



**Politecnico  
di Torino**

## **POLITECNICO DI TORINO**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale

Anno Accademico 2021/2022

Tesi Di Laurea Magistrale

### **Analisi della letteratura sulle applicazioni di tecnologie digitali alla Supply Chain: Additive Manufacturing e Internet of Things**

**Relatore:**

Prof.ssa Anna Corinna Cagliano  
Dott.ssa Mahsa Mahdavisarif

**Candidato:**

Antonio Domenico Musciotto

*A nonna Anna*

*sei qui al mio fianco, sempre.*

# INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>8</b>
<b>1 SUPPLY CHAIN 4.0.....</b>	<b>10</b>
1.1 INDUSTRY 4.0 .....	10
1.2 DIGITAL SUPPLY CHAIN.....	13
1.3 TECNOLOGIE ABILITANTI.....	23
<b>2 APPLICAZIONE DELLE TECNOLOGIE 4.0 ALLA SUPPLY CHAIN .....</b>	<b>30</b>
2.1 INTERNET OF THINGS .....	32
2.1.1 CENNI STORICI.....	32
2.1.2 LIVELLI E TECNOLOGIE CHIAVE DELL'INTERNET OF THINGS .....	33
2.1.3 INTERNET OF THINGS E SUPPLY CHAIN .....	35
2.1.4 VANTAGGI DELL'APPLICAZIONE DELL'INTERNET OF THINGS ALLA SUPPLY CHAIN.....	37
2.2 ADDITIVE MANUFACTURING .....	40
2.2.1 DEFINIZIONE.....	40
2.2.2 CENNI STORICI.....	41
2.2.3 L'ADDITIVE MANUFACTURING NELLA REALTÀ PRODUTTIVA ATTUALE ..	44
2.2.4 I MATERIALI .....	45
2.2.5 IL PROCESSO PRODUTTIVO .....	45
2.2.6 ADDITIVE MANUFACTURING E SUPPLY CHAIN .....	47
2.2.7 VANTAGGI E LIMITI DELL'APPLICAZIONE DELL'ADDITIVE MANUFACTURING ALLA SUPPLY CHAIN .....	51

<b>3</b>	<b>ATTIVITÀ DI RICERCA: METODOLOGIA E STRUMENTI</b>	<b>53</b>
3.1	SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW .....	53
3.2	SNOWBALLING STEP .....	56
3.3	ANALISI DEI RISULTATI DELLO SNOWBALLING .....	61
3.3.1	ANALISI DELLE MOTIVAZIONI DI RIFIUTO DEGLI ARTICOLI .....	61
3.3.2	ANALISI DELLE RIVISTE: QUALITÀ E 5 YEAR IMPACT FACTOR .....	63
3.3.3	ANALISI DEL NUMERO DI ARTICOLI PUBBLICATI NEGLI ANNI .....	67
3.3.4	ANALISI DELLE DUE TECNOLOGIE: LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA ....	69
3.3.5	ANALISI DELLA RELAZIONE INTER-FUNZIONALE TRA LE PROSPETTIVE DI RICERCA: INTERNET OF THINGS .....	72
3.3.6	ANALISI DELLA RELAZIONE INTER-FUNZIONALE TRA LE PROSPETTIVE DI RICERCA: ADDITIVE MANUFACTURING .....	75
3.3.7	ANALISI DELLE TEORIE .....	79
3.3.8	ANALISI DELLA COMBINAZIONE TRA LE TECNOLOGIE DI INDUSTRIA 4.0 .....	81
3.3.9	ANALISI DELLA RELAZIONE TRA LA QUALITÀ DELLE RIVISTE E LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA: INTERNET OF THINGS .....	82
3.3.10	ANALISI DELLA RELAZIONE TRA LA QUALITÀ DELLE RIVISTE E LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA: ADDITIVE MANUFACTURING .....	85
3.3.11	ANALISI DELLE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA NEGLI ANNI: INTERNET OF THINGS .....	87
3.3.12	ANALISI DELLE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA NEGLI ANNI: ADDITIVE MANUFACTURING .....	89
3.4	CONSIDERAZIONI FINALI .....	91
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>95</b>
4.1	BENEFICI DEL LAVORO DI TESI .....	95
4.2	LIMITI DEL LAVORO DI TESI .....	96
4.3	PASSI FUTURI .....	97
	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>100</b>
	<b>SITOGRAFIA</b> .....	<b>104</b>
	<b>RINGRAZIAMENTI</b> .....	<b>105</b>

# INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Le quattro rivoluzioni industriali.....	11
Figura 2 – Supply Chain.....	15
Figura 3 – Supply Chain Management.....	16
Figura 4 – Traditional Supply Chain vs Digital Supply Chain.....	18
Figura 5 – Industria 4.0: le tecnologie abilitanti .....	28
Figura 6 – Evoluzione dell’IoT .....	33
Figura 7 – Supply chain e IoT .....	39
Figura 8 – La tendenza all’adozione della stampa 3D nel tempo .....	43
Figura 9 – Passaggi fondamentali di un generico processo di AM.....	46
Figura 10 – Catena di produzione tradizionale vs. Stampa 3D .....	47
Figura 11 – Passi principali di una Systematic Literature Review .....	54
Figura 12 – Procedura Snowballing.....	56
Figura 13 – Nuovi articoli trovati a seguito sia dello step di Bacward Snowballing che di Forward Snowballing .....	60
Figura 14 – Numero papers per motivazione rifiuto a seguito dello step di Snowballing.....	61
Figura 15 – Percentuale papers per motivazione rifiuto a seguito dello step di Snowballing.....	62
Figura 16 – Riviste e numero di Snowballing papers pubblicati.....	64
Figura 17 – Quantità e qualità delle riviste pubblicanti studi sull’applicazione delle tecnologie IoT e Additive Manufacturing alla supply chain .....	65
Figura 18 – Percentuale qualità delle riviste in cui le due tecnologie sono state dibattute .....	65
Figura 19 – 5 year Impact Factor delle riviste .....	66
Figura 20 – Numero di papers pubblicati dal 2010 al 2021 per le due tecnologie	68
Figura 21 – Numero dei papers per tecnologia per la prospettiva di ricerca Supply Chain processes.....	69
Figura 22 – Numero dei papers per tecnologia per la prospettiva di ricerca Supply Chain areas and issues .....	70

