario al perseguimento dei loro progetti 5.0 (I. Allegro, 2023)

Gli incentivi volti a favorire le riforme strutturali a livello regionale porteranno ad un elevare il livello di qualità delle istituzioni, modernizzando le infrastrutture industriali e la struttura delle competenze e verso attività a più alto valore aggiunto condiviso, grazie a strategie di specializzazione intelligente e politiche industriali regionali orientate all'innovazione con l'obiettivo di sbloccare i vantaggi comparativi latenti di una regione. Fornendo un sostegno sotto forma di sviluppo delle capacità, si può garantire l'effettivo utilizzo dei meccanismi di finanziamento disponibili e su misura per ogni regione,

assicurando la diffusione di un'economia circolare con catene del valore decentrate e la creazione di posti di lavoro a livello locale (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Sebbene l'Europa non possa sostenere una simile sfida da sola, l'UE ha le carte in regola per ergersi come guida della comunità globale verso una transizione attenta al contesto ambientale e sociale. Tale ruolo potrà essere raggiunto solo se sarà capace di assicurare la propria coesione interna, presentandosi nei contesti internazionali come una voce unica, ed una profonda trasformazione dell'economia a livello globale, abbracciando un programma di Industria 5.0.

Per essere efficace, il livello di ambizione al perseguimento dei principi cardine di Industria 5.0 deve essere in linea con l'urgenza e la grandezza delle sfide con cui l'Europa e il mondo si devono confrontare, indirizzando proporzionalmente le politiche nazionali e internazionali, nonché agli attori subnazionali come le città, gli enti regionali e le comunità locali, dove il comportamento dei consumatori e il sentimento pubblico catalizzano la domanda (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Al fine di perseguire tali obiettivi e vista la sempre più stretta rete di collaborazioni e connessioni tra i diversi Paesi del mondo, sia in campo umano che industriale, che si stanno iniziando a definire gli accordi per la nascita di una Comunità di Futuro Condiviso per l'Umanità (ACFSM), basata su un nuovo concetto di società umana in grado di orientarsi su un percorso di attuazione per affrontare le sfide comuni di tutta l'umanità, fortemente sostenuta dal governo cinese (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

L'ACFSM potrebbe avere un ruolo centrale nell'avanzamento verso il perseguimento dell'Industria 5.0, in quanto consente di sviluppare una strategia di sviluppo sostenibile che tenga conto delle preoccupazioni degli altri Paesi partecipanti, ma che persegua allo stesso tempo gli interessi nazionali, promuovendo un processo di evoluzione comune delle industrie di tutti i Paesi.

L'ACFSM si pone in una prospettiva più ampia, sottolineando come l'armonia sociale del "villaggio globale" e lo sviluppo verde della società aiuterà l'industria a raggiungere una evoluzione di successo, secondo i principi del paradigma 5.0, aggiungendovi un'ulteriore caratteristica, ossia quella di una comunità industriale dal futuro condiviso (Jiewu Leng *et al.*, 2022).



Tali ulteriori connessioni permettono di ridefinire la qualità della leadership dell'Europa nel mondo attraverso la definizione di standard e norme condivise per la sostenibilità, l'etica e l'economia/società digitale nel contesto industriale allineati alla sua visione, fissando un livello di ambizione al perseguimento della transizione 5.0 incentrato sui principi dell'economia circolare e rigenerativa e sui flussi/utilizzi dei materiali ed inviando un forte segnale agli altri attori dell'economia (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021). Ciò concentrerebbe ancor di più la R&S su nuove tecnologie ad alto potenziale, ad alto impatto e scalabili, incoraggiando l'allineamento degli attori della catena del valore e degli investimenti infrastrutturali, nonché la creazione di una domanda vincolata a livello globale. Tuttavia, è fondamentale che a tale strategia di leadership internazionale si accosti un'adeguata politica commerciale e di sviluppo che promuova la cooperazione, il mercato secondario e le infrastrutture dell'economia circolare nei Paesi terzi, così da assicurare una transizione equa e giusta (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Per rafforzare ulteriormente la propria leadership globale nel contesto della transizione “green”, l'UE ha la possibilità di far leva sulle istituzioni istituendo un "Consiglio per la stabilità industriale" che analizzi e riconosca la portata dei rischi sistemici e strategici affrontati dalle imprese e dalle industrie europee e, di conseguenza, risulti un fonte di credito per assicurare un'adeguata risposta del comparto industriale europeo alle attuali condizioni ambientali e sociali, elevando, così, gli standard di sostenibilità richiesti all'industria. Al Consiglio si richiederebbe, inoltre, di identificare a livello globale e locale quelle imprese e settori "troppo importanti per fallire" e che devono necessariamente allinearsi agli obiettivi del “Green Deal”. Queste raccomandazioni dovrebbero stimolare i settori coinvolti nel portare evidenze dell'avvenuto cambiamento e del raggiungimento dei requisiti richiesti dalla de-carbonizzazione, dall'economia circolare e dalle pratiche rigenerative, concedendo l'accesso al credito, alle approvazioni normative e alle licenze per operare (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'Europa, con la sua politica di innovazione, non può rivolgersi esclusivamente alle regioni tecnologicamente avanzate ed all'avanguardia nel perseguimento degli obiettivi di Industria 5.0 ma deve garantire dei processi di “catching-up” da parte delle regioni periferiche e/o più arretrate, che meritano un'attenzione particolare da parte delle politiche a causa del diverso livello di sviluppo tecnologico, della ricerca e dell'innovazione.

Infatti, il progresso industriale e tecnologico si caratterizza per uno spiccato effetto agglomerativo, portando ad una maggiore concentrazione delle imprese nelle regioni più innovative e all'avanguardia, determinando profonde disparità economiche tra regioni e producendo circoli virtuosi nelle regioni centrali e circoli viziosi in quelle periferiche (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Tutto ciò porta a un numero crescente di regioni "lasciate indietro" e "deindustrializzate" nell'UE, che subiranno un forte impatto negativo dal processo di transizione in atto e che, pertanto, dovranno essere sostenute attraverso appositi piani di riqualificazione regionale, combinando programmi di rivitalizzazione economica con le politiche del mercato del lavoro (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Il beneficio che l'industria europea trarrà dall'implementazione dei principi di Industria 5.0 è a lungo termine, come riconosciuto dalla stessa Commissione Europea, la quale afferma che *“nel breve termine, gli investimenti richiesti potrebbero esporre le industrie europee al rischio di perdere temporaneamente competitività rispetto a quelle che non investono ancora in Industria 5.0. Sarà cruciale temporizzare a fondo e coordinare gli investimenti, al fine di mitigare questo rischio. Tuttavia, crediamo che i rischi maggiori per l'industria si materializzerebbero se non ci si impegnasse nella più ampia transizione della società verso la sostenibilità, la centralità dell'uomo e la resilienza, perdendo così competitività nel lungo periodo”* (M. Crisantemi, 2023)

Sebbene i risultati di tale impegno si potranno osservare in futuro, l'ultimo rapporto dell'IPCC evidenzia come la politica debba insistere su un intervento immediato, volto all'eliminazione dei combustibili fossili ed alla disconnessione della crescita economica dalle emissioni di CO<sub>2</sub>, accelerando lo sviluppo di soluzioni alternative piuttosto che diluirlo nel tempo (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

In virtù della velocità con cui le tecnologie e i nuovi modelli di business trasformano interi settori, sempre nuovi timori circondano l'avanzamento della transizione odierna dell'industria e crescente è la paura che tale cambiamento determini una possibile perdita del posto di lavoro per moltissime persone. In tal senso, è cruciale l'instaurazione di una cultura del dialogo sociale a tutti i livelli (aziendale, settoriale, regionale e nazionale) per garantire un'evoluzione in simultanea della forza lavoro, aiutando le persone più a rischio di perdere il proprio lavoro a ricollocarsi in una posizione adatta alle proprie capacità e di

pari o migliore qualità, così da assicurare il rinnovamento delle regioni, delle zone industriali, e delle comunità maggiormente impattate dal cambiamento (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'introduzione, attraverso rinnovati quadri giuridici, di standard minimi e certificazioni, della rendicontazione non finanziaria sulla sostenibilità e della due diligence obbligatoria rafforzerà le responsabilità sociali delle imprese, orientando il loro operato verso gli obiettivi della nuova politica industriale e rendendo la “*Corporate Social Responsibility*” (CSR) uno strumento efficace nell'impedire alle imprese di operare nell'ottica del profitto di breve periodo, ma in accordo con i principi sociali e ambientali di interesse generale (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Inoltre, la Commissione Europea rimarca come gli ultimi ritrovati tecnologici e digitali, se implementati correttamente e con l'orientamento ai principi di Industria 5.0, rendano i luoghi di lavoro più inclusivi e più sicuri per i lavoratori, oltre ad aumentare la loro soddisfazione e il benessere (M. Crisantemi, 2023)

Infatti, tre sono le caratteristiche chiave che devono definire gli ambienti produttivi dell'Industria 5.0:

- La sicurezza: la condizione di essere protetti da pericoli, rischi o lesioni e può riferirsi sia alla sicurezza del prodotto (la qualità di un prodotto ed il suo utilizzo senza correre rischi), sia alla sicurezza umana.
- L'affidabilità: la qualità di meritare fiducia ed è definita come un mix dei principi di trasparenza, affidabilità, disponibilità, sicurezza e integrità. Nel manifatturiero, l'affidabilità consiste nella capacità di un sistema produttivo di garantire un funzionamento comprensibile e sicuro per i dipendenti dell'azienda, anche a fronte di eventi anomali.
- La centralità dell'uomo: l'uomo è al centro del processo produttivo e ne detiene il controllo, con la tecnologia che si adatta alle sue competenze, alle sue esigenze ed ai suoi desideri, garantendo al contempo un ambiente di lavoro sano e interattivo nel rispetto dei diritti fondamentali dei lavoratori (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

In tale contesto, particolarmente rilevante è il ruolo assunto dal “*New Social and Green Deal Contract*”, che mira non solo al garantire ambienti di lavoro nelle industrie 5.0 in pieno accordo con diritti umani, la protezione sociale, l'uguaglianza e l'inclusione, ma

soprattutto alla creazione di nuovi posti di lavoro, attraverso ambiziosi progetti che coinvolgono i governi, i sindacati ed i datori di lavoro, catalizzando la creazione di posti di lavoro e lo sviluppo di nuove competenze verso un mercato del lavoro circolare, rigenerativo e ad emissioni zero (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021). Pertanto, in netta contraddizione rispetto all'intuizione immediata, l'Industria 5.0 potrà creare più posti di lavoro di quanti ne toglierà, soprattutto nell'ambito dei sistemi intelligenti, della programmazione dell'intelligenza artificiale e della robotica, della manutenzione, della formazione e della programmazione, con il maggior impatto l'Industria 5.0 che si risconterà nella crescita degli occupati nel campo dell'HMI e dell'analisi computazionale dei fattori umani (HCF) (S. Nahavandi, 2019).

L'Industria 5.0 rivoluzionerà i sistemi di produzione in tutto il mondo, sottraendo i lavoratori umani, ove possibile, dallo svolgere compiti ripetitivi grazie a robot e sistemi intelligenti, realizzati con materiali avanzati come la fibra di carbonio, alimentati da batterie altamente ottimizzate, resistenti agli attacchi informatici ed arricchiti con le capacità di “*big data analysis*”, aumentando la produttività e l'efficienza operativa, rispettando l'ambiente e riducendo gli infortuni sul lavoro (S. Nahavandi, 2019).

Altro elemento chiave per stimolare posti di lavoro dignitosi consiste sono le strategie volte a stabilire delle gare di appalto mirate ad incoraggiare e supportare esplicitamente i fornitori, i produttori capaci di allinearsi con requisiti di sostenibilità, resilienza e rigenerativi, e di assicurare condizioni chiare sulla qualità dei posti di lavoro offerti, nonché quelle relative all'assunzione di persone svantaggiate o gruppi sottorappresentati nel mercato del lavoro (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

L'Industria 5.0 si muove a partire da innovazioni dall'animo “sociale” per aumentare la prosperità e promuovere posti di lavoro di qualità, nonché misure a sostegno dell'istruzione e della formazione delle competenze, consentendo ai lavoratori di adattarsi a un mercato del lavoro in evoluzione, fornendo prodotti affidabili ed ecosostenibili.

Ciò mira ad evitare divari digitali nelle regioni con un minor sviluppo industriale e la creazione di posti di lavoro e opportunità, garantendo allo stesso tempo la parità di accesso all'istruzione ed all'assistenza sanitaria e la salvaguardia della mobilità sociale, prerequisiti vitali per rivoluzionare l'industria sulla base delle pressanti necessità attuali (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

La formazione dei lavoratori richiesta per poter adattare la tecnologia ai bisogni umani è resa più complessa dall'essenza multidisciplinare e multi-tecnica intrinseca all'Industria 5.0, nonché dal requisito dell'apprendimento continuo e diffuso (long-life learning e life-wide learning) richiesto dallo sviluppo sostenibile (Jiewu Leng *et al.*, 2022).

Per far fronte a tale complessità, la “*Dichiarazione di Osnabrück relativa all'istruzione e alla formazione professionale come fattore abilitante della ripresa e delle transizioni giuste verso l'economia digitale e verde*” (A. Pedone, 2023) ha fissato quattro obiettivi:

- Un'istruzione e formazione professionale (IFP) di qualità che faccia sviluppare la resilienza, l'inclusività e la flessibilità, associandola a nuove competenze, metodologie educative, programmi di studio e strumenti di previsione, anche grazie all'ausilio dell'AI e dell'apprendimento digitale.
- Stabilire una nuova cultura dell'apprendimento permanente (“*Continuing vocational education and training*” – CVET).

Con il cambiamento dei profili professionali e delle qualifiche richieste, nonché l'emersione di nuove mansioni dovuta alla transizione digitale e verde, gli individui necessitano di programmi di formazione per aggiornare le proprie competenze, utilizzando tecnologie e strumenti di apprendimento moderni.

- La sostenibilità, in quanto è una componente trasversale ad ogni processo avviato da Industria 5.0, si interseca con l'istruzione, le competenze, la domanda di lavoro, le occupazioni e la distribuzione geografica dei posti di lavoro e dei lavoratori. Ambienti di apprendimento digitali e “*open source*” faciliterebbero l'accesso all'educazione allo sviluppo sia all'interno che all'esterno dei contesti di istruzione e formazione.
- Spazio europeo dell'istruzione e della formazione internazionale (A. Pedone, 2023).

La mentalità, le competenze e le capacità necessarie a comprendere la complessità, a pensare per sistemi, ad utilizzare strumenti e metodologie che studiano tale complessità, nonché caratteristiche quali la curiosità, l'adattabilità, l'empatia e la responsabilità per l'interdipendenza e per i risultati a lungo termine dovranno diventare obiettivi fondamentali per la riqualificazione dei dipendenti e dei consigli di amministrazione (S. Dixson-Declève *et al.*, 2021).

In tal senso, l'Industria 5.0 presenta sfide sensibilmente nuove e nuovi dovranno, pertanto, essere gli approcci di apprendimento e istruzione, così come i programmi di studio e i principi fondamentali dell'economia e del commercio per le nuove generazioni di studenti per scalare e soddisfare le esigenze dei nuovi entrati.

La trasformazione degli istituti di formazione professionale e delle scuole di business è richiesta con urgenza dal cambiamento apportato con Industria 5.0 e comporta una revisione completa dei programmi accademici esistenti affinché i futuri leader aziendali e politici posseggano una solida comprensione dei sistemi complessi e del processo decisionale (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Altrettanto importante è la capacità di sostenere partnership a lungo termine, collaborazioni e governance transfrontaliere radicali, compresa la co-creazione tra le discipline, che, tuttavia, non è al centro dei programmi di studio dell'istruzione secondaria e terziaria e di solito sono il risultato di una maturità successiva e dell'apprendimento permanente. Quest'ultime competenze dovranno essere insegnate in via prioritaria agli amministratori, ai consigli di amministrazione e ai quadri intermedi in tutte le aziende europee e nel settore pubblico, consentendo, così, uno scambio intersettoriale fondamentale tra il settore pubblico e quello privato, tra l'industria e l'amministrazione pubblica (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Un simile avanzamento nell'istruzione rappresenterebbe un'opportunità significativa per l'Europa e per le sue università in quanto la collaborazione e la guida dell'industria sui concetti di circolarità, resilienza e rigenerazione potrebbe fornire alle università europee le condizioni per abbreviare i tempi di distribuzione e diffusione di nuove conoscenze, nonché per promuovere portafogli di innovazione strategica e stimolare gli atenei europei nel trasformarsi in migliori focolai di innovazione, diventando "laboratori viventi" (S. Dixon-Declève *et al.*, 2021).

Tale processo di evoluzione delle competenze determinerà necessariamente la creazione di nuove mansioni e già esistono degli esempi di ruoli aziendali dall'ultima rivoluzione industriale, come il "*Chief Robotics Officer*" o CRO. Quest'ultimo risulta essere una persona esperta nella comprensione dei robot e delle loro interazioni con l'uomo ed è responsabile delle decisioni relative alle macchine o ai robot da aggiungere o rimuovere per ottenere prestazioni ed efficienza ottimali (S. Nahavandi, 2019).

Attraverso i CRO e la loro approfondita formazione in ambito robotico, di intelligenza artificiale, di modellazione dei fattori umani e interazione uomo-macchina, si potranno sfruttare i progressi della computazione per avere un impatto positivo anche sulla gestione dell'ambiente, riducendo l'inquinamento e la produzione di rifiuti e preservando l'ambiente (S. Nahavandi, 2019).

## 2.3 Nuovi principi etici per un nuovo paradigma industriale

Come visto nei paragrafi precedenti, l'Industria 5.0 si fonda sul paradigma della "Social Smart Factory", orientato al valore ed al benessere del lavoratore, in cui ogni singolo elemento cooperativo di un CPPS sarà in grado di comunicare con la componente umana attraverso le reti sociali aziendale, con l'obiettivo di intrecciare sinergicamente macchine ed esseri umani per aumentare la produttività dell'industria manifatturiera, sviluppare e liberare il pensiero critico e la creatività del personale (F. Longo *et al.*, 2020).

Vista la stretta interazione tra le componenti digitali e tecnologiche con quelle umane, è necessario tener conto delle possibili conseguenze dell'Industria 5.0 sul benessere delle persone che interagiscono con questi sistemi, affrontando le domande e le preoccupazioni etiche, alimentate dalla relazione simbiotica tra gli esseri umani e il mondo cyber-fisico (F. Longo *et al.*, 2020).

L'etica regola le azioni e le decisioni di una persona, forma e sostiene la società e si basa su principi quali l'autonomia, la giustizia, la beneficenza e la fedeltà. Tali riferimenti astratti potrebbero far perdere il contatto con la realtà e la sostanza delle considerazioni etiche; tuttavia L. L. Dhirani *et al.* affermano che *"Il pensiero etico non è del tutto distinto dal pensiero di altre discipline, ma non può essere semplicemente ridotto ad esse. In particolare, le conclusioni etiche non possono essere chiaramente dimostrate come i teoremi matematici. Tuttavia, questo non significa che tutte le conclusioni etiche siano ugualmente valide. Dopotutto, la maggior parte dei filosofi della scienza ritiene che le conclusioni scientifiche non possano essere dimostrate in modo inequivocabile, anzi che rimangano tutte verità provvisorie. Alcune conclusioni, in etica, nella scienza o in qualsiasi altra disciplina, hanno più probabilità di essere valide di altre. È un errore comune nei corsi di etica affermare che non esistono diritti o torti in etica"*.

Ad oggi, L'etica occupa un posto di rilievo primario nella definizione della Società 5.0, in cui l'AI, i "Big Data" e l'IoT hanno il potere e l'influenza di rimodellare il pensiero e la società, aiutando a sfruttare equamente ed in modo giusto i vantaggi ottenuti dalle tecnologie 5.0, da cui potrebbero, invece, derivare sconvolgimenti sociali e disuguaglianze.

L'etica nella Società 5.0 favorisce la fiducia e la credibilità delle organizzazioni agli occhi dei consumatori e dei dipendenti, incoraggia la sostenibilità e la responsabilità



ambientale, promuovendo una società più consapevole dei rischi e dei benefici che la stessa può trarre dalla quinta rivoluzione industriale.

Nello specifico, per identificare gli studi e le ricerche etiche incentrate sulle tecnologie emergenti, si fa riferimento alla cosiddetta Tecno-Etica, campo di ricerca multidisciplinare che incorpora teorie e tecniche provenienti da diversi ambiti, tra cui i sistemi di comunicazione, la sociologia, l'innovazione, le teorie etiche e i principi e che si concentra sulle problematiche etiche legate alle tecnologie dell'informazione e della comunicazione ed all'ingegneria robotica (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Dal momento che le discussioni sugli standard etici per le tecnologie emergenti stanno diventando sempre più centrali, è possibile definire quelli che sono i tre principali dilemmi etici che ci si trovano attualmente ad affrontare in ambito tecnico (C. Murphy *et al.*, 2022):

- I bias e stereotipi
- La privacy dei dati,
- L'etica culturale

Nel dettaglio, gli algoritmi di machine learning incorporati nei macchinari o nelle varie tecnologie aziendali possono sviluppare un comportamento distorto nei confronti degli individui in base al colore della loro pelle, alla loro professione religiosa o al loro sesso (bias e stereotipi), con un impatto negativo sui partecipanti di un sistema, che dovrebbe essere incentrato sull'uomo e sul suo benessere.

Tale un approccio distorto può causare danni ai partecipanti umani e produrre risultati inaccettabili che violano i principi di equità in un sistema di apprendimento automatico, nutrito dei pregiudizi umani esistenti e con il rischio di crearne di nuovi.

Pertanto, è fondamentale comprendere come questi pregiudizi si originano nel sistema e quali contromisure adottare per garantire l'equità di tali sistemi (C. Murphy *et al.*, 2022).

Un possibile esempio sono le questioni relative all'assegnazione di contenuti specifici a una categoria di genere o di età, che possono essere affrontate partendo da una condizione di "tabula rasa" con cui tutti gli utenti si interfacciano, offrendo raccomandazioni casuali che saranno poi personalizzate in base alla reazione al materiale iniziale dell'individuo. Programmando il sistema affinché impari costantemente a conoscere gli interessi dei

partecipanti umani con il passare del tempo, tutti i partecipanti saranno trattati, garantendo l'allineamento tra concetto etico ed il sistema Industria 5.0 (C. Murphy *et al.*, 2022).

Altrettanto importante è garantire la privacy di tutte le informazioni conservate e condivise tra le tecnologie 5.0, in quanto il loro approccio personalizzato con un'esperienza individualizzata fa sì che vengano creati numerosi dati relativi all'utente, a cui deve essere garantito l'anonimato (C. Murphy *et al.*, 2022).

L'importanza di affrontare i problemi di privacy può essere enfatizzata dal fatto che questi problemi possono verificarsi anche se non sono intenzionali, in quanto, pur essendoci il "diritto all'oblio", possono rimanere dati da cui potrebbero scaturire rischi imprevisti; inoltre, le attuali norme sulla protezione dei dati non sembrano essere in grado di contrastare tali problemi di privacy (C. Murphy *et al.*, 2022).

In un sistema personalizzato è fondamentale che l'utente abbia la certezza concreta che i dati che sceglie di fornire siano trattati con la massima cura e conservati in modo sicuro, in pieno accordo con l'obbligo legale di garantire che il meccanismo di archiviazione dei dati utilizzato sia pienamente conforme al Regolamento generale sulla protezione dei dati (GDPR) (C. Murphy *et al.*, 2022).

Altro strumento per garantire la sicurezza delle informazioni confacenti l'utente attraverso l'esplicitazione diretta dell'intento d'uso di qualsiasi informazione richiesta è il “*consenso informato*”, utile in quanto fornisce ulteriori dettagli per migliorare la personalizzazione dell'interazione uomo-macchina, garantendo che l'utente abbia le informazioni necessarie per prendere una decisione definitiva in merito alla sua partecipazione ed il rispetto dei principi etici (C. Murphy *et al.*, 2022).

Ulteriore fattore da tenere in considerazione in relazione al mantenimento di un comportamento eticamente corretto nell'interazione con le applicazioni di Industria 5.0 è il background culturale degli individui che fanno parte del sistema. Infatti, gli stereotipi culturali rompono l'equità all'interno dei sistemi personalizzati e spesso l'installazione di una soluzione accettabile per tutti gli utenti risulta essere una sfida non facile.

A tali questioni culturalmente sensibili si possono contrapporre contromisure che permettono la piena espressione della capacità dell'applicazione di offrire raccomandazioni personalizzate, assicurando il massimo rispetto affinché nessun individuo sia soggetto a discriminazioni ingiuste (C. Murphy *et al.*, 2022).

Il ruolo dei progettisti di sistemi industriali è centrale nell'esaminare a priori che i valori umani e gli aspetti etici rientrino come requisiti di progettazione nella struttura e nelle modalità con cui le tecnologie si relazionano con la componente umana in azienda, evitando che gli stessi siano considerati unicamente come costi o, peggio, come spreco di risorse (F. Longo *et al.*, 2020).

Diversi sono gli approcci progettuali all'ingegneria tecnologica proposti per tener conto dell'impatto sociale delle tecnologie e del coinvolgimento delle parti interessate, come il design universale, il design inclusivo, il design sostenibile, il design partecipativo ed il "Value Sensitive Design" (VSD) (F. Longo *et al.*, 2020).

