



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE E AZIENDALI
"M. FANNO"**

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"DIGITAL TRANSFORMATION E SUSTAINABILITY:
UN LEGAME VIRTUOSO?"**

**RELATORE:
CH. MO PROF. MARCO UGO PAIOLA**

**LAUREANDO: MATTEO COIANIZ
MATRICOLA N. 1138079**

ANNO ACCADEMICO 2018-2019

Indice

Introduzione	2
Capitolo 1: La sostenibilità ambientale	3
1.1 - Che cosa è e quali legami ha con le imprese	3
1.2 - Interesse verso la sostenibilità ambientale.....	5
1.3 - Problemi legati all'eco-transizione delle imprese.....	5
Capitolo 2: La trasformazione digitale	7
2.1 - Che cosa è?.....	7
2.2 - Industria 4.0.....	8
2.2.1 - Breve storia delle rivoluzioni industriali precedenti	8
2.2.2 - Esempio: i vantaggi della stampa in tre dimensioni.....	12
2.3 - Tendenze attese in futuro.....	12
2.4 - Cambiamento del modello organizzativo: caratteristiche di disruptive business	13
2.5 - Problemi legati all'applicazione della tecnologia digitale avanzata.....	15
Capitolo 3: Trasformazione digitale e sostenibilità: meccanismi di relazione	17
Introduzione al capitolo 3	17
3.1 - Impronta ecologica diretta e indiretta della tecnologia.....	17
3.1.1 - Effetti diretti del digitale sull'ambiente.....	18
3.1.1.1 - Esempio: modi innovativi per abbassare i consumi e le emissioni legati all'ICT.....	19
3.1.2 - Effetti indiretti del digitale sull'ambiente.....	19
3.2 - Industria 4.0: implicazioni ecologiche.....	21
3.2.1 - Esempio di re-ingegnerizzazione sostenibile dei prodotti – Le lattine per le bevande	24
3.3 - Gli effetti ambientali della logistica 4.0	25
3.4 - Il modello ICT di shared economy	27
Conclusioni	28
Riferimenti bibliografici.....	30

Introduzione

Questo testo ha l'obiettivo di analizzare la relazione esistente tra il tema della sostenibilità ambientale e quello della "innovazione digitale". L'elaborato, dopo aver contestualizzato ed evidenziato le principali tendenze presenti e future che riguardano questi due elementi, si focalizza sulle interazioni che essi presentano nelle organizzazioni produttive e mira a far emergere le nuove opportunità, le sfide e le minacce che possono sorgere di conseguenza. Questo documento rappresenta un'analisi della letteratura economica, tecnica e manageriale esistente sul tema.

Nonostante i due argomenti analizzati singolarmente siano stati oggetto di approfondite ricerche e studi (soprattutto per quanto riguarda la sostenibilità), le implicazioni messe in atto dalla loro relazione sono state per lo più trascurate dalla letteratura fino a periodi più recenti. Di conseguenza la quasi integrità dei testi citati in questa ricerca è stata pubblicata negli ultimissimi anni. Gli studi ad oggi esistenti non sembrano coprire interamente l'argomento, che di per sé appare ampio, strutturato e, in certi ambiti, oscuro e difficile da comprendere.

Questo testo si pone quindi il traguardo di descrivere i vari scenari settoriali che emergono dalle ricerche citate. L'obiettivo è quello di comporre un disegno generale, che abbia come filo comune la dimensione dell'impresa, analizzata soprattutto in chiave produttiva, competitiva e organizzativa. La struttura bibliografica utilizzata è composta prevalentemente da ricerche pubblicate in giornali e riviste scientifiche di settore, ma anche da conferenze e da studi analitici. Tutti i testi analizzati sono in lingua inglese e tendono ad analizzare fenomeni di dimensioni diverse, in mercati differenti.

Per fornire maggiore chiarezza in merito all'argomento, l'elaborato è stato strutturato in tre capitoli principali: i primi due intendono analizzare la letteratura esistente riguardo la dimensione sostenibile e la trasformazione digitale all'interno delle imprese. Il terzo capitolo ha la finalità di formulare un chiaro, seppur sintetico, quadro generale degli scenari che possono sorgere conseguentemente dall'interazione di queste due dimensioni.

Capitolo 1: La sostenibilità ambientale

1.1 - Che cosa è e quali legami ha con le imprese

La Commissione Mondiale per l'Ambiente e lo Sviluppo, nel 1987, per prima detta una definizione chiara di sostenibilità: lo sviluppo sostenibile, per essere tale, deve soddisfare i bisogni del presente senza compromettere la possibilità delle generazioni future di soddisfare i propri (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018).

Nel 1994 il consulente ed imprenditore John Elkington conia il concetto di “*Triple Bottom Line*”, spiegando che ogni attività di impresa dovrebbe considerare che i propri comportamenti producono effetti su tre dimensioni: sul Profitto, sul Pianeta e sulle Persone (“*3P*”) (The Economist, 2009). Questa visione evidenzia l'idea che ogni impresa ed ogni organizzazione sia responsabile, oltre che dell'equilibrio nel tempo dei propri elementi economici, anche della sua sfera sociale, ovvero del trattamento riservato ai soggetti (*stakeholders*) con cui interagisce direttamente o indirettamente, e di quella ambientale, quindi nei confronti della natura propriamente definita. Il concetto di base, che incorpora anche la dimensione economica, è quello che ogni generazione ha il diritto morale di trarre vantaggio dalle risorse a sua disposizione, consentendo altresì che le generazioni successive possano fare lo stesso (*ibid.*). La sostenibilità sociale descrive quanto e in quale forma l'impresa è responsabile della dimensione umana e sociale nell'ambito dell'attività svolta, mentre il concetto di sostenibilità ambientale misura quanto l'impresa è attenta alla sua responsabilità ecologica (*ibid.*). Queste due facce della sostenibilità vengono rappresentate analiticamente da due documenti contabili facoltativi: il bilancio sociale ed il bilancio ambientale (*ibid.*).

Le industrie, per rispettare i requisiti della sostenibilità, devono prestare attenzione non solo allo sviluppo dei prodotti e dei servizi in sé, ma anche ai processi che implicano la loro effettiva realizzazione, per esempio a quelli fisici o logistici (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018).

L'approccio alla sostenibilità è molto cambiato nel tempo, assumendo diverse forme e interessi specifici: per esempio, inizialmente questo concetto si estendeva esclusivamente alla selvicoltura e al settore primario, successivamente si è ampliato ad altri settori più dinamici e complessi, come la finanza ecologica (Osburg e Lohrmann, 2017). Un interessamento diffuso al tema della sostenibilità si è registrato a partire dagli anni '80 del secolo precedente (*ibid.*).

È stato deciso di basare questo elaborato alla sostenibilità limitatamente nella sua dimensione ecologica e ambientale. Questa scelta è motivata da due ragioni. La prima riguarda la scarsità

di materiale accademico in merito alla sostenibilità sociale, riscontrata durante il lavoro di ricerca delle fonti, la quale non permetterebbe di svolgere un'analisi della letteratura sufficientemente approfondita. La seconda è legata alle maggiori implicazioni sulle realtà aziendale espresse dalla dimensione eco-sostenibile rispetto a quella sociale (Osburg e Lohrmann, 2017).

La sostenibilità ecologica può essere definita facendo riferimento ai cinque seguenti indicatori ambientali, sviluppati come conclusione al Consiglio Europeo di Gothenburg e poi riportati durante lo Spring European Council del marzo 2002: l'emissione di gas serra, l'intensità energetica nell'economia, il volume dei trasporti sul PIL di un paese, la ripartizione modale dei mezzi di trasporto, la qualità dell'aria e il tasso di rifiuti urbani che vengono inceneriti o depositati in discarica (Hilty et al., 2006). Un'economia sostenibile punta a ridurre il suo impatto sull'ambiente cercando di raggiungere livelli accettabili degli indicatori precedenti, nonostante gli stessi possano, in qualche modo, influire sulla redditività dei business o modificare gli stili di vita della società (*ibid.*) (Osburg e Lohrmann, 2017).

Una definizione più immediata di sostenibilità, seppur meno precisa, viene recentemente fornita da parte della Conferenza sullo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite del 2012. Il concetto di “*green economy*” viene definito descrivendo un'economia “*low-carbon, resource efficient, and socially inclusive*”, ponendo l'attenzione principale sull'abbassamento delle emissioni di gas serra (il biossido di carbonio, CO₂, viene citato per le sue conosciute proprietà-serra sull'atmosfera) (Beier, Niehooff, Xue, 2018, p. 1). Per quanto riguarda il tema dell'efficienza sulla gestione e sul consumo delle risorse, si evidenzia la necessità di interfacciare in modo più proficuo la domanda e l'offerta nel mercato, ma anche riorganizzare i modelli di produzione, per di gestire più sostenibilmente le risorse, evitando gli sprechi (*ibid.*). L'ultimo dei tre elementi richiama i concetti di sostenibilità sociale (*ibid.*).

L'industria, secondo Beier, Niehooff, Xue (2018, p. 1), è uno dei settori chiave per implementare la green economy e permettere alla società di raggiungere gli obiettivi di sviluppo sostenibile pubblicati dall'ONU. Questi, anche detti *SDOs*, mirano a “costruire un'infrastruttura resiliente [...] e promuovere un'industrializzazione inclusiva e sostenibile, che sia spinta dall'innovazione” (*ibid.*). Gli stessi obiettivi puntano a creare dei modelli economici e sociali che siano in grado di assicurare l'adozione di “modelli di consumo e di produzione sostenibile” (*ibid.*). Infatti, secondo l'ONU, la società, la politica e l'economia dovrebbero considerare l'industria e la dimensione produttiva come un punto di grande importanza nel cambiamento

verso modelli di produzione e consumo sostenibili, a cui, di conseguenza, dovrebbero essere destinate risorse ed attenzioni (Beier, Niehooff, Xue, 2016).