Figura 23 – Numero dei papers per tecnologia per la prospettiva di ricerca Supply Chain methodologies .....	71
Figura 24 – Supply Chain areas and issues/Supply Chain processes (IoT) .....	73
Figura 25 – Supply Chain areas and issues/Supply Chain methodologies (IoT) ...	74
Figura 26 – Supply Chain processes/Supply Chain methodologies (IoT) .....	75
Figura 27 – Supply Chain areas and issues/Supply Chain processes (Additive Manufacturing) .....	76
Figura 28 – Supply Chain areas and issues/Supply Chain methodologies (Additive Manufacturing) .....	77
Figura 29 – Supply Chain processes/Supply Chain methodologies (Additive Manufacturing) .....	78
Figura 30 – Analisi critica delle teorie dei Snowballing papers.....	79
Figura 31 – Analisi critica della percentuale delle teorie usate nei Snowballing papers .....	80
Figura 32 – Numero di papers per tecnologia trattanti più tecnologie digitali .....	81
Figura 33 – Attività della supply chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q1 e Q2 (IoT) .....	82
Figura 34 – Aree e problemi della supply chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q1 e Q2 (IoT) .....	83
Figura 35 – Metodologie discusse rispettivamente da riviste di qualità Q1 e Q2 (IoT) .....	84
Figura 36 – Attività (sinistra) e metodologie (destra) della Supply Chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q2 e Q3 (Additive Manufacturing) .....	86
Figura 37 – Aree e problemi della Supply Chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q2 e Q3 (Additive Manufacturing) .....	87
Figura 38 – Tematiche trattate dai papers per anno (IoT) .....	88
Figura 39 – Metodologie di ricerca per anno (IoT) .....	89
Figura 40 – Tematiche trattate dai papers per anno (Additive Manufacturing) ...	90
Figura 41 – Metodologie di ricerca per anno (Additive Manufacturing) .....	91
Tabella 1 – Sintesi dei risultati dell’analisi della letteratura .....	94



# INTRODUZIONE

La globalizzazione, la diffusione di internet e la rivoluzione digitale hanno fortemente contraddistinto gli ultimi anni del XX secolo e profondamente stravolto il contesto mondiale, determinando nuovi standard comunicativi e rendendo l'informazione ampiamente raggiungibile, grazie alla crescita dei dispositivi connessi. Se la terza rivoluzione industriale ha portato importanti benefici in materia di tecnologie dell'informazione e delle comunicazioni, semplificando le relazioni tra fornitori e clienti, l'ampia diffusione dei canali d'accesso ad internet promette di stravolgere ancora di più il settore e le realtà industriali. Proprio queste innovazioni, oltre che la necessità di maggior rapidità, efficienza e la disponibilità di tecnologie innovative, hanno causato un cambiamento alla Supply Chain tradizionale, trasformandola in una delle componenti chiave del valore espresso dalle aziende: un sistema che sta diventando il vero e proprio centro nevralgico della competitività. Tale sistema necessita di una nuova struttura ridisegnata sui concetti fondamentali di integrazione, innovazione ed automatizzazione, finalizzata quindi alla collaborazione ed alla condivisione real-time dell'informazione lungo l'intera catena, in modo da soddisfare il più possibile i requisiti del consumatore finale. In questo lavoro, viene presentato il nuovo concetto di Digital Supply Chain e quelle che sono le sue principali caratteristiche. Sulla base di tale nuovo concetto, vengono trattate in primis le dinamiche generali che hanno portato alla quarta rivoluzione industriale, che, a differenza delle precedenti, non introduce nel mondo industriale un'innovazione dirompente in grado di stravolgere il paradigma dell'industria manifatturiera; bensì offre l'opportunità alle imprese di diventare agili e reattive, in modo da adattarsi alle nuove dinamiche dei mercati. Infatti, questa rivoluzione industriale, rispetto alle scorse, vede come protagonista l'utilizzo all'interno dell'impianto di produzione di più tecnologie abilitanti, ovvero soluzioni o miglioramenti tecnologici che sono in grado di rivitalizzare il sistema produttivo. Sfruttando queste soluzioni i processi legati all'industria saranno dotati di una interconnessione veloce, chiara e diretta tra tutti gli asset aziendali. L'implementazione di queste nuove tecnologie richiede un cambio di paradigma dal vecchio concetto di fabbrica alla nuova fabbrica intelligente (smart factory), caratterizzata da una produzione digitalizzata, composta da processi più fluidi, interconnessi, e da sistemi di