Quest'ultimo si basa proprio sulla stessa premessa secondo cui la tecnologia non è neutra dal punto di vista dei valori delle parti interessate, ma è sensibile ad essi e ne subisce l'influenza, sia che si tratti di componenti dirette, come gli utenti e i progettisti, o indirette, come gli amministratori delegati dell'industria, i governi e la biosfera in generale.

Infatti, la VSD definisce il quadro teorico e metodologico per la progettazione della Fabbrica del Futuro, in quanto risulta essere il modello più adatto per adempiere al perseguimento del paradigma di Industria 5.0 e dei principi etici per due ragioni principali (F. Longo *et al.*, 2020):

- L'intrinseca autoriflessività e l'enfasi posta sul coinvolgimento di stakeholder diretti e indiretti nel processo di progettazione e nell'indagine dei valori implicati;
- La robustezza, la portata e l'applicabilità della VSD in diversi spazi di progettazione, che le permettono di tenere conto di molteplici variabili dinamiche, quali un'ampia gamma di valori, tecnologie, contesti sociali e gruppi di stakeholder.

La metodologia VSD mira a essere proattiva e anticipatrice nel guidare lo sviluppo tecnologico nell'Industria 5.0 fin dalle prime fasi del processo di progettazione, orientando i progettisti verso architetture malleabili e flessibili nelle tecnologie, per consentire di incorporare i valori degli stakeholder ritenuti critici sia nelle fasi iniziali che durante tutto il processo di progettazione (F. Longo *et al.*, 2020).

Gli studi VSD fanno riferimento a valori quali benessere, proprietà, privacy, libertà da pregiudizi, fiducia, autonomia, responsabilità, cortesia, identità, tranquillità e sostenibilità ambientale, in quanto sono "oggetti" ricchi di significato e si determinano sia a livello

individuale che collettivo, importandoli nella progettazione delle tecnologie e contribuendo a delineare l'ambiente di lavoro rispetto agli obiettivi etici da perseguire.

Il “*Value Sensitive Design*” si fonda sull'assunzione che una determinata tecnologia sia più adatta a certe attività e supporta più facilmente certi valori rispetto ad altri e, in quanto tale, è fondamentale far entrare gli stakeholder direttamente nel processo di progettazione, al fine di progettare tecnologie che rispecchino più accuratamente i loro valori (F. Longo *et al.*, 2020).

Le ricerche in ambito etico si sono concentrate in particolar modo sull'intelligenza artificiale, viste le infinite possibili applicazioni che la stessa può garantire, nonché l'immenso potenziale per il miglioramento della società, per l'espansione economica, per il benessere e la sicurezza umana. Tuttavia, tale tecnologia porta con sé numerosi rischi e preoccupazioni ed una delle maggiori sfide in questo campo è lo sviluppo di un'IA che sia conforme ai requisiti morali ed etici (J. M. Rožanec *et al.*, 2022).

Per far sì che i sistemi AI siano in linea con i principi di centralità umana e benessere sociali insiti nel paradigma di Industria 5.0, si sta investendo molto nella ricerca per assicurare la sicurezza di tali sistemi, coinvolgendo molteplici aspetti, come la sicura integrazione tra le reti aziendali e industriali rimanga e la protezione della riservatezza, dell'integrità e della disponibilità dei dati critici e sensibili.

Il rispetto dei principi etici può essere realizzato attraverso tre elementi costitutivi (J. M. Rožanec *et al.*, 2022):

- Un quadro guida di valori etici per una gestione responsabile dei dati e dell'ecosistema;
- Dei principi attuabili per garantire equità, responsabilità, sostenibilità e trasparenza;
- Una governance capace di rendere operativi i primi due punti.

La ricchezza dei casi d'uso del settore manifatturiero e l'elevata difficoltà delle sfide condivise richiedono l'adozione di un'architettura unificata basata su standard comuni che possano garantire l'interoperabilità dei componenti e l'applicazione delle best practices, facendo ricorso ad una stretta collaborazione tra governi, industria, mondo accademico, società civile, nonché gli stessi cittadini, affinché si giunga ad ottenere norme etiche sulla

base di diverse variabili (sociali, culturali, politiche, religiose o legali) per condividere i vantaggi della tecnologia e ridurre al minimo i rischi (A. C. Ciobanu *et al.*, 2022).

Infatti, vari sono i dilemmi etici associati alle applicazioni dell'IA in ambito industriale e non, come, ad esempio, il suo utilizzo nei sistemi dei veicoli a guida autonoma, in quanto il software in essi incorporato si basava su un approccio utilitaristico, facendo sì che, in una situazione di incidente, esso scelga l'opzione che preveda il minor numero di vittime. Tuttavia, questa configurazione ha fatto “storcere il naso” a molti, poiché non si vuole dare alla macchina la decisione ultima su quale situazione sia migliore di un'altra quando si parla di vittime. Sulla base di queste considerazioni, si è deviato dalla direzione iniziale e ci si è rivolti alla sperimentazione di un programma basato sulla teoria del contratto sociale. Così facendo, però, il veicolo autonomo non è riuscito a prendere una decisione poiché la scelta tra due possibili scenari negativi ha innescato un loop che non ha permesso in alcun modo di minimizzare i danni causati dall'incidente (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Questo porta a una serie di sfide etiche specifiche per il “*Machine Learning*” e i “*Big Data*” per consentire all'IA di pensare in modo simile agli esseri umani, di mantenere una condotta etica e morale giusta e trasparente, nonché una gestione dei dati e delle informazioni orientata ai principi di privacy e sicurezza (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Vidgen *et al.* affermano che *"il compito di mantenere l'analitica conforme all'etica diventa sempre più impegnativo perché il quadro giuridico che circonda le operazioni di analitica dei dati è spesso vago e mal definito. Inoltre, i quadri giuridici vaghi non sono necessariamente in linea con i valori etici degli utenti finali. Inoltre, da un punto di vista industriale, le operazioni di data analytics sono sottoposte a pressioni da parte dell'industria per raggiungere gli obiettivi aziendali e degli ingegneri per rimanere all'interno delle possibilità tecnologiche. Pertanto, le industrie devono dedicare una quantità considerevole di tempo a progettare le loro operazioni in modo etico"* (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Infatti, AI, “*Machine Learning*” e “*Big Data*” sono spesso soggetti a rischi legati all'identità ed alla privacy dei dati, nonché ai danni alla reputazione, portando i responsabili politici internazionali, gli organismi professionali e le industrie a sviluppare diversi quadri di regolamentazione (un esempio sono quelli pubblicati da Microsoft e Google) che, tuttavia, presentano pochi punti di contatto e non definiscono una mappatura

completa. Queste differenze risultano particolarmente problematiche qualora le industrie posseggano impianti di produzione sparsi in luoghi che hanno giurisdizioni e regolamenti differenti (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

In circostanze in cui un ambiente di produzione adotta diversi quadri normativi in materia di IA, la diffusione delle informazioni nella fabbrica digitale nella catena di fornitura, nonché la classificazione dei dati diventerà un processo complesso, in contrasto con i valori e la visione di Industria 5.0 rivolti alla generazione di sinergie tra i domini etici, tecnici, innovativi e sostenibili (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

L'UE è stata la prima entità governativa a prendere l'iniziativa nel dare forma e sostanza all'attuale Strategia digitale europea, fornendo delle linee guida da cui si sono sviluppati quadri normativi e legali standardizzati per l'IA, per mitigarne potenziali rischi etici (A. C. Ciobanu *et al.*, 2022).

Infatti, dalla strategia digitale dell'UE sono nati diversi regolamenti, tra cui i principali sono: l'EU "*Cyber Resilience Act*", la "*Network and Information Security Directive*", il GDPR, l'"*AI Act*", il "*Digital Markets and Services Act*", il "*Digital Operational Resilience*" (DORA), l'"*EU Cybersecurity Strategy*", l'"*EU Cybersecurity Act*", l'"*EU Toolbox*" (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Tali normative sono rivolte alla creazione di fiducia, trasparenza, autenticità, responsabilità, facilità e all'aumento delle operazioni commerciali in Europa, grazie alla condivisione di dati sicuri e protetti, con ogni tecnologia che deve essere conforme con quadri normativi citati in termini di privacy dei dati, sicurezza ed etica.

In tale contesto, le industrie devono allineare le implementazioni dell'IA con la legge e i controlli di sicurezza previsti, in quanto, per ora, sono gli unici strumenti che regolano sia l'etica dell'IA che le sue modalità di sviluppo.

In particolare, con Etica dell'AI si fa riferimento "*allo studio dei principi morali, dei regolamenti, degli standard e delle leggi che si applicano all'intelligenza artificiale, seguendo i principi fondamentali relativi a: trasparenza, rispetto dei valori umani, equità, sicurezza, responsabilità e privacy*" (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Nel dettaglio, l'AI deve sostenere i valori umani ed impattare in positivo sul progresso degli individui e delle industrie, tenendo conto delle diverse sensibilità culturali ed individuali che caratterizzano il luogo di lavoro, così da creare un ambiente inclusivo e

privo di discriminazioni nei confronti dei dipendenti in base al sesso, al colore della pelle, alla casta o alla religione (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Gli algoritmi e le tecnologie che hanno alla loro base l'IA, poi, devono essere progettati in modo trasparente, con una descrizione approfondita, una valida giustificazione per il loro sviluppo e la possibilità di effettuarvi verifiche successive, affinché si possa comprendere, percepire e riconoscere il meccanismo decisionale dei disegni progettuali e garantire la loro conformità con la morale umana (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Inoltre, è cruciale garantire la sicurezza sia in relazione alla protezione delle informazioni e dei dati sensibili degli utenti che rispetto al benessere delle persone che interagiscono con tecnologie AI. In particolare, la proprietà degli utenti sui dati deve essere protetta e preservata tramite tecniche di sicurezza (ad esempio utilizzando la crittografia), assicurando agli utenti il controllo su quali dati possano essere utilizzati e in quale contesto può esplicarsi tale utilizzo. Infatti, la protezione della privacy dell'utente ha la massima priorità e si richiedono severe misure di sicurezza per evitare la divulgazione di dati sensibili, che richiedono il permesso da parte dell'utente per utilizzare e conservare le sue informazioni, nonché la protezione delle stesse da intrusioni malevole (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Questi principi già previsti dal GDPR europeo e sono ulteriormente rafforzati con la legge europea sull'IA, approvata nel 2022, al fine di promuovere la fiducia e mitigare i potenziali danni che la tecnologia può causare.

Altrettanto importante è garantire la possibilità di aggiornare tali quadri etici dell'IA attraverso i canali di feedback che devono esistere tra sviluppatori, consumatori e altre parti interessate, per poterli migliorare ove necessario attraverso un processo continuo e non un lavoro una tantum.

Il fine ultimo di tali interventi è tradurre tale quadro etico in un modello di addestramento dell'IA, basato sui principi identificati dell'UE e oggetto di validazione, test e implementazione, che si suddivide in due livelli: “*AI Embedded Ethics by Design*” (AI EED) e “*AI Desired State Configuration*” (AI DSC), collegati tra loro da sistemi “*APP*” (A. C. Ciobanu *et al.*, 2022).

Relativamente all'AI EED, lo sviluppatore è in grado di soddisfare i principi etici richiesti, addestrando il sistema tramite un'interfaccia “*AI Dashboard*”, utilizzata per definire dei

modelli di riferimento per ciascun principio etico previsto, così da insegnare al sistema come riconoscerli e rispondere ad essi.

AI EED costituisce uno spazio in cui è possibile utilizzare e testare uno specifico sistema di AI in modo proattivo prima di rilasciarlo in produzione, consentendo di verificare la sua capacità di tenere in considerazione il contesto culturale, il settore nel quale verrà implementato ed il suo potenziale impatto (A. C. Ciobanu *et al.*, 2022).

L'AI DSC, invece, è un modo per monitorare attivamente il sistema di IA dopo l'implementazione, assicurando che i modelli di addestramento adottati siano sempre affidabili ed adeguati in contesti diversi attraverso il monitoraggio e, eventualmente, la correzione.

Tale sistema consente anche agli utenti non tecnici (responsabili della sicurezza, gli analisti di dati, ecc.) di valutare costantemente il sistema e di fornire feedback per testare nuovamente e riadattare il modello (A. C. Ciobanu *et al.*, 2022).

La comunicazione tecnica tra i due livelli è assicurata da un sistema di gestione API, tramite il quale possono essere rilevati ed inviati i feedback che, recepiti dai data scientist e dagli sviluppatori, possono essere sfruttati per adeguare i modelli di addestramento, garantendo un approccio “*end-to-end*” in cui il sistema di IA sarà sempre adattato alla realtà contestuale in cui viene implementato e consentendo agli esseri umani di avere il controllo delle decisioni dell'IA (A. C. Ciobanu *et al.*, 2022).

Al giorno d'oggi, tuttavia, questi regolamenti possono fornire solamente una tabella di marcia, in quanto i progressi compiuti in ambito etico sono stati limitati rispetto agli avanzamenti tecnologici innovativi realizzatisi nel medesimo periodo di tempo, con la maggior parte degli standard legislativi e normativi sviluppati di recente che devono ancora dimostrare il loro impatto (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).

Infatti, ci vogliono anni per comprendere opportunamente gli impatti in termini di benefici e minacce delle tecnologie emergenti e ciò impedisce di proteggere completamente l'ambiente lavorativo a causa della scarsa conoscenza sul quando e su quali vulnerabilità possono verificarsi, determinando come il grado di efficacia e di allineamento delle norme rispetto ai modelli ed alle teorie del pensiero etico potrà essere compreso solo dopo la loro attuazione e potrà ridursi con la graduale adozione del quadro normativo (L. L. Dhirani *et al.*, 2023).



## **Conclusioni**

L'industria 5.0 assurge come paradigma fondante di una nuova era industriale, in cui la tutela del benessere umano è posto al primo posto ed è affrontato in tutte le sue sfaccettature, sia dal punto di vista del singolo individuo nel suo ambito lavorativo, con le tecnologie che si mettono a sua disposizione secondo un'ottica collaborativa e non più sostitutiva, sia a livello globale, sfruttando tecniche ed implementando azioni volte ad intervenire contro il cambiamento climatico, a tutela della Terra e della nostra stessa sopravvivenza.

In questo processo è fondamentale la rivoluzione etica e culturale che l'Industria 5.0 sta apportando, in quanto sta rimodellando il modo stesso di pensare gli interventi interni all'impresa, le attività di business, le catene del valore secondo i principi di equità, responsabilità, sostenibilità e trasparenza.

## ***CAPITOLO 3: Le fondamenta dell'Industria 5.0: i "Critical Raw Materials"***

Nel terzo capitolo si andrà a sottolineare il ruolo centrale giocato dalle materie prime critiche (CRM) nel processo di transizione dall'Industria 4.0 all'Industria 5.0, analizzando le ragioni della "criticità" di tali materiali e di come questi siano utilizzati nelle tecnologie "green".

Il capitolo si sofferma, poi, sull'intervento dell'UE a tutela della propria catena di approvvigionamento dei CRM attraverso il "*Critical Raw Material Act*", incentivando la sblocco di progetti minerari in Europa e l'adozione di pratiche di economia circolare e riutilizzo dei rifiuti materici, allo scopo di garantire, almeno in parte, il suo fabbisogno. Infine, il capitolo "mette a fuoco" quanto analizzato nei primi paragrafi tramite l'esempio del settore automotive, in cui le materie prime critiche sono centrali per la transizione verso l'elettrico.

### **3.1 I CRM nel nuovo paradigma industriale**

La direzione indicata dagli Accordi di Parigi a livello internazionale e dal "*Green Deal*" a livello europeo costituisce il faro del percorso di sviluppo tecnologico perseguito da industria 5.0, orientato a garantire un futuro sostenibile e ad impatto zero, portando molti Paesi a puntare sulle fonti di energia rinnovabili, nonché sui mercati della mobilità elettrica e sui sistemi di economia circolare (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Tuttavia, quando si trattano tali innovazioni "green", spesso ci si dimentica di considerare ciò che è alla base delle stesse, che attribuisce loro delle caratteristiche e proprietà coerenti con lo sviluppo sostenibile e ne permette la produzione: le materie prime. Quest'ultime, infatti, sono essenziali per la produzione di un'ampia gamma di beni, sono intrinsecamente collegate a tutti i settori industriali ed in tutte le fasi della catena di fornitura e sono cruciali per la crescita e la competitività del comparto industriale (M. Gislev *et al.*, 2018).

L'aumento della rilevanza e delle applicazioni delle nuove tecnologie sostenibili ed intelligenti determinerà una profonda variazione nella domanda mondiale di materie prime, che dovrà adattarsi al nuovo scenario industriale ed al ritmo imposto dal

cambiamento climatico, in quanto numerosi elementi chimici, in particolare metalli e terre rare, vedranno lievitare vertiginosamente le richieste di rifornimento.

Prima di addentrarci ulteriormente nel cuore dell'argomento, è importante evidenziare come le risorse naturali possano essere suddivise in due macro-gruppi (Figura 7): le materie prime rinnovabili e le materie prime non rinnovabili (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

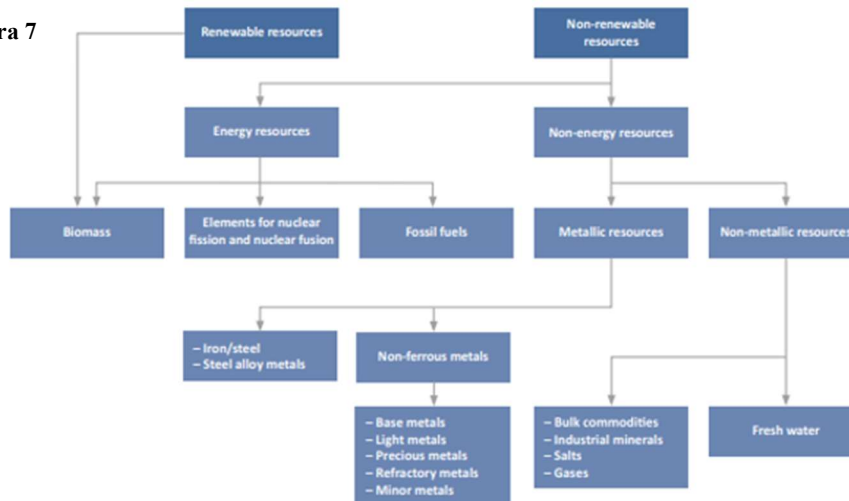
Le materie prime rinnovabili sono composte soprattutto dai prodotti della biomassa, tra cui i principali sono il legno, la cellulosa e gli amidi, e dalle fonti immateriali di energia rinnovabili, quali quella eolica, solare e geotermica.

Le materie prime non rinnovabili, invece, sono distinte in materie prime energetiche e materie prime non energetiche, dove le materie prime energetiche comprendono i combustibili fossili come il carbone, il petrolio ed il gas naturale, nonché gli elementi radioattivi uranio, plutonio e torio; mentre le materie prime non energetiche sono costituite da varie tipologie di non-metalli e metalli. È da notare, però, come la l'elevato grado di riciclabilità di quest'ultimi gli permette di essere utilizzati ma non consumati, potendo, quindi, essere considerati quasi alla stregua di materie prime rinnovabili.

Relativamente alle materie prime non metalliche, queste presentano tre ulteriori sottogruppi: il primo comprende le risorse naturali sfuse, come ad esempio materiali da costruzione quali sabbia e ghiaia, e le risorse naturali primarie necessarie per la produzione di cemento (calcare, argilla e marna); il secondo gruppo racchiude i sali ed il terzo gruppo i minerali industriali, caratterizzati da un'ampia varietà di materie prime speciali con specifiche chimiche o fisiche molto precise, nonché combinazioni di minerali diversi.

Anche l'acqua ed il suolo sono incluse tra le risorse non metalliche e costituiscono delle materie prime distintive che risultano di importanza cruciale per la produzione di molte delle risorse rinnovabili viste prima (biomassa) (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Figura 7



Classificazione delle materie prime. Fonte: “Raw Materials for Future Energy Supply” (F. W. Wellmer *et al.*, 2019)

Nell’ambito delle materie prime minerali, poi, gli esperti riportano una classificazione dei depositi minerali in riserve, risorse e geopotenziali sulla base del grado di conoscenza e sulle possibilità di sfruttamento degli stessi.

- Le riserve consistono in quei depositi minerari precedentemente identificati tramite campionamento e che possono essere sfruttati economicamente con la tecnologia attualmente disponibile.
- Le risorse sono i giacimenti minerari che, sebbene già conosciuti ed indentificati, non possono essere sfruttati economicamente con le tecnologie attuali o ai prezzi attuali.
- I geopotenziali sono i depositi che non sono ancora stati identificati, ma che si prevede possano essere scoperti con l'esplorazione in futuro (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

La distinzione tra riserve, risorse e geopotenziale è graduale in quanto le risorse e i geopotenziali di oggi possono essere trasformati in riserve grazie all'aumento dei prezzi, ai miglioramenti tecnologici o a una maggiore esplorazione. Tuttavia, il ragionamento è valido anche all’opposto: una diminuzione dei prezzi o un aumento dei costi possono far sì che le riserve vengano declassate in risorse (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

In aggiunta alle classificazioni e distinzioni appena viste, gli specialisti hanno individuato delle materie prime che hanno definito come critiche o ad elevata importanza economico-strategica.

Il termine "critico" non fa riferimento alle caratteristiche fisiche o chimiche dell'elemento in questione, né al fatto che esistono risorse piuttosto che riserve per quel dato materiale, bensì alla disponibilità della materia prima e alla sua importanza per l'economia. Infatti, alcune materie prime sono estratte solo in alcuni Paesi ed il loro approvvigionamento potrebbe essere ostacolato da crisi politiche o barriere commerciali, limitando severamente la loro disponibilità a livello globale, sebbene le riserve geologiche sarebbero sufficienti a soddisfare la domanda (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Non esiste una "soglia di criticità" standardizzata e oggettiva: se la scarsa disponibilità di una materia prima rappresenta una minaccia elevata per l'economia, non può essere recuperato un ammontare adeguato della stessa attraverso il riciclo né può essere sostituita da altri materiali e proviene principalmente da Paesi stranieri, essa viene normalmente classificata come "critica" sulla base del rapporto tra la sua domanda e la sua offerta.

Il riconoscimento di una materia prima come critica, o che potrebbe diventarlo, determina l'implementazione di misure precauzionali per evitare irregolarità e squilibri nei mercati e, quindi, garantire un approvvigionamento affidabile (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Nel Regno Unito, l'attenzione è stata posta principalmente sul rischio di interruzione delle forniture di 41 elementi o dei loro gruppi, facendo riferimento principalmente alla concentrazione della produzione, alla distribuzione delle risorse, alla scala di riciclaggio, al grado di sostituzione ed agli indicatori di stabilità politica, mentre sono stati trascurati gli aspetti legati alla loro importanza economica (E. Lewicka *et al.*, 2021).

In Giappone, invece, la criticità di 39 metalli "high-tech" è stata definita sulla base di 5 categorie: rischi di interruzione dell'offerta, rischi di prezzo, rischi di domanda, restrizioni al riciclo e altri rischi potenziali (E. Lewicka *et al.*, 2021).

La maggior parte dei metodi di selezione dei CRM quantificano i rischi e le vulnerabilità dell'offerta, la domanda futura prevista, lo sviluppo storico del mercato, facendo spesso uso dell'indice "Herfindahl-Hirschmann" (HHI), uno dei principali parametri utilizzati per determinare il rischio geopolitico di interruzione delle forniture (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Ulteriore problematica è legata al fatto che le quantità delle risorse minerarie geogeniche sfruttabili sono limitate, soprattutto nel caso delle risorse energetiche fossili poiché per liberare energia attraverso la loro combustione si consumano, mentre le materie prime non metalliche e, in particolare, quelle metalliche possono essere utilizzate ma non consumate. Un indicatore che permette di definire la disponibilità delle risorse naturali energetiche è l'EROI ("*Energy Returned on Energy Invested*"), che descrive l'efficienza dell'uso delle fonti energetiche ed è definito come il rapporto tra l'energia recuperata e l'energia investita (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Altrettanto centrale è il meccanismo di sostentamento delle miniere di materie prime minerali che necessitano di grandi quantità di energia sufficiente e di acqua (dolce) per la lavorazione dei minerali.