1.2 - Interesse verso la sostenibilità ambientale

Secondo Carvalho, Chaim, Cazarini e Gerolamo (2018) lo sviluppo di un'attenzione verso l'eco-sostenibilità da parte delle imprese è uno dei cambiamenti maggiori che sono avvenuti nel mercato nel ventunesimo secolo. Emerge, però, una divergenza tra gli ideali del consumatore e le azioni concrete che esso intraprende. Infatti, alcuni studi notano che spesso i consumatori non sembrano comportarsi in modo coerente con gli interessi che manifestano in tema di sostenibilità, per esempio non compiendo delle scelte ad alti benefici ecologici e bassi costi economici, come stipulare dei contratti di fornitura energetica con l'uso di materie prime rinnovabili (*ibid.*).

Un altro elemento interessante a riguardo della percezione della sostenibilità è dato dalla diversa manifestazione degli interessi ecologici tra i consumatori (Osburg e Lohrmann, 2017). Per esempio, alcuni preferiscono comprare prodotti tracciabili, altri sono pronti a pagare un prezzo maggiore per sentirsi in armonia con i loro valori morali e altri ancora scelgono tra prodotti eco-sostenibili e quelli tradizionali in base alla convenienza singola, considerandoli di volta in volta (*ibid.*).

Una parte rilevante dei consumatori crede che la scelta di un prodotto sostenibile si converta in un qualche compromesso in tema di qualità o esperienza d'uso del bene o servizio (*ibid.*). Secondo gli autori, troppi prodotti sostenibili sono attualmente concepiti con un significativo compromesso di questo tipo, e non sono abbastanza ambiziosi per aspirare a raggiungere i consumatori dei mercati di massa, optando invece solo per servire una piccola minoranza con coscienza ambientale (*ibid.*).

Un effetto chiaramente evidente è che le aspettative della società nei confronti di una riduzione dell'impatto ambientale dell'industria siano aumentate, soprattutto osservando la crescita dei livelli di incorporazione da parte delle imprese di obiettivi ambientali nelle loro strategie (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

1.3 - Problemi legati all'eco-transizione delle imprese

Le imprese in tutto il mondo sono sempre più spinte a soddisfare le richieste degli *stakeholders* e delle varie istituzioni in tema di sostenibilità ambientale (Hanelt, Busse, Kolbe, 2017).

Per perseguire un'elevata implementazione delle pratiche ecologiche a livello aziendale nel futuro, queste devono offrire dei buoni rendimenti a livello organizzativo, economico e

tecnologico, al fine di rendere conveniente per le imprese la loro adozione (Hanelt, Busse, Kolbe, 2017). Pare che le innovazioni ecologiche spesso soffrano di svantaggi nel contesto di business, soprattutto se paragonate a soluzioni più affermate (*ibid.*). Allo stesso tempo, esse potrebbero essere meno efficaci delle corrispettive alternative tradizionali. Alcuni autori, a sostegno di queste idee, pongono l'esempio dei veicoli elettrici, l'obiettivo è sottolineare come le innovazioni ecologiche possano essere provviste di problemi economici ed organizzativi maggiori rispetto a quelli legati alla tecnologia tradizionale (in questo caso, i veicoli con motori endotermici) (*ibid.*). Infatti, i veicoli elettrici sono caratterizzati da importanti vantaggi ambientali, ma hanno caratteristiche economiche ambigue, quali un alto costo iniziale e livelli di prestazioni mediamente inferiori al sostituto meno ecologico, sebbene, però, presentino dei costi operativi inferiori (*ibid.*).

Un altro importante fattore legato all'implementazione delle eco-innovazioni è da cercare nella motivazione e nel contesto individuale e organizzativo che influenzano i manager nel prendere le decisioni riguardanti l'attività economica e strategica nella realtà in cui operano (Hanelt, Busse, Kolbe, 2017). Secondo uno studio eseguito da Accenture e UN Principles of Responsible Investment, circa 4 CEO e investitori su 5 credono che la sostenibilità ambientale sia una strada verso la creazione di un vantaggio competitivo e istituzionale (Hanelt, Busse, Kolbe, 2017). Va inoltre evidenziato che gli investitori tradizionalmente associano la sostenibilità a situazioni competitive ad elevato pericolo (ad esempio, i rischi legali o i ridotti ricavi nel breve periodo legati all'implementazione di iniziative ecologiche) (Osburg e Lohrmann, 2017).

La caratteristica di resilienza dell'impresa rispetto ai cambiamenti dello scenario competitivo e delle esigenze della domanda, secondo alcuni autori, viene sostenuta dai benefici delle implementazioni ecologiche, le quali consentono la creazione di forti relazioni di fiducia con gli *stakeholders* e la realizzazione di un vantaggio strategico e relazionale prezioso nei periodi economici difficili (Osburg e Lohrmann, 2017).

Di conseguenza, oltre al bisogno di soddisfare gli interlocutori esterni, molte organizzazioni hanno compreso l'entità dei benefici economici associati ad una politica ambientale proattiva (Burritt, Christ, 2016). Perciò, secondo Hanelt, Busse, Kolbe (2017), lo sviluppo strategico della sostenibilità ambientale sarà uno dei cambiamenti più importanti che interverrà nei mercati del ventunesimo secolo.

Capitolo 2: La trasformazione digitale

2.1 - Che cosa è?

Con l'espressione "trasformazione digitale", dall'inglese "*digital transformation*", si intendono i cambiamenti attesi in tutti gli aspetti della società e dell'economia legati all'applicazione capillare delle tecnologie digitali più innovative (Stolterman, Fors, 2004). La ragione di questa innovazione tecnologica è da riconoscere nella crescente importanza attribuita agli algoritmi automatizzati, all'intelligenza artificiale e all'elettronica di consumo; elementi che stanno assumendo rilievo in molteplici applicazioni e in svariati ambiti operativi e/o strategici delle imprese (Osburg e Lohrmann, 2017).

Alcuni autori, come Osburg e Lohrmann (2017), sostengono che la digitalizzazione sia uno dei "megatrend" più estensivi degli ultimi tempi. La definizione di *megatrend*, riconducibile a Naisbitt (1982), corrisponde ad eventi che modificano la struttura economica e sociale eradicata repentinamente rispetto a quanto avvenuto nei periodi storici precedenti. Alcuni esempi di entità simili sono forniti dalla globalizzazione, l'automazione e l'urbanizzazione (*ibid.*).

Concretamente, "digitalizzare" significa convertire un segnale analogico o un evento fisico in uno digitale, con l'obiettivo di generare una rappresentazione virtuale della realtà che viene salvata ed elaborata elettronicamente (Beier, Niehooff, Xue, 2016). L'obiettivo della digitalizzazione nel mondo imprenditoriale è quello di utilizzare le informazioni elaborate dal computer per calcolare, supportare, controllare e connettere processi, procedure e sistemi (Osburg e Lohrmann, 2017).

La digitalizzazione rende la condivisione di informazioni disponibile ovunque, in qualsiasi momento, con ogni tipo di dispositivo e ogni tipo di accesso alla rete (Beier, Niehooff, Xue, 2016). Molti dei vantaggi citati precedentemente sono permessi dalla tecnologia del *cloud computing*, elemento di particolare rilievo nel paradigma tecnologico adottato dalla *rivoluzione digitale* (Osburg e Lohrmann, 2017). Il *cloud computing* è un modello informatico di gestione dei dati che permette l'accesso agli stessi da parte di una rete di risorse configurabili (reti, server, applicativi, sistemi di memorizzazione e altro) in modo "onnipresente, conveniente e *on-demand*" (Mell, Grance, 2011, p. 6). Queste risorse possono essere fornite e diffuse con sforzi di gestione ridotti e interazioni con il gestore del servizio molto limitate (*ibid.*).

Quanto più le informazioni vengono digitalizzate e i sistemi dotati di alti livelli di intelligenza artificiale, e quanto più questi instaurano tra loro dei livelli di interconnessione, più alto è il livello di digitalizzazione lungo l'intera rete del valore (Beier, Niehooff, Xue, 2016). L'unione

permessa dalla tecnologia del mondo fisico con quello virtuale fornisce un vantaggio sia ai consumatori che alle imprese, che hanno la possibilità di utilizzare e produrre nuovi beni e servizi basati su modelli di business dinamici e *web-based* (Gabriel, Pessl, 2016). Questo effetto, secondo gli autori, avrà un grande impatto nel mondo imprenditoriale: i dati sembrano essere “il nuovo oro, il nuovo petrolio o la nuova moneta”, in quanto il loro possesso e la loro elaborazione porterà molti vantaggi, anche a livello di *targhetizzazione* dei clienti: permettendo quindi di formulare prezzi, offerte e annunci pubblicitari più adatti ai diversi individui (*ibid.*) (Osburg e Lohrmann, 2017, p.8).

La trasformazione digitale applicata alle imprese viene solitamente collegata al concetto di Industria 4.0, che concretizza e pone le basi della “quarta rivoluzione industriale” (Osburg e Lohrmann, 2017).

2.2 - Industria 4.0

Il termine tedesco “Industrie 4.0” ha un significato generico ed intende rappresentare la rotta tecnologica verso cui la produzione industriale sta puntando per mezzo dell’applicazione delle tecnologie digitali (Gabriel, Pessl, 2016). Questo appellativo è stato utilizzato per la prima volta in una fiera industriale ad Hannover, in Germania nel 2011 e rappresenta l’insieme di soluzioni tecnologiche ed organizzative attuate dalle imprese nel tentativo di mantenere un vantaggio competitivo (Burritt, Christ, 2016) (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018). La convenienza ad implementare nella struttura delle imprese le tecnologie digitali avanzate si è presto diffusa in tutti i paesi industrializzati (Burritt, Christ, 2016) (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018). L’obiettivo comune è stato quello di fronteggiare la concorrenza attuata dalle economie caratterizzate da un basso costo della manodopera, riducendo i costi di produzione industriale (*ibid.*).