produzione adeguati alla modernità e ai suoi bisogni, capaci di utilizzare al meglio le risorse disponibili [4]. Queste tematiche sono state ampiamente approfondite in numerosi studi trattanti sia aspetti teorici che esempi di implementazione. In tale contesto, questo lavoro, parte di un'attività di ricerca, mira ad esplorare gli effetti dell'applicazione di due tecnologie di industria 4.0 alla Supply Chain: Additive Manufacturing (AM) e Internet Of Things (IoT). Sia l'AM che l'IoT sono considerate tecnologie emergenti dell'Industria 4.0 con il potenziale di cambiare significativamente le operazioni e la gestione della catena di approvvigionamento. Dunque, l'obiettivo di questo lavoro è dimostrare come due delle tecnologie abilitanti la Digital Supply Chain possano migliorare l'efficienza della medesima. Per raggiungere l'obiettivo appena dichiarato, è stata condotta un'analisi della letteratura tramite il metodo scientifico della Systematic Literature Review (SLR), ed in particolare la tecnica dello Snowballing, allo scopo di convergere in un unico pensiero comune e poter arrivare a conclusioni sui potenziali vantaggi che queste tecnologie possono offrire ai diversi attori della catena di fornitura. La tesi è strutturata come segue: dopo aver presentato ed analizzato nel dettaglio il concetto di Industria 4.0 e di Digital Supply Chain, e aver sinteticamente esposto le tecnologie abilitanti al capitolo 1, nel corso del secondo capitolo viene descritta l'applicazione dell'AM e dell'IoT alla Supply Chain. Il capitolo 3 è stato invece completamente dedicato alla descrizione dell'attività di ricerca condotta, completata dall'esposizione dello strumento dello Snowballing, proprio di tale metodologia, dalle analisi critiche e dalle considerazioni finali dei risultati ottenuti. Ciò che risulta è che l'implementazione delle tecnologie IoT e AM porterebbero importanti benefici alle catene di fornitura. In particolare, l'uso dell'IoT porterebbe al miglioramento delle attività principali della catena di approvvigionamento manifatturiera specialmente grazie alla possibilità di avere a disposizione una visibilità in tempo reale delle informazioni lungo l'intera catena. Passando all'AM, invece, sembrerebbe in grado di ristrutturare le catene di fornitura grazie alle due principali opportunità che fornisce: riprogettare i prodotti con meno componenti ed inoltre fabbricare prodotti vicino ai clienti. Infine, al capitolo 4 sono stati riportati i benefici ottenibili dalla tesi, le limitazioni dello studio ed i potenziali passi futuri per la ricerca.

# 1 SUPPLY CHAIN 4.0

Nel primo capitolo verrà affrontato e presentato il concetto di Digital Supply Chain, quelle che sono le sue principali caratteristiche e la sua struttura. Verranno trattate in primis le dinamiche generali che hanno portato all'affermazione del nuovo concetto di Industria 4.0, strettamente legato a quello di Digital Supply Chain, i motivi e le tecnologie abilitanti il passaggio dalla tradizionale catena di fornitura a tale nuova configurazione. Descritto ciò, si potrà passare all'analisi dei benefici che la trasformazione digitale e le tecnologie 4.0 hanno portato alle aziende di oggi, ma anche gli ostacoli che esse incontrano nell'implementarle e nell'adeguarsi a questo nuovo paradigma di processo.

## 1.1 INDUSTRY 4.0

La definizione di Digital Supply Chain, come menzionato nell'introduzione al presente elaborato di tesi, è strettamente correlata al concetto di Industry 4.0. Con il termine "Industria 4.0" si intende quella tappa dell'evoluzione del concetto di industria, che segue le precedenti tre grandi fasi, più conosciute come rivoluzioni industriali. In particolare, il paradigma Industria 4.0 fa riferimento a quell'insieme di innovazioni digitali che, venute a maturazione negli ultimi anni principalmente nel terziario avanzato, sta cercando un nuovo spazio nel mondo industriale. Questa ondata di innovazione digitale ha dato inizio ad una vera e propria rivoluzione, la quarta [1].

Scoperte storiche che hanno rivoluzionato il modus operandi nell'ambito industriale, hanno già portato altre tre volte all'evoluzione del concetto d'industria nel corso degli anni. Prima di descrivere le caratteristiche della quarta rivoluzione industriale, sembra corretto presentare sommariamente le tre tappe che l'hanno preceduta. La linea temporale delle quattro rivoluzioni industriali, con annesse caratteristiche specifiche che hanno condotto ad una vera e propria rivoluzione, è presentata in Figura 1.

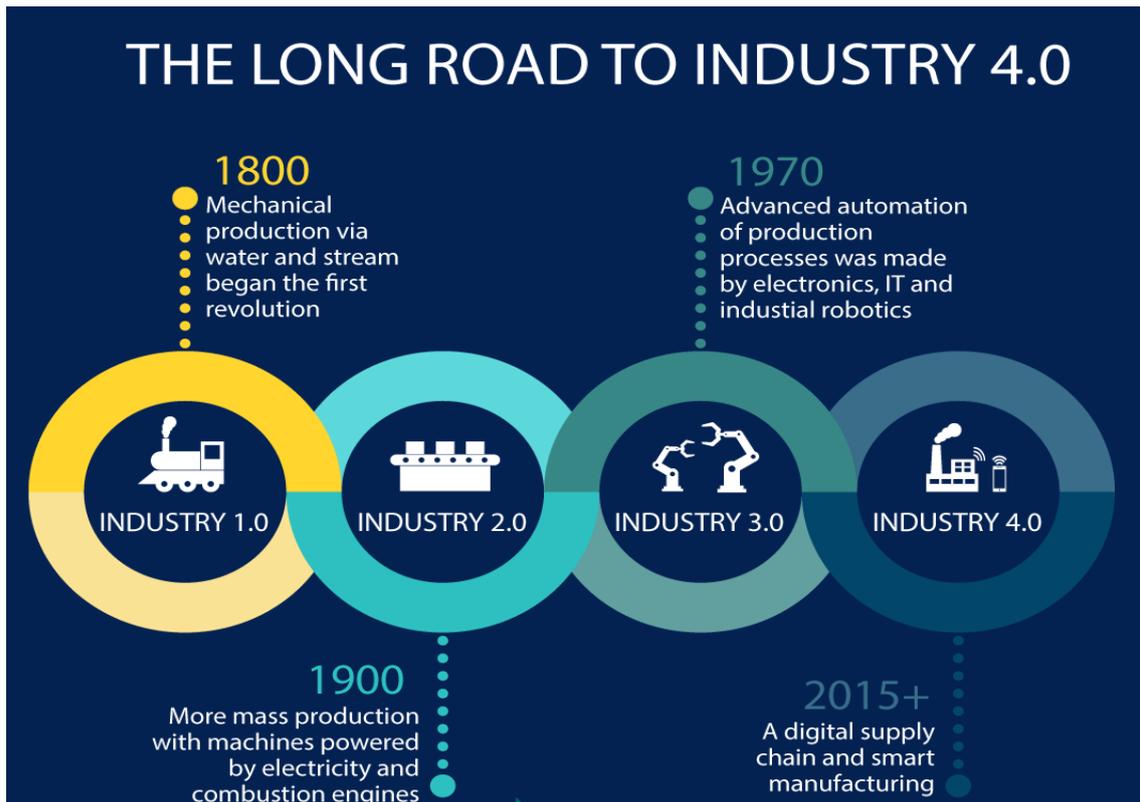


Figura 1 – Le quattro rivoluzioni industriali [11]