La disponibilità di acqua dolce è ritenuto essere il principale fattore limitante per l'approvvigionamento di risorse naturali nei prossimi anni e, pertanto, si stanno cercando soluzioni innovative per riuscire ad utilizzare acqua salmastra o salata nelle miniere situate in regioni aride o semi-aride (un esempio è l'industria mineraria del rame in Cile che sta compiendo notevoli sforzi per ridurre il fabbisogno di acqua dolce nella lavorazione del minerale). Il processo di desalinizzazione dell'acqua, però, necessita a sua volta di quantità significative di energia, che deve essere resa disponibile nel rispetto dei principi di sostenibilità (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

L'energia, insieme alle questioni sociali e politiche, è il fattore più critico per lo sfruttamento delle materie prime minerarie primarie, in quanto, anche se i costi legati all'energia nell'estrazione mineraria dovessero diminuire grazie all'uso crescente delle fonti energetiche rinnovabili, questa presenterebbe sempre un costo per la sua fornitura, poiché la costruzione di impianti per la produzione di energia rinnovabile richiede una quantità significativa di materie prime relativamente costose. A questi si aggiunge anche la necessità di considerare l'impatto sull'ambiente provocato dallo sfruttamento, dalla lavorazione e dall'utilizzo delle risorse minerarie. L'obiettivo principale nei processi di approvvigionamento e sfruttamento delle materie prime deve essere la minimizzazione degli impatti sull'ambiente, sul clima e sugli habitat naturali, con i produttori che devono compiere ogni sforzo per ridurre al minimo le emissioni nocive, come l'anidride solforosa, i metalli pesanti o gli elementi radioattivi, che si verificano con gli elementi delle terre rare (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

In tale contesto, all'estrazione delle materie prime dai depositi minerari (geosfera) possiamo accostare una seconda fonte di ottenimento di tali materiali minerali e metallici: il loro recupero e riciclaggio dai processi e dai prodotti industriali (tecnosfera) (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Già oggi circa l'8% del fabbisogno energetico globale e delle emissioni di CO<sub>2</sub> sono direttamente collegati all'attività estrattiva, evidenziando come anche relativamente alla quantità di energia utilizzata nello sfruttamento delle materie prime minerarie è fondamentale l'attenzione alla sostenibilità e, in particolare, alla questione del bilancio di CO<sub>2</sub> nelle catene del valore di prodotti quali generatori eolici o celle solari, in quanto i benefici ottenuti dalla generazione di "elettricità verde" sarebbero compensati dall'impatto ambientale negativo all'inizio della catena di produzione, mettendo in discussione la credibilità della "*Green Economy*" (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Le risorse naturali metalliche che vengono estratte nelle regioni del mondo ricche di queste risorse sono utilizzate principalmente in prodotti ad alto livello tecnologico (automobili, computer o anche infrastrutture quali edifici o reti elettriche) che, una volta trattati attraverso un processo di riciclaggio dei materiali, possono rappresentare un importante deposito di risorse naturali secondarie alla fine del loro ciclo di vita (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Il riciclaggio, dunque, costituisce la migliore opportunità per ridurre la dipendenza dall'approvvigionamento di materie prime critiche da fonti primarie, soprattutto nel caso dei metalli, poiché i moderni processi metallurgici possono estrarli da fonti secondarie che hanno la stessa qualità, purezza e specifiche fisico-chimiche dei metalli provenienti da fonti primarie.

Le quantità presenti nei depositi secondari di risorse sono determinate dal numero di prodotti venduti o dalle infrastrutture costruite, dalla loro durata stimata o dalla loro vita operativa; tuttavia, l'eterogeneità ed i rapidi cambiamenti causati dai brevi cicli di vita di alcuni prodotti fanno sì che il trattamento di questi depositi di risorse secondarie sia legato a sfide diverse e sia soggetto a cambiamenti nello spazio e nel tempo. Il riciclaggio efficace e il riutilizzo completo di questi materiali secondari richiede la loro identificazione (o "esplorazione"), registrazione e preselezione, attraverso una catena di trattamento completa accuratamente coordinata nelle fasi di logistica, smontaggio, pre-

lavorazione meccanica e dei processi di riciclaggio metallurgico finale poiché da essi dipende il livello del tasso di riciclaggio desiderato (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

L'aumento del numero dei depositi di risorse naturali nella tecnosfera fa sì che la quantità di risorse naturali che possono essere recuperate dai materiali secondari aumenterà con lo sviluppo di sistemi di riciclaggio più efficienti, sebbene la complessità delle combinazioni di metalli in molti prodotti limiti il "riciclo al 100%" di tutti gli elementi presenti (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

L'obiettivo a lungo termine della strategia delle risorse deve essere quello di soddisfare il più possibile la domanda totale di risorse attraverso il riciclo, facendo in modo che, una volta che le risorse metalliche sono state estratte dalla geosfera, queste siano trasferite in modo continuo e con perdite minime nei cicli di vita dei nuovi prodotti fino alla tecnosfera. Sul tema ci sono importanti margini di miglioramento poiché, in molti casi, il riciclaggio risulta essere inesistente oppure di un livello ben inferiore rispetto a quanto richiesto per evitare una perdita di risorse e compromette il bilancio energetico complessivo (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Nel sopperire a tale mancanza, il processo di riciclo dei materiali secondari va incontro a quattro sfide nel percorso suo sviluppo:

- Garantire il massimo grado di efficienza in ciascuna delle singole fasi, soprattutto in quella della raccolta, fase tra le più importanti per molti dei metalli usati nei sistemi energetici “*green*”;
- Utilizzare nell'intera catena di riciclaggio solo processi di alta qualità, efficienti e coerenti con gli elevati standard e le normative sociali e ambientali;
- Migliorare il design degli apparecchi affinché sia adeguato al riciclaggio e faciliti l'estrazione dei componenti dagli stessi senza compromettere le prestazioni dell'apparecchio;
- Migliorare i tassi di recupero per gli elementi delle terre rare o per quei metalli per i quali esiste solo una limitata infrastruttura metallurgica specializzata (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Insieme all'estrazione ed al riciclaggio dei materiali, la sostituzione completa, o parziale, di una specifica risorsa naturale costituisce il terzo pilastro per garantire l'approvvigionamento, anche se, poiché ogni elemento ha le sue specificità, ci sono



sempre utilizzi in cui la sostituzione di un elemento non risulta essere la soluzione migliore. Infatti, esistono determinati contesti in cui un elemento può essere perfettamente sostituito da un altro in alcuni suoi usi e, dunque, presenta ottime caratteristiche di sostituibilità per una certa produzione, ma lo stesso potrebbe essere considerato una materia prima critica ed insostituibile per la quale non esistono alternative in altri usi o altre produzioni (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

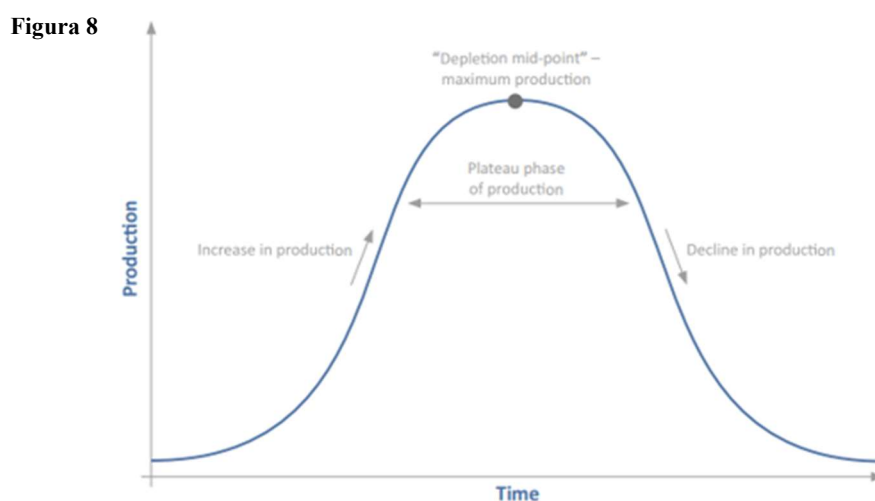
In alcuni casi, potrebbe risultare svantaggioso sostituire le materie prime critiche con altre a minor grado di criticità, come riconosciuto dall'Istituto di Wuppertal per il clima, l'ambiente e l'energia, che afferma che *"l'applicazione di eventuali risorse minerarie critiche può essere vantaggiosa per l'efficienza delle risorse specifiche delle tecnologie se, di conseguenza, i sistemi risultano complessivamente più efficienti dal punto di vista dei materiali e dell'energia"* (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Quanto più basse sono le possibilità di sostituzione della materia prima in un prodotto, tanto maggiori sono i rischi per il produttore in caso di carenza di approvvigionamento, determinandone una “strozzatura” dell’offerta ed un aumento dei prezzi. Spesso da queste dinamiche scaturisce la “scintilla” per avviare la ricerca di possibili sostituti: infatti, una delle misure di sostituzione si riferisce ad un aumento dell'efficienza nell’utilizzo dei materiali così da ridurre i costi. Tuttavia, nel caso della transizione dei sistemi energetici verso le tecnologie rinnovabili, è molto più difficile realizzare questo processo virtuoso, in quanto la produzione di tali impianti è inizialmente più “onerosa” in termini di risorse rispetto agli impianti convenzionali ed il miglioramento nei livelli di efficienza materiale delle energie rinnovabili si evidenzia solo nel corso dell'intero ciclo di vita (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Le innovazioni ed i processi altamente tecnologici richiedono una gamma sempre più ampia di materie prime, determinando la necessità di migliorare l'uso economico ed efficiente delle stesse tramite la ricerca e gli avanzamenti tecnici. Inoltre, non ci sono materiali che risultano essere necessari solo per una delle industrie ad alto tasso innovativo, il che comporta che le tecnologie per le energie rinnovabili e le altre tecnologie necessarie per la transizione energetica dovranno condividere i materiali con altri, ed altrettanto importanti, settori industriali tradizionali, come il settore automobilistico, elettronico e delle comunicazioni (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

La continua evoluzione delle tecnologie deve essere guidata dal grado di criticità delle materie prime, garantendo anche la flessibilità delle produzioni rispetto alle variazioni della disponibilità di specifiche materie prime durante la vita produttiva di una tecnologia (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Il progresso raggiunto nei decenni precedenti ha evidenziato come il fabbisogno di materie prime per le economie nazionali dipende dal tasso di industrializzazione e dal livello di sviluppo economico, fenomeno che si è osservato nei Paesi OCSE negli anni Cinquanta, in Cina negli ultimi due decenni e ad oggi in molti dei Paesi emergenti in via di sviluppo.



La curva di Hubbert (Figura 8) che rappresenta tale andamento evidenzia come, durante le prime fasi del percorso di industrializzazione, il fabbisogno di materie prime aumenta vertiginosamente per consentire la creazione delle infrastrutture e la costruzione di impianti di produzione ad alta intensità di materiali, per poi diminuire una volta raggiunto un elevato livello di sviluppo industriale, determinando l'appiattimento della curva in corrispondenza del momento in cui i Paesi raggiungono un elevato reddito pro capite (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

In Cina, la curva di consumo di alcune materie prime si sta appiattendendo e gli altri Paesi emergenti, come India, Indonesia o Brasile, seguiranno lo stesso percorso di sviluppo,

anche se il processo non si concluderà prima del 2050, il che comporterà un aumento della concorrenza per le materie prime da parte dei Paesi in via di industrializzazione e di sviluppo, associato a una crescente pressione sulla domanda e a un aumento dei prezzi (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Sebbene finora sia stato possibile trovare nuove riserve sufficienti a coprire il consumo, grazie al continuo miglioramento della sensibilità della strumentazione analitica ed al maggior potenziale dei giacimenti minerari rilevati in profondità attraverso le nuove tecnologie di esplorazione elettromagnetica, il soddisfacimento della crescente domanda futura è un problema che deve essere affrontato. Il fabbisogno di materie prime minerali toccherà livelli insostenibili a causa dell'aumento della popolazione mondiale, del miglioramento del tenore di vita, nonché dalla distribuzione disomogenea dei giacimenti all'interno di regioni specifiche, col pericolo che si creino dei colli di bottiglia nelle forniture di materie prime (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Quest'ultimo rischio si concretizza nella posizione di assoluto monopolio della Repubblica Popolare Cinese, che controlla circa il 75% del mercato dei prodotti finiti contenenti elementi di terre rare, come i magneti permanenti, ed oltre il 95% della produzione mineraria globale. Tale monopolio, di cui tratteremo ancora in seguito, ha permesso di applicare le restrizioni all'esportazione imposte sugli elementi di terre rare nel 2011 e nel 2012, con conseguenti distorsioni delle condizioni di scambio e di concorrenza sui mercati, riducendo le quote di esportazione del 12% nel 2009 e del 40 % nel 2010 ed innescando una brusca impennata dei prezzi, aumentati anche di 100 volte, come nel caso estremo del disprosio (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

Mantenere una fornitura costante, adeguata e sostenibile delle materie prime critiche, richiede l'attuazione di politiche appropriate a tutti i livelli, in particolare per ciò che concerne le materie prime minerarie utilizzate in ambiti quali l'elettronica, le tecnologie digitali, la robotica o l'industria della difesa.

Il rapido sviluppo economico e l'accelerazione delle innovazioni tecnologiche hanno portato a cambiamenti estremi nella domanda di numerosi metalli e minerali, che, insieme ad uno spostamento generale dei mercati delle materie prime verso l'Asia, generano sempre più crescenti preoccupazioni sul loro approvvigionamento nelle economie

industrializzate, richiedendo l'urgente necessità di attuare strategie in materia di materie prime (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Le strategie intraprese dalle varie regioni tendono a differire tra loro sulla base degli obiettivi e delle caratteristiche dei Paesi che le mettono in atto: l'UE opta per un dialogo con i Paesi ricchi di risorse, il Giappone e gli Stati Uniti si concentrano sulle iniziative di ricerca e sviluppo e l'Australia e la Cina, invece, si concentrano sullo sviluppo delle attività minerarie nazionali e sulla protezione delle risorse (E. Lewicka *et al.*, 2021).

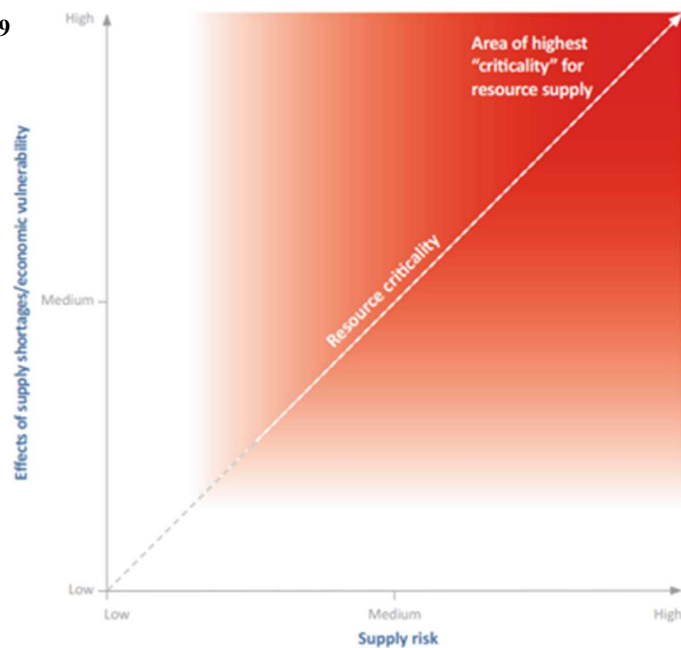
### 3.2 L'intervento dell'UE: il Critical Raw Materials Act (CRMA)

Per ciò che riguarda l'UE, il raggiungimento della sicurezza delle risorse è una questione fondamentale per il suo sviluppo economico e per il perseguimento degli obiettivi della propria politica climatica ed in particolare del “*Green Deal*”. L'Unione Europea mira ad incrementare l'autonomia del proprio comparto industriale dalle importazioni di materie prime fondamentali, migliorando l'accesso e l'utilizzo di quelle già presenti nel suo suolo ed aumentando le attività di riciclaggio, sempre facendo attenzione agli elementi chiave dello sviluppo sostenibile (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Per poter perseguire tali strategie, l'UE ha identificato le “sue” materie prime critiche sulla base di due parametri, l'importanza economica (EI) e la valutazione del rischio di interruzione dell'approvvigionamento (SR). L'EI si riferisce all'importanza di un materiale per l'economia europea in termini di applicazioni finali e di valore aggiunto dei corrispondenti settori manifatturieri secondo la classificazione NACE (Nomenclatura generale delle Attività economiche nelle Comunità Europee) (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Il calcolo dell'SR, invece, si basa sulla concentrazione dell'offerta primaria dei Paesi produttori di materie prime (HHI), considerando la loro performance di governance misurata dai “*World Governance Indicators*” (WGI) e gli aspetti commerciali. L'UE, dunque, applica un fattore di rischio ambientale-Paese nelle sue analisi di rischi e lo utilizza come misura del grado in cui le prestazioni ambientali dei Paesi produttori potrebbero compromettere la fornitura di specifiche materie prime. Tale misurazione trova la sua rappresentazione in un grafico cartesiano (Figura 9) che presenta sull'asse Y il rischio-Paese derivato dall'indice WGI, che viene confrontato con la concentrazione dell'offerta, stabilita attraverso l'indice “Herfindahl-Hirschmann”, riportato sull'asse delle X (F. W. Wellmer *et al.*, 2019).

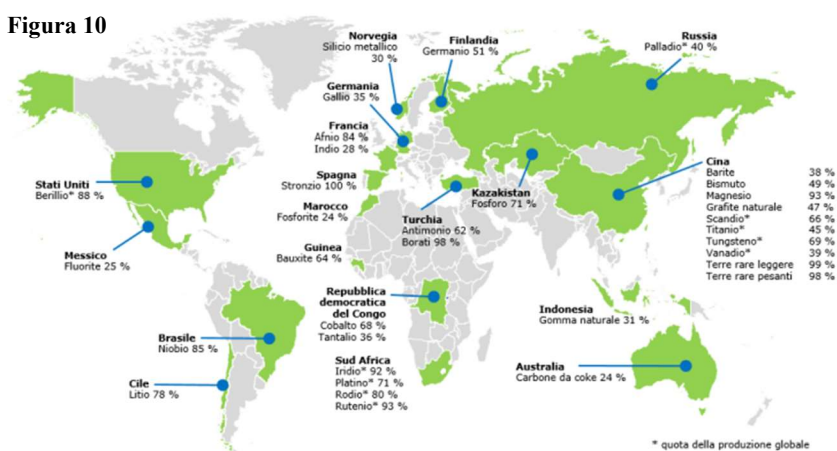
Figura 9



Matrice di criticità per le materie prime (la colorazione graduale indica la transizione fluida tra criticità e non criticità). Fonte: US Geological Survey: Mineral Commodity Summaries 2001.

Il rapporto tra l’UE e le forniture esterne delle materie prime necessarie per la sua industria ed economia (Figura 10) è bene rappresentato dal parametro associato alla dipendenza dalle importazioni (IR), che evidenzia casi eclatanti come quelli relativi all’importazione di REE (“*Rare Earth Elements*”) (98-99% dalla Cina), borati (98% dalla Turchia), niobio (85% dal Brasile), platino (71% dal Sudafrica) e cobalto (68% dal Congo) (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Figura 10



Fonte: European Commission report on the 2020 criticality assessment (Relazione della Commissione europea sulla valutazione della criticità per il 2020)

Un primo elenco delle materie prime critiche è stato redatto dalla Commissione Europea (CE) come azione prioritaria dell'"Iniziativa UE sulle materie prime", lanciata dalla Commissione nel 2008 e concretizzatosi nel 2011 con l'identificazione di 14 materie prime critiche non energetiche e non agricole, per le quali dovrebbero essere garantiti approvvigionamenti non distorti, diversificati e accessibili per l'industria manifatturiera dell'UE. L'elenco, in seguito, è stato oggetto di revisione e aggiornamento ogni tre anni ed ha visto aumentare il numero di materiali considerati critici sulla base dell'evoluzione tecnologica e della domanda degli stessi: nel 2014 (20 materie prime critiche, CRM), nel 2017 (27 CRM) (M. Gislev *et al.*, 2018) e nel 2020 (30 CRM) (Figura 11) (E. Lewicka *et al.*, 2021).

**Figura 11**

Materie prime critiche del 2020 (in grassetto le novità rispetto al 2017)		
Antimonio	Afnio	Fosforo
Barite	Terre rare pesanti	Scandio
Berillio	Terre rare leggere	Silicio metallico
Bismuto	Indio	Tantalio
Borato	Magnesio	Tungsteno
Cobalto	Grafite naturale	Vanadio
Carbone da coke	Gomma naturale	<b>Bauxite</b>
Fluorite	Niobio	<b>Litio</b>
Gallio	Metalli del gruppo del platino	<b>Titanio</b>
Germanio	Fosforite	<b>Stronzio</b>

Fonte: "European Commission report on the 2020 criticality assessment"

Solo 12 di quest'ultime (barite, bauxite, cobalto, carbone da coke, fluorite, grafite (naturale), litio, fosfati, platino, palladio, silicio metallico, stronzio e tungsteno) si possono trovare nei giacimenti situati all'interno dell'UE, sebbene a livelli ben al di sotto di quelli richiesti per il soddisfacimento della domanda interna, mentre i restanti sono importati interamente da Paesi extra-UE. Solo due sono i CRM che vedono i Paesi dell'UE come i principali fornitori a livello mondiale: l'afnio (Francia) e lo stronzio (Spagna), evidenziando il rischio di interruzione delle forniture di materie prime lungo le catene di approvvigionamento strategiche dell'UE e principalmente nei settori delle tecnologie legate alle energie rinnovabili, alla mobilità elettrica, alla difesa e alle applicazioni aerospaziali (E. Lewicka *et al.*, 2021).

In particolare, materie prime critiche quali boro e borati, cobalto, disprosio (HREE), gallio, germanio, grafite, indio, magnesio, niobio, neodimio e praseodimio (LREE),

metalli del gruppo del platino e silicio metallico risultano essere indispensabili nella catena di produzione del settore dell'energia "green" per la produzione di turbine eoliche, pannelli fotovoltaici, batterie ricaricabili, celle a combustibile per l'immagazzinamento dell'energia, la robotica, la stampa 3D e le tecnologie digitali, necessarie alla produzione, conversione e trasmissione dell'elettricità attraverso reti intelligenti (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Lo sviluppo della mobilità elettrica nell'UE, invece, condiziona fortemente la domanda di materie prime critiche come il boro per i motori dei veicoli elettrici, il litio, il cobalto, la grafite naturale per l'accumulo di energia nelle batterie, il platino nelle celle a combustibile, il magnesio, il niobio, il silicio metallico ed il titanio per le parti leggere dei veicoli, mentre i componenti elettronici necessitano di gallio, germanio e indio.

Infine, il settore della difesa dipende in larga parte dall'importazione del boro, del disprosio, del magnesio, del neodimio, del praseodimio, del samario, dell'ittrio, del niobio, del tantalio e del titanio, con due terzi dei quali che hanno una quota di importazione che supera il 50% (E. Lewicka *et al.*, 2021). Infatti, l'assenza di giacimenti minerari nell'UE, insieme ai vincoli economici, ambientali e sociali nelle attività di esplorazione ed estrazione (come la chiusura delle miniere esistenti, la resistenza o il blocco dell'apertura nuove miniere, l'accesso limitato al territorio a causa delle scarse infrastrutture esistenti, ecc.) fa sì che la catena del valore di molti non sia coperta in modo completo e omogeneo dall'industria europea, con un forte squilibrio tra le fasi a monte (estrazione e raccolta) e quelle a valle (produzione e utilizzo) (M. Gislev *et al.*, 2018).

La concentrazione delle fonti primarie di molti dei CRM europei amplifica l'impatto dirompente che le restrizioni al commercio di tali materiali hanno sulle catene di approvvigionamento, comportando fluttuazioni dei prezzi delle materie prime, incertezza nelle forniture per i produttori di semilavorati e prodotti finali ed un aumento dei costi di produzione in tutte le fasi della catena del valore (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Non sono mancati i progetti nazionali all'interno dell'Unione per cercare di ottenere l'estrazione di risorse minerarie che attualmente dipendono al 100% dalle importazioni (l'antimonio in Austria, Bulgaria, Finlandia, Francia, Italia, Slovacchia e Svezia; la bauxite in Grecia, Francia, Ungheria e Romania; il litio in Svezia, Finlandia, Spagna, Francia e Repubblica Ceca; il magnesio in Austria, Bulgaria, Grecia, Irlanda, Italia, Polonia, Slovacchia e Spagna; le REE in Finlandia, Francia, Groenlandia, Portogallo e



Svezia), ma in ogni caso si sono presentate numerose complicazioni a causa della dimensione ridotta e della difficoltà di sfruttamento delle miniere europee (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Il problema che si pone è se e come si potrà soddisfare in futuro la domanda di materie prime, che si prevede che raddoppierà entro il 2050, in modo che l'espansione di tecnologie energetiche innovative possa procedere su larga scala, considerando l'offerta molto limitata di CRM da fonti secondarie e la necessità di accesso alle fonti primarie, fondamentale per la ricchezza e la sopravvivenza delle industrie europee, dei posti di lavoro e dei benefici economici ad essi associati (E. Lewicka *et al.*, 2021).

In tale contesto, lo sviluppo della produzione di materie prime da fonti locali e, soprattutto, il potenziamento e l'ottimizzazione delle fonti secondarie sembra essere fondamentale in vista delle future esigenze dell'industria dell'UE. La valutazione comune europea delle proprie risorse e la fattibilità dello sfruttamento delle stesse devono diventare una questione chiave nel dibattito sulla sicurezza dell'approvvigionamento dei CRM e sulla relativa mitigazione dei rischi (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Gli approcci promettenti per mitigare la dipendenza dall'UE e per ridurre il rischio di approvvigionamento includono:

- Dare priorità all'uso razionale ed efficace delle materie prime, promuovere l'uso di materiali secondari e migliorare i tassi di riciclo dei rifiuti elettronici, in linea con l'approccio dell'economia circolare;
- Una (ri)valutazione geologica dei giacimenti noti e delle province metallogeniche all'interno dell'UE, per riavviare alcune operazioni di CRM a livello nazionale;
- Assicurare l'approvvigionamento di CRM da Paesi europei non appartenenti all'UE (ad esempio grafite, cobalto, ETR in Norvegia, ETR in Groenlandia, grafite e titanio in Ucraina, dove, in quest'ultimo caso, la guerra con la Russia assume un ruolo strategico a dir poco determinante) (E. Lewicka *et al.*, 2021).