2.2.1 - Breve storia delle rivoluzioni industriali precedenti

Prima di analizzare il tema dell’Industria 4.0, è opportuno menzionare la portata delle tre rivoluzioni industriali precedenti, con il fine di evidenziarne l’entità e l’impatto sulla società e sull’economia. L’industrializzazione (prima rivoluzione industriale) ha inizio intorno alla fine del XVIII secolo, al seguito dell’introduzione di attrezzature meccaniche a servizio della manifattura (Gabriel, Pessl, 2016). La prima macchina introdotta è il telaio meccanico a cui ne seguirono rapidamente molte altre, accomunate dalla capacità di svolgere compiti ripetitivi in semi-autonomia, riducendo la necessità di manodopera umana nelle fabbriche (*ibid.*).

La seconda rivoluzione industriale avviene alla fine del 1800, a seguito del massiccio impiego dell'energia elettrica nelle applicazioni produttive (*ibid.*). In questa fase l'elettricità viene impiegata per l'illuminazione e per alimentare i motori di macchinari caratterizzati da maggiore complessità e con applicazioni più versatili rispetto a quelli del paradigma passato, tali utensili vennero usati per la produzione di massa (*ibid.*).

La terza rivoluzione industriale comincia all'inizio degli anni '70 del secolo scorso ed è basata sull'utilizzo delle tecnologie elettroniche ed informatiche applicate all'automazione dei processi di produzione industriale (*ibid.*). Per meglio dire, la tecnologia analogica di gestione dei dati, che fino alla seconda era industriale ha dominato, viene accantonata a favore delle tecnologie di elaborazione digitali (*ibid.*).

Di conseguenza, la rapida e continua miniaturizzazione dell'elettronica, lo sviluppo impressionante seguito da Internet e l'onnipresenza dei computer permettono di creare una realtà digitale sempre più diffusa tra le imprese (*ibid.*).

La quarta rivoluzione industriale è certamente caratterizzata da un alto livello di complessità e necessita una piena integrazione della rete di prodotti e dei processi produttivi sulla catena del valore (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018). Infatti, l'industria 4.0 collega dinamicamente i processi di produzione fisica ed informativa attraverso le tecnologie informatiche, usufruendo di sistemi interconnessi, sensori, attuatori, dispositivi mobili e stabilimenti produttivi che sono in grado di comunicare vicendevolmente grazie ai protocolli web (Gabriel, Pessl, 2016) (Müller, Kiel, Voight, 2018). Questo orizzonte di interconnessione tra i singoli oggetti, attraverso le interfacce web viene chiamato *Internet delle Cose* (dall'inglese *Internet of Things*) (Gabriel, Pessl, 2016). I vantaggi a livello industriale sono chiari: l'*Internet delle Cose* (IoT), o per meglio dire, l'*Industrial Internet of Things* (IIoT), permette alle imprese di fondere il mondo della produzione industriale con le caratteristiche offerte dalla realtà digitale (Beier, Niehooff, Xue, 2016) (Müller, Kiel, Voight, 2018). Le tecnologie digitali coinvolte in questo fenomeno sono molteplici e l'idea chiave dell'industria 4.0 consiste nell'usare l'*Internet delle Cose* (IoT) con l'obiettivo di integrare i processi di business e quelli produttivi, consentendo alla produzione di operare in modo flessibile, efficiente ed ecosostenibile, ponendo un'attenzione costante all'alta qualità e al basso costo (Kayikci, 2018) (Müller, Kiel, Voight, 2018). Questa relazione tra gli oggetti permette lo scambio in tempo reale di dati tra macchine e componenti di prodotto, consentendo il monitoraggio e il direccionamento continuo dei processi di produzione (Beier, Niehooff, Xue, 2016) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

Il principio fondamentale dell'industria 4.0 consiste nella possibilità di prendere autonomamente decisioni decentralizzate. Le macchine intelligenti sono sempre più capaci di suggerire modifiche alle attività produttive e aggiustare i parametri operativi, senza dover aspettare passivamente l'intervento di un operatore: il chiaro obiettivo è quello di massimizzare la produttività e la qualità del prodotto (Burrirt, Christ, 2016). I macchinari saranno anche in grado di anticipare falle e minimizzare la manutenzione e le riparazioni necessarie, grazie all'enorme flusso di dati digitali elaborato in tempo reale (*ibid.*).

Molte organizzazioni di varie dimensioni inconsciamente fanno già parte di questo fenomeno, utilizzando nelle loro attività manageriali e produttive componenti individuali dell'industria 4.0 (Gabriel, Pessl, 2016).

La differenza tra la terza e la quarta rivoluzione industriale sta quindi nel fatto che le attività di produzione e le altre funzioni ausiliarie (per esempio, la logistica) non solo processano passivamente il prodotto, ma grazie alla tecnologia, il prodotto stesso si interfaccia in tempo reale con il macchinario, così come con tutto il sistema-fabbrica (*ibid.*). Ne deriva la capacità del complesso apparato intelligente di prendere decisioni in autonomia ed in modo decentralizzato, grazie alla vastità e alla precisione dei dati in possesso del sistema, i quali sono pronti per essere elaborati al fine di efficientare il processo stesso (*ibid.*).

Quindi, grazie alla diffusione del digitale avanzato attraverso la rete, alla potenza di calcolo e all'ottimizzazione permessa dalla intelligenza artificiale, si presenta una convergenza tra il mondo fisico e quello virtuale, la quale crea dei "cyber-physical systems", dando vita alla quarta rivoluzione industriale (Gabriel, Pessl, 2016, p.132). Questi sono dei sistemi in grado di estrapolare delle realtà virtuali parallele che vengono sfruttate per migliorare in diversi modi i suoi prodotti e le strutture produttive nel loro complesso (*ibid.*). I *Cyber Physical Systems (CPS)* controllano i processi fisici in tempo reale, creando una copia virtuale degli stessi, al fine di permettere di prendere decisioni decentralizzate (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018). Inoltre, nelle *fabbriche smart* il futuro viene addirittura predetto, grazie all'elaborazione dei dati raccolti dai sensori che monitorano in tempo reale l'ambiente e da algoritmi usati per controllare i parametri fisici delle operazioni (Lee et al., 2014, p. 4) (Burrirt, Christ, 2016). L'obiettivo della tecnologia digitale applicata all'industria è quello di creare dei sistemi produttivi che siano "auto-consapevoli, auto-predittivi, auto-comparativi, che si auto-riconfigurino e svolgano la manutenzione a sé stessi" (Lee et al., 2014, p. 4) (Burrirt, Christ, 2016).

Nelle *smart factories* si ha una comunicazione diretta, disintermediata ed in tempo reale tra persone, macchine e i vari sistemi produttivi (Gabriel, Pessl, 2016). I singoli prodotti intelligenti (*smart products*) sono a conoscenza dello stato del processo di produzione in corso e delle loro applicazioni future, infatti essi sono in grado di comunicare con i macchinari, ordinando loro esattamente cosa fare (Gabriel, Pessl, 2016). Di conseguenza, raggiungendo una comunicazione più diretta e una gestione più flessibile, l'industria 4.0 punta a superare i problemi temporanei legati a fenomeni quali la volatilità dei mercati e della domanda, l'intensificazione della concorrenza, le richieste di personalizzazione dei prodotti e servizi e la riduzione del tasso di crescita dell'innovazione e del ciclo di vita dei prodotti (Beier, Niehooff, Xue, 2016) (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Infatti, essa viene progettata per avere un approccio mirato per gestire queste difficili e redditizie sfide per l'impresa (Müller, Kiel, Voight, 2018).

Inoltre, l'Industria 4.0, grazie alla tecnologia, sarà caratterizzata dalla presenza di un completo *network* di comunicazione tra le varie imprese, fabbriche, fornitori, reti logistiche e con i clienti (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018). Questa interconnessione semplifica notevolmente le relazioni che l'impresa ha al suo interno e sostiene con l'esterno e le decisioni che essa prende. Tra le altre, deriva la possibilità di adottare un modello di produzione del valore *make to order*, grazie alla connessione in tempo reale dell'impresa con la catena del valore e con la domanda: per esempio, un nuovo riordino può essere autonomamente gestito tra le imprese non appena la scorta di magazzino diminuisce, senza alcun intervento umano (Müller, Kiel, Voight, 2018).

In merito alla prospettiva economica dell'industria 4.0, la trasparenza e l'interconnessione dei processi facilita la loro ottimizzazione, ne aumenta l'efficienza, la flessibilità, la qualità e le possibilità di personalizzazione dei prodotti (Müller, Kiel, Voight, 2018). Numerosi studi, come quello eseguito da Yoo nel 2010 o quello di Zolnowski et. al. nel 2011, evidenziano, grazie all'analisi di molteplici casi aziendali, che l'uso di componenti informatici, come la sensoristica, porti in media a sensibili aumenti dei ricavi o a tagli dei costi (Hanelt, Busse, Kolbe, 2017).

Le opportunità offerte da un mondo digitale alle imprese superano di gran lunga la capacità di offrire un dato prodotto o servizio proprio ai consumatori più adeguati, la tecnologia, infatti, permetterà alle stesse di adattare la presentazione, lo sviluppo e il prezzo dei prodotti in base alle condizioni individuali degli stessi consumatori, il tutto in tempo reale e senza intermediazione (Osburg e Lohrmann, 2017).