L'introduzione della macchina alimentata da vapore o da combustibili fossili è la scoperta che ha causato uno sconvolgimento radicale all'interno delle industrie, forte a tal punto da decretare l'inizio della Prima Rivoluzione Industriale. L'adozione di questi macchinari risalente alla seconda metà del 1700 ha consentito le prime forme di meccanizzazione e mutato profondamente il modo di produrre nelle fabbriche dapprima inglesi e, in un secondo momento, europee.

Il 1870 è l'anno che convenzionalmente viene ricondotto all'inizio della Seconda Rivoluzione Industriale, periodo in concomitanza del quale elettricità, petrolio e prodotti chimici vengono adoperati nel contesto della fabbrica. La presenza di questi nuovi fattori produttivi rende possibile la produzione di massa di prodotti standardizzati.

L'introduzione massiccia dell'elettricità consente lo sviluppo del settore informatico e delle telecomunicazioni nell'industria, passaggio che decreta l'inizio della Terza Rivoluzione Industriale la quale, dal punto di vista cronologico, viene fatta partire intorno gli anni Cinquanta del Novecento. Questa rivoluzione, definita anche "rivoluzione digitale", ha portato ad un'innovazione di processo estremamente

importante in quanto ha reso possibile la presenza nelle fabbriche di impianti automatizzati governati da nuove tecnologie avvalendosi di sistemi elettronici e dell'Information Technology (IT).

La prima volta che, invece, si parlò di Industria 4.0 fu nel 2011, in una relazione alla fiera di Hannover (Germania), da tre ingegneri: Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster, e Wolf-Dieter Lukas. I tre illustri rappresentanti del mondo accademico ed industriale hanno portato alla luce nel loro articolo come la Germania, grazie all'integrazione di tecnologie digitali in fabbrica, potesse guidare l'economia mondiale, diventando fornitore leader di soluzioni digitali in grado di ottimizzare i processi operativi e lo sviluppo di nuovi servizi ed andando a mutare le catene del valore a livello globale. L'articolo introduce il termine con questa frase: "Rimanere oggi un luogo di produzione significa prepararsi per la quarta rivoluzione industriale guidata da Internet." Rivoluzionare il modo di produrre e di proporre al mercato, nasce dall'esigenza del settore manifatturiero occidentale di recuperare competitività rispetto ai paesi emergenti, impiegando tecnologie la cui potenzialità non è stata ancora sfruttata. Più o meno un anno dopo, nell'ottobre del 2012, dall'articolo si passò all'azione ed un gruppo di ingegneri presentò al governo federale tedesco quello che è il primo vero piano di implementazione di Industria 4.0, il programma "Industry 4.0" con l'intento di promuovere alcune politiche di lungo termine per la digitalizzazione del settore manifatturiero.

Quando si parla di tecnologie digitali applicate al comparto manifatturiero e in generale Industria 4.0, spesso si imbatte anche nell'espressione Smart Manufacturing. Questo perché i concetti di Industry 4.0 e Smart Manufacturing corrono su due binari convergenti. Da un lato il citato programma governativo tedesco, dall'altra un'iniziativa americana intitolata Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC) che ha unito nel 2012 aziende produttrici, enti di ricerca, università e organizzazioni di produttori nella ricerca e nello sviluppo di standard, piattaforme e infrastrutture condivise. Ci sono quindi due grandi modelli di sviluppo in merito al tema Industria 4.0: quello statunitense e quello europeo.

Il primo si concentra soprattutto su attività e processi che riguardano maggiormente i servizi, usufruisce delle nuove tecnologie e di tutto ciò che incrementa il dialogo machine-to-machine per rendere veloci, efficaci e aperte le connessioni tra le differenti

componenti dell'apparato produttivo e gestionale. L'obiettivo è quindi quello di generare efficienza nella fabbrica rendendola più "intelligente". Il focus del modello europeo, invece, è più quello di sviluppare macchinari e tecnologie in grado di ottimizzare il processo produttivo, in particolare nel settore manifatturiero, e dare importanza alla relazione prodotto-cliente finale. L'integrazione di macchine, oggetti, persone è l'idea di fondo di entrambi in modelli. Costruire sistemi che creino connessioni sempre maggiori e sempre più forti tra le parti e che costituiscono l'intera catena del valore: macchinari, lavoratori, prodotto e consumatore. Due processi distinti, che hanno però contribuito a diffondere un unico paradigma di Industria 4.0 [1,11].

È chiaro quindi che parlando di industria 4.0 si entra in un campo estremamente vasto, districarsi tra tutto ciò che è stato scritto e detto negli ultimi anni su questo tema è particolarmente complesso. Si è cercato pertanto di illustrare il fenomeno cercando di inserirlo prima in un contesto globale, per poi analizzarne i trend tecnologici ed inserirlo nel concetto di supply chain 4.0.

## 1.2 DIGITAL SUPPLY CHAIN

In questo paragrafo, verrà presentata inizialmente la nozione generale di Supply Chain, e dunque dopo aver introdotto il concetto di Industria 4.0 nel paragrafo 1.1, si proseguirà e si concluderà la descrizione dell'argomento Digital Supply Chain. Successivamente verrà eseguito un paragone tra la catena di fornitura tradizionale e la Digital Supply Chain, le dinamiche determinanti il passaggio a quest'ultima configurazione, le sfide e i fattori di successo per un'implementazione efficiente.