Diverse sono state, in tal senso, le iniziative introdotte dalla Commissione Europea nel corso degli ultimi anni per far fronte al fabbisogno materico dell'UE, tra questi Horizon 2020 è stato determinante per l'attuazione dell'Iniziativa e del Partenariato europeo per l'innovazione (PEI) sulle materie prime. In particolare, la “*Societal Challenge 5*”

sull'azione per il clima, l'ambiente, l'efficienza delle risorse e le materie prime (SC5) ha contribuito a rispondere alla sfida di garantire l'accesso sostenibile ai CRM attraverso l'investimento di oltre 200 milioni di euro in azioni di R&I per lo sviluppo e la dimostrazione di produzione sostenibile di materie prime primarie e secondarie (M. Gislev *et al.*, 2018).

Quest'ultime si sono aggiunte al progetto SCRREEN (*"Solutions for CRITICAL Raw materials - a European Expert Network"*) che già nel 2019 era stato sviluppato con l'obiettivo di riunire le iniziative, le associazioni, i cluster e i progetti europei che si occupano di CRM in una rete capace di connettere esperti, parti interessate, autorità pubbliche e rappresentanti della società civile per incentivare azioni di ricerca e innovazione del potenziale di sostituzione dei CRM (solo per citarne alcune: il progetto INREP e INFINITY studia ossidi conduttori trasparenti privi di indio, *"Flintstone2020"* analizza materiali super-duri che sostituiscano tungsteno e cobalto, SCALE mira ad estrarre lo scandio dai residui di bauxite, CHROMIC e CABRISS mirano al recupero ed al riutilizzo di materie prime chiave per il fotovoltaico, tra cui silicio e indio, REslag di estrarre CRM dalle scorie di acciaio ed il programma LIFE contribuisce all'uso sostenibile, al recupero e al riciclaggio delle materie prime) (M. Gislev *et al.*, 2018).

Altro progetto figlio del programma *"Horizon 2020"* è l'*"EIT RawMaterials"*, nato dall'iniziativa dell'Istituto europeo di innovazione e tecnologia (EIT appunto), che costituisce il più grande consorzio del settore delle materie prime a livello mondiale attraverso la partecipazione di oltre 100 partner tra istituzioni accademiche, di ricerca e imprese provenienti da oltre 20 Paesi dell'UE, con l'obiettivo di incrementare la competitività, la crescita e l'attrattiva del settore europeo nell'ambito delle CRM, guidando e promuovendo l'innovazione e responsabilizzando studenti, partner ed imprenditori verso l'economia circolare. Il progetto mira a tradurre tale collaborazione in prodotti, processi e servizi innovativi e sostenibili volti ad assicurare l'approvvigionamento e migliorare la catena del valore delle materie prime, dall'estrazione alla lavorazione, alla produzione, al riutilizzo e al riciclaggio, garantendo una maggiore sostenibilità economica, ambientale e sociale alla società europea (M. Gislev *et al.*, 2018).

Ulteriore intervento è stato il lancio di un'alleanza industriale dedicata a garantire un approvvigionamento sostenibile di materie prime in Europa in concomitanza con la

comunicazione 2020 sui CRM, affinché gli ecosistemi industriali chiave dell'UE, quali l'automotive, le energie rinnovabili, la difesa e l'aerospazio sviluppino una più elevata resilienza rispetto agli elementi delle terre rare e dei magneti permanenti (M. Gislev *et al.*, 2018).

Infine, la Relazione scientifica del CCR "*Recupero di materie prime critiche e di altre materie prime dai rifiuti minerari e dalle discariche — stato dei lavori sulle pratiche esistenti*" e la Relazione sulle materie prime per le tecnologie e i settori strategici mostrano, rispettivamente, il miglioramento della base di conoscenze sulla disponibilità di materiali secondari nei processi tecnologici per il recupero di diversi materiali dagli scarichi minerari e dai rifiuti industriali e la stima del fabbisogno di materiali per le tecnologie dell'energia pulita, la mobilità elettrica e le tecnologie digitali (ITC, robotica, stampa 3D) sulla base degli scenari di neutralità climatica dell'UE, fornendo una prospettiva per il 2030 e il 2050 della domanda di materiali, dei rischi di approvvigionamento e delle strozzature nelle catene di approvvigionamento (M. Gislev *et al.*, 2018).

Tuttavia, si trattava di incentivi ed iniziative piuttosto generiche che lasciavano il settore delle materie prime per lo più libero di essere regolato dai meccanismi del mercato internazionale, non portando a significativi cambiamenti nelle modalità di approvvigionamento dei CRM per molte catene di valore critiche.

Quale risultato del processo di ricerca di una risoluzione ad hoc, il 16 marzo 2023 la Commissione Europea ha redatto il "*Critical Raw Material Act*" (CRMA) all'interno del più ampio "*Green Deal Industrial Plan*" e insieme al "*The Net-Zero Industry Act*" (NZIA), al fine di ridurre la dipendenza dell'UE dalle materie prime critiche e promuovere la sostenibilità delle catene di valore europee delle CRM (A. Hool *et al.*, 2023). In tal senso, il CRMA e la NZIA sono la risposta della Commissione al trend globale verso un maggiore protezionismo sulle risorse e sugli sviluppi tecnologici. Nella risoluzione si promuove la transizione energetica pulita, attraverso proposte di regolamentazione su molti aspetti relativi alla gestione dei CRM nell'UE, nel tentativo di realizzare una struttura di controllo completa intorno a questi ambiti ed alle relative pratiche industriali (A. Hool *et al.*, 2023).

Il CRMA, dunque, suddivide il proprio intervento sulla base di tre sotto-problemi:

- L'insufficiente anticipazione e mitigazione dei rischi di approvvigionamento,
- Il sottoutilizzo del potenziale nazionale di CRM,
- L'approvvigionamento non sostenibile di CRM (A. Hool *et al.*, 2023).

Gli obiettivi specifici che la proposta di regolamento si prefigge di raggiungere sono strettamente connessi a tali macro-aree e si esplicano nell'incrementare il grado di consapevolezza e mitigazione rispetto ai potenziali "colli di bottiglia" nelle forniture dei materiali critici, nel potenziare la capacità estrattiva dei paesi membri, nonché la lavorazione ed il riciclo, necessari per tenere sotto controllo e, soprattutto, abbattere l'impronta ambientale dell'UE relativa consumo di CRM (A. Hool *et al.*, 2023).

Il CRMA si compone di diversi documenti, tra cui i principali risultano essere una comunicazione, un regolamento strutturato in articoli e gli allegati dello stesso: gli obiettivi prendono forma concreta in un pacchetto di misure per l'approvvigionamento "sicuro, diversificato e sostenibile" di metalli e minerali fondamentali sia per la transizione energetica che per le tecnologie digitali. Con tale strumento si vogliono minimizzare le "esternalità" negative sull'ambiente e puntare sulla circolarità, mentre, da un punto di vista più strettamente politico, si intende ridurre la dipendenza dalla Cina e da altri Paesi politicamente instabili, attraverso la definizione di target chiari e misurabili da raggiungere entro il 2030 e che sono riassunti nell'articolo 1 del regolamento:

- Almeno il 10% del fabbisogno di materie prime critiche dell'UE dovrà provenire da miniere europee (attualmente, come scritto da Euractiv, siamo al 3%);
- Almeno il 40% dei CRM consumati nell'UE dovrà essere lavorato e raffinato in Europa;
- Almeno il 15% del consumo di materie prime critiche nell'UE dovrà essere coperto da attività di recupero e riciclo;
- Non approvvigionarsi più di oltre il 65% di ciascuna materia prima strategica da un singolo Paese terzo (A. Hool *et al.*, 2023, Circular Economy Network, 2023).

Il regolamento, negli allegati I e II, definisce il significato dei termini "materie prime strategiche" (SRM) e "materie prime critiche". Le SRM che risultano essere quelle materie prime che "*ottengono il punteggio più alto in termini di importanza strategica, crescita prevista della domanda e difficoltà di aumento della produzione*" (art. 3), mentre

le CRM sono “*le materie prime che superano determinate soglie sia per l'importanza economica che per i rischi di approvvigionamento*” (art. 4), quest'ultime classificate mantenendo la metodologia utilizzata nella comunicazione del 2017 (A. Hool *et al.*, 2023).

Per il perseguimento degli obiettivi fissati, il CRMA introduce numerosi e specifici progetti strategici, conformi agli standard ESG (art. 5-7), che si possono sintetizzare con le seguenti linee guida:

- Maggiore coordinamento tra gli Stati membri per creare un database accurato e preciso delle riserve nazionali disponibili o potenziali;
- Esecuzione regolare di stress test lungo le catene di approvvigionamento delle materie prime critiche, segnalazione dei livelli e coordinamento delle scorte strategiche, nonché acquisto congiunto dei CRM per migliorare il monitoraggio e l'attenuazione dei rischi
- Ricerca e formazione, accompagnate dalla creazione di una “*Raw Materials Academy*” per sviluppare le nuove competenze necessarie ai lavoratori impegnati in questo settore;
- Diversificazione dei partner commerciali anche con la fondazione del “*Critical Raw Materials Club*”, rafforzando i rapporti con i Paesi ricchi di risorse che condividono le medesime idee ed ideali dell'UE (Circular Economy Network, 2023).

Nel Critical Raw Materials Act non mancano richiami alla necessità di aumentare i tassi di riciclo e di utilizzo di materie prime secondarie, coerenti con i principi dell'economia circolare, con la Commissione che evidenzia come “*gli Stati membri dovranno adottare e attuare misure nazionali per migliorare la raccolta dei rifiuti ricchi di materie prime critiche. [...] Gli Stati membri e gli operatori privati dovranno esaminare il potenziale di recupero di materie prime critiche dai rifiuti delle attività estrattive, sia nelle attuali attività minerarie che nei siti storici di rifiuti minerari. I prodotti contenenti magneti permanenti dovranno soddisfare i requisiti di circolarità e fornire informazioni sulla riciclabilità e sul contenuto riciclato*” (Circular Economy Network, 2023).

Infatti, la definizione di parametri di riferimento per l'estrazione, la lavorazione e il riciclo dei materiali specifici a rischio a livello nazionale risulta essere tra i principali impatti del

CRMA, con grande attenzione alle quote minime di domanda dell'UE coperte da materiali di origine nazionale, nonché del tasso di trasformazione e riciclo delle stesse (A. Hool *et al.*, 2023).

Tali requisiti mettono sotto pressione l'industria estrattiva e di trasformazione per far sì che incrementi le proprie capacità produttive.

Nonostante ciò rappresenti un'opportunità per la creazione di posti di lavoro e lo sviluppo economico di questi settori, diverse sono le sfide per il rispetto dei parametri di riferimento, la garanzia degli investimenti, il reperimento di una forza lavoro qualificata e la garanzia di conformità alle nuove normative.

La portata del regolamento CRMA fa sì che anche gli altri settori siano messi davanti ad obiettivi sfidanti per quanto concerne il riciclo domestico dei materiali a rischio, spronando gli investimenti in impianti e tecnologie di riciclo per lo sviluppo di processi più efficienti ed efficaci in termini di circolarità delle risorse. Infatti, non si può prescindere da un coinvolgimento diffuso viste le difficoltà che si incontrano nel percorso per raggiungere gli obiettivi di riciclo, in particolare per alcuni materiali complessi (A. Hool *et al.*, 2023).

Questo poiché, nonostante diversi CRM presentino un elevato potenziale di riciclo tecnico ed economico e l'incoraggiamento dei governi a muoversi verso un'economia circolare, il tasso di input di riciclo dei CRM (misurato attraverso la quota di fonti secondarie nell'approvvigionamento di materie prime) è generalmente basso.

Tra le motivazioni di questo risultato possiamo elencare i seguenti fattori:

- Le tecnologie di selezione e riciclaggio per molti CRM non sono ancora disponibili a costi competitivi;
- L'offerta di molti CRM è bloccata in beni a lunga durata, il che implica ritardi tra la produzione e la rottamazione e influisce negativamente sugli attuali tassi di input di riciclaggio;
- La domanda di molti CRM è in crescita in vari settori, con il contributo del riciclo largamente insufficiente per soddisfarla (M. Gislev *et al.*, 2018).

L'importanza della gestione efficiente delle materie prime critiche durante tutto il loro ciclo di vita ed il loro riciclaggio risultano essere la componente fondamentale per garantire la sicurezza dell'approvvigionamento dei materiali per l'industria europea,

poiché determinano una riduzione dei rischi associati all'importazione (M. Gislev *et al.*, 2018).

Altrettanto importanti sono i vantaggi ambientali derivanti dal potenziamento della fonte secondaria dei materiali: queste, infatti, richiedono un minore quantitativo di energia (nonché delle relative emissioni di CO<sub>2</sub> e delle altre emissioni nell'aria) e di acqua, hanno un impatto inferiore sulla biosfera producono meno rifiuti per tonnellata di materiale estratto rispetto ai CRM ottenuti attraverso estrazione primaria (M. Gislev *et al.*, 2018).

L'industria manifatturiera e i produttori finali dovranno allinearsi ai requisiti del CRMA, anche a costo di un aumento dei costi per i maggiori requisiti di monitoraggio e rendicontazione, con la contropartita di offrire le basi per costruire un solido vantaggio di mercato, premiando la conformità agli standard di sostenibilità e consentendo così alle aziende di sfruttare la crescente domanda di materiali e prodotti sostenibili (A. Hool *et al.*, 2023) che a lungo termine potrebbero condizionare i costi e la competitività molto più delle misure definite dal CRMA.

Per garantire l'uniformità degli standard sul trattamento dei rifiuti dei CRM e lo sviluppo del loro potenziale, la Commissione ha implementato al CRMA il “*The Waste Framework Directive*”, che prevede un'ampia sezione specifica per le disposizioni proposte sui CRM (M. Gislev *et al.*, 2018).

Quest'ultimo prevede che gli Stati membri adottino le “*best practice*” indicate per la migliore gestione possibile dei rifiuti contenenti quantità significative di CRM, riportate nel progetto “*Collectors*”, che permetterà di mappare i diversi sistemi di raccolta delle materie prime critiche in Europa, acquisendo informazioni sulle prestazioni complessive dei sistemi e sostenendo i decisori nel passaggio a sistemi più efficienti attraverso lo sviluppo di capacità, linee guida e standard europei, soprattutto per il riciclo efficiente dei materiali presenti prodotti complessi come le batterie (M. Gislev *et al.*, 2018).

Inoltre, quest'ultimo progetto si lega strettamente alla centralità tecnica ed economica delle materie prime critiche nell'ambito della produzione di energia da fonti rinnovabili, con le tecnologie eoliche e fotovoltaiche che si basano su ben sei CRM, quali neodimio, praseodimio, disprosio, indio, gallio e silicio metallico.

Per quest'ultimo ambito, la grande crescita dei mercati dell'energia “*green*” e la relativa domanda dei materiali necessari per il loro sviluppo determina la necessità di sviluppare un regolamento specifico sul tema e che aggiorni la precedente Direttiva sulle Energie

Rinnovabili (2009/28/CE), garantendo all'UE una posizione di leader in tale settore e consentendole di raggiungere la quota del 27% di energie rinnovabili nel consumo finale di energia entro il 2030. Infatti, per sostenere la “*twin transition*”, la Commissione evidenzia che “*per le turbine eoliche onshore e offshore domanda di terre rare aumenterà rispettivamente di 4,5 volte entro il 2030 e di 5,5 volte entro il 2050, mentre si prevede che le batterie che alimentano i nostri veicoli elettrici aumenteranno la domanda di litio di 11 volte entro il 2030 e 17 volte entro il 2050*” (M. Gislev *et al.*, 2018).

Nel processo di attuazione del CRMA, i governi nazionali svolgono un ruolo cruciale nel garantire la conformità ai suoi requisiti, coordinando gli sforzi, fornendo quadri normativi e stanziando risorse per sostenere la produzione, la lavorazione e il riciclaggio delle materie prime a livello nazionale.

Il compito essenziale delle classi politiche nazionali consiste nel saper bilanciare gli obiettivi di sviluppo economico con le considerazioni ambientali e sociali, nonché garantire il coordinamento con gli altri Stati membri dell'UE per mantenere la parità di condizioni (A. Hool *et al.*, 2023).

Tale impegno determinerà implicazioni di vasta portata sia per gli investitori dell'UE che per quelli extra-UE, in quanto, da un lato le opportunità di investimento in progetti legati all'estrazione, alla lavorazione e al riciclaggio delle materie prime aumenteranno vertiginosamente, mentre dall'altro lato sarà maggiore la volatilità del mercato ed i rischi associati alla conformità normativa con cui gli investitori dovranno confrontarsi.

In questo percorso non si può prescindere dall'istituzione di partenariati tra investitori, aziende e governi, nonché lo stretto coinvolgimento dei cittadini nel promuovere pratiche di investimento responsabili. Infatti, le aziende necessitano dell'accesso ai finanziamenti per poter soddisfare i requisiti del CRMA e per la realizzazione dei progetti strategici indicati dal medesimo regolamento, spingendo ad un processo di differenziazione delle imprese sulla base del loro grado di conformità alle pratiche di sostenibilità (A. Hool *et al.*, 2023).

Il CRMA, dunque, rappresenta un passo importante da parte dell'Unione Europea, in quanto le sue disposizioni rappresentano il risultato di due decenni di sforzi e di dialoghi politici per mitigare attivamente i rischi di approvvigionamento e sostenere la transizione verde europea, con un impatto ad ampio raggio sulle parti interessate, tra cui le industrie



estrattive e di trasformazione, le aziende manifatturiere, le comunità locali, i consumatori, i governi nazionali, gli attori extra-UE e gli investitori (A. Hool *et al.*, 2023).

La definizione dei parametri di riferimento, l'armonizzazione tra gli Stati membri, l'accesso ai finanziamenti, la collaborazione tra investitori, aziende e governi così come la chiarezza, la semplificazione e l'unificazione dei requisiti di certificazione e rendicontazione saranno essenziali ed avranno un impatto sui risultati dell'attuazione del CRMA (A. Hool *et al.*, 2023).

### 3.3 Un esempio concreto: l'industria dei veicoli elettrici a batteria

Tra i settori maggiormente interessati dal processo di decarbonizzazione, necessario per limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C, ritroviamo quello dei trasporti, in quanto una sua svolta “green” permetterebbe la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> nell'ordine di 6,1 Gigatoni all'anno (UNEP 2019) (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Per questo motivo, l'adozione dei veicoli elettrici rientra tra gli obiettivi globali e nazionali per combattere il cambiamento climatico, richiedendo un ampio livello di perseguimento degli stessi entro il 2030 e, infine, una decarbonizzazione completa entro il 2050 (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

L'Europa è particolarmente interessata da questa “transizione all'elettrico” nell'ambito dell'automotive, dal momento che l'industria automobilistica è tra le più importanti dell'Unione, rappresentando circa il 4% del PIL dell'UE, generando un export da oltre 128 miliardi di euro ed impiegando ben 12 milioni di dipendenti. L'Europa è la sede di alcune tra le più grandi ed importanti case automobilistiche a livello mondiale (spesso indicate con l'abbreviazione OEM, “*Original Equipment Manufacturers*”) come Volkswagen, Daimler e BMW in Germania, PSA, Renault in Francia e Fiat Chrysler Automobiles (FCA) in Italia e nei Paesi Bassi, nonché i fornitori di autoveicoli leader a livello mondiale come Bosch, Continental, ZF Friedrichshafen e Mahle in Germania, Michelin, Faurecia e Valeo in Francia e Magneti Marelli in Italia (M. Schmid, 2020).

I tassi di adozione dei veicoli elettrici sono aumentati notevolmente negli ultimi anni, spinti dalla volontà politica e sociale di decarbonizzare l'economia, diventando sempre più significativi, anche per quanto riguarda il volume delle vendite e le dimensioni complessive di un mercato che è passato dall'essere di nicchia ad essere considerato il futuro sia dai governi che dalle aziende.

Dal 2018, la maggior parte delle case automobilistiche ha avviato la produzione di veicoli elettrici o è in procinto di farlo e, mentre alcune case automobilistiche si considerano dei pionieri della mobilità elettrica (BMW, 2017), altre possono essere considerate dei capisaldi che stanno iniziando ad investire pesantemente nella nuova tecnologia. Un esempio di quest'ultimo caso sono Volkswagen, che ha annunciato 70 nuovi modelli di auto elettriche in uscita nei prossimi anni, General Motors, che sta predisponendo la propria azienda nell'ottica di un futuro completamente elettrico, e la Ford Motor

Company, che si è impegnata ad investire circa 11 miliardi di dollari per lo sviluppo di un'intera gamma da oltre 40 veicoli elettrici entro il 2025 (M. Schmid, 2020).

Diversi sono gli scenari che mirano a definire gli andamenti futuri del settore dei veicoli elettrici:

- lo Scenario delle Politiche Statiche (STEP), realizzato dall'Agenzia Internazionale per l'Energia (AIE) e basato sulle politiche, le normative e gli obiettivi fissati dai governi e dall'industria: questo scenario prevede che le vendite globali di auto elettriche raggiungeranno i 15,7 milioni nel 2025 e i 27,7 milioni nel 2030. Lo scenario STEP si basa;
- lo Scenario degli Impegni Annunciati (APS), che include i più significativi obiettivi nazionali e impegni per l'abbattimento delle emissioni: la stima di questo scenario ipotizza che le vendite di auto elettriche arriveranno a 43 milioni di unità nel il 2030;
- lo scenario “*Net Zero*”, coerente con le valutazioni dell’*Intergovernmental Panel on Climate Change*” (IPCC): secondo queste valutazioni si prevede che saranno oltre 65 milioni le auto elettriche vendute nel 2030 (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

La realizzazione di queste previsioni richiederà maggiori quantità di quei materiali necessari per la produzione delle componenti centrali nei veicoli elettrici (o anche EV, “*Electric Vehicles*”), ossia una gamma di metalli e minerali "tecnologici", coincidenti con i CRM precedentemente individuati in questo capitolo, che generalmente si trovano in minori quantità nei veicoli con motore a combustione interna (“*Internal Combustion Engine*”, ICE) e che andranno ad aumentare in proporzione all'aumento dell'adozione di soluzione elettriche ed ibride nel settore automotive.

I veicoli elettrici, infatti, hanno come componenti principali la trasmissione e la batteria e per entrambe sono necessari ingenti quantitativi di CRM, come la grafite (per guarnizioni dei freni, nei sistemi di scarico, nei motori, nei materiali della frizione, nelle guarnizioni e nelle batterie), il cobalto (nelle batterie agli ioni di litio,), i metalli del gruppo del platino (per catalizzatori per auto e nei filtri antiparticolato), il niobio (per la struttura della carrozzeria, nel sistema motore e nei componenti strutturali) e gli elementi delle terre rare (nei magneti permanenti, nei catalizzatori per auto, nei filtri e negli additivi) (M. Schmid, 2020; M. Gisleiv *et al.*, 2018).

Affinché il processo di decarbonizzazione del settore automobilistico abbia successo, è necessaria una evoluzione tecnologica, ottenuta, oltre che tramite l'elettrificazione dei veicoli, anche attraverso il miglioramento dell'efficienza dei carburanti e la loro sostituzione, e di altrettanto importanti cambiamenti sociali, come l'aumento dell'uso dei trasporti pubblici, il car sharing e l'approvazione dei veicoli elettrici dai consumatori (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Forniture adeguate, tempestive e sostenibili di materie prime, essenziali per il funzionamento e le prestazioni dei veicoli elettrici, determinando un forte incremento della domanda dei materiali critici. Infatti, riprendendo le proiezioni analizzate in precedenza, lo scenario STEP prevede che la domanda di cobalto per i veicoli elettrici aumenterà a quasi 63 chilotoni per anno nel 2030 da 43 nel 2020, la domanda di litio crescerà a circa 231 chilotoni per anno da 43 nel 2020 e quella di nichel arriverà a 840 chilotoni per anno da 126 nel 2020. Lo scenario APS, invece, stima una crescita della domanda di materiali ancora maggiore, talvolta doppia rispetto a quella preventivata dallo scenario STEP (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Sulla base di tali proiezioni, diventa fondamentale valutare se l'offerta sarà in grado di soddisfare la domanda dell'industria automobilistica nei tempi richiesti dalla trasformazione verso un futuro completamente elettrico.

In tal senso, Tesla, leader di mercato nel settore dei veicoli elettrici, ha lanciato l'allarme a causa dei rischi nell'approvvigionamento dei minerali necessari per i propri veicoli elettrici e ha avvertito della mancanza di investimenti nell'industria mineraria. Allo stesso modo, nel 2017 Volkswagen non è riuscita a concludere la stipula del contratto che avrebbe garantito il soddisfacimento del suo fabbisogno di cobalto nei prossimi anni, concludendo i colloqui con l'industria del cobalto senza risultati. Commentando l'attuale contesto, Sergio Marchionne, ex CEO di Fiat Chrysler Automobiles (FCA), ha sottolineato che: "*[...] in un mondo in continua evoluzione, la natura interconnessa delle catene di approvvigionamento le espone al rischio di interruzione a causa della fluttuazione della domanda, della carenza di materie prime fondamentali, delle dinamiche geopolitiche, dei disastri naturali e di altri eventi difficili da prevedere*" (M. Schmid, 2020).