2.2.2 - Esempio: i vantaggi della stampa in tre dimensioni

La stampa in tre dimensioni (3D) rappresenta un esempio di manifattura additiva che viene utilizzata con l'ausilio di software di modellazione grafica CAD (Gabriel, Pessl, 2016). Con il termine manifattura additiva si identificano tutte le tecnologie di fabbricazione per effetto delle quali il prodotto finito viene creato senza la "necessità di fonderne il materiale in stampi né di rimuoverlo da una forma grezza" (INFN DIAM, 2019, paragrafo 1). Essa viene citata da alcuni autori come una delle innovazioni che contribuiranno notevolmente al successo della *fabbrica intelligente* e come una delle tecnologie chiave dell'industria 4.0 (Müller, Kiel, Voight, 2018). Questa tecnologia permette di produrre oggetti con determinate caratteristiche selezionate, stampandoli strato dopo strato (Gabriel, Pessl, 2016). La stampa in tre dimensioni in loco ha la capacità di efficientare e agevolare la produzione di piccoli oggetti unici o in serie poco numerose, come prototipi, prodotti con molte piccole variazioni, particolari pezzi di ricambio (ecc.) (Gabriel, Pessl, 2016) (Beier, Niehooff, Xue, 2016). Essa permette la produzione degli stessi in differenti materiali, come ceramica, plastica, molti metalli ecc (*ibid.*). La stampa 3D è molto efficiente sul piano energetico e del consumo delle risorse, è in grado di rendere obsoleti i lunghi trasporti di oggetti, decentralizzando perciò la loro produzione (*ibid.*).

Di conseguenza, avanzamenti tecnologici come la stampa 3D consentono agli individui di diventare a loro volta produttori, condizione che consentirà di superare i modelli tradizionali caratterizzati da centri di produzione e fabbriche centralizzate ad alto uso di capitale (Osburg e Lohrmann, 2017).

Le tecnologie digitali sono diventate rapidamente molto più sofisticate e molto più economiche rispetto al passato, per esempio: come riporta l'Economist, il prezzo dei servizi Cloud nel 2015 era pari ad un quarto rispetto a quello registrato nel 2012 (Osburg e Lohrmann, 2017). Inoltre, il crescente utilizzo di oggetti e servizi digitali nella vita quotidiana della maggior parte dei consumatori fornisce loro numerosi punti di incontro con i nuovi beni e servizi personalizzati forniti nel mercato (Osburg e Lohrmann, 2017).

2.3 - Tendenze attese in futuro

La velocità con cui il mondo potrebbe convertirsi alla quarta rivoluzione industriale risulta molto incerta (Burritt, Christ, 2016). Ci si può sicuramente aspettare, seguendo il trend passato, che le tecnologie digitali possano in futuro godere di importanti riduzioni di prezzo e di aumenti nel ventaglio delle applicazioni produttive (Osburg e Lohrmann, 2017).

Dalla letteratura emerge che le tecnologie digitali avanzate, come l'*IIoT*, avranno la capacità di aumentare la produttività, ridurre i costi e guidare l'innovazione nelle imprese (Hanelt, Busse, Kolbe, 2017). Secondo uno studio di Davies (2015) la quarta rivoluzione industriale porterà ad incrementi di produttività tra il 6% e l'8% all'anno, maggiore intensità di capitale nelle imprese e modelli organizzativi molto più flessibili rispetto al passato (Burritt, Christ, 2016).

Le caratteristiche di questa nuova era, quali il comportamento collaborativo lungo la *supply chain* e la presenza esclusiva di lavoratori specializzati nelle industrie, andranno a sostituire (almeno in parte) le tradizionali attività produttive centralizzate di grandi dimensioni e le masse di lavoratori poco specializzati (Osburg e Lohrmann, 2017). I sistemi di governo delle imprese future con tutta probabilità ridurranno gli attriti e i costi associati alla raccolta e all'elaborazione delle informazioni, così come della logistica, dei processi manifatturieri e dell'uso dell'energia (*ibid.*). Tutto questo cambierà irreversibilmente il modo di fare affari e, indirettamente, la società in generale (*ibid.*).

Sembra molto probabile che in un futuro vicino emerga un orientamento verso i servizi, che con tutta probabilità sarà in grado di accelerare la netta separazione esistente tra la produzione di beni e la fornitura di servizi da parte delle imprese (Müller, Kiel, Voight, 2018). Le opportunità offerte dalla digitalizzazione potranno essere in vari modi sfruttate per fornire ai clienti soluzioni altamente personalizzate (*ibid.*).

Considerando quanto qui rilevato, dalla digitalizzazione emergono importanti opportunità e rischi per le imprese manifatturiere nello scenario competitivo internazionale, questi temi vengono affrontati nel prossimo sotto capitolo (*ibid.*).

2.4 - Cambiamento del modello organizzativo: caratteristiche di disruptive business

Parte della letteratura sostiene che le innovazioni tecnologiche e le conseguenti applicazioni aziendali, come l'*IIoT*, l'intelligenza artificiale, il Cloud Computing o l'integrazione orizzontale e verticale permessa dalla trasparenza nelle interconnessioni, abbiano caratteristiche tali da poter originare modelli di business innovativi che potranno guidare la transizione futura nel modo internazionale di fare impresa, demolendo i modelli precedenti (*disruptive business models*) (Stock, Seliger, 2016). È atteso che l'industria 4.0 abbia la capacità e la forza di trasformare la produzione industriale, così come la società, puntando ad obiettivi economici, ma anche ecologici e sociali (Müller, Kiel, Voight, 2018).

Un grande vantaggio organizzativo, ma anche un'importante sfida per l'impresa, deriva dall'applicazione dell'innovazione digitale per orchestrare dinamicamente la catena del valore, grazie alla maggiore complessità sopportabile dal sistema gestionale digitale e interattivo (Osburg, Lohrmann, 2017). Uno degli obiettivi è rendere possibile l'interazione dell'impresa con fornitori altamente specializzati (*ibid.*). Infatti, grazie alla gestione della complessità permessa dagli algoritmi che comunicano tra le imprese, è possibile acquisire un importante vantaggio competitivo derivante dalla disponibilità di migliori input a prezzi mediamente inferiori di quando l'impresa, per ridurre la complessità, si rivolge a distributori generalisti e non ai migliori produttori presenti sul mercato (*ibid.*). Il network citato porta ad una creazione del valore intelligente, dando vita ad un ambiente fertile per la creazione di nuovi modelli di business e per la conversione degli esistenti (Stock, Seliger, 2016).

Da una prospettiva strategica, la letteratura concorda nel sostenere che l'industria 4.0 abbia dei notevoli risvolti in tema di modelli di business, comprendendo sia il cambiamento negli stessi esistenti nel presente, sia l'emergere di nuovi (Müller, Kiel, Voight, 2018). Nelle ricerche vengono identificate alcune delle aree principali che accolgono i nuovi modelli di business legati all'industria 4.0 (*ibid.*). Alcuni esempi di modelli di business innovativi sono la transizione da prodotti a complessi sistemi di offerta composti da prodotti e servizi interconnessi tra loro, un'intensificazione della personalizzazione e delle relazioni con i consumatori e l'interconnessione crescente di collaborazioni con i partner chiave per le aziende (*ibid.*).

L'intensificazione delle dinamiche competitive e la facilitazione nell'ingresso nel mercato da parte di nuovi players sembrano essere i problemi più sfidanti posti in essere nell'orizzonte competitivo dall'era dell'Industria 4.0 (*ibid.*). I risultati empirici fanno emergere una relazione positiva tra i benefici strategici e l'implementazione dell'industria 4.0, infatti è dimostrato che l'industria 4.0 offra delle notevoli opportunità strategiche e di affari necessarie per mantenere ed espandere la posizione competitiva delle imprese (*ibid.*).

Concretamente, i vantaggi competitivi offerti dalla digitalizzazione derivano dalle gerarchie più appiattite, dalla conseguente riduzione della complessità dei processi decisionali e dalla maggiore flessibilità produttiva e organizzativa, che permette alle organizzazioni di reagire prontamente ai rapidi mutamenti nei diversi mercati (*ibid.*). La ricerca condotta da Müller, Kiel e Voight (2018) comunque rimarca il fatto che non esiste una sola fonte di verità in merito agli effetti dell'implementazione delle innovazioni tecnologiche nello scenario competitivo, sottolineando l'esigenza di studiare più approfonditamente questo fenomeno nella dimensione

individuale delle singole imprese, vista la notevole varianza emersa tra le realtà analizzate (*ibid.*).

Dalla letteratura emerge, però, il pericolo che la complessità legata all'integrazione delle tecnologie digitali dell'industria 4.0 nelle gerarchie e strutture organizzative esistenti, nei processi logistici e di produzione, possa ostacolare e prevenire le imprese (soprattutto se di grandi dimensioni) dall'adottare i nuovi paradigmi tecnologici (*ibid.*).

Per concludere, l'analisi eseguita dai ricercatori Stoltermann e Fors nel 2004 fa notare che per compiere un cambiamento organizzativo di questa entità sono più che mai necessari nell'impresa cambiamenti della *leadership*, la creazione di nuovi modelli di business e l'adozione di un pensiero differente e aperto, in modo da incoraggiare l'innovazione.

2.5 - Problemi legati all'applicazione della tecnologia digitale avanzata

Per riassumere quanto riportato precedentemente nel testo: con tutta probabilità, in un futuro vicino, l'attrezzatura industriale sarà altamente automatizzata, i lavoratori nelle industrie saranno meno numerosi e i loro ruoli saranno sempre più limitati e complessi. A livello organizzativo si assisterà al cambiamento verso modelli decisionali decentralizzati e tra i processi emergeranno le tecnologie di manifattura additiva.

Un chiaro ostacolo alle imprese, presentato dalla rivoluzione digitale, è dato dal bisogno di trovare dei lavoratori qualificati che abbiano una personalità e delle competenze adeguate a gestire questo nuovo paradigma (Müller, Kiel, Voight, 2018).