Nonostante già agli albori degli anni '60, attraverso una previsione di Forrester relativa al mondo del lavoro (*"dopo un periodo di ricerca e sviluppo relativo, ci sarà un riconoscimento generale del vantaggio di cui godono i dirigenti pionieristici che sono stati i primi a migliorare la loro comprensione delle interrelazioni tra funzioni aziendali separate e tra l'azienda e i suoi mercati, il suo settore e l'economia nazionale [3]"*), i primi veri e propri studi indirizzati alla supply chain sono stati effettuati attorno agli anni '80, quando le aziende intuirono che l'evoluzione dei mercati, caratterizzata da una forte tendenza verso la riduzione di tempi di consegna ed aumento della gamma offerta di prodotti, le avrebbe portate in tempi brevi a non riuscire ad essere più competitive [3].

In questi anni sono state date numerose definizioni di supply chain:

*“La catena di approvvigionamento comprende il prodotto, i servizi, le finanze e le informazioni condivise attraverso la catena del valore. La catena di approvvigionamento non solo collega il fornitore, i produttori e i clienti, ma anche diversi livelli di fornitori a monte e allo stesso modo si collega agli utenti finali finali che beneficiano del valore del prodotto o dei servizi a valle (Dutta et al., 2017).”*

*“[...] è definita come un insieme di tre o più entità (organizzazioni o individui) direttamente coinvolte nei flussi a monte e a valle di prodotti, servizi, finanze e / o informazioni da una fonte a un cliente (Mentzer, et al., 2001).”*

Queste definizioni insistono sul fatto che l'intero ecosistema della catena di fornitura dovrebbe essere gestito economicamente e la rete della catena di approvvigionamento dovrebbe essere integrata per ottenere una produttività ottimale. Si tratta pertanto di un processo complesso che coinvolge più figure professionali, attivando numerosi processi dell'ecosistema-impresa: dal flusso di materie prime legato ai processi di produzione, fino alla logistica distributiva che provvede a far arrivare il bene acquistato al cliente. Gli anelli della supply chain sono le singole fasi che compongono la catena di approvvigionamento. È possibile individuare tre grandi fasi principali scomponibili a loro volta in processi minori ed osservabili in figura 2 (Abdel-Basset et al., 2018):

- i. *Approvvigionamento*: si riferisce al come, dove e quando richiedere le materie prime necessarie per realizzare la produzione.
- ii. *Produzione*: è l'attività di fabbricazione vera e propria in cui si utilizzano le materie prime.
- iii. *Distribuzione*: comprende tutte le operazioni che portano alla consegna di un determinato bene al cliente. È il risultato del lavoro di distributori, magazzini, retailer e piattaforme digitali.

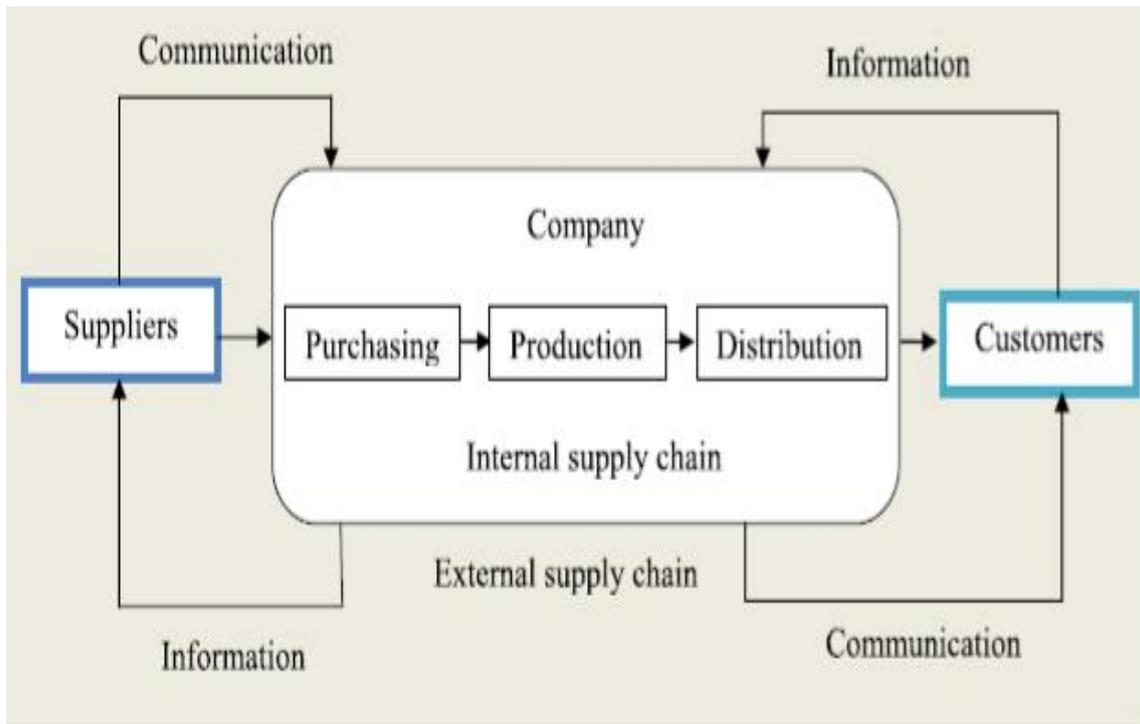


Figura 2 – Supply Chain (Abdel-Basset et al., 2018)

Allo stesso tempo con l'espressione supply chain si può fare riferimento agli aspetti più manageriali della catena di distribuzione. In questo caso sarebbe più opportuno utilizzare l'espressione Supply Chain Management (SCM), con cui ci si riferisce alle attività di coordinamento che servono ad ottimizzare i singoli anelli della catena di rifornimento:

*“è definita come il coordinamento sistemico e strategico delle funzioni aziendali tradizionali e le strategie all'interno di queste, all'interno di una particolare azienda e tra le imprese all'interno della catena di fornitura, al fine di migliorare le prestazioni a lungo termine delle singole aziende e della catena di fornitura nel suo complesso (Mentzer, et al., 2001)”.*

In figura 3 è possibile osservare una rappresentazione grafica del Supply Chain Management.