Molti sono i fattori che possono incidere sull'accessibilità di una risorsa mineraria e, dunque, sul rischio di interruzione o di ritardo della fornitura e, sebbene ciascuno di essi

varii a seconda delle materie prime e dei principali Paesi produttori, questi comprendo generalmente: la concentrazione della produzione, le tendenze protezionistiche, nonché le condizioni politiche ed economiche dei Paesi produttori, la disponibilità di investimenti per nuovi progetti minerari, la mancanza di ricerca geologica di base, la domanda concorrente, la regolamentazione ambientale nei Paesi produttori e, infine, l'accettabilità sociale delle attività di estrazione e lavorazione. A questi si aggiungono, poi, gli eventi che si presentano con meno frequenza ma che hanno un impatto di enormi proporzioni e possono avere gravi ripercussioni sull'approvvigionamento di materie prime, come disastri naturali, incidenti e la pandemia COVID-19 (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Tra le diverse fonti di rischio che il settore automotive si trova ad affrontare, la maggiore preoccupazione è dettata dalla posizione di forza della Cina, in quanto è il più importante produttore di materie prime per i veicoli elettrici, soprattutto per ciò che concerne la produzione e la lavorazione delle terre rare, della grafite, del cobalto e del litio, comportando elevati rischi di approvvigionamento per i consumatori di altri Paesi, dipendenti da una fornitura stabile dalla Repubblica Popolare Cinese.

Tale dominio sul mercato dei CRM è frutto di un piano sistematico che, parallelamente alla crescita dell'industria estrattiva, ha favorito la creazione di industrie basate su di essi, in particolar nella produzione dei magneti permanenti, arrivando a rappresentare il 90% della loro produzione globale (M. Schmid, 2020).

In questo modo, la Cina ha enormemente aumentato la sua competitività anche nella tecnologia dei motori elettrici, dominando praticamente ogni fase della catena del valore e raggiungendo un predominio che l'ex leader della Repubblica Popolare, Deng Xiaoping, ha descritto attraverso la formula: "*Il Medio Oriente ha il suo petrolio, la Cina ha le sue terre rare*" (M. Schmid, 2020).

La crisi dell'energia elettrica tra il 2010 ed il 2011 ha evidenziato il pericolo per i consumatori di tutto il mondo di dipendere esclusivamente dai CRM di un unico fornitore, assestando un duro colpo all'industria automobilistica, con le aziende che sono state esposte ai rischi di approvvigionamento a prescindere dalla loro posizione nella catena di fornitura.

Inoltre, in virtù della pressante influenza politica sulle decisioni delle aziende, le imprese cinesi lungo la catena del valore dei CRM sono sostenute economicamente e non devono essere redditizie, fintantoché queste abbiano occupino un ruolo strategico o abbiano una

tecnologia percepita tale dai responsabili politici. In più, i vantaggi di costo nella produzione di terre rare, legati ai minori standard ambientali in Cina, ostacola ulteriormente lo sviluppo di progetti di ETR al di fuori della Cina (M. Schmid, 2020).

Infatti, sebbene si riconosca la necessità di progetti di estrazione di CRM al di fuori della Cina e di catene di approvvigionamento alternative, ben poche sono le possibilità di avviare interventi privati impegnati nelle prime fasi della catena di approvvigionamento che siano competitivi rispetto alle realtà cinesi.

Le ragioni per cui molti nuovi progetti si bloccano nelle prime fasi dell'esplorazione sono molteplici e includono: le piccole dimensioni di molte aziende che le inabilitano ad avviare progetti di tale portata, i lunghi tempi di realizzazione (anche oltre i 30 anni) per poter portare le materie prime da una nuova miniera alla produzione di EV, l'assenza di alternative reali alla produzione cinese di terre rare ed i bassi prezzi delle stesse, che rendono i nuovi progetti relativamente poco attraenti (M. Schmid, 2020).

Gli unici progetti capaci di progredire nelle fasi successive del loro sviluppo sono stati quelli in grado di assumersi il rischio di puntare su ritorni incrementali futuri grazie alla consapevolezza che alcuni di questi materiali, precedentemente dal valore limitato, potevano assurgere ad un ruolo di prima rilevanza nel contesto industriale.

Anche un maggiore coinvolgimento diretto delle aziende automobilistiche nei progetti minerari ha contribuito al rapido avanzamento di alcuni di essi (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Un esempio sono le aziende giapponesi e, in particolare, Toyota, che ha investito per lungo tempo nell'approvvigionamento di materie prime ed il coinvolgimento nella produzione di CRM, attraverso la sua casa commerciale Toyota Tsusho "[...] *per alleviare l'eccessiva dipendenza dalle terre rare prodotte in Cina*" (M. Schmid, 2020).

Un'altra iniziativa dell'industria automobilistica giapponese, con l'obiettivo di garantire l'offerta necessaria per il sostenimento del proprio fabbisogno di cobalto, consiste nella formazione di un'alleanza tra le case automobilistiche giapponesi, sostenuta dal Ministero dell'Economia, del Commercio e dell'Industria del Giappone (M. Schmid, 2020).

Piani simili sono stati annunciati di recente da Tesla, che ha dichiarato di voler partecipare direttamente nel settore minerario per assicurarsi l'approvvigionamento di CRM necessario per la sua produzione di veicoli elettrici, e da Ford, che sta valutando la possibilità di investire in miniere di cobalto nel prossimo futuro (M. Schmid, 2020).

Nonostante ciò, però, i progetti finalizzati allo sviluppo di nuove miniere e raffinerie sono esposti a un'ampia gamma di vulnerabilità, sia tecniche che non, tali da scoraggiare gli investimenti in nuovi progetti incentrati su questi materiali.

I requisiti normativi, di autorizzazione ed ambientali dei progetti minerari richiedono l'acquisizione di un maggior numero di dati ed uno studio approfondito, con la conseguenza che i costi e la durata dello sviluppo di nuovi progetti aumentano inevitabilmente (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Inoltre, la licenza sociale per operare è oggi un prerequisito essenziale per il successo di un nuovo progetto minerario e richiede un impegno completo e trasparente con le comunità, creando un ambiente di fiducia e di rispetto reciproco, garantendo dei benefici duraturi per l'intero territorio (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Differente è, invece, l'approccio adottato dall'industria automobilistica europea nel limitare la sua dipendenza dall'offerta di CRM cinese, orientandosi verso il meccanismo di sostituzione, che tenta di ridurre o eliminare completamente l'esposizione ai rischi di approvvigionamento sostituendo le CRM con materiali più facilmente reperibili e dalla minore criticità (M. Schmid, 2020).

In tal senso, la BMW ha annunciato che la trasmissione elettrica di prossima generazione per i suoi nuovi veicoli elettrici avrà una base tecnologia priva di ETR, "*rendendo il BMW Group non più dipendente dalla loro disponibilità*", attraverso una collaborazione con casa automobilistica britannica Jaguar Land Rover, anch'essa interessata a sviluppare le suddette trasmissioni (M. Schmid, 2020).

Anche le case automobilistiche tedesche Audi e Daimler utilizzano motori asincroni privi di terre rare, evitando che vi sia "*[...] alcun rischio di approvvigionamento di materie prime per il motore*" (M. Schmid, 2020).

Ancora, la casa automobilistica francese Renault ha collaborato con Continental per realizzare motori sincroni ad eccitazione esterna senza terre rare ed il fornitore automobilistico tedesco Bosch ha cercato di sostituire, parzialmente o completamente, i magneti permanenti, di cui la Cina è il principale produttore (M. Schmid, 2020).

Tuttavia, il 90% di tutti i veicoli elettrici utilizza meccanismi basati su magneti permanenti per via delle loro prestazioni superiori e, sebbene possa sembrare logico

sostituire le terre rare quando la loro fornitura è messa a rischio, è difficile farlo completamente.

Pertanto, è altamente improbabile che l'industria automobilistica europea sia in grado di sostituire tali materiali in tutti i propri veicoli, poiché la maggior parte dei sostituti tende a fornire prestazioni inferiori (M. Schmid, 2020).

La dimensione politica di questa sfida e le difficoltà incontrate dall'industria automobilistica hanno portato a diverse strategie:

- In Giappone, la “*Japan Oil, Gas and Metals National Corporation*” (JOGMEC) ha lo scopo di garantire una fornitura stabile di materie prime per il Giappone, attraverso la guida delle attività di esplorazione, stoccaggio di materie prime strategiche e finanziamento di progetti, stanziando ben 650 milioni di dollari per lo sviluppo dei progetti minerari solo nel 2011, all'indomani della crisi.
- Negli Stati Uniti, il Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti (US DoD) sta finanziando un impianto di lavorazione delle terre rare e sta trattando con l'Australia per garantirne la fornitura. Inoltre, si sta cercando di istituire un'organizzazione simile alla JOGMEC giapponese, che esamini i potenziali investimenti legati alle materie prime (M. Schmid, 2020).

Ad oggi, dunque, la consapevolezza della dipendenza dalle terre rare della Cina e del suo dominio del mercato lungo la catena del valore, ha permesso di individuare delle azioni prioritarie per mitigare gli ostacoli all'approvvigionamento di materie prime, che comprendono:

- convergenza delle catene di approvvigionamento e presenza degli OEM in esse, investendo in progetti di estrazione e lavorazione dei minerali.
- iniziative e alleanze governative per diversificare l'approvvigionamento e migliorare la resilienza della catena di approvvigionamento.
- sviluppo di una forza lavoro qualificata lungo tutta la catena di approvvigionamento, affinché le materie prime possano essere reperite, lavorate, utilizzate e riciclate in modo efficiente, sicuro e sostenibile.
- partecipazione congiunta della comunità globale alla risoluzione delle sfide ambientali, sociali e di governance, fornendo il sostegno finanziario,



promuovendo una migliore raccolta di dati, lo sviluppo di capacità e il trasferimento di conoscenze e intraprendendo ricerche sistemiche per fornire soluzioni sostenibili alle sfide presentatesi (E. Petavratzi *et al.*, 2023).

Il riciclaggio di tali materiali è particolarmente rilevante in riferimento all'ultimo punto preso in analisi, tuttavia, in virtù della recente introduzione degli EV sul mercato europeo e tenendo conto della vita media dei componenti dei veicoli elettrici (circa 10 anni), il riciclaggio efficace su larga scala non è previsto prima del 2025 e l'infrastruttura di riciclaggio dell'UE dei veicoli elettrici non risulta ancora pronta a tale sfida (M. Gislev *et al.*, 2018).

La Commissione, con il Piano d'azione per l'economia circolare, si è impegnata a trattare i flussi di rifiuti di alto valore, come i veicoli fuori uso, in modo specifico, per evitare la perdita di materie prime, soprattutto nell'ambito delle batterie per veicoli elettrici.

Quest'ultime, a seconda della chimica della batteria, incorporano molti dei principali CRM, tra cui antimonio, cobalto, grafite naturale, indio e alcuni elementi delle terre rare, ed il loro potenziale di riciclaggio è significativo (M. Gislev *et al.*, 2018).

I tassi effettivi di raccolta dei rifiuti di batterie dipendono dalla tecnologia/tipologia di batteria, dalla durata di vita delle batterie e dal comportamento dell'utente finale ed il materiale prodotto dal loro riciclaggio, in base alla sua qualità, può essere riutilizzato nell'industria delle batterie, dell'acciaio ed in altre industrie.

A tale scopo, alcune aziende hanno iniziato a investire nel riciclaggio delle batterie EV usate (ad esempio Umicore in Belgio e Recupyl in Francia), mentre altre hanno collaborato con società del settore energetico “green”, tra cui la “*Société Nouvelle d’Affinage des Métaux*”, SNAM, e Umicore, per raccogliere e riciclare le batterie (d’esempio qui sono Toyota, PSA Peugeot Citroën e Tesla) (M. Gislev *et al.*, 2018).

Inoltre, i costruttori di veicoli hanno istituito il Sistema internazionale di informazione sulla demolizione (IDIS) per raccogliere informazioni sul trattamento dei veicoli fuori uso e promuoverne l’attenzione all’aspetto ambientale e del riciclaggio dei materiali critici al loro interno, contribuendo al raggiungimento degli obiettivi fissati in tale ambito (M. Gislev *et al.*, 2018).

È in questo contesto che si inserisce il “*The Batteries Directive*”, stabilito dall’UE, che stabilisce l'obbligo per gli Stati membri di massimizzare la raccolta dei rifiuti di pile e accumulatori e di garantirne un adeguato trattamento e riciclaggio, definendo gli obiettivi

per i tassi di raccolta e per le efficienze di riciclaggio e consentendo di ottenere economie di scala nella raccolta e nel riciclaggio, nonché un risparmio ottimale di risorse (M. Gislev *et al.*, 2018).

I processi di riciclaggio nella maggior parte dei Paesi hanno raggiunto i livelli minimi di efficienza richiesti dalla Direttiva per le batterie del 45% e sono stati ulteriormente potenziati con l'introduzione di ulteriori strumenti, quali il “*Batteries2020*”, “*Energy Local Storage Advanced system*” (ELSA), “*ABattReLife*” e “*Netfficient*”, progetti finanziati dall'UE che studiano le applicazioni di secondo uso più adatte e sostenibili per le batterie dei veicoli elettrici (M. Gislev *et al.*, 2018).

Lo scopo ultimo di tali interventi consiste nel:

- incentivare e diffondere l'adozione di etichette o altri strumenti che indichino il contenuto di CRM nei componenti chiave degli EV, come batterie e catalizzatori.
- lo sviluppo di standard europei per l'implementazione di meccanismi di riciclaggio efficienti dei materiali dai veicoli alla conclusione del loro ciclo di vita, soprattutto per i CRM.
- fornire ulteriore sostegno alle attività di R&S e di innovazione su scala industriale per lo sviluppo di tecnologie di riciclaggio, focalizzate su materiali difficili da riciclare.
- monitorare gli sviluppi del mercato degli EV ed effettuare proiezioni sulla domanda e sulle scorte di materiali critici, prevista in crescita fino al 2030 (M. Gislev *et al.*, 2018).

## **Conclusioni**

I CRM sono una componente essenziale per la piena realizzazione del paradigma di Industria 5.0 e per il perseguimento delle politiche Net Zero europee. Il possesso di riserve sufficienti di tali minerali risulta, dunque, essere un asset strategico cruciale nello scacchiere globale e spesso risultano al centro di dispute tra Paesi.

La necessità evidenziata dalla Commissione Europea con il CRMA di sfruttare quanto più possibile il riciclo ed il riutilizzo dei CRM, risponde ad esigenze di tutela del proprio sviluppo industriale “*green*” e sostenibile, in un contesto geopolitico che ancora non sembra essersi reso conto della necessità di costruire ponti e collaborare piuttosto che erigere barriere ed isolarsi.

## ***CAPITOLO 4: L'Italia è pronta per rispondere a queste nuove sfide?***

Con il quarto capitolo si focalizza l'attenzione sulla situazione in Italia e sulla risposta del suo comparto manifatturiero alle spinte dell'Industria 5.0, analizzando quelli che sono i suoi punti di forza nell'affacciarsi ai principi di sostenibilità e di tutela sociale, nonché le sue debolezze nello stare al passo con il percorso innovativo “green”.

Il capitolo, poi, si ricollega al terzo capitolo, analizzando le condizioni del sottosuolo in Italia e le riserve che Paese dispone in termini di CRM e di come si stia attrezzando per adeguarsi alla direttiva europea del “*Critical Raw Material Act*”, attraverso la realizzazione del database GeMMA, strumento essenziale per la mappatura dei siti minerari e per il supporto nelle azioni di recupero degli scarti materici nelle prime fasi delle catene di approvvigionamento.

### **4.1 Punti di forza e di debolezza dell'industria italiana nella transizione industriale**

Come più volte evidenziato in questo saggio, il percorso di sviluppo dell'attività umana intrapreso dalla nostra società negli ultimi decenni è tra le cause principali dell'inquinamento ambientale e del sovrasfruttamento di risorse naturali non rinnovabili, generando emissioni di gas serra in quantità mai registrate in 800.000 anni. Queste provocano un innalzamento della temperatura e si stima andrà oltre i 2°C rispetto ai livelli del 1900, che, sulla base del rapporto del Gruppo intergovernativo sul cambiamento climatico (IPCC), rappresenta valore soglia oltre la quale diverrà irreversibili i mutamenti ambientali.

Anche la quantità di rifiuti solidi ha raggiunto nuovi apici e la Banca mondiale stima che questi aumenteranno ad un ritmo di 3,4 miliardi di tonnellate annue nel 2050, mentre, dall'altro lato, preoccupa l'incapacità del pianeta di generare le risorse naturali richieste da una domanda in continua espansione attraverso il normale ciclo biologico, che, per il “*Global Footprint Network*”, sarà in grado di rispondere solo al 64% della domanda annua di risorse nel 2025 (F. Traù *et al.*, 2020).

In tale contesto, decisivo è il processo di “*decoupling*”, che consiste nello slegare il progresso economico e sociale dalle esternalità negative sull’ambiente, annullando il suo impatto sul benessere del nostro pianeta (F. Traù *et al.*, 2020).

È in questo che consiste la nuova sfida dell’industria, sia dal lato dell’offerta, sviluppando e adottando tecnologie “*green*” e prodotti basati sull’eco-progettazione, che dal lato della domanda, implementando modelli circolari nei rispettivi processi produttivi.

Questo nuovo paradigma di produzione incide sul processo di sviluppo industriale, modificando la forma e l’intento delle catene globali del valore, condizionato finora dalla ricerca del massimo profitto, dall’incondizionata riduzione dei costi e dall’elusione dei vincoli ambientali. Grazie alla crescente sensibilità “*green*” ed all’insistente richiesta di responsabilità ambientale rivolta dai consumatori finali, dagli operatori finanziari, fino alle istituzioni pubbliche e private, questo cambiamento di paradigma ha iniziato a guidare le scelte industriali (F. Traù *et al.*, 2020).

Come analizzato nel primo capitolo, questa nuova consapevolezza ha spinto la Commissione Europea a presentare nel 2019 il “*Green Deal for Europe*”, che ha l’ambizione di rendere l’Europa il primo continente con un impronta carbonica pari a zero entro il 2050.

Queste spinte si sono propagate in tutti i paesi dell’UE e, ovviamente, anche in Italia, che si confronta con tale nuovo contesto partendo da una posizione di vantaggio rispetto a molti dei suoi partner internazionali, vantando un posizionamento d’eccellenza nella riduzione dell’impatto sull’ambiente da parte delle proprie attività economiche, sia in termini di efficienza materica ed energetica sia dal punto di vista del recupero dei residui di produzione (F. Traù *et al.*, 2020).

Infatti, sebbene tali iniziative siano, in parte, provocate dall’allineamento alle normative dell’Unione europea contrastare i cambiamenti climatici, tale approccio è determinato soprattutto dal particolare contesto nazionale, privo di centrali nucleari per la generazione di energia (unico paese tra le economie avanzate) e con poche materie prime nel proprio sottosuolo.

In tali condizioni, le imprese italiane hanno dovuto adeguare il loro fabbisogno energetico e materico allo scarno contesto di riferimento, come evidenziato dall’“Indice composito di efficienza nell’utilizzo delle risorse” che colloca l’Italia al secondo posto tra i paesi in UE, inducendo le stesse a massimizzare il riutilizzo, il riciclo e il recupero dei residui di

produzione, in accordo con i principi dell'economia circolare, attraverso il recupero e la re-immissione nel sistema economico di circa l'83% dei rifiuti speciali prodotti in Italia (la manifattura italiana, infatti, ha il più alto tasso di riciclo sul totale dei rifiuti speciali e urbani prodotti, superando l'81% registrato in Germania, il 71% in Francia e il 60% del Regno Unito) (F. Traù *et al.*, 2020).

Figura 12



Quota percentuale di rifiuti recuperate rispetto sul totale.

Fonte: Centro Studi Confindustria su dati ISPRA

Facendo riferimenti ai dati raccolti dal Centro Studi Confindustria (CSC) nel report *“Innovazione e resilienza: i percorsi dell’industria italiana nel mondo che cambia”*, in collaborazione con l’ISTAT, è possibile evidenziare come le strategie per la sostenibilità, maggiormente adottate dalle imprese italiane possono essere classificate in tre ambiti:

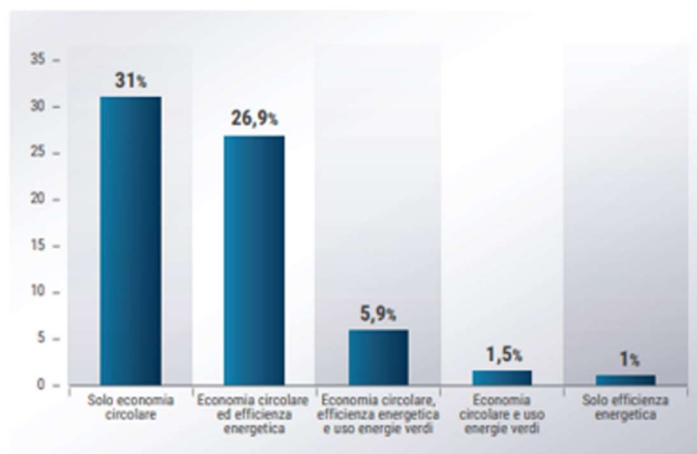
- Miglioramento dell’efficienza energetica (investimenti in macchinari o impianti a minor consumo, isolamento termico degli edifici ...);
- Sfruttamento di energia proveniente da fonti dal ridotto impatto ambientale (investimenti in impianti per la produzione di energia elettrica e termica o da fonti rinnovabili);
- Implementazione dei principi della circolarità delle risorse (filtraggio e riuso delle acque di scarico, risparmio dei materiali, utilizzo di materie prime seconde, raccolta differenziata e riciclo dei rifiuti) (F. Traù *et al.*, 2020).

Dall'analisi si evince come vi sia una diffusa adozione dei comportamenti orientati verso la sostenibilità ambientale, in quanto il 66,8% delle imprese manifatturiere ha dimostrato di aver effettuato investimenti in almeno una delle tre strategie riportate.

Nello specifico, la spinta verso la circolarità delle risorse risulta essere la costante strategica in quasi la totalità dei casi (65,4% delle imprese), seguita dall'efficiamento energetico (33,8% dei casi) e dall'utilizzo di fonti energetiche "green" (7,4%) (F. Traù *et al.*, 2020).

Nel 96,7% in cui un'impresa interviene in un unico ambito di azione, questo risulta essere collegato all'economia circolare, mentre nel caso in cui l'impegno è rivolto a due ambiti azione, l'economia circolare è affiancata dall'efficienza energetica nel 93,4%, con le iniziative rivolte alle fonti energetiche a basso impatto che sono adoperate solo nel congiuntamente alle prime due (F. Traù *et al.*, 2020).

**Figura 14**

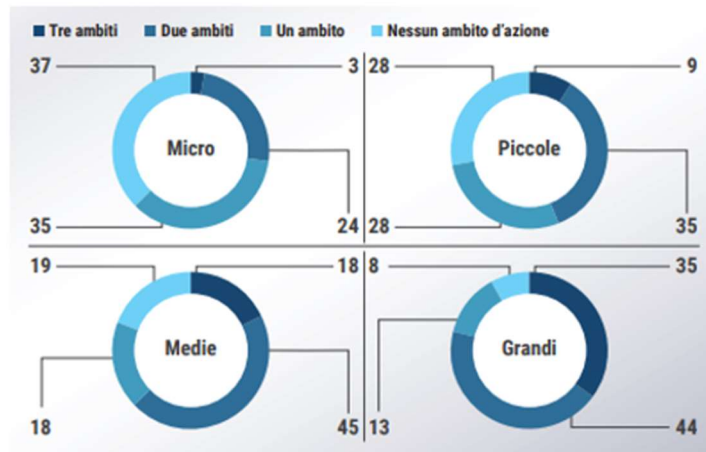


Investimenti in ambito di sostenibilità ambientale in percentuale sul totale di imprese manifatturiere, 2018.

Fonte: Centro Studi Confindustria su dati ISTAT

Tale attenzione agli aspetti di sostenibilità ambientale è presente nella maggior parte delle imprese manifatturiere italiane, indipendentemente dalle dimensioni delle stesse, anche se la frequenza e la strutturazione delle strategie adottate aumentano all'aumentare della componente dimensionale delle organizzazioni (62% tra le microimprese, il 72% tra le imprese di piccole dimensioni, l'81% tra le medie imprese ed il 92% tra le grandi imprese) (F. Traù *et al.*, 2020).

Figura 15



Distribuzione percentuale ambiti di azione per classe dimensionale, manifattura italiana, 2019.

Fonte: Centro Studi Confindustria su dati ISTAT

Relativamente alla distribuzione geografica degli ambiti di sostenibilità, non si riscontrano differenze marcate tra le regioni dove, nella maggior parte dei casi, le imprese investono in un solo ambito per la sostenibilità, mentre in Molise, Friuli-Venezia Giulia ed in Lombardia le imprese, in media, tendono ad intraprendere azioni in due ambiti per la sostenibilità (F. Traù *et al.*, 2020).

Per ciò che concerne la distribuzione settoriale dell'impegno alla sostenibilità, i comparti manifatturieri che risultano essere maggiormente indirizzati verso la sostenibilità ambientale sono cinque: la chimica, l'industria delle bevande, la farmaceutica, la gomma-plastica e la metallurgia, in quanto è in tali settori che si registra la maggiore incidenza di imprese che hanno intrapreso azioni orientate alle strategie "green" (F. Traù *et al.*, 2020).

A questi risultati si aggiunge un'ulteriore spinta prodotta dall'entrata in vigore in Italia (2020) dei decreti legislativi di recepimento del pacchetto europeo sull'economia circolare del 2018, seguiti dall'elaborazione del Programma nazionale per la gestione dei rifiuti (PNGR), cruciale per la definizione di una filiera industriale italiana pienamente circolare, che conterrà:

- La ricognizione impiantistica nazionale, basata sulla tipologia degli impianti e sul trattamento dei rifiuti;



- I criteri generali per strutturare piani settoriali di definizione delle specifiche tipologie di rifiuti, indicando le attività per garantire la riduzione, il riciclo, il recupero e l'ottimizzazione dei flussi degli stessi;
- I criteri generali per la definizione di “distretti interregionali” volti a garantire la migliore gestione degli impianti di trattamento dei rifiuti (F. Traù *et al.*, 2020).