Una delle criticità più immediate connesse alla rivoluzione digitale è sicuramente legata alla raccolta e alla gestione dei dati personali sensibili dei consumatori da parte delle imprese (si pensi a quelli sanitari o di geolocalizzazione). In questo testo emergono i grandi vantaggi offerti dall'elaborazione dei dati e i risvolti economici che ne derivano, però la letteratura segnala che non sia ben chiaro ai consumatori quale tipo di informazioni, consciamente o meno, forniscano ai *data servers* e a quale prezzo effettivo (Osburg e Lohrmann, 2017). Nasce, di conseguenza, un profondo bisogno di fiducia a favore delle imprese, in quanto nella società sta emergendo il timore che la privacy e la sicurezza dei dati possano in qualche modo scomparire (*ibid.*).

Un ulteriore problema è legato all'altra faccia della medaglia della trasparenza e della condivisione dei dati con il mercato e lungo la supply chain: questo potrebbe agevolare fenomeni ostili quali lo spionaggio industriale e i cyber-attacchi, sfidando pesantemente i sistemi di sicurezza esistenti (Müller, Kiel, Voight, 2018). La letteratura analizza questi rischi e li giudica come problemi rilevanti, che dovrebbero essere affrontati innovando

sistematicamente i modelli di business e i prodotti, limitando così i danni collegati alla trasparenza delle informazioni (Müller, Kiel, Voight, 2018).

Un altro fattore chiave, secondo lo studio elaborato da Staufen (2016) riguarda il fatto che il progresso attuale nel settore dell'industria 4.0 è limitato da una significativa mancanza di standard, protocolli e certificazioni importanti nella generazione e nell'utilizzo dei linguaggi che i chip, ovvero i componenti che forniscono potenza di elaborazione e memorizzazione della digitalizzazione, usano nella comunicazione vicendevole tra elementi del sistema (Burrirt, Christ, 2016) (Montreuil, 2011). La presenza di un'uniformità di applicazione di linguaggi comuni ha la capacità di influenzare fattori chiave di queste tecnologie, come la velocità, il livello del servizio, l'affidabilità e la sicurezza (Montreuil, 2011). Si segnala anche una mancanza di know-how e di conoscenze specifiche in merito a queste discipline innovative da parte delle imprese analizzate e constata una scarsità nell'ammontare di capitale attualmente investito nella tecnologia (Burrirt, Christ, 2016).

Capitolo 3: Trasformazione digitale e sostenibilità: meccanismi di relazione

Introduzione al capitolo 3

Questo capitolo ha l'obiettivo di analizzare la relazione esistente tra i due macro-argomenti trattati precedentemente. In concreto, saranno esposti gli elementi chiave in cui l'interazione tra il tema della sostenibilità ambientale con quello della *digital transformation* ha un peso rilevante per le realtà produttive. Il fine ultimo è quello di fornire un quadro chiaro in merito al parere della letteratura riguardo al probabile risultato netto derivante dalla relazione tra la tecnologia digitale e gli effetti ambientali nelle imprese.

L'argomento in questione è ampio, molto vario e non totalmente esplorato dalla letteratura, la quale manifesta visioni contrastanti su alcuni temi. Le chiavi di interpretazione di questo fenomeno sono anch'esse molteplici, ci sono vari casi particolari, applicati in diversi settori economici attraverso diversi utilizzi. Nello scrivere questo capitolo è stato scelto di riassumere il parere della letteratura in merito ai fenomeni più rilevanti, senza però sacrificare la volontà di formulare un quadro più generale sull'argomento.

3.1 - Impronta ecologica diretta e indiretta della tecnologia

Molti consumatori, imprese e *decision-makers* percepiscono i prodotti digitali come *carbon-light* ed ecologici, ma essi spesso non lo sono propriamente (Osburg, Lohrmann, 2017). Infatti, la digitalizzazione, durante le fasi di produzione, distribuzione, utilizzo e smaltimento dell'hardware tecnologico, genera e diffonde nell'ambiente sostanze inquinanti di varia natura (Bieser, Hilty, 2017) (Hilty et al., 2006). I precedenti elementi sono denominati effetti diretti, perché l'esistenza stessa delle tecnologie informatiche e digitali origina un danno ambientale diretto (*ibid.*).

Altri fenomeni, denominati *effetti indiretti*, sono quelli legati alle influenze del digitale sulla produzione e/o sul consumo di altri beni (Bieser, Hilty, 2017). Il principale effetto indiretto è dato dalla sostituzione di nuovi prodotti o servizi, tecnologicamente superiori rispetto alle alternative tradizionali. Questo avviene quando un servizio prende il posto di un prodotto (*beni virtuali*), anche se esistono dei pareri discordanti in merito ai concreti effetti ecologici concreti dei beni virtuali (Hilty et al., 2006). Un esempio in merito alla sostituzione dei prodotti o servizi è determinato dalla riduzione del traffico aereo, e dei derivanti costi ecologici, da parte dei lavoratori di un'azienda permessa dalle tecnologie di *telepresenza* (Bieser, Hilty, 2017).

Berkhout e Hertin (2004) e Hilty et al. (2006), indicano anche la presenza di effetti di terz'ordine, ovvero di effetti di medio o lungo termine legati all'adattamento comportamentale della società e delle strutture economiche (es. abitudini di consumo), derivanti dalla disponibilità di tecnologie informatiche e digitali (Hilty et al., 2006) (Berkhout, Hertin, 2004).

3.1.1 - Effetti diretti del digitale sull'ambiente

Sebbene le tecnologie e i servizi digitali possano sembrare semplici e trasparenti, l'ammontare di energia e risorse necessari per farli operare è enorme (Osburg, Lohrmann, 2017). Nonostante il fatto che i vari dispositivi che rendono la virtualizzazione possibile abbiano diversi profili ambientali, l'*hardware* informatico tende ad avere dei cicli di vita brevi, ad utilizzare quote considerevoli di elettricità ed essere costituito da quantità significative di materiali rari e dannosi all'ambiente (Berkhout, Hertin, 2004). Inoltre, la produzione di questi elementi ha serie implicazioni ecologiche documentate dalla letteratura, come l'emissione nell'ambiente di grandi quantità di gas, fumi e sostanze inquinanti (es. solventi) e le complesse operazioni tipiche dello smaltimento dell'*hardware* (Berkhout, Hertin, 2004) (Bieser, Hilty, 2017) (Hilty et al., 2006).

A proposito degli effetti diretti della tecnologia, uno studio redatto per la Commissione Europea prevede che il consumo di elettricità dei *data centers* entro il 2020 aumenterà del 35% rispetto al 2011 (*ibid.*). E che, nello stesso intervallo di tempo, il consumo di elettricità delle reti di telecomunicazione crescerà del 150% (*ibid.*). La quota parte nel consumo complessivo di

elettricità legato all'attività dei *data centers* e alle reti di telecomunicazione in Europa è prevista crescere dal 2,6% nel 2011 al 3.8% nel 2020 (*ibid.*). Questi due elementi nel 2020 consumeranno quasi la metà della corrente elettrica usata da tutto il settore

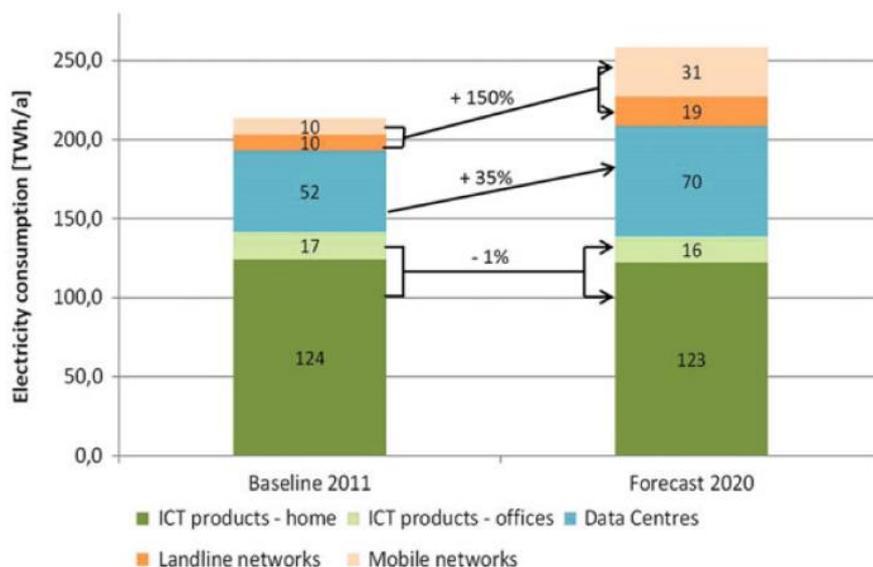


Figura 1: Comparazione dei consumi di elettricità collegati all'ICT in EU-27 nel 2011 e nel 2020 Fonte: Osburg e Lohrmann, 2017

ICT (*ibid.*). Quest'ultimo risultato è motivato dalle tendenze di crescita attese dei servizi mobili collegati ad internet, come il *cloud* e l'*IoT*, altri fattori rilevanti sono il maggiore tempo speso

online, il crescente consumo di servizi web in streaming (esempio: video) e altri utilizzi simili (Osburg, Lohrmann, 2017). Nello specifico, ci si aspetta un'esplosione nell'immediato futuro della domanda di servizi *cloud* (Osburg, Lohrmann, 2017).

Un'altra ragione che giustifica i notevoli aumenti del consumo di risorse e le conseguenti emissioni inquinanti legate al settore informatico, elettronico e digitale è la grande espansione che i prodotti ICT hanno compiuto negli ultimi decenni nelle abitudini di vita dei consumatori (Osburg, Lohrmann, 2017). I dati in merito sono molto esplicativi, soprattutto se si considera che i consumi medi di corrente elettrica dei singoli dispositivi si sono ridotti nei periodi analizzati (grazie ad una puntigliosa attenzione alla loro efficienza energetica) ma la loro distribuzione in molteplici applicazioni ha fatto esplodere i consumi assoluti (*ibid.*). Va tenuto in considerazione che circa l'80% delle emissioni di gas inquinanti delle massicce infrastrutture di *cloud* e di *remote data computing* sono legate alla fase di uso della tecnologia, ovvero all'energia elettrica consumata per alimentarle e per raffreddare gli ambienti in cui esse operano (*ibid.*).