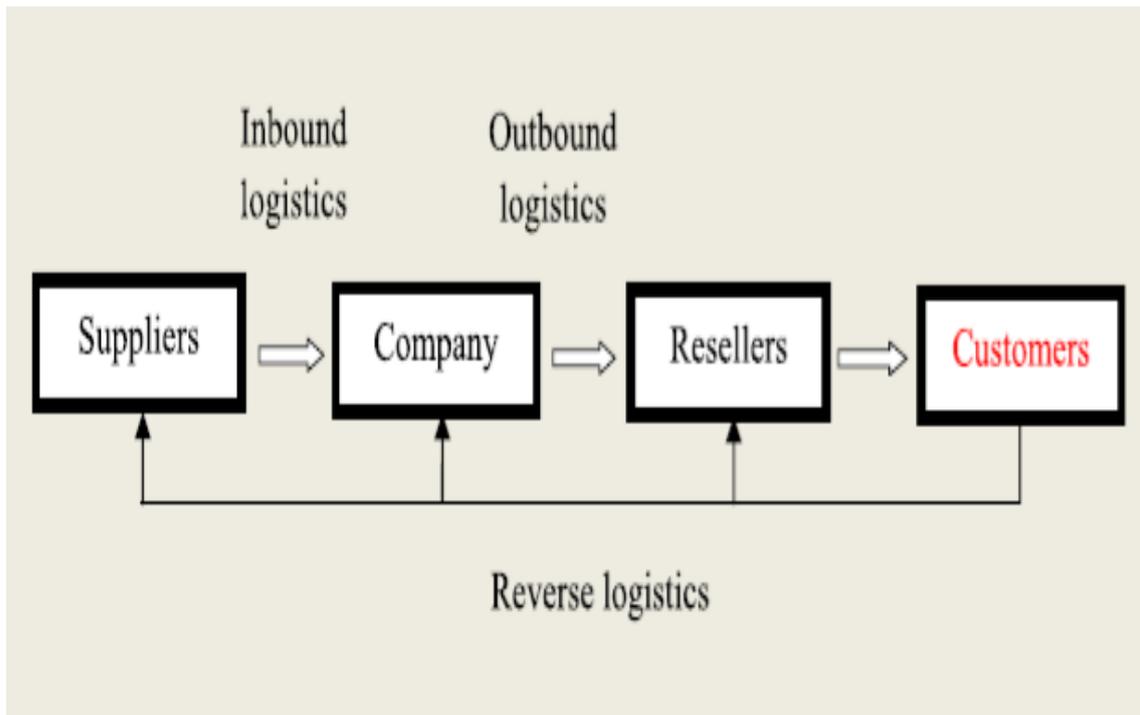


Figura 3 – Supply Chain Management (Abdel-Basset et al., 2018)

I managers delle aziende che appartengono alla Supply Chain si preoccupano del successo delle altre imprese rivali. Essi coordinano, con i loro colleghi della Supply Chain, le attività per fabbricare, consegnare e fornire beni e servizi lungo l'intera filiera produttiva. La tecnologia sarà utilizzata per raccogliere e condividere informazioni sul mercato e sulle richieste e disponibilità dei partners, generando la cosiddetta "visibilità totale". Il punto chiave del Supply Chain Management è quello di considerare l'intero processo come un unico grande sistema; in questo modo qualsiasi inefficienza lungo la Supply Chain, riguardante impianti, fornitori, produttori, magazzini, sarà facilmente identificata ed eliminata, in modo da raggiungere la massima efficienza del processo gestionale.

Da quest'ultima definizione, si può rilevare che, ad oggi, condizione necessaria per ogni impresa è un vero e proprio "orientamento verso la supply chain", inteso come il riconoscimento da parte di un'organizzazione delle implicazioni sistemiche e strategiche delle attività tattiche coinvolte nella gestione dei vari flussi in una catena di fornitura" (Ganesan, et al., 1994).

Negli ultimi anni, la gestione delle Supply Chain (e tutta la sua relativa concettualizzazione) ha raggiunto una notevole importanza, in quanto consente una migliore pianificazione e una migliore performance sia in termini operativi, sia per quanto concerne la customer relationship.

La popolarità dell'argomento, secondo Wilson, (Wilson 2020) redattore capo della rivista "Procurement", è dovuta a dieci trend che è possibile riassumere nelle seguenti due macro-tendenze:

- i. *Esigenze maggiori dei clienti:* in termini di tempo, qualità, trasparenza e sostenibilità ambientale. Le catene di approvvigionamento devono essere progettate e gestite tenendo conto dei bisogni dei clienti quindi, l'obiettivo deve essere quello di fornire e far suscitare valore a quest'ultimi, attraverso diverse strategie, con queste che, sicuramente, devono rispondere a requisiti di agilità, velocità ed efficienza. Mentre, per soddisfare il trend di sostenibilità, presto si assisterà al rimpiazzo delle catene di fornitura lineari con quelle circolari, con lo scopo di incoraggiare il riutilizzo dei prodotti finali come materie prime.
- ii. *Evoluzioni Tecnologiche:* bisogna considerare quei fattori che collegano la gestione delle Supply Chain con i concetti di Industria 4.0 e le tecnologie abilitanti, ormai di tendenza. Tali contribuiscono alla riduzione dell'incertezza del mercato, e aiutano le moderne catene di fornitura a soddisfare il fabbisogno di maggiore flessibilità e reattività alle influenze esterne.