Tale strumento risulta fondamentale per adeguare l'impiantistica nazionale alle performance richieste dagli obiettivi europei, dando ulteriore slancio al primato dell'Italia in tema di economia circolare e abbattendo le importazioni di materie prime, così da potenziare il livello di competitività del sistema produttivo italiano. Infatti, dallo studio condotto da CSC si stima che incrementando dell'1% la quota di materiale reimmesso nel sistema produttivo nazionale si potrebbe ottenere un risparmio economico di circa 10 miliardi di euro, partendo da un investimento di circa 2 miliardi in nuovi impianti e nell'ampliamento di quelli esistenti (F. Traù *et al.*, 2020).

Tornando alle politiche climatiche dell'UE sul tema della lotta ai cambiamenti climatici, l'“*Emission Trading System*” risulta essere la più ambiziosa, visto l'obiettivo di ridurre le emissioni del 40% al 2030 (11.000 impianti industriali in tutta Europa e 1.300 solo in Italia sotto sottoposti al sistema ETS). Tuttavia, affinché non si creino distorsioni alla concorrenza dovute alla disomogeneità nella distribuzione dei fondi e nell'impatto settoriale previsto dalle politiche ambientali, è necessario uno schema globale di “*carbon pricing*” che favorisca l'adozione del sistema ETS anche in Paesi extra-UE e scoraggi eventuali iniziative all'interno dell'Unione Europea in contrasto con la loro implementazione (F. Traù *et al.*, 2020).

L'Italia ha seguito le direttive comunitarie per ciò che concerne la riduzione delle emissioni di gas serra tramite la definizione del Piano Nazionale integrato Energia e Clima al 2030 (PNIEC), che mira ad abbattere le emissioni sia nei comparti industriali sottoposti al sistema ETS (-43%) che in generale nei principali comparti industriali, ad aumentare la produzione di energia rinnovabile (+30%) ed a migliorare l'efficienza energetica (+39,7%) nei consumi finali, con un fabbisogno di investimenti stimato per raggiungere i target di decarbonizzazione pari a circa 440 miliardi di euro entro il 2030 (F. Traù *et al.*, 2020).

Tale transizione “*green*” è risultata essere una leva strategica rilevante per l’industria italiana, consentendole di accrescere la componente intangibile dei propri prodotti, puntando sulla “reputazione green”, in coerenza con la traiettoria di sviluppo basata sull’upgrading qualitativo.

Richiamando l’esempio del settore automotive analizzato nel capitolo precedente, la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> è al centro del suo attuale quadro normativo, con il regolamento UE/2019/631 che fissa i criteri per le emissioni medie delle autovetture e dei veicoli commerciali immatricolati a partire dal 2020 e fino al 2030.

In Italia, l’automotive si compone di 5.529 imprese, dotate di 274.357 addetti, capaci di generare un fatturato di 105,9 miliardi di euro, che si contraddistinguono per uno spiccato grado di specializzazione tecnica nelle componenti meccaniche, di carrozzeria e nello sviluppo dei motori a combustione, mentre è marginale lo sviluppo di motori elettrici (F. Traù *et al.*, 2020).

In virtù della rilevanza strategica dell’automotive nell’economia italiana e la sua necessaria transizione verso la mobilità elettrica, le politiche industriali devono guidare il processo di riconfigurazione, valorizzando le competenze tecnologiche già esistenti, acquisendone di nuove, ma soprattutto “spingendo l’acceleratore” sul sostegno alle attività di ricerca, sviluppo e innovazione delle imprese.

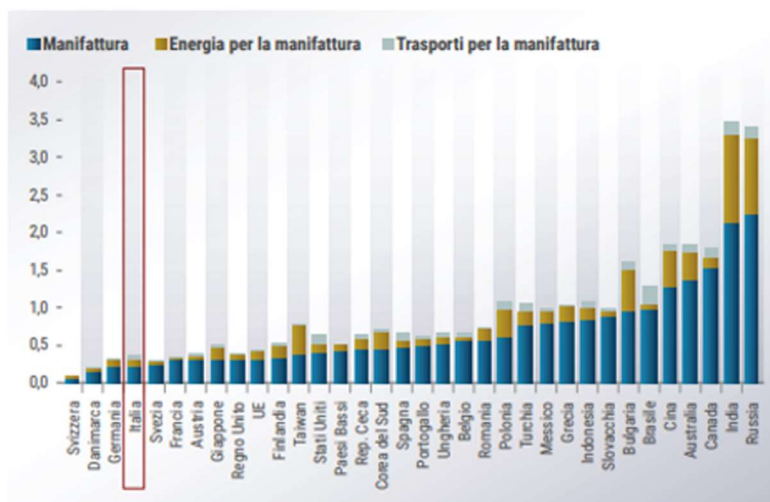
In tal senso, la partecipazione dell’industria automotive italiana ai grandi progetti comuni di interesse europeo, ai prossimi programmi di “*Horizon Europe*” ed al Programma Nazionale della Ricerca 2021-2027 risulta decisiva, anche per sostenere la domanda di veicoli HEV e EV.

Ad oggi non vi è Paese che abbia eliminato i combustibili fossili dalle fonti energetiche delle sue attività produttive, sebbene sia possibile riscontrare un’elevata eterogeneità nell’intensità delle emissioni tra i diversi sistemi manifatturieri nazionali, sulla base diverso peso che hanno le varie fonti di origine fossile nel mix energetico utilizzato e delle tecnologie di produzione.

Sulla base del rapporto tra le emissioni ed il valore aggiunto manifatturiero, si può definire il grado di sostenibilità ambientale delle filiere industriali presenti nei diversi Paesi (misurato in tonnellate di CO<sub>2</sub> per migliaia di dollari di valore aggiunto a prezzi correnti)

ed dei primi dieci paesi che presentano il sistema manifatturiero a minor impatto ambientale, nove sono europei, con le manifatture danese, tedesca e italiana, rispettivamente al secondo, terzo e quarto posto di questa classifica, evidenziando l'impegno che gli stati membri della UE hanno speso per ridurre le emissioni di gas serra nell'atmosfera a partire dall'Accordo di Kyoto del 1998 e dopo con l'Accordo di Parigi del 2015 (F. Traù *et al.*, 2020).

Figura 13



Impronta carbonica misurata in tonnellate di CO2 equivalente per migliaia di dollari di valore aggiunto manifatturiero, 2019.

Fonte: Centro Studi Confindustria su dati Banca mondiale. EDGAR. IHS

Sebbene i due terzi delle imprese manifatturiere italiane abbiano intrapreso volontariamente azioni in favore della sostenibilità nelle proprie attività industriali, la filiera industriale delle fonti rinnovabili elettriche e termiche non ha ancora raggiunto un elevato valore economico nel nostro Paese, che si accompagna alla nota difficoltà italiana a tradurre gli sforzi innovativi in capacità brevettuale.

Infatti, come sottolineato dallo studio del CSC, basato sui dati di fonte OCSE, nonostante l'Unione Europea, considerata come entità unica, sia al primo posto a livello mondiale per numero di innovazioni "green" (25,3% del totale, nel 2016), l'Italia occupa una posizione marginale, con un contributo alla performance europea nell'ambito brevettuale "green" pari al 4,6%, ben lontano dal 43,1% della Germania e dai risultati di Francia (13%) e Gran Bretagna (9%) (F. Traù *et al.*, 2020).

Si rende necessaria la definizione di nuovi "incubatori" tecnologici legati alla sostenibilità ambientale e sociale, per riuscire ad avvicinare l'ecosistema dell'innovazione industriale

a quello della ricerca pubblica, partner di rado o quasi mai rilevante per l'esplorazione e la sperimentazione scientifica a fini industriali.

Questa condizione caratterizza un'anomalia tutta italiana, che non ritroviamo in nessun altro paese europeo, che richiede un approccio collaborativo tra ricerca pubblica e privata, guidato da una chiara visione strategica comune di medio-lungo periodo coerente con le traiettorie di sviluppo europee, avente l'obiettivo di creare positive ricadute tecnico-produttive sostenibili.

In tale ambito, degno di nota è quanto detto in occasione dell'evento "*Smart Manufacturing Sostenibile*" promosso da "The Innovation Group" da Flavio Tonelli, ingegnere e professore ordinario di sostenibilità industriale e industria digitale all'Università di Genova, che si è focalizzato sul fatto che "*la manifattura italiana non è produzione di massa. Non si è ancora compreso che il grande potenziale che deriva dalla vendita di prodotti ad elevato valore aggiunto non è divergente rispetto al tema sostenibilità. [...] Questa l'essenza del nostro sistema produttivo e quindi opportunità*". Tonelli continua dicendo che "*se da una parte si deve continuare a ripensare le supply chain e a mettere al riparo le imprese dal rischio di dipendenza (energetica, materie prime) evitando che la volatilità geopolitica metta in crisi le produzioni, dall'altra si deve mirare a "manifatturare la sostenibilità"* (P. Macrì, 2023).

Con tale espressione, il professore fa riferimento alla realizzazione della "*green economy*" attraverso lo sviluppo di nuovi materiali, dispositivi, piattaforme, sistemi e macchine rivolte alla creazione di prodotti sostenibili, all'economia circolare, al de-manufacturing ed al re-manufacturing (P. Macrì, 2023).

Tonelli, infatti, ricorda come "*oltre ad essere seconda manifattura d'Europa l'Italia è la prima manifattura di prodotti a più alto valore aggiunto del mondo. Nel nostro DNA manifatturiero esiste già la capacità di sviluppare soluzioni personalizzate ed è in questo solco che vanno individuate le opportunità per manifatturare la sostenibilità. [...] Se non ci rendiamo conto di questo, rischiamo di azzerare ogni nostro vantaggio competitivo*".

Il professore, poi, conclude dicendo che "*sono questi i temi che dobbiamo portare nel dibattito europeo in merito alla doppia transizione che implica la green economy, quella energetica e quella digitale*" (P. Macrì, 2023).

L'attenzione nell'ambito della ricerca nelle scienze applicate verso le tematiche della sostenibilità ambientale è "recente", in quanto l'effettiva "esplosione" del numero

complessivo di depositi brevettuali “green” presso l’EPO (“European Patent Office”) si è osservata solo nei primi anni duemila, con un tasso medio di crescita annuo pari a sette mila unità, trainato dalle applicazioni tecnologiche nel campo delle energie e dei trasporti, dell’efficienza energetica degli edifici e della cattura delle emissioni inquinanti.

Sebbene negli ultimi anni il sistema industriale italiano abbia mostrato dei tenui segnali di miglioramento, ciò che risalta maggiormente è la difficoltà nel rispondere alle spinte ambientali e di sostenibilità attraverso lo sviluppo endogeno di tecnologie “green”.

Infatti, nonostante l’Italia sia uno dei Paesi europei con il deposito brevettuale più in crescita, con 5.053 domande depositate e un incremento del 3,8% rispetto al 2022, il nostro paese si attesta al quinto posto tra i Paesi dell’Unione Europea che presentano domande di brevetto all’EPO, dietro Germania (24.966 domande), Francia (10.814 domande), Paesi Bassi (7.033 domande) e Svezia (5.139 domande), ed all’undicesimo posto se si considerano tutti i paesi che presentano domanda (F. Traù *et al.*, 2020).

I processi di generazione e di sfruttamento commerciale delle innovazioni “green”, come accade per altri driver tecnologici, hanno una forte connotazione nazionale, in quanto la natura, spesso tacita, della conoscenza detenuta all’interno delle società ed organizzazioni richiede frequenti interazioni umane e, quindi, è favorita dall’identità culturale e dalla prossimità geografica.

Come riportato nel report CSC, quando gli inventori di uno brevetto risultano essere più di uno, essi sono nel 93,3% dei casi residenti nello stesso paese e ciò vale anche per i beneficiari della nuova conoscenza brevettata (residenti nello stesso paese nel 91,9%).

In Italia, tali valori si attestano all’89,4% e all’81,7% dei casi, mentre nei casi restanti i legami internazionali degli inventori italiani fanno capo soprattutto negli Stati Uniti, in Germania, Svizzera ed in Francia, sia per quanto concerne le collaborazioni di ricerca tra inventori, sia nei rapporti tra inventori e applicanti (F. Traù *et al.*, 2020).

In questo senso, guardando alla transizione “green”, Enrico Pisino, ceo del CIM4.0 Competence Center di Torino fa una riflessione: *“le nuove regole del gioco implicano una strategia non più basata sulla sola produttività ma sulla sostenibilità che non deve essere vista come un vincolo dettato dalle nuove normative europee. Per fare questo serve una politica industriale, ambiziosa e strategica, che vada ben oltre l’industria 4.0”* (P. Macri, 2023).

Proprio in risposta alla necessità di passare oltre il precedente paradigma industriale che sono nate le Società Benefit, imprese il cui oggetto sociale affianca agli obiettivi di profitto la generazione di un impatto positivo sull'ambiente e sulla società, bilanciando gli interessi degli azionisti con quelli degli stakeholder e della comunità in generale (Ecocamere, 2023).

La forma giuridica della Società Benefit è stata ufficialmente introdotta in Italia con la Legge 208/2015 (art. 1, commi 376-384), preceduta solo dagli Stati Uniti che avevano istituito le Benefit Corporation già nel 2010 (Ecocamere, 2023).

L'aspetto legale delle Società Benefit sottolinea la volontà di generare un netto cambiamento rispetto alle società tradizionali, dato dalla necessità di incorporare nel proprio statuto l'impegno a operare secondo standard sociali ed etici, valutando il proprio impatto e contribuendo alla risoluzione di alcune delle sfide sociali più pressanti a livello globale (M. Massolini *et al.*, 2023).

In virtù della loro propensione alla sostenibilità, le Società Benefit hanno la possibilità di individuare degli spazi di mercato nuovi ed unici nell'ambito dell'innovazione basata sulle pratiche sostenibili, influenzando l'elaborazione di politiche di sostenibilità e la definizione di coalizioni settoriali (M. Massolini *et al.*, 2023).

Le Società Benefit in Italia sono ad oggi circa 3.600, con un trend di crescita che è esploso nel primo periodo post-COVID (+300% di incrementi di Società Benefit tra il 2020 ed il 2021) per poi andarsi ad assestare (+55% tra il 2021 ed il 2022 e +38% tra 2022 e 2023), seppur mantenendo una crescita di notevole entità (Ecocamere, 2023).

Oltre il 45% delle Società Benefit opera in Attività professionali, scientifiche, tecniche e di informazione e comunicazione e si concentrano soprattutto nella regione Lombardia, dove è localizzato circa il 35% delle Società Benefit, seguita da Lazio (11%) e Veneto (10%) (Ecocamere, 2023).

In questo contesto, le Società Benefit stanno ridefinendo le regole del gioco e sono chiamate a svolgere un ruolo di leadership nel processo di revisione degli approcci al business management, mettendo al centro la ricerca e la creazione delle soluzioni che determinino una collaborazione molto intensa e innovativa tra aziende, governi ed organizzazioni ambientali verso la tecnologia verde e le energie rinnovabili per fornire opportunità di sviluppo economico sostenibile.

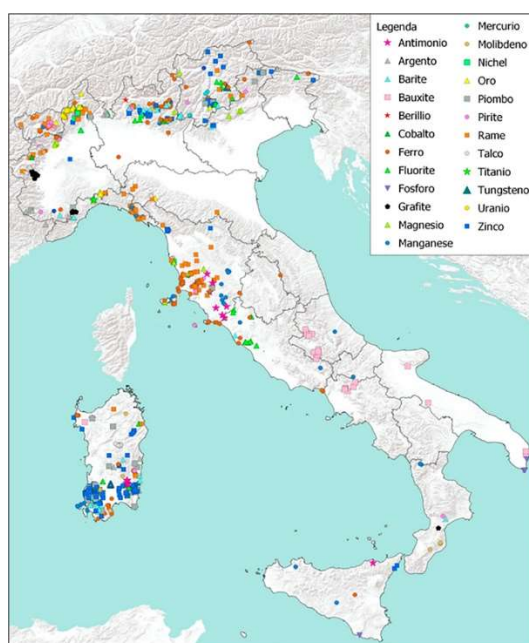
Le innovazioni tecnologiche, come le nuove soluzioni per la gestione dei rifiuti o le tecnologie pulite, offrono opportunità di sviluppo e miglioramento delle prestazioni sostenibili, che possono essere sfruttate dalle Società Benefit per differenziarsi sul mercato e migliorare l'efficienza delle loro operazioni.

Dati di bilancio alla mano, si evince come le Società Benefit nel triennio tra il 2019 e il 2021 siano riuscite a quadruplicare il valore aggiunto generato dalle stesse e ad incrementare di tre volte il loro risultato netto (M. Massolini *et al.*, 2023).

## 4.2 CRM: la situazione nel sottosuolo italiano e la sua organizzazione

Le materie prime critiche sono sempre più cruciali nel processo di transizione ecologica e, al momento, i siti estrattivi di tali materiali individuati in Italia tra il 1870 e oggi e per i quali si è riusciti ad ottenere documenti certificati ammontano ad un'ottantina, su un totale di 3016 miniere attive (Figura 16). Infatti, nella maggioranza dei casi si tratta di siti per l'estrazione di zolfo, marne da cemento e minerali metalliferi (galena e blenda in particolar modo) (A. Turco, 2023).

Figura 16



Mappa dei siti da cui estrarre materie prime critiche

Fonte: ISPRA

Assorisorse, associazione che riunisce le imprese della filiera dell'energia e delle miniere, nel delineare lo scenario nazionale, evidenzia come la produzione di “materiali industriali” si attesti ad oltre dieci milioni di tonnellate, portando l'Italia ad essere il terzo paese a livello globale per la produzione di feldspato ed il decimo nella produzione di talco (D. Madeddu, 2020).

Andando ad analizzare nel dettaglio le miniere dedicate all'estrazione di materie prime critiche presenti sul territorio italiano, possiamo individuare alcuni siti che risaltano rispetto agli altri e che vale la pena citare.



Per ciò che concerne la presenza di litio sul nostro territorio, le analisi condotte dai ricercatori del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) hanno rinvenuto ingenti quantità di tale materia prima nelle rocce magmatiche plioceniche-quadernarie della Toscana e del Lazio. Queste si aggiungono ai rinvenimenti degli anni '70 ad opera dell'ENEL, che identificò un'elevata concentrazione di litio (fino a 380 mg/L) nelle acque geotermali dei pozzi della Valle del Baccano, antico cratere vulcanico nella zona di Campagnano di Roma, ad oggi nuovamente al centro delle ricerche e delle esplorazioni del litio ad opera della compagnia australiana Altamin (D. Ravidà, 2023).

In riferimento al titanio, invece, il giacimento Piampaludo in Liguria è considerato la più grande riserva di numerosi materiali a base di titanio (specialmente il rutilo) non solo in Italia, ma anche in Europa, in virtù di un potenziale estrattivo tra le nove e le venti milioni di tonnellate di ossido di Titanio. Ulteriore riserva di titanio sono le rocce metamorfiche del Parco del Beigua, una riserva naturale protetta, nonché geoparco dell'UNESCO, motivo per il quale non è mai stata concessa l'autorizzazione all'estrazione e alla realizzazione di una miniera nel giacimento di Piampaludo e del Parco del Beigua a causa della rilevanza della biodiversità delle zone e dell'impatto ambientale che ne deriverebbe (D. Ravidà, 2023).

Per il piombo e zinco, ritroviamo la compagnia Altamin che porta avanti un progetto in provincia di Bergamo per riattivare le limitrofe miniere di galena e blenda (fonte di piombo e zinco), mentre in Sardegna la mineraria Gerrei mira a rimettere in funzione la miniera di Silius, ricca di terre rare (D. Madeddu, 2023).

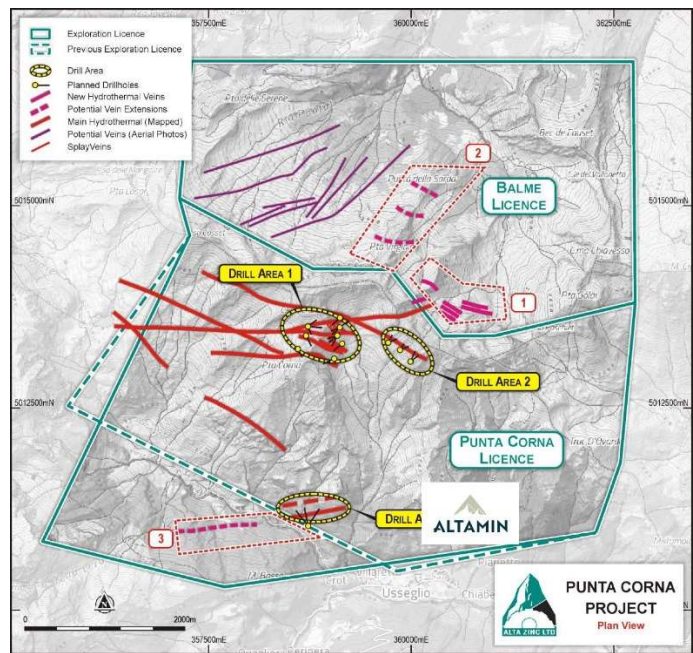
Ancora alla compagnia di estrazione e ricerca australiana si deve l'attenzione all'area della Corchia in Emilia-Romagna, dove ha ottenuto il permesso per proseguire un programma esplorativo per la valutazione dei dati storici, la tracciatura di una mappa geologica ed il campionamento dei materiali rinvenuti, tra cui rame, cobalto e metalli associati (D. Madeddu, 2023).

Il sito considerato era tra i più importanti per la "coltivazione" del rame sino agli anni '40 e si stima avere una disponibilità sufficiente fino al 2026, avendo poi la possibilità di essere rinnovato, grazie alle moderne tecniche di esplorazione, economiche ed a basso impatto ambientale.

Terre rare, litio, cobalto, fino al rame, sono elementi indispensabili per le reti elettriche e di comunicazione, per la circuiteria elettronica e per le tecnologie ad energia rinnovabile e dei trasporti, con tutta la “green economy” che basata su di esse.

Infine, altrettanto importante è il sito di estrazione di cobalto presente in Piemonte presso Punta Corna, dove Altamin ha ottenuto la licenza all’esplorazione e procede con perforazioni esplorative del giacimento (Figura 17) (D. Ravidà, 2023; A. Turco, 2023).

Figura 17



Distribuzione ed estensione delle potenziali vene minerali e la posizione delle perforazioni pianificate nelle concessioni di Punta Corna.

Fonte: Altamin

Non a caso, infatti, mai come ora si sta investendo in ricerca mineraria e formazione, visti gli ingenti ritorni economici che il settore può garantire e per la sua rilevanza nel perseguire un modello di sviluppo incentrato sulla connettività e sostenibilità.

Da quanto analizzato nel capitolo 3, si evince come l’avanzamento verso la transizione energetica si tradurrà in un aumento esponenziale della domanda di metalli critici, che, tuttavia, l’Europa farà fatica a soddisfare a causa della ridotta attività estrattiva e della insufficiente capacità di raffinazione.

Il passaggio dallo sfruttamento delle combustibili fossili quale principale fonte di energia all’elettrificazione richiede una ristrutturazione completa dell’intera infrastruttura energetica, fin dalle prime componenti della catena di approvvigionamento.

Infatti, Bloomberg stima che per raggiungere l'obiettivo di emissioni zero entro il 2050 sarà necessario raggiungere 242 milioni di tonnellate di metalli, partendo dalle 52 milioni di tonnellate attuali, per un valore totale di dieci mila miliardi di dollari. Sempre Bloomberg stima che le dimensioni della rete elettrica globale dovranno quasi raddoppiare, richiedendo enormi quantità di acciaio, rame e alluminio, con il rame che sarà utilizzato soprattutto nell'espansione della rete globale, che dovrà raggiungere i 152 milioni di chilometri entro il 2050, mentre si deve alla costruzione delle turbine eoliche il consumo di grandi quantità di acciaio, che costituisce la principale componente di una pala eolica, e di terre rare, in particolare il neodimio (G. Torlozzi, 2023).

L'Europa dipende fortemente dalle importazioni di tali risorse da paesi terzi, con l'Italia che è uno dei Paesi in cui tale dipendenza è molto accentuata.

Infatti, come emerge dalle ricerche di "The European House" ("*Le opportunità per la filiera dei RAEE all'interno del Critical Raw Materials Act*") l'Italia è il primo Paese in UE per incidenza sul PIL (ben il 38%) della produzione industriale sostenuta da CRM, valutata 686 miliardi di euro, registrandone un aumento del 35% solo nell'ultimo decennio (L. Tavazzi *et al.*, 2023).

In virtù di tali dati, si prospetta che tra il 2020 e il 2040 il fabbisogno italiano di materie prime critiche aumenterà di 11 volte (L. Tavazzi *et al.*, 2023).

L'Italia, pur presentando una disponibilità "appena sufficiente" di alcuni dei materiali ad oggi al centro dell'attenzione, non si trova nelle condizioni per poterne sfruttare al massimo le potenzialità a causa dei vincoli ambientali e di una burocrazia lenta e farraginoso. Inoltre, la ricerca mineraria in Italia ha avuto una battuta di arresto sul finire degli anni '90, in quanto, piuttosto che investire in ricerca e innovazione delle nostre miniere, si è preferito ricorrere alle importazioni estere a basso costo, seguendo un'ottica poco lungimirante e che ha determinato la nostra dipendenza dai mercati esteri (A. Turco, 2023).