3.1.1.1 - Esempio: modi innovativi per abbassare i consumi e le emissioni legati all'ICT

Una parte significativa delle emissioni di gas serra connesse all'utilizzo del digitale e, nello specifico, dei *data servers* è legata all'esigenza di raffreddare i processori e, in generale, la componentistica elettronica in funzionamento (Osburg, Lohrmann, 2017). Per assolvere a questo bisogno in modo ecologico, ma anche economicamente sostenibile, sempre più *data centers* vengono costruiti in Scandinavia, utilizzando per il raffreddamento l'aria ambiente o l'acqua del mare, come ha fatto Facebook in Svezia o Google in Norvegia e Finlandia (*ibid.*). Ricerche in tema affermano che approcci innovativi come quello citato, possono compiere una differenza significativa nell'aumentare l'utilizzo delle energie a fonti rinnovabili (*ibid.*).

3.1.2 - Effetti indiretti del digitale sull'ambiente

I contributi ambientali positivi indotti dalle tecnologie digitali, ovvero la maggior parte degli effetti indiretti, sono difficili da quantificare per una serie di ragioni; tra le quali emerge la limitazione legata ad alcuni particolari beni e servizi che per loro natura non possono essere completamente digitalizzati; il fatto che alcuni guadagni in produttività ed efficienza tendano ad essere lenti nel manifestarsi in molti sistemi tecnologici ed infine dalla possibile coesistenza dei beni e servizi "materiali", soprattutto nel periodo di transizione verso la tecnologia digitale intelligente (*ibid.*) (Berkhout, Hertin, 2004).

Numerosi studi concludono che gli effetti netti legati alla presenza nelle organizzazioni e nelle realtà di consumo delle tecnologie digitali sono positivi, ovvero contribuiscono alla riduzione delle emissioni inquinanti e all'utilizzo delle risorse (Bieser, Hilty, 2017). Secondo *Global e-Sustainability Initiative*, l'applicazione su scala globale delle tecnologie di informatica e telecomunicazione (ICT) potrebbe evitare fino al 20% delle emissioni annuali di gas serra entro il 2030 (effetto indiretto), quando il settore dell'ICT causerà circa il 2 percento delle emissioni globali di gas inquinanti (effetto diretto) (*ibid.*). A sostegno di questa idea, la ricerca di Bieser e Hilty (2017), sostiene che l'utilizzo delle tecnologie informatiche nella creazione di reti (*grids*), edifici, trasporti, lavori, viaggi, servizi e agricoltura *smart* possa ridurre le potenziali emissioni inquinanti globali di una quota compresa tra l'8% e il 15% entro il 2030.

L'applicazione dell'ICT nel 2030 nei settori quali la mobilità, la manifattura, l'agricoltura, le costruzioni e l'energia può abbattere 9.7 volte i gas serra (effetto indiretto) rispetto a quelli immessi nell'atmosfera per generare l'informatica e l'elettronica necessarie (effetto diretto) (Bieser, Hilty, 2017). Inoltre, i ricercatori credono che in quell'orizzonte temporale il differenziale tra gli effetti diretti e quelli indiretti tenda ad aumentare, a favore di questi ultimi (*ibid.*). Una parte della letteratura crede che esista un rischio che le tecnologie ICT diventino controproducenti nei confronti della sostenibilità ambientale, ritenendo possibile la presenza di effetti netti negativi della digitalizzazione (Hilty et al., 2006).

La classificazione espressa fino ad ora divide gli effetti della tecnologia in diretti, indiretti e comportamentali. Essa non tiene però conto dell'importante ruolo che la consapevolezza informativa, resa possibile dalla tecnologia, ha nel formulare nelle imprese e nei consumatori la conoscenza specifica verso particolari temi ambientali e/o nel permettere le risposte più proprie agli stessi (Berkhout, Hertin, 2004). Per questo le tecnologie digitali dovrebbero essere analizzate in una duplice visione, facendo quindi emergere, oltre agli impatti ecologici che sono misurati dall'uso dell'ICT, anche la capacità che esse hanno di attivare una miglior comprensione degli stessi da parte delle imprese (*ibid.*).

Le parti successive del capitolo approfondiscono alcuni aspetti principali che rappresentano specifici effetti indiretti positivi indotti dalla tecnologia digitale.

Lo schema seguente riassume quanto affermato in questa sezione del capitolo.

	IMPATTO POSITIVO	IMPATTO NEGATIVO
Effetti diretti dell'ICT	Nessuno	Effetti ambientali legati alla produzione, all'uso e allo smaltimento delle tecnologie.
Effetti indiretti dell'ICT	Aumento dell'efficienza, dematerializzazione e virtualizzazione, controllo dei cambiamenti ambientali (logistica intelligente o sensori ambientali).	Caduta dei prezzi per le risorse di input, proliferazione di dispositivi intelligenti e sostituzione parziale di beni e servizi "fisici" (es. e-shopping).
Effetti strutturali e comportamentali dell'ICT	Transizioni strutturali e di stili di vita (es. crescita delle industrie leggeri e fenomeni di consumo ecologico).	Stimolo della crescita economica e dei consumi.
Tabella 1: Impatto dell'ICT sull'ambiente (FONTE: Riadattata da Berkhout, Hertin, 2004)		

3.2 - Industria 4.0: implicazioni ecologiche

Nel capitolo precedente sono state analizzate le applicazioni tecniche, operative e strategiche dell'Industria 4.0. Questo capitolo ha l'obiettivo di definire le notevoli implicazioni ecologiche connesse all'utilizzo di queste tecnologie.

Le recenti tendenze manifestatesi sul mercato e la crescente disponibilità di tecnologie decentralizzate e automatiche stanno spingendo le imprese manifatturiere interessate alla sostenibilità verso l'applicazione delle tecnologie proprie delle cosiddette *fabbriche smart* (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Infatti, la digitalizzazione e l'interconnessione dei processi industriali indotta dall'industria 4.0 e dall'intelligenza artificiale, può portare effetti positivi alle tre dimensioni della sostenibilità già citate nel primo capitolo (Müller, Kiel, Voight, 2018).

La fabbrica 4.0 ha la potenzialità di creare un valore industriale eco-sostenibile grazie all'allocazione efficiente di risorse quali l'acqua, l'energia, materiali e prodotti, anche grazie all'utilizzo di intra-piattaforme intelligenti che operano lungo la catena di creazione del valore (*supply chain*) (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018).

L'interconnessione diretta dei dati tra i prodotti e i processi può migliorare il design produttivo, incrementando l'efficienza nella gestione dell'intero ciclo di vita del prodotto, grazie alla raccolta e all'elaborazione automatica dei dati (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Le informazioni possono essere utilizzate per migliorare in modo dinamico la qualità dei prodotti e servizi offerti sul mercato (*ibid.*). Da queste caratteristiche derivano importanti sviluppi potenziali conseguenti ad aumenti dell'efficienza, di riduzione dei tempi, dei costi e della lunghezza dei cicli di vita degli stessi (*ibid.*). L'ottimizzazione può

riguardare anche notevoli tagli nelle emissioni di gas serra, grazie alla riduzione dei consumi e degli sprechi. Le tecniche di produzione innovative, come l'*additive manufacturing* (si veda il cap. 2), possono aiutare a ridurre gli sprechi legati alla produzione e alla logistica (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

La **trasparenza** dei processi e dei fattori legati alla domanda consente la programmazione intelligente delle attività industriali, nell'ottica di aumentare l'efficienza durante l'uso e la produzione delle risorse, essa inoltre permette di fornire delle analisi molto dettagliate sulla loro impronta ecologica (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Questi *report* sono in grado di consentire alle imprese di compiere scelte strategiche o operative più ponderate e precise, grazie alla migliore conoscenza sui fenomeni (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

L'interconnessione orizzontale e verticale tra imprese, fabbriche, fornitori, reti logistiche, risorse, consumatori (ecc.) permette importanti riduzioni dei costi, dell'inquinamento, delle emissioni di CO₂ e un utilizzo ridotto delle materie prime, grazie alla comunicazione in tempo reale; ne deriva un'ottimizzazione intelligente dell'interazione tra diversi dispositivi (*IoT*) connessi ai diversi processi dei diversi soggetti economici (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018) (Berkhout, Hertin, 2004) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

Un'ulteriore caratteristica chiave deriva dalla possibilità delle imprese di adattare la produzione e la progettazione dei prodotti per aderire ai precisi bisogni espressi dal mercato, in termini di preferenze e di disponibilità di prezzo, aumentando l'efficienza ambientale e riducendo gli sprechi legati ai minori prodotti che rimangono invenduti (Berkhout, Hertin, 2004) (Osburg, Lohrmann, 2017). Inoltre, grazie all'interconnessione verticale permessa dalla condivisione in tempo reale dei dati (es. *Cloud* o *IIoT*), le aziende e i consumatori possono collaborare, costituendo partnership interindustriali, creando unitamente prodotti e servizi che corrispondono agli specifici bisogni di determinati segmenti del mercato (Osburg, Lohrmann, 2017).

L'efficienza nell'utilizzo dell'energia elettrica negli ambiti industriali può aumentare per effetto delle misurazioni in tempo reale permesse dalla strumentistica intelligente, queste ultime possono permettere, per esempio, di evitare di consumare elettricità durante le ore di picco (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

La mancanza di comprensione del comportamento di consumo energetico (quando, dove, perché e come) costituisce il motivo principale della difficoltà di valutare e migliorare

l'efficienza energetica delle fabbriche (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Queste incertezze riguardano il momento in cui l'energia è consumata, il luogo, gli utilizzi e le applicazioni concrete (per esempio, se essa viene dispersa) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Un modo innovativo di prendere coscienza in merito a questo fenomeno riguarda l'ottenere in tempo reale dati e informazioni da sensori, parametri, misuratori e altri strumenti, al fine di incorporare quanto raccolto nei modelli di gestione della produzione (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014). Ne deriva la possibilità di permettere al *management* dell'impresa di avere una chiara visione del consumo in dettaglio e in tempo reale (*ibid.*).