Una corretta gestione della catena di approvvigionamento (SCM) porta ad avere l'articolo corretto nel volume corretto, al momento corretto, nel posto corretto, per il prezzo corretto, nella condizione corretta per il cliente.

Nei sistemi tradizionali di gestione della catena di approvvigionamento esistono diversi problemi come l'eccesso di scorte, i ritardi di consegna e stock out. Questi problemi sono dovuti a diversi fattori come la complessità e l'incertezza che esistono di solito nelle catene di approvvigionamento. L'articolo più economico, migliore e più veloce è

il desiderabile per i manager della SC. Anche massimizzare il surplus che è l'intero pagamento dei clienti finali meno tutti i costi sostenuti tramite supply chain. Le tradizionali catene di approvvigionamento stanno diventando più costose, complesse e vulnerabili. Per superare queste sfide, le moderne catene di approvvigionamento devono essere più intelligenti (smart) [5].

Si capisce quindi come sia stato necessario un cambiamento nella struttura della supply chain, cambiamento osservabile nella figura successiva.

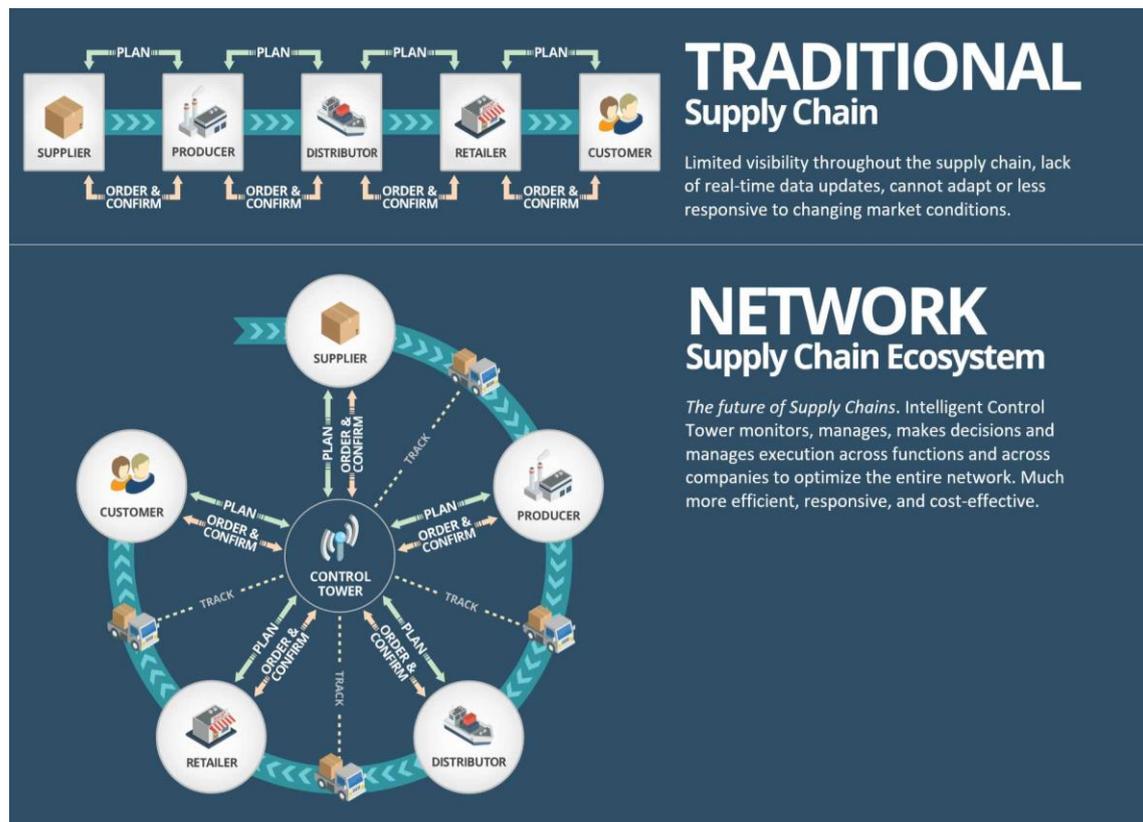


Figura 4 – Traditional Supply Chain vs Digital Supply Chain [5]

Possiamo definire la smart supply chain come un sistema moderno e interconnesso che si espande da applicazioni separate, regionali e di una singola azienda all'implementazione ampia e sistematica di catene di approvvigionamento. (Abdel-Basset *et al.*, 2018). Per una gestione efficace della catena di approvvigionamento, l'Information Technologies (IT) gioca un ruolo molto importante. L'IT ha la capacità di integrare diversi processi, fornitori e clienti internamente e all'esterno attraverso il miglioramento della comunicazione.

Aggiungendo, sulla base dell'attuale letteratura sulla Digital Supply Chain, e supportato dalle idee principali dell'Industria 4.0, si definisce la DSC come:

*“Un insieme di risorse ICT che un'organizzazione usa per interagire con la loro rete al fine di spostare le attività fisiche al digitale, applicato in forma integrata sia nelle attività fisiche che in quelle digitali per minimizzare il consumo di risorse e supportare il miglioramento della produttività, la visibilità della rete e il feedback in tempo reale, compresi gli strumenti per produzione personalizzata e la cooperazione dei fornitori in tutte le fasi della rete, supportati da forti tecniche e competenze di gestione dei dati”* (Queiroz et al., 2019).

Queste definizioni sono molto importanti in quanto implicano che nel concetto generale di Digital Supply Chain non venga inserito solo lo sviluppo delle capacità interne delle organizzazioni, ma prende anche in considerazione l'importanza e l'impatto delle capacità delle organizzazioni, combinate con i membri della catena di approvvigionamento. La definizione di DSC racchiude un insieme di capacità necessarie alle organizzazioni per sviluppare, mantenere, migliorare e innovare i loro livelli di competitività nell'era digitale. Il livello di competitività delle catene di fornitura digitali, per qualsiasi organizzazione, è quindi una funzione dell'integrazione delle capacità e competenze interne ed esterne. In questo panorama, è chiaro che il livello di integrazione delle capacità di base delle organizzazioni con i membri della catena di fornitura influenza la performance della supply chain dell'organizzazione.