In un contesto condizionato da fattori economici, logistici, e geopolitici non controllabili, si evidenzia, ancora una volta, come l'economia circolare, sostenuta da un design di produzione e da modelli di business incentrati su di essa, così come l'aumento di fonti di approvvigionamento locali siano le due principali strade da percorrere nel ricercare soluzioni più sicure tali da giustificare investimenti di lungo termine.

A tal proposito si è espresso Franco Manca, geologo tra i più illustri nel panorama italiano nonché dirigente e manager minerario, che sostiene che *“oggi non si può fare più quello che si faceva ieri in tema di utilizzo di risorse naturali e materie prime. Oggi c'è una parola tanto cara anche alle istituzioni europee che si chiama sostenibilità. E questo concetto lo si deve dimostrare anche nelle attività che si vogliono portare avanti in ambito estrattivo. [...] Pensiamo al cobalto, in Europa c'è quasi una corsa a recuperare vecchi siti minerari di questo materiale che serve nell'utilizzo degli accumulatori di energia. È chiaro che le produzioni dovranno essere fatte all'interno di un ragionamento di sostenibilità che parte dalle condizioni di lavoro per arrivare all'utilità del prodotto lavorato. [...] Al futuro delle miniere deve essere legato quello delle bonifiche e risanamento delle vecchie discariche che, in molti casi, si rivelano vere e proprie miniere d'oro”* (D. Madeddu, 2020)

Infatti, gli investimenti nella costruzione di nuovi impianti minerari si devono affiancare a quelli per la generazione di nuove competenze sul riciclaggio e sul riutilizzo dei materiali, favorendo la specializzazione in attività tecnologicamente più avanzate e sostenibili, garantendo una maggiore adattabilità ai cambiamenti nella domanda di CRM (L. Ciarrocchi, 2023).

Per poter raggiungere tale scopo è necessario mappare e conoscere più a fondo il territorio, attraverso esplorazioni ed estrazioni, accelerando la ricerca e lo sviluppo nel settore minerario ed aggiornando l'elenco delle materie prime critiche e strategiche.

È proprio in questa direzione che si sta muovendo Assorisorse nel portare l'industria estrattiva italiana verso un nuovo “rinascimento”, recuperando lo svantaggio legato alla limitata conoscenza dei processi di esplorazione, estrazione e trasformazione dei minerali critici, garantendo alle imprese nazionali manifatturiere una sicurezza di lungo termine per i loro investimenti.

Per far sì che tale impegno dia i suoi frutti, bisogna poter contare su riferimenti legislativi chiari a sostegno della competitività delle imprese e generare un ambiente industriale che sappia riconoscere e diffondere la consapevolezza delle opportunità del nostro patrimonio geologico e minerario, nel rispetto degli attuali standard ambientali, minimizzando gli impatti sugli ecosistemi locali, e utilizzando tecnologie all'avanguardia in termini di sostenibilità e sicurezza del personale.

Proprio a questo scopo, sono diverse le iniziative ed i gruppi di lavoro e ricerca che sono stati avviati a livello nazionale all'interno del "Tavolo Nazionale Materie Prime Critiche", composto da rappresentanti di centri di ricerca nazionali, Confindustria, Assorisorse ed enti operanti nel settore del riciclo, che ha il compito di mappare il fabbisogno di materie prime critiche nelle singole regioni e comparti industriali e di formulare proposte per una strategia nazionale di approvvigionamento sicuro e sostenibile che includa anche lo sfruttamento delle risorse del paese (D. Ravidà, 2023).

In particolare, quattro sono i gruppi di lavoro che è possibile individuare:

- "Analisi Fabbisogni", coordinato da Confindustria con l'obiettivo di dare una stima dei bisogni futuri di CRM in Italia ed in Europa, tenendo conto dell'andamento di domanda ed offerta nel mercato.
- "*Mining*", coordinato dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione Ambientale), che mira ad identificare le potenzialità estrattive sul territorio nazionale, sostenendo un'estrazione sostenibile e lo sfruttamento di siti abbandonati e residui minerari. Infatti, i rifiuti estrattivi di attività abbandonate prima del 2008 non sono sottoposti ad un piano di gestione che ne prevede il riutilizzo da parte delle aziende in attività (decreto legislativo n°117/2008), rendendo necessaria una nuova norma per le miniere abbandonate, che permetta la coltivazione dei rifiuti estrattivi storici come potenziale fonte secondaria di materie prime, nonché il riutilizzo dello sterile, cioè il rimanente dopo l'estrazione dei minerali utili, su cui diverse università ed enti di ricerca stanno lavorando per individuare nuove applicazioni.
- "*Ecodesign*", coordinato da ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile), che analizza l'impatto dell'eco-design nel ridurre la domanda di materie prime critiche.
- "*Urban Mining*", coordinato da ENEA con lo scopo di determinare il potenziale delle attività di recupero dei CRM dai rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) (D. Ravidà, 2023).

Si sta lavorando alla definizione di criteri ambientali e sociali coerenti con le necessità contemporanee e con quelli già accettati dalla maggior parte delle compagnie minerarie occidentali, come l'utilizzo di energie rinnovabili per la coltivazione mineraria, il

riutilizzo delle acque di lavorazione, lo sfruttamento di tutti i minerali presenti nel giacimento, la mitigazione degli impatti sulle acque sotterranee e sulla biodiversità nonché la minimizzazione del consumo di suolo, tutto allo scopo di de-carbonizzare l'economia nell'ottica delle politiche “*Net Zero*”.

In tal senso, Assorisorse, allo scopo di diffondere la conoscenza sulla materia e di definire proposte pubbliche per lo sviluppo sostenibile del settore estrattivo in Italia, ha istituito, il primo Osservatorio Italiano Materie Prime Critiche Energia (OimCE) insieme a WEC Italia e SDA Bocconi (Assorisorse, 2023).

Sempre ad Assorisorse, in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e con l'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, si devono gli sforzi per identificare e caratterizzare i depositi e i minerali del fondo marino del Mar Tirreno per esigenze industriali e tecnologiche (Assorisorse, 2023).

Infine, l'Assorisorse è partner della rete GeoSciences IR, progetto rientrante nel PNRR e finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca a cui partecipano tredici Università e tre Enti di Ricerca con l'obiettivo di realizzare una nuova infrastruttura innovativa di ricerca per la Rete Italiana dei Servizi Geologici (RISG), fondata sull'open cloud (Assorisorse, 2023).

La strategia italiana in ambito minerario si affianca al “*Critical Raw Materials Act*” promosso dalla Commissione Europea, con l'Unione che punta ad identificare progetti strategici lungo tutta la filiera, dall'estrazione alla raffinazione, dalla lavorazione al riciclo.

Altrettanto importante per il rilancio dell'attività mineraria è lo snellimento degli iter burocratici e autorizzativi che devono accodarsi al cambio di paradigma verso approccio industriale innovativo 5.0 e la trasformazione dell'attività mineraria in un fattore trainante di sviluppo anche delle comunità locali. Le attività minerarie e di riciclo devono essere pensate e viste come un insieme integrato con le necessità del territorio, coniugando lo sviluppo industriale sostenibile con le esigenze ed il benessere delle comunità sulla base di elementi e criteri scientifici, economici e sociali. Infatti, ingenti sono i rischi in termini di costi ambientali e sociali associati alla riapertura di vecchi giacimenti o lo sfruttamento di nuovi, se quest'ultima avviene seguendo un approccio standard.

Nonostante ciò, le opportunità che si possono sviluppare partendo dal nostro patrimonio geologico sono numerose e, sebbene il raggiungimento di una totale indipendenza dalle importazioni estere sia abbastanza irrealistica da raggiungere, l'industria nazionale potrebbe attivarsi maggiormente nel mercato delle materie prime minerarie, soprattutto nell'ambito delle tecnologie associate.

L'Italia, infatti, si sta muovendo per svolgere un ruolo primario nello scacchiere delle relazioni con i Paesi produttori, promuovendo le competenze della nostra filiera industriale nell'ambito energetico, riconosciuto come un'eccellenza e composta da aziende operanti in molti dei Paesi di interesse e che potrebbero diventare protagoniste anche sui CRM, esportando approcci industriali sostenibili e l'utilizzo delle migliori tecnologie.

L'insieme di questi principi e delle ricerche che si sono basati su di essi rappresenta le fondamenta per la realizzazione della nuova Carta Mineraria Italiana, contenente la localizzazione e tutti i dati dei giacimenti noti e quelli ipotizzati. Questa carta può rappresentare una revisione della strategia nazionale tale da permettere l'avviamento di una nuova attività mineraria sostenibile su giacimenti primari e secondari utile a favorire la crescita dell'industria 5.0 in Italia (A. Turco, 2023).

### 4.3 La risposta italiana al CRMA: il database GeMMA

La combinazione delle diverse iniziative fin qui visionate ha come obiettivo la generazione di una filiera estrattiva, di raffinazione e recupero di materiali strategici per garantire un livello soddisfacente di approvvigionamento all'industria italiana e, dunque, un vantaggio competitivo nei confronti della concorrenza internazionale.

Il tutto si viene a concretizzare nella redazione della nuova Carta Mineraria Italiana e nella definizione della bozza del nuovo Piano Nazionale Minerario, che non solo si confronta con il gap del Paese sul fronte della disponibilità mineraria e attività di raffinazione, ma anche per ciò che concerne la reperibilità dei capitali finanziari e lo sviluppo delle competenze necessarie, attraverso una stretta collaborazione tra ambito pubblico e quello privato (G. Torlozzi, 2023).

Proprio a tale scopo è stata istituita la Task Force Critical Raw Materials, composta da diverse aziende della filiera energetica ed estrattiva, per facilitare la condivisione di competenze, know-how e delle modalità operative più efficienti, lavorando all'individuazione di percorsi di successo da sviluppare in Italia ed esportare altrove. Tra le imprese coinvolte figurano: Baker Hughes, Bonatti, Eni, GM Green Methane, Gruppo Hera, Italfliuid Geoenergy, Minerali Industriali, Rina Consulting, Saipem, Sibelco, Wasteandchemicals. Queste sono affiancate da esperti e tecnici esterni che li supportano nel loro operato, tra cui: Domenico Savoca, Presidente di Associazione Nazionale Ingegneri Minerari (ANIM), i coordinatori di SPE-Italia ("*Society of Petroleum Engineers*") e Corrado Baccani, ex consigliere in Assorisorse (Assorisorse, 2023).

Gli obiettivi operativi a cui mira la Task Force sono:

- Definire un quadro normativo che renda l'Italia un Paese all'avanguardia per l'estrazione, la raffinazione ed il riciclo dei CRM;
- Definire un metodo di mappatura del potenziale nazionale minerario, le tecnologie da implementare nelle infrastrutture esistenti;
- Individuazione dei siti target nelle varie aree geografiche a partire da siti storici;
- Coinvolgere gli stakeholders istituzionali (Università, ISPRA, Unmig) (Assorisorse, 2023).



Tali sforzi sono la dimostrazione del fatto che la filiera estrattiva italiana si compone di imprese che detengono le tecnologie e il know-how per affrontare la sfida posta dai CRM, rappresentando una chiara opportunità per tutti i comparti industriali italiani, dato dalla composizione armonica di economia circolare, innovazione, digitalizzazione, chimica ed architettura ambientale.

Per la Task Force, infatti, è necessario definire una politica industriale organica e un approccio “*disruptive*” in accordo con i principi di Industria 5.0, evitando il semplice adeguamento dei processi tradizionali (Assorisorse, 2023).

Tuttavia, come evidenzia anche l’ordine delle priorità della Task Force, è anzitutto fondamentale riformare la legislazione mineraria in Italia, in quanto fa ancora riferimento al Regio Decreto n. 1443/1927, secondo cui le miniere appartengono allo Stato e sono soggette alla procedura di concessione, mentre le cave rientrano nel diritto privato e sono soggette alla procedura di autorizzazione (M. Lucarini *et al.*, 2020).

Col tempo, le competenze amministrative e tecniche sull'estrazione di minerali non energetici sono state trasferite, in tempi diversi, alle Regioni (per ciò che concerne le cave si fa riferimento al DPR 24 luglio 1977 n. 616, mentre per le miniere al d.l. 31 marzo 1998 n. 112 e d.l. 22 giugno 2012 n. 83) (M. Lucarini *et al.*, 2020).

In assenza di linee guida nazionali, tutte le Regioni hanno legiferato in materia, determinando una pianificazione regionale diversificata e banche dati eterogenee per qualità e completezza dei dati, rendendo necessaria l'armonizzazione dei dati disponibili e la loro organizzazione in una struttura informatica dedicata per ottenere un quadro organico a livello nazionale.

Tenendo conto della frammentazione dei dati minerari italiani e dell’assenza di una struttura informatica nazionale condivisa tra Stato e Regioni dedicata all'integrazione degli aspetti geologici, minerari, ambientali, culturali e gestionali delle attività estrattive, ISPRA ha avviato la realizzazione della banca dati GeMMA, volta alla raccolta ed alla condivisione delle informazioni minerarie disponibili, armonizzate e conformi con INSPIRE (“*Infrastructure for Spatial Information in Europe*”) e con “*European Union Raw Materials Knowledge Base*” (EURMKB) (M. Lucarini *et al.*, 2020).

Oltre ai dati provenienti da altre banche dati esistenti, GeMMA è stato progettato per raccogliere informazioni che riguardino anche ripristino ambientale dei siti, la gestione

dei rifiuti minerali e gli impianti di riciclaggio dei materiali da costruzione e demolizione. Il suo compito è quello di definire la situazione nazionale delle attività estrattive, tenendo conto del grado di sostenibilità delle pratiche estrattive e delle potenzialità dei beni minerali dismessi o abbandonati, compresi i rifiuti minerali accumulati nel tempo. Ogni sito codificato vedrà associate le informazioni relative alle fonti dei dati forniti, alla tipologia di sito estrattivo e al tipo di minerale estratto, allo stato delle attività, alla presenza di parchi e riserve ed alle condizioni ambientali (M. Lucarini *et al.*, 2020).

Per la sua piena ed efficace implementazione è necessario creare un dialogo flessibile e le condizioni per una convergenza basata sulla leale ed equa collaborazione tra Stato e Regioni, nel rispetto delle specifiche competenze dei vari livelli territoriali, affinché GeMMA diventi un valido strumento di supporto per lo sviluppo di politiche nazionali e regionali orientate alla produzione sostenibile e all'uso efficiente e circolare delle risorse minerarie primarie e secondarie (M. Lucarini *et al.*, 2020).

Quest'ultimo tema è divenuto cruciale da quando la Commissione europea ha emanato la Direttiva sui rifiuti di estrazione (Direttiva 2006/21/CE) che stabilisce che nelle aree minerarie attive i rifiuti di estrazione sono soggetti a un piano di gestione per il trattamento, il recupero e lo smaltimento volto al massimo riutilizzo dei rifiuti estratti (articolo 5); per le aree minerarie chiuse o abbandonate, invece, i rifiuti di estrazione sono soggetti all'inventario delle strutture di deposito dei rifiuti (articolo 20) (M. Lucarini *et al.*, 2020).

Ogni Stato membro ha recepito la direttiva nel proprio ordinamento giuridico e, per l'Italia, il database GeMMA è il completamento del percorso di adeguamento seguito dal nostro Paese. Le informazioni in esso catalogate non solo mappano i siti estrattivi attivi e ne individuano di nuovi, ma evidenziano i bacini ed i depositi ricchi di rifiuti minerali che potenzialmente contengono CRM in quantità e concentrazioni rilevanti, consentendo così di valutare il loro possibile recupero.

## **Conclusioni**

L'Italia è una delle prime realtà per efficienze nell'utilizzo dei materiali e dell'energia, che risultano cruciali per un Paese che si caratterizza per una penuria di fonti minerarie

ed energetiche sul suo territorio. La ridotta impronta carbonica della nostra industria, infatti, è il risultato di un'eccellenza italiana nell'uso delle risorse a sua disposizione, sospinta da una tendenza ad implementare fonti di energia pulita ed innovazioni “*green*” pressoché omogenea tra le imprese italiane, indipendentemente dalla loro dimensione. Ciononostante, l'assenza di una stretta collaborazione tra l'ambito pubblico e quello privato determina il gap tra il nostro Paese ed il resto delle potenze europee in termini brevettuali e di sviluppo di tecnologie sostenibili.

La ricerca e lo sviluppo sono assolutamente centrali per poter raggiungere una posizione di guida nel processo di transizione sistemica e grazie a collaborazioni virtuose tra imprese, Stato ed istituti di ricerca e di formazione si possono ottenere risultati eccelsi, come è il database GemMA.

## ***Conclusioni***

Questa tesi ha approfondito l'analisi delle caratteristiche del paradigma industriale che ha caratterizzato l'ultimo decennio (Industria 4.0) in tutte quelle che sono le sue caratteristiche tecniche e sociali, sia nel contesto internazionale che nel panorama italiano, sottolineando come il nostro comparto manifatturiero si contraddistingua per dimensione e diversificazione della produzione ma, di contro, risulti ancora carente nel processo di digitalizzazione, centrale nella quarta rivoluzione industriale.

Quest'ultima, però, non è all'altezza delle sfide attuali imposte dal cambiamento climatico e dall'attenzione al fattore sociale ed etico del progresso, concetti ampiamente discussi nel “*Green Deal*” europeo da cui si è avviata la ricerca di una nuova idea di sviluppo capace di garantire un futuro “sostenibile”, in cui le generazioni prossime possano prosperare e soddisfare le loro necessità.

È in quest'ottica che è nato il paradigma di Industria 5.0, che ha come obiettivo il riportare il benessere sociale e ambientale al centro dei percorsi di sviluppo, indicando un piano di evoluzione industriale capace di associare al profitto il benessere dell'uomo e del nostro pianeta, attraverso l'evoluzione delle tecnologie digitali proprie dell'Industria 4.0 (concetto alla base della transizione gemellare digitale e sostenibile).

In questo processo di transizione tra le due rivoluzioni industriali, si è evidenziato il ruolo centrale giocato dalle materie prime critiche (CRM), materiali essenziali per la produzione delle tecnologie e dei macchinari “*green*” necessari al perseguimento delle politiche Net Zero europee. Tuttavia, proprio in virtù della loro importanza strategica, sono materiali che sempre più spesso si trovano al centro di dispute e conflitti geopolitici, dal momento che molti di questi minerali si trovano concentrati in pochi paesi, prima su tutti la Cina, condizionando fortemente le loro catene di approvvigionamento. Tali aspetti sono stati ben evidenziati nel Critical Raw Materials Act, emanato dalla Commissione Europea per avviare un progetto di riqualificazione degli impianti e delle potenzialità minerarie dell'UE, nonché delle attività relative al recupero dei minerali da fonti secondarie (tecnosfera) ed il loro riciclo al termine del ciclo di vita del prodotto che le conteneva.

Queste dinamiche sono state evidenziate nell'analisi del settore automotive, comparto in cui i CRM ad oggi sono al centro della transizione verso i veicoli elettrici a batteria (composte prettamente da litio e cobalto).

Infine, si è tornati in Italia per analizzare quanto le industrie italiane sono pronte per affrontare questa nuova rivoluzione industriale rivolta all'ambiente ed alla sostenibilità. Richiamando i risultati ottenuti dal Centro Studi Confindustria, si è constatato come il nostro Paese sia nei primi posti in Europa e nel mondo in termini di efficienza materica ed energetica, con un impegno ad investire in impianti meno impattanti sull'ambiente, nello sfruttamento di fonti di energia rinnovabili e nell'implementazione dei principi di circolarità da parte di oltre i due terzi delle industrie, indipendentemente dalle loro dimensioni. Come ulteriore stimolo verso questo impegno sono nate le Società Benefit, che, inserendo nel loro oggetto sociale l'impegno all'aspetto sociale e della sostenibilità, sono la dimostrazione del cambio di mentalità industriale ed imprenditoriale determinato dall'Industria 5.0.

Anche in questo caso, però, si sono osservati importanti gap che il comparto manifatturiero italiano ha rispetto al resto d'Europa, soprattutto in termini di capacità brevettuale ed implementazione delle nuove tecnologie "*green*". Inoltre, il nostro Paese risulta carente delle risorse minerarie strategiche che sono alla base del cambiamento industriale.

Al fine di porre rimedio a tale mancanza, numerosi sono i progetti e le Task Force che sono state create per mappare i siti minerari attuali e potenziali in Italia e, grazie all'impegno di Assorisorse ed ISPRA, tali ricerche e dati sono confluiti nel database GeMMA, archivio contenente tutte le informazioni relative ai materiali, alle località, al potenziale di ciascuna miniera e zona geologica della penisola.

Tale strumento ha un enorme utilità, non solo in termini di maggiore efficienza, efficacia e minore impatto delle attività estrattive, ma anche e soprattutto nel processo di recupero e riciclo dei materiali di scarto nelle prime fasi della catena di approvvigionamento, in cui si accumulano maggiormente gli sprechi di queste preziose risorse.

La consapevolezza del grado di urgenza delle questioni ambientali e sociali è ormai sufficientemente diffusa ed interiorizzata nella società ed a livello istituzionale da spingere l'industria e le politiche amministrative a puntare su strategie tese alla

salvaguardia del pianeta e di conseguenza della nostra stessa sopravvivenza, sfruttando al meglio e in modo etico le tecnologie innovative che la scienza e la ricerca stanno facendo emergere e riorientando le logiche di profitto.

Appare chiaro che il percorso di sviluppo intrapreso dalla nostra società negli ultimi anni debba essere sempre più indirizzato su traiettorie comuni, capaci di garantire un progresso sistemico e duraturo da cui possano scaturire degli “*spill-over*” positivi, non solo a livello industriale, ma anche nei comparti meno toccati dalla rivoluzione digitale e sostenibile. Stessa sinergia di indirizzo deve essere perseguita a livello internazionale sia nelle strategie sia nelle politiche di sostegno verso quei Paesi più in difficoltà a tenere il passo. Infatti, non ci si può affidare esclusivamente alle singole iniziative degli stati nazionali, ma va garantita una guida ed un sostegno sovranazionale, cosa che l’UE sta cercando di intraprendere non solo per i 27 Paesi membri ma anche in termini globali. In tale ottica vanno sviluppati strumenti finanziari di gestione del rischio sugli investimenti a livello europeo che possano ammortizzare eventuali costi di insuccessi nella sperimentazione.

Tornando all’Italia, le politiche industriali, sia pubbliche che private, devono migliorare in termini di sinergia, a partire dalla definizione degli indirizzi di ricerca e sviluppo, in modo da non disperdere e rendere vani l’enorme impegno e gli investimenti messi in campo dalle nostre imprese e valorizzare quella capacità inventiva che ci viene riconosciuta a livello globale.

Inoltre, è fondamentale che si definisca una linea guida comune per usufruire degli investimenti stessi, tale da definire un percorso di sviluppo che, indipendentemente dal sentiero specifico e tailorizzato rispetto alle caratteristiche e strategie della singola impresa, sia organico e coerente con le strategie comuni europee mirando, garantendoci un ruolo di primo piano verso la piena implementazione dei principi di qualità dell’ambiente di lavoro e dell’ambiente propri dell’Industria 5.0.

L’Italia ha le carte in regola per dare il suo contributo in tale contesto, ma per poter superare i punti di debolezza che da sempre la contraddistinguono è fondamentale che la rivoluzione apportata dall’Industria 5.0 sia supportata dalle scelte dei singoli, che dovranno assumersi la responsabilità di premiare quelle realtà che meglio incarnano ed investono nei valori che fondano questa nuova fase, preferendo i prodotti, le soluzioni, i servizi più attenti all’ambiente, ai valori etici sul lavoro, alla qualità della vita di tutti ed al recupero e riciclaggio per minimizzare gli sprechi.

Da ciò, sarà cruciale per il nostro Paese la sua capacità di valorizzare quelli che sono i suoi punti di forza e specificità particolari, favorendo occasioni di sviluppo che abbiano cura delle comunità in cui vengono implementate e potenzino il grado di collaborazione tra imprese, Stato e ricerca che, purtroppo, è sempre mancato.

L'analisi svolta mi ha permesso di comprendere appieno il panorama industriale e le sue dinamiche, così come le forze sociali e di sostenibilità che, nell'attuale contesto storico, sono una componente fondamentale del cambiamento su larga scala che ha pochi precedenti nella storia umana.

Infatti, le nostre azioni ci hanno posto di fronte un bivio e non abbiamo la possibilità di "fare retromarcia" e cambiare quanto fatto, ma è sempre grazie alle nostre capacità che possiamo scegliere il percorso giusto, che può garantire un futuro prospero per noi e per chi verrà.

La penisola italiana è stata spesso al centro di percorso di evoluzione della civiltà umana ed oggi ha la possibilità di tornare protagonista in virtù della predisposizione innata del nostro comparto industriale di rivolgersi ad una gestione efficiente ed efficace delle risorse e dell'energia. Quello che, a mio dire, continua a mancare è un coordinamento ordinato di queste "virtù industriali" che, per questo, non riescono ad esprimere il loro massimo potenziale e ci ancorano ad una condizione di crisi che difficilmente riusciremo a superare sfruttando unicamente le spinte individuali delle singole imprese.

Le imprese dal canto loro dovranno sviluppare l'attenzione alla fidelizzazione del cliente finale (attraverso un incremento della qualità dei prodotti, la loro durata media ed una rete di assistenza che permetta di "aggiornare" e mantenere i prodotti) elemento che può rappresentare l'innescò del ciclo virtuoso e di successo per la rivoluzione 5.0.