Le precedentemente citate operazioni di riduzione dell'impatto ambientale possono avvenire anche grazie al controllo computerizzato del consumo di energia, che può consentire alla fabbrica intelligente di decidere in tempo reale, in modo automatico e decentralizzato, se utilizzare energia proveniente da fonti a basso o alto impatto ecologico e a consumare l'elettricità quando essa è in abbondanza nel sistema (Burritt, Christ, 2016). Il paradigma tecnologico citato viene denominato *smart grid*, ovvero rete elettrica intelligente. Essa grazie alla componentistica ad alta tecnologia ed interconnessa, permette di interfacciare tramite complessi algoritmi, la produzione, l'accumulazione e il consumo dell'energia in tempo reale, efficientando l'interazione tra domanda e offerta di elettricità (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Burritt, Christ, 2016) (Osburg, Lohrmann, 2017). La *smart grid* consente di gestire in modo più conveniente la produzione elettrica originata con fonti pulite, permettendo alle fabbriche *smart* di utilizzare una frazione crescente di energia rinnovabile (Stock, Seliger, 2016). Questo avviene soprattutto grazie alla possibilità di integrare alla *smart grid* esterna con impianti di generazione privati, rendendo l'impresa sia un fornitore sia un produttore di energia (*ibid.*).

3.2.1 - Esempio di re-ingegnerizzazione sostenibile dei prodotti – Le lattine per le bevande

Grazie alle tecnologie digitali e ai conseguenti miglioramenti produttivi, beni semplici come gli imballaggi sono stati migliorati tramite avanzamenti nel design e mediante l'applicazione di valutazioni ambientali (es. ciclo di vita di un prodotto) permesse da particolari software. Un esempio di de-materializzazione del design è la riduzione progressiva del peso che ha coinvolto la produzione di lattine in alluminio per bibite. Infatti, il materiale metallico utilizzato per costituire questi prodotti durante gli anni '90 dello scorso secolo si è ridotto del 50% grazie a miglioramenti nel design principalmente permessi da software di disegno tecnico assistito dal computer (CAD) e ad attrezzature di produzione a controllo numerico. (Berkhout, Hertin, 2004)

Dalla seguente tabella si può evincere un riassunto dei principali vantaggi che le caratteristiche tecniche, produttive e commerciali della fabbrica smart (già elencate nel secondo capitolo) possono offrire alla sostenibilità.

PRINCIPIO TECNICO – PRODUTTIVO – COMMERCIALE	CONTRIBUZIONE AMBIENTALE
Interoperabilità	Ciclo di vita più lungo delle attrezzature, riduzione degli scarti industriali, adattamento più veloce verso i fattori di efficientamento della produzione
Decentralizzazione	Maggior utilizzo delle risorse locali e delle attrezzature disponibili, maggiore facilità nel prendere decisioni di efficientamento energetico
Virtualizzazione	Riduzione degli sprechi industriali, maggiore trasparenza informativa ed aumento delle capacità di riciclaggio dei materiali permesso dalla maggior organizzazione e dalla migliore trasparenza dei fenomeni
Adattabilità in tempo reale	Migliore adattamento alle curve di domanda, migliore utilizzo delle risorse e adeguamento rapido ai cambiamenti nella fornitura dell'energia
Orientamento ai servizi	Miglioramento nell'utilizzo dei prodotti finali, aumento nelle opportunità di riciclaggio e riutilizzo

Tabella 2 – I vantaggi ecologici derivanti dalla tecnologia digitale nella produzione
FONTE: Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018 - contenuto riadattato

Come emerge dai vari fattori presi in esame dalla sopracitata letteratura, l'industria 4.0 offre la notevole opportunità di creare valore industriale sostenibile a livello economico e ambientale (Stock, Seliger, 2016). Alcune ricerche però concludono che, in un futuro vicino, a livello

aggregato, gli impatti positivi e quelli negativi tenderanno probabilmente ad annullarsi gli uni con gli altri (Hilty et al., 2006) (Bieser, Hilty, 2017). La maggior parte degli studi analizzati, però, calcolano un effetto ambientale netto positivo legato alla contribuzione della tecnologia digitale alla causa ecologica (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018) (Shrouf, Ordieres, Miragliotta, 2014).

La riduzione nella produzione di rifiuti, l'utilizzo efficiente delle risorse naturali e delle materie prime, la crescente efficienza energetica e la dinamizzazione del tempo in cui la fabbrica è operativa sono parte dei valori intrinseci che costituiscono la dimensione sostenibile dell'industria 4.0 (Carvalho, Chaim, Cazarini, Gerolamo, 2018). Alcuni di questi elementi già compongono una parte delle pratiche industriali moderne, ma l'importante ruolo riconosciuto all'industria 4.0 è quello di rendere le stesse un fenomeno esteso e diffuso all'interno delle singole imprese ma anche negli scenari industriali internazionali (*ibid.*). Questo traguardo può essere superato grazie ad un'elevata implementazione della digitalizzazione, della virtualizzazione e integrazione consentita da tecnologie attualmente esistenti (*ibid.*).

Alcuni miglioramenti dal lato della sostenibilità derivano dall'aumento dell'efficienza nell'uso delle risorse e da una maggiore aderenza da parte degli impianti di produzione rispetto all'andamento delle curve di domanda. Ma gli impatti più profondi riguardanti la sostenibilità possono essere espressi solo attraverso l'incorporazione delle tematiche ambientali nei concetti strategici di successo delle imprese (*ibid.*).

Hilty et al. (2006) affermano come sia essenziale produrre una legislazione in grado di incoraggiare e rafforzare le aree di applicazione delle tecnologie digitali che hanno degli effetti ambientali positivi, penalizzando le applicazioni che tendono a produrre conseguenze ecologiche negative, come quelle che aumentano la velocità di consumo delle risorse (Bieser, Hilty, 2017) (Hilty et al., 2006). Uno studio del 2014 conferma che, in futuro, solo limitando i fattori negativi delle tecnologie informatiche ed elettroniche e favorendo quelli positivi, si può avere una riduzione dei gas serra (Bieser, Hilty, 2017).

3.3 - Gli effetti ambientali della logistica 4.0

Il modo con cui gli oggetti fisici sono attualmente trasportati, immagazzinati e forniti ai clienti non è né economicamente né ecologicamente sostenibile (Montreuil, 2011). Una delle prospettive ambientali, è quella di ridurre l'ammontare totale di consumo energetico e l'inquinamento diretto e indiretto legato alla logistica, alla produzione e al trasporto (*ibid.*).

Nello specifico, i principali vantaggi logistici legati all'applicazione delle tecnologie digitali sono: la riduzione dei trasporti non necessari, del numero di spedizioni errate, abbassamento dei tempi di attesa e dei danneggiamenti degli oggetti durante i trasporti grazie alla maggiore trasparenza e al collegamento dinamico ed in tempo reale attraverso la *supply chain* (Müller, Kiel, Voight, 2018) (Kayikci, 2018). La produzione decentralizzata vicina al luogo dove i beni sono effettivamente utilizzati ha la possibilità di ridurre ulteriormente gli impatti ecologici della logistica, anche attraverso l'applicazione di tecniche di *logistica smart* (Müller, Kiel, Voight, 2018).

Altre caratteristiche chiave della cosiddetta *logistica smart* riguardano la presenza di mezzi e sistemi di trasporto che sono in grado di reagire ad eventi non previsti (es. cambiamenti metereologici o nel traffico), riorganizzando in modo automatico e decentralizzato i flussi di trasporto in tempo reale (Stock, Seliger, 2016). Inoltre, le tecnologie di guida autonoma permesse dalle varie tecnologie digitali hanno la capacità di sconvolgere l'intero settore dei trasporti, portando notevoli effetti ecologici positivi (*ibid.*).

Un'ultima caratteristica della *logistica smart* è data dall'*IoT*: ogni singolo elemento della rete logistica avrà dei sistemi di identificazione e interscambio di informazioni in tempo reale, permettendo così un elevatissimo livello di precisione nella gestione e nell'ottimizzazione di tutti i materiali e le infrastrutture lungo la catena del valore (Stock, Seliger, 2016) (Kayikci, 2018). Inoltre, il fenomeno della digitalizzazione consente di ridurre il numero di prodotti e/o servizi che richiedono dei trasporti, grazie al consumo di beni virtuali, come i film in streaming o le teleconferenze in sostituzione ai viaggi di lavoro (Kayikci, 2018).

Di conseguenza, la presenza di reti logistiche gestite dalle tecnologie digitali permette alle imprese di sfidare la concorrenza offrendo servizi di consegna efficienti e trasparenti, applicando network logistici di grandi dimensioni grazie alla gestione automatica permessa da complessi algoritmi in grado di aiutare le imprese a risparmiare denaro, aumentare i margini di vendita e lasciare un'impronta ecologica minore (*ibid.*).

Dalla letteratura emerge però l'assenza di una valutazione comprensiva della digitalizzazione nella logistica, gli studi esistenti affrontano maggiormente i temi del trasporto, a discapito della logistica nella sua integrità (Kayikci, 2018).