A questo si aggiunge il ruolo dei CRM, da sempre ritenuti inesistenti o comunque insufficienti sul nostro territorio. Tali materiali sono presenti nel nostro territorio ed in quantità superiori rispetto a ciò che si potrebbe immaginare, come si evince grazie al database GeMMA, e, sebbene le nostre disponibilità non siano e non potranno essere in grado di soddisfare la domanda interna delle materie prime critiche, risultano essere una risorsa ulteriore per divincolarci dall'eccessiva dipendenza in ambito elettronico e tecnologico a cui siamo assoggettati. Ma è il recupero ed il riutilizzo di questi materiali la vera "arma segreta" che dovremmo imparare ad utilizzare e che permetterebbe di coprire almeno un terzo del fabbisogno italiano di CRM.

Questa tesi si pone l'obiettivo di colmare la mancanza riscontrata di un documento che fosse in grado di fornire una panoramica completa del percorso di sviluppo industriale italiana nel momento della transizione dal paradigma di Industria 4.0 al paradigma di Industria 5.0 e mira a fornire importanti spunti su quelli che sono le potenzialità dell'Industria italiana in questo specifico momento storico, considerando i percorsi di sviluppo tecnologici, digitali e sociali analizzati.

L'ambizione è quella di essere una raccolta aggiornata delle iniziative industriali e normative verso l'industria 5.0 sintetizzando le principali eccellenze e le debolezze del nostro comparto manifatturiero, indicando i risultati positivi già raggiunti e gli ambiti dove sussistono margini di miglioramento, indicando, per quanto possibile, le mie proposte su traiettorie di miglioramento.



## ***Bibliografia***

- M. SABATINI, S. LA FRATTA, V. SCARAMUZZI, M. CASALE, M. TIRELLI; “Italia 4.0: siamo pronti?”; *Deloitte Italy*; 2018  
([https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/it/Documents/process-and-operations/Report%20Italia%204.0%20siamo%20pronti\\_Deloitte%20Italy.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/it/Documents/process-and-operations/Report%20Italia%204.0%20siamo%20pronti_Deloitte%20Italy.pdf))
- F. CANNA; “L’impatto sul mercato del lavoro della quarta rivoluzione industriale”; *Innovation post*; pubblicato il 12/10/2017  
(<https://www.innovationpost.it/attualita/industria-4-0/limpatto-sul-mercato-del-lavoro-della-quarta-rivoluzione-industriale-2/>)
- A. SCHMIDT e C. WINKLER; “The Sustainability Puzzle”; editore: *Sustainability Puzzle A. Schmidt C. Winkler, Prima edizione*; 2021; pp. 7 - 34.
- M. MESSORI; “The Italian recovery and resilience plan: How to take advantage of an extraordinary opportunity”; *Luiss School of European Political Economy, policy brief 1/2021*,  
(<https://leap.luiss.it/wp-content/uploads/2022/09/PB1.21-The-Italian-recovery-and-resilience-plan-MM.pdf>)
- M. BUTI e M. MESSORI; “Come finalizzare il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza dell’Italia”; *Luiss School of European Political Economy; policy brief 39/2020*.  
(<https://www.astrid-online.it/static/upload/come/come-finalizzare-il-pnrr-dell-italia-.pdf>)
- M. BUTI e M. MESSORI; “Implementing the Recovery and Resilience Plans: The Case of Italy”; *Luiss School of European Political Economy; policy brief 39/2020*  
(<https://leap.luiss.it/wp-content/uploads/2022/09/PB39.20-Implementing-the-Recovery-and-Resilience-Plans.-The-Case-of-Italy.pdf>)
- G. CAPUANO e M. CAPUANO; “Aspetti metodologici ed evidenze empiriche della valutazione d’impatto di “Impresa 4.0” nel settore manifatturiero italiano”; *Argomenti (16)*; 2020.  
([https://www.academia.edu/88880408/Aspetti\\_metodologici\\_ed\\_evidenze\\_empiriche\\_della\\_valutazione\\_d\\_impatto\\_di\\_Industria\\_4\\_0\\_nel\\_settore\\_manifatturiero\\_italiano?uc-g-sw=35840327](https://www.academia.edu/88880408/Aspetti_metodologici_ed_evidenze_empiriche_della_valutazione_d_impatto_di_Industria_4_0_nel_settore_manifatturiero_italiano?uc-g-sw=35840327))

- L. ROMANO; “Imprese e politica insieme per l’industria italiana 4.0”; *Centro Studi Confindustria*, 2018  
([https://www.confindustria.it/wcm/connect/d136744d-9b00-4a57-a216-f1e6b6673eaa/Nota+CSC+n.+3-2018\\_Industria+4.0.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-d136744d-9b00-4a57-a216-f1e6b6673eaa-mu3-o99](https://www.confindustria.it/wcm/connect/d136744d-9b00-4a57-a216-f1e6b6673eaa/Nota+CSC+n.+3-2018_Industria+4.0.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=ROOTWORKSPACE-d136744d-9b00-4a57-a216-f1e6b6673eaa-mu3-o99))
- “Communication on The European Green Deal”; *COM(2019) 640 final*; 2019.  
([https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/publications/communication-european-green-deal_en))
- D. PASCHEK, A. MOCAN E A. DRAGHICI; “Industry 5.0—The expected impact of next industrial revolution”; *Thriving on future education, industry, business, and Society, Proceedings of the MakeLearn and TIIM International Conference, Piran, Sloveni*; ToKnowPress; 2019.  
(<https://toknowpress.net/ISBN/978-961-6914-25-3/papers/ML19-017.pdf>)
- S. DIXSON-DECLÈVE, P. BALLAND, F. BRIA, C. CHARVERIAT, K. DUNLOP, E. GIOVANNINI, D. TATAJ, C. HIDALGO, A. HUANG, D. ISAKSSON, F. MARTINS, M. MIR ROCA, A. MORLET, A. RENDA, S. SCHWAAG SERGER; “Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe”; *European Commission; ESIR Policy Brief No. 3*; 2021.  
(<https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/38a2fa08-728e-11ec-9136-01aa75ed71a1>)
- F. TRAÙ, S. MANZOCCHI, C. PENSA, M. PIGNATTI, L. ROMANO, S. COSTA, D. EMILIANI, A. GUELFY, G. LABARTINO, C. RAPACCIUOLO, M. RODÀ, L. SCAPERROTTA, N. AMODIO, A. ANDREUZZI, M. BECCARELLO, E. BRUNI, C. MANCUSI, B. MARCHETTI, M. RAVAZZOLO, M. VALLI, G. DELLA ROCCA, S. CARAVELLA, M. SAGLIETTO, F. VIGO, S. GERACI, A. DEBERNARDIS; “Innovazione e resilienza: i percorsi dell’industria italiana nel mondo che cambia”, *Scenari industriali - Centro Studi Confindustria*, pp. 43 – 68; 2020.  
(<https://www.confindustria.it/home/centro-studi/temi-di-ricerca/tendenze-delle-imprese-e-dei-sistemi-industriali/dettaglio/scenari-industriali-Italia-2020>)
- M. CRISANTEMI; “Industria 5.0, cos’è e quale sarà l’impatto sulle aziende”, *Innovation post*; pubblicato il 3/03/2023

- (<https://www.innovationpost.it/tecnologie/energia-efficienza/industria-5-0-cose-e-quali-sara-limpatto-sulle-aziende/>)
- ANITEC-ASSINFORM; “Il digitale in Italia 2023”, *Confindustria Digitale*; 2023  
(<https://www.anitec-assinform.it/pubblicazioni/il-digitale-in-italia/edizioni-precedenti/il-digitale-in-italia-2023-vol-2.kl>)
  - D. CECCHETTI; “Industria 5.0: resilienza e sostenibilità a favore delle risorse umane”; *Padua Thesis and Dissertation Archive*; 2022  
(<https://thesis.unipd.it/handle/20.500.12608/34323>)
  - K. A. DEMIR, G. DÖVEN, B. SEZEN; “Industry 5.0 and Human-Robot Co-working”; *Procedia Computer Science, Volume 158*, pp. 688 – 695; 2019  
(<https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.09.104>)
  - M. KOLHLGRUBER, C. BEHREND; “Inclusive Futures for Europe BEYOND the impacts of Industry 4.0 and Digital Disruption”; *Commissione Europea, Global conference on social innovation and socio-digital transformation*; 2018  
(<https://www.slideshare.net/slideshow/inclusive-futures-for-europe-beyond-the-impacts-of-industry-40-and-digital-disruption/190245490>)
  - L. S. DALENOGARE, G. B. BENITEZ, N. F. AYALA, A. G. FRANK; “The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance”; *International Journal of Production Economics, Volume 204*; 2018  
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>)
  - A. C. PEREIRA, F. ROMERO; “A review of the meanings and the implications of the industry 4.0 concept”; *Procedia Manufacturing, Volume 13*, pp. 1206 – 1214; 2017  
(<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>)
  - B. TIAHJONO, C. ESPLUGUES, E. ARES, G. PELAEZ; “What does industry 4.0 mean to supply chain?”; *Procedia Manufacturing, Volume 13*; 2017  
(<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.191>)
  - C. J. BARTODZIEJ; “The concept industry 4.0 an empirical analysis of technologies and applications in production logistics”; *Springer Gabler, BestMasters (BEST)*; 2017  
([https://doi.org/10.1007/978-3-658-16502-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-16502-4_1))

- S. AL ZADJALI, A. ULLAH; “Impact of industry 4.0 in manufacturing sector”; *International Journal of Management Science and Business Administration, Inovatus Services Ltd., vol. 7(6), pp. 25 - 33; 2021*  
(<https://doi.org/10.18775/ijmsba.1849-5664-5419.2014.76.1003>)
- T. ZHENG, M. ARDOLINO, A. BACCHETTI, M. PERONA, M. ZANARDINI; “The impacts of industry 4.0: a descriptive survey in the italian manufacturing sector”; *Journal of manufacturing technology management, Volume 31 issue 5; 2020*  
(<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JMTM-08-2018-0269/full/pdf?title=the-impacts-of-industry-40-a-descriptive-survey-in-the-italian-manufacturing-sector>)
- S. GRABOWSKA, S. SANIUK, B. GAJDZIK; “Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0”; *Scientometric, Volume 127; 2022*  
(<https://doi.org/10.1007/s11192-022-04370-1>)
- M. C. ZIZIC, M. MLADINEO, N. GJELDUM, L. CELENT; “From Industry 4.0 towards Industry 5.0: A Review and Analysis of Paradigm Shift for the People, Organization and Technology”; *Energy 15(14); 2022*  
(<https://doi.org/10.3390/en15145221>)
- B. KUYS, C. KOCH, G. RENDA; “The Priority Given to Sustainability by Industrial Designers within an Industry 4.0 Paradigm”; *Sustainability, 14(1), 76; 2022*  
(<https://doi.org/10.3390/su14010076>)
- J. F. GÓMEZ; “The european green deal and the energy transition: challenges and opportunities for industrial companies”; *Boletín de Estudios Económicos 76(232); 2022*  
(<http://dx.doi.org/10.18543/bee.2334>)
- R. SHARMA, A. B. L. DE SOUSA JABBOUR, V. JAIN, A. SHISHODIA; “The role of digital technologies to unleash a green recovery: pathways and pitfalls to achieve the european green deal”; *Journal of enterprise information management, Volume 35 issue 1; 2022*  
(<http://dx.doi.org/10.1108/JEIM-07-2021-0293>)

- M. ELKERBOUT, C. EGENHOFER, V. RIZOS, J. BRYHN; “European green deal: towards a resilient and sustainable post-pandemic recover”; *CEPS task force working group report*; 2021  
([https://www.researchgate.net/publication/353430221\\_European\\_Green\\_Deal\\_-\\_Towards\\_a\\_Resilient\\_and\\_Sustainable\\_Post-Pandemic\\_Recovery](https://www.researchgate.net/publication/353430221_European_Green_Deal_-_Towards_a_Resilient_and_Sustainable_Post-Pandemic_Recovery))
- M. MUNTA; “The European Green Deal: A game changer or simply a buzzword?”; *Friedrich Erbert Stiftung*, 2020  
(<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.26393.44645>)
- A. PEDONE; “Società 5.0 e Industria 5.0: la non rivoluzione umano-centrica. Implicazioni per il lifelong learning”, *Istituto per l’analisi delle politiche pubbliche (INAPP)*; 2023  
([https://oa.inapp.org/jspui/bitstream/20.500.12916/3797/1/Pedone\\_Societ%C3%A05.0-Industria5.0-la-non-rivoluzione-umano-centrica\\_2023.pdf](https://oa.inapp.org/jspui/bitstream/20.500.12916/3797/1/Pedone_Societ%C3%A05.0-Industria5.0-la-non-rivoluzione-umano-centrica_2023.pdf))
- I. SASSONE; “Industria 5.0: cosa c’è da sapere e come impatterà le aziende”, *UniverseIT*, 2023  
(<https://universeit.blog/industria-50/>)
- JIEWU LENG, WEINAN SHA, BAICUN WANG, PAI ZHENG, CUNBO ZHUANG, QIANG LIU, THORSTEN WUESTF, DIMITRIS MOURTZIS, LIHUI WANG; “Industry 5.0: prospect and retrospect”, *Journal of Manufacturing Systems* 65, pp. 279 – 295; 2022  
(<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>)
- S. NAHAVANDI; “Industry 5.0—a human-centric solution”; *Sustainability*, 2019  
(<https://doi.org/10.3390/su11164371>)
- JOŽE M. ROŽANEC, INNA NOVALIJA, PATRIK ZAJEC, KLEMEN KENDA, HOOMAN TAVAKOLI GHINANID, SUNGHO SUH, ENTSO VELIOU, DIMITRIOS PAPAMARTZIVANOS, THANASSIS GIANNETSOS, SOFIA ANNA MENESIDOU, RUBEN ALONSOG, NINO CAULI, ANTONELLO MELONI, DIEGO REFORGIATO RECUPERO, DIMOSTHENIS KYRIAZIS, GEORGIOS SOFIANIDIS, SPYROS THEODOROPOULOSI, BLAŽ FORTUNA, DUNJA MLADENIĆ, JOHN SOLDATOS; “Human-centric

- artificial intelligence architecture for industry 5.0 applications”; *International Journal of Production Research*, 2022  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2138611>)
- I. ALLEGRO; “Transizione 5.0, Urso: ‘puntiamo ad almeno 4 miliardi di risorse’”; *CorCom*, 2023  
<https://www.corrierecomunicazioni.it/digital-economy/transizione-5-0-urso-puntiamo-ad-almeno-4-miliardi-di-fondi/transizione-5-0-urso-puntiamo-ad-almeno-5-miliardi-di-fondi/>)
  - F. LONGO, A. PADOVANO, S. UMBRELLO; “Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0: a human-centric perspective for the design of the factory of the future”, *Applied Sciences*, 2020.  
<https://doi.org/10.3390/app10124182>)
  - L. L. DHIRANI, N. MUKHTIAR, B. S. CHOWDHRY, T. NEWE; “Ethical dilemmas and privacy issues in emerging technologies: a review”; *MDPI*, 2023  
<https://doi.org/10.3390/s23031151>)
  - C. MURPHY, P. J. CAREW, L. STAPLETON; “Ethical personalisation and control systems for smart human-centred industry 5.0 applications”, *IFAC PapersOnLine 55-39 Volume 55, Issue 39, 2022, pp. 24-29*; 2022  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.005>)
  - A. C. CIOBANU, G. MEȘNIȚĂ; “AI ethics for industry 5.0 – from principles to practice”; *I-ESA Workshops*; 2022  
<https://ceur-ws.org/Vol-3214/WS5Paper2.pdf>)
  - FRIEDRICH-W. WELLMER, PETER BUCHHOLZ JENS GUTZMER, CHRISTIAN HAGELÜKEN PETER HERZIG, RALF LITTKE RUDOLF K. THAUER; “Raw Materials for Future Energy Supply”; *Springer International Publishing AG, part of Springer Nature*; 2019  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-91229-5>)
  - M. GISLEV, M. GROHOL; “Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy”; *European Commission, Directorate-General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs*; 2018  
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d1be1b43-e18f-11e8-b690-01aa75ed71a1>)

- E. LEWICKA, K. GUZIK, K. GALOS; “On the Possibilities of Critical Raw Materials Production from the EU’s Primary Sources”; *Resources 10(5)*, 50, MDPI; 2021  
(<https://doi.org/10.3390/resources10050050>)
- A. HOOL, C. HELBIG, G. WIERINK; “Challenges and opportunities of the European Critical Raw Materials Act”; *Miner Econ, Springer International Publishing AG*; 2023  
(<https://doi.org/10.1007/s13563-023-00394-y>)
- CIRCULAR ECONOMY NETWORK, Fondazione per lo sviluppo sostenibile; “Critical Raw Materials: la strategia UE per le materie prime critiche”; pubblicato il 17/03/2023  
(<https://circulareconomynetwork.it/2023/03/17/critical-raw-materials-act/>)
- E. PETAVRATZI, G. GUNN; “Decarbonising the automotive sector: a primary raw material perspective on targets and timescales”; *Mineral Economics 36*, 545–561; 2023  
(<https://doi.org/10.1007/s13563-022-00334-2>)
- M. SCHMID; “Challenges to the European automotive industry in securing critical raw materials for electric mobility: the case of rare earths”; *Mineralogical Magazine (2020)*, 84, 5–17; 2020  
(<http://dx.doi.org/10.1180/mgm.2020.9>)
- P. MACRÌ; “Manifatturare la sostenibilità: la strada per l’industria circolare”; *Industria Italiana*; pubblicato il 5/04/2023  
(<https://www.industriaitaliana.it/manifattura-sostenibilita-de-manufacturing-re-manufacturing-riciclo-riuso/>)
- M. MASSOLINI, S. R. SEDITA; “Benefit corporation in Italia, vantaggi ambientali e competitivi”; *Tesi di Laurea, Università studi di Padova*; 2023  
(<https://hdl.handle.net/20.500.12608/63772>)
- ECOCAMERE; “Osservatorio sulle Società Benefit in Italia: a che punto siamo?”; pubblicato il 13/04/2023  
(<https://www.ecocamere.it/dettaglio/notizia/719/osservatorio-sulle-societa-benefit-in-italia-a-che-punto-siamo>)

- MAURO LUCARINI, ROBERTA CARTA, FIORENZO FUMANTI, LUCIO MARTARELLI, MONICA SERRA, MÁTÉ ZS. LESKÓ, LÍVIA MAJOROS, GÁBOR JAKAB, RICHÁRD Z. PAPP, FERENC KRISTÁLY, EAMONN F. GRENNAN; *European Geologist*; “Mineral raw materials in Europe - Chances and challenges for domestic production”; *Journal of the European Federation of Geologists*, n. 49 ; 2020  
([https://eurogeologists.eu/wp-content/uploads/2020/05/EGJ49\\_lr.pdf](https://eurogeologists.eu/wp-content/uploads/2020/05/EGJ49_lr.pdf))
- D. MADEDDU; “L’Italia delle miniere “dimenticate”: dove sono e i tesori che si estraggono”; *IlSole24Ore*; pubblicato il 29/11/2020  
(<https://www.ilssole24ore.com/art/l-italia-miniere-dimenticate-dove-sono-e-tesori-che-si-estraggono-ADaHIB5>)
- D. MADEDDU; “Rame, cobalto, litio e zinco: la caccia alle materie prime in Italia”; *IlSole24Ore*; pubblicato il 30/04/2023  
(<https://www.ilssole24ore.com/art/rame-cobalto-litio-e-zinco-caccia-materie-prime-italia-AEGCgRND>)
- DOMENICO RAVIDÀ; “Materie prime critiche e strategiche, quali sono e qual è la situazione in Italia e in Europa?”; *Geopop*; pubblicato il 16/05/2023  
(<https://www.geopop.it/materie-prime-critiche-e-strategiche-quali-sono-e-qual-e-la-situazione-in-italia-e-in-europa/>)
- G. TORLIZZI; “Perché l’Italia ha bisogno di un piano minerario nazionale”; *Luiss School of Government, Policy Brief, Policy Paper n. 01/2023*  
(<https://sog.luiss.it/sites/sog.luiss.it/files/Policy%20Paper%20G%20Torlizzi.pdf>)
- A. TURCO; “Materie prime critiche, l’appello di ISPRA: “Il riciclo non basta, serve una ripresa sostenibile delle estrazioni””; *EconomiaCircolare.com*; pubblicato il 6/03/2023  
(<https://economiecircolare.com/materie-prime-critiche-interviste-ispra/>)
- ASSORISORSE; “Materie Prime Critiche: la prospettiva dell’Industria delle Risorse”; *Rienergia ambiente e risorse, punto per punto*; 2023  
(<https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/35319/Materie+Prime+Critiche:+la+prospettiva+de+ll+Industria+delle+Risorse/Assorisorse>)



- L. TAVAZZI, F. BARZAGHI (The European House - Ambrosetti); “Lo scenario delle Materie Prime Critiche in Europa e in Italia: reality check”; *Rienergia ambiente e risorse, punto per punto*; 2023  
(<https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/35318/Lo+scenario+delle+Materie+Prime+Critiche+in+Europa+e+in+Italia:+reality+check/Lorenzo+Tavazzi+e+Filippo+Barzagli>)
- L. CIARROCCHI (presidente Assorisorse); “Nuova estrazione, recupero e riciclo: la sfida delle materie prime critiche”; *Rienergia ambiente e risorse, punto per punto*; 2023  
(<https://rienergia.staffettaonline.com/articolo/35317/Nuova+estrazione,+recupero+e+riciclo:+la+sfida+delle+materie+prime+critiche/Ciarrocchi>)

## ***Ringraziamenti***

Questo lavoro rappresenta il compimento di un percorso che ha segnato profondamente la mia vita, permettendomi di crescere e di capire che tipo di persona ho intenzione di essere in futuro.

La mia fortuna è stata affrontare questo viaggio in compagnia di persone che gli hanno “dato sapore” e significato.

Parto con il ringraziare la Professoressa Savona, che mi ha supportato nella scrittura di questa tesi ed ha acconsentito alle mie scelte di temi e sviluppo tecnico del lavoro.

Proseguo ringraziando i miei compagni di corso “storici”: Gabriella, “Saso”, Carolina, Andrea, Luca e gli altri del gruppo studio, che fin dai primi giorni di università mi hanno fatto sentire parte del loro gruppo.

Sempre dall’università, ringrazio Federico, Lorenzo, Giorgio, Davide, Paolo, Michele e Francesca che mi hanno portato a dare sempre tutto me stesso ed a puntare al massimo.

Inoltre, ringrazio i miei compagni dell’Erasmus: Giorgia, Michele, Matteo, Veronica, Francesca, Eleonora, Valerio e “Lo Zio”, che hanno reso indimenticabile il mio periodo a Vienna e che continuo a prendere come esempi nel cercare di “uscire dalla mia comfort zone”.

A questi si aggiungono i ringraziamenti ai “ragazzi di entrepreneurship”: Elena, Stefano, Leonardo, Francesco, Mariachiara, Flavio ed Emma, che mi spingono a non fermarmi al primo risultato ma ad andare oltre, sfruttando tutte le opportunità nascoste dietro l’angolo. Passando alle menzioni d’onore, è d’obbligo un ringraziamento alla coppia composta da Elisabetta e Valentina, che erano e sono una costante insostituibile della mia esperienza universitaria, con le nostre uscite a Pigneto e le “invasioni” a casa di Elisabetta.

Ringrazio profondamente Enrico, che, a modo suo, mi ha sempre dato coraggio e mi accompagnato (con non poca difficoltà) nonostante la mia ansia patologica ed è anche grazie a lui che ho raggiunto molti dei risultati che ho ottenuto.

Un grazie speciale va, poi, a Pietro, nel quale ritengo e spero di aver trovato un amico per la vita e che ha reso migliore, e non di poco, l’intera esperienza universitaria.

A loro si aggiungono tutti i ragazzi del “gruppo mare” compagni inseparabili da sempre che sono sempre stati al mio fianco anche nei momenti più bassi della mia vita. In

particolare, devo menzionare Davide, Mattia, Francesco, Jacopo ed Annagiulia, il cuore pulsante di una compagnia che potrà solo sopravvivere nel tempo.

Ringrazio, poi, Francesco e Linda, divenuti, a loro discolpa, miei psicologi personali e che continuano a preoccuparsi per me.

Infine, ringrazio con tutto me stesso la mia famiglia, baluardo inamovibile a cui devo veramente ogni cosa. Ringrazio mia zia Rossella, che con il suo sorriso contagioso riesce sempre a tirarmi su di morale e che mi trasmette tanta gioia. Ringrazio mia cugina Simona, che considero il mio “mentore spirituale” e da cui cerco di assimilare l’“atteggiamento nei confronti vita”. Ringrazio mia cugina Elisabetta, esempio di impegno e dedizione al lavoro, che fin troppe volte mi rimproverano di imitare eccessivamente.

Ultimi, ma non per importanza, arrivano i miei genitori, per i quali le parole non bastano. Loro hanno investito tutti il loro tempo, le loro energie ed i loro risparmi in me ed io miro a renderli orgogliosi della persona che sono diventato. Li ringrazio per aver scoperto nuovi livelli di sopportazione mai esplorati ascoltando i miei deliri di ansia e preoccupazione, li ringrazio per avermi sostenuto in ogni mia scelta, li ringrazio di essere le persone speciali e meravigliose che sono.

Loro sono e saranno sempre la mia primaria fonte di ispirazione.

Questo lavoro è per loro.