3.4 - Il modello ICT di shared economy

La digitalizzazione rende l'idea della “*shared economy*” possibile, ovvero essa permette di avviare un'economia caratterizzata dalla condivisione diffusa dei beni grazie alla gestione digitale dell'elevato livello di complessità (Osburg, Lohrmann, 2017). La condivisione degli oggetti fisici potrebbe essere una soluzione a numerosi problemi ecologici legati al sovraconsumo delle risorse, potendo inoltre portare a dei rilevanti vantaggi ambientali legati all'utilizzo più efficiente delle risorse (*ibid.*). Questa condivisione potrebbe essere agevolata in modo massiccio da parte della componentistica digitale connessa ad internet (IoT) e ai sistemi di interconnessione e telecomunicazione digitale (*ibid.*).

Invece che possedere un oggetto permanentemente, qualunque esso sia, molte persone potrebbero scegliere di entrare in possesso dello stesso oggetto per il tempo che ritengono necessario, solo quando ne hanno bisogno, optando quindi per acquistare un servizio (*ibid.*). La ragione principale che porta all'idea della *sharing economy* è legata al fatto che studi evidenziano come i beni durevoli (es. automobili) restino inutilizzati per lungo tempo durante la giornata e di come sarebbe opportuno efficientare questa particolare caratteristica, usando dei sistemi dinamici di condivisione (*ibid.*). La generazione più giovane di utenti sembra essere positivamente stimolata dalla filosofia di “usare invece che possedere”, per esempio non sente, in media, il bisogno di dover essere proprietari di un'automobile (secondo gli autori, inelegante dal punto di vista economico), invece predilige un accesso flessibile, affidabile ed economico al complesso sistema di mobilità urbana (*ibid.*).

Senza dubbio, la costituzione di attività imprenditoriali che implementano questo cambiamento di maggior orientamento ai servizi può mettere a dura prova l'esistenza dei modelli di business tradizionali (*ibid.*). È anche vero, però, che la digitalizzazione ha le carte in regola per rendere possibile la creazione di modelli di business profittevoli che possono portare alla riduzione del consumo e ad un uso più efficiente delle risorse, aumentare la flessibilità di utilizzo e quindi, rendere la società più sostenibile (*ibid.*). Modelli di business innovativi possono per cui offrire servizi basati sulla rete internet per costituire un'architettura fondata sull'orientamento ai servizi.

Nell'applicare la digitalizzazione all'idea della *sharing economy* si nota che non solo il cliente ma anche altri soggetti come i fornitori, i concorrenti e le organizzazioni non governative ne beneficiano, costituendo parte attiva nella creazione del valore (*ibid.*).

Conclusioni

La tecnologia digitale sembra avere importanti impatti positivi sulla sostenibilità ambientale ed essere un possibile fattore di facilitazione nell'ottenimento di traguardi ecologici. Questo avviene specialmente grazie alla capacità di questa tecnologia di influenzare i cambiamenti strutturali nell'economia, aumentando l'efficienza nella produzione e nella logistica.

Dalla letteratura emerge la necessità di bilanciare questi effetti positivi rispetto alle conseguenze ambientali negative connesse all'esistenza della tecnologia, come gli impatti ambientali diretti causati dall'utilizzo dei dispositivi elettronici. Diversi autori esprimono effetti netti discordanti in merito all'impatto diretto e indiretto della tecnologia sull'ambiente, a causa della complessità di questo tipo di analisi. Sembra che predomini un effetto ecologico netto positivo, ma non esiste una sola fonte di verità: ci sono molte variabili che devono essere analizzate individualmente per avere una visione chiara delle future implicazioni ambientali, competitive, organizzative e tecniche del digitale. Le realtà analizzate sono in continua evoluzione e non è per ora possibile descrivere in modo chiaro quale sarà lo scenario tecnologico ed ecologico futuro nel mondo delle imprese.

Tutti gli studi evidenziano la notevole difficoltà nel compiere solide previsioni al riguardo dell'interazione tra digitale e ambiente, soprattutto per il notevole grado di incertezza in merito alla possibile evoluzione di questi fenomeni nell'orizzonte temporale futuro. La complessità nel prevedere queste dinamiche dipende soprattutto dal livello di diffusione delle tecnologie informatiche avanzate nella vita quotidiana della società e nelle dinamiche imprenditoriali che andranno a delinearci in futuro. Molti dei fattori citati non sono direttamente collegati alla produzione e all'uso della tecnologia, ma dipendono da abitudini, modi di fare e preferenze dei consumatori e delle imprese. Inoltre, l'entità della riduzione dell'impatto ambientale legato ai sistemi, ai prodotti e ai servizi digitali dipende in misura principale dal modo con cui essi sono concepiti, applicati ed implementati da settori chiave come i trasporti, l'energia e l'industria.

Riassumendo, appare che le ripercussioni ambientali legate alla digitalizzazione nel futuro siano molto difficili da misurare. Il motivo è che la loro interazione risulta complessa, interdipendente, profondamente incerta e diversificata in base alla scala di applicazione. Non è perciò scontato che la tecnologia informatica porterà ad un futuro più ecologico, ma sicuramente essa offre l'opportunità di sviluppare interessanti soluzioni sostenibili. Per questo motivo diventa essenziale, in un futuro vicino, il ruolo delle istituzioni regolatrici nel dirigere e coordinare il percorso di sfruttamento di questi possibili vantaggi e nel rendere più favorevoli per le imprese e per i consumatori gli utilizzi della tecnologia con impatti ambientali più ridotti.

Per concludere, lo scenario delineato dalla letteratura è caotico, vario e incerto, soprattutto perché riguarda un futuro difficilmente prevedibile. Diventa fondamentale che la cultura diffusa nella società, nelle imprese, tra i consumatori e nelle istituzioni favorisca un'evoluzione verso le combinazioni tecnologiche più ecologicamente favorevoli, incrementandone i benefici. Di conseguenza, qualora nel prossimo futuro dovesse crescere sensibilmente l'attenzione della società verso l'ecologia, la tecnologia digitale potrebbe sicuramente fornire dei potenti strumenti per perseguire queste finalità. Solo così degli scenari sostenibili possono emergere a discapito di evoluzioni tecnologiche, che seppur più tecnicamente più affascinanti, potrebbero essere meno ecologiche, o addirittura dannose per il pianeta.

Riferimenti bibliografici

- BEIER, G., NIEHOFF, S., XUE, B., (2018). More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things? *Applied sciences*. 2018, 8 (219), 1-12.
- BERKHOUT, F., HERTIN, J., 2004. De-materialising and re-materialising: digital technologies and the environment. *Futures* 36, 903-920.
- BIESER, J. C. T., HILTY L. M., 2017. Indirect Effects of the Digital Transformation on Environmental Sustainability: Methodological Challenges in Assessing the Greenhouse Gas Abatement Potential of ICT. In: 5th International Conference on Information and Communication Technology for Sustainability. Toronto, Maggio 2018. EPiC Series in Computing Volume 52, 2018, Pages 68-81.
- BURRITT, R., CHRIST, K., 2016. Industry 4.0 and environmental accounting: a new revolution? *Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility*, 1:23 (38), 23-36.
- CARVALHO N., CHAIM, O., CAZARINI, E., GEROLAMO, M., 2018. Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Science Direct, 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing (Procedia Manufacturing 21)*, 671-678.
- GABRIEL, M. PESSL, E., 2016. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*, Tome XIV [2016] (Fascicule 2), 131-136.
- HANELT, A., BUSSE, S., KOLBE L. M., 2017. Driving business transformation toward sustainability: exploring the impact of supporting IS on the performance contribution of eco-innovations. *Info Systems J*, 27, 463-502.
- HILTY, L. M., et al., 2006. The relevance of information and communication technologies for environmental sustainability, a prospective simulation study. *Environmental Modelling & Software* 21, 1618-1629.
- INFN DIAM (Development & Innovations on Additive Manufacturing), 2019. *Cos'è l'additive manufacturing* [online]. Disponibile su: <<http://diam.pd.infn.it/index.php/blog/18-addivearticle>> [ultimo accesso: 15/06/2019]
- KAYIKCI, Y., 2018. Sustainability impact of digitization in logistics. Sustainability impact of digitalization in logistic. *Science Direct, 15th Global Conference on Sustainable Manufacturing*, 782–789.

- MELL, P., GRANCE, T., 2011. *The NIST Definition of Cloud Computing, Recommendations of the National Institute of Standards and Technology* [online]. NIST Special Publication 800-145. Disponibile online su: <<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>> [ultimo accesso: 15/06/2019]
- MONTREUIL, B., 2011. Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logist. Res.*, 3, 71-87.
 - MÜLLER, J. M., KIEL, D., VOIGHT, K., 2018. What Drives the Implementation of Industry 4.0? The Role of Opportunities and Challenges in the Context of Sustainability, Applied science.
 - OSBURG, T., LOHRMANN, C., a cura di, 2017. *Sustainability in a Digital World, new opportunities Through New Technologies*. 1ed. Cham: Springer. Capitoli 1, 3, 9, 10, 11, 12, 13.
 - SHROUF, F., ORDIERES, J., MIRAGLIOTTA, G., 2014. Smart Factories in Industry 4.0: A Review of the Concept and of Energy Management Approached in Production Based on the Internet of Things Paradigm. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Malaysia, 9-12/12/2014, 697-701.
 - STOCK, T., SELIGER, G., 2016. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. Science Direct, 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth from resource use (Procedia CIRP 40), 536-541.
 - STOLTERMAN E., FORS A. C., 2004. Information Technology and the Good Life, in *Information Systems Research: Relevant Theory and Informed Practice*, p. 689, ISBN1-4020-8094-8.
 - SU, Y., AL-HAKIM, L., 2010. System Dynamics Modeling for Green IT Strategies SAP Sustainability Development Case. *International Conference on Challenges in Environmental Science and Computer Engineering IEEE*, 978-0-7695-3972-0, 504-507.
 - THE ECONOMIST, 2009. *Triple bottom line* [online]. 17/11/2009. Disponibile su: <economist.com/news/2009/11/17/triple-bottom-line> [ultimo accesso: 15/06/2019]