Da questo ne deriva che gli elementi portanti della supply chain 4.0 sono i seguenti [2]:

- 1 Analisi avanzata dei dati:* la gestione dei flussi di informazioni assume un ruolo chiave che obbliga a ripensare modelli, strategie e sistemi. Servono soluzioni in grado di efficientare i processi singolarmente allo scopo di ottenere miglioramenti delle performance globali. La raccolta dei dati provenienti da più fonti permette di gestire in modo efficiente lo stock a magazzino e consente di tracciare le merci. La tracciabilità dei prodotti è imprescindibile per controllare il flusso delle merci in entrata e in uscita. Sistemi come i codici a barre e tag RFID permettono di raccogliere e

condividere informazioni riguardanti le merci lungo l'intera supply chain. Inoltre, consente di monitorare i KPI. Grazie ai moderni software di gestione del magazzino è possibile monitorare gli indicatori di prestazione della supply chain e i KPI della logistica e di magazzino. Dal confronto tra gli indicatori è possibile individuare gli anelli deboli da ottimizzare.

2. *Standardizzazione dei processi e integrazione con i fornitori*: nelle strategie delle imprese dovrebbe essere incluso un piano per eliminare le barriere con i fornitori e stabilire una relazione basata sulla cooperazione a più livelli. Per raggiungere questo obiettivo è necessaria una profonda standardizzazione e integrazione dei processi.

3. *Automazione dei processi*: l'automazione industriale, da anni presente nelle fabbriche tecnologicamente avanzate, è ora parte integrante dei magazzini, e trova applicazione nei seguenti processi:

- i. *Gestione delle attività di magazzino*: software e macchine facilitano l'organizzazione delle operazioni di inventario di magazzino. L'ottimizzazione della gestione degli ordini dipende in grande misura dalla presenza in magazzino di dispositivi a supporto delle attività di picking.
- ii. *Intralogistica e movimentazione automatica dei carichi*: i flussi di materiali in entrata e in uscita guadagnano dinamicità grazie a soluzioni automatizzate odierne.
- iii. *Pianificazione e gestione dei trasporti*: grazie ai software è possibile gestire la flotta e coordinare al meglio la fase di distribuzione delle merci. Questi sistemi consentono di pianificare le rotte in base a differenti parametri logistici.

Sfortunatamente, la maggior parte delle aziende si trova incapace a generare questi risultati basati sulla rete e sull'integrazione con l'esterno perché il loro sistema operativo aziendale è stato da sempre progettato guardando all'interno dell'impresa. Di

conseguenza, nel corso degli anni, anche la tecnologia a supporto dei relativi processi aziendali e del processo decisionale è stata progettata per essere incentrata sull'impresa. Procede, infatti, ancora in maniera molto rallentata la digitalizzazione della catena di fornitura per le imprese. Nonostante la metà delle aziende indichi la digitalizzazione come una tra le prime tre priorità in assoluto da realizzare, alla prova dei fatti resta ampio il divario tra ciò che si auspica e quello che in realtà si mette in pratica per quanto riguarda l'automatizzazione e l'innovazione delle catene di approvvigionamento.

In questo ambito, la gran parte delle realtà aziendali, l'86% del totale, continua a fare fatica ad andare oltre la fase di test. Tra le principali cause di questo sviluppo mancato o rallentato, ci sono spesso investimenti poco mirati e frammentati su troppi progetti contemporaneamente, senza poter contare su infrastrutture sufficienti, e non utilizzando quell'approccio focalizzato e a lungo termine alla base del successo dei leader di mercato in questo settore. Con il risultato, in molti casi, di perdere di vista le strategie, e le mosse concrete, in grado di portare al traguardo finale.

Queste dedotte sono solo alcune delle difficoltà che le aziende incontrano nell'implementazione di una Digital Supply Chain. È giusto quindi analizzare più nel dettaglio ed elencare le principali sfide che le imprese affrontano quotidianamente per poter accelerare il fenomeno di implementazione efficiente (Büyüközkan *et al.*, 2018):

- i. *Pianificazione*: bisogna avere a disposizione un piano della domanda adeguato, linee guida e strumenti;
- ii. *Collaborazione*: non deve esserci carenza collaborazione con i collaboratori esterni e input carente dalle funzioni interne;
- iii. *Previsioni della domanda*: non bisogna realizzare previsioni imprecise e troppo ottimistiche per domanda, inventario, produzione e altri dati;
- iv. *Condivisione delle informazioni*: bisogna combattere la riluttanza delle aziende alla condivisione delle informazioni;
- v. *Agilità e flessibilità*: la mancanza della necessaria flessibilità e agilità della gestione della catena di fornitura è un tipico problema delle imprese moderne;

- vi. *Alta volatilità*: di conseguenza, anche la mancanza di conoscenze e abilità nell'affrontare la volatilità nella gestione della catena di approvvigionamento è una delle principali problematiche che possono riscontrare le imprese;
- vii. *Fiducia nei fornitori*: affidarsi con eccessiva fiducia a certi fornitori in certe parti del mondo;
- viii. *Integrazione*: bisogna superare la visione carente sull'integrazione della gestione digitale e non digitale nella gestione della catena di fornitura.

Di conseguenza, dopo aver analizzato quelle che sono le sfide, è giusto porre attenzione su quelli che invece sono i fattori di successo per l'attuazione della Digital Supply Chain. Pertanto, l'adozione diffusa della DSC, che quindi superi anche la fase di test, dipenderà dalla realizzazione di questi fattori critici di successo come segue (Büyükoçkan *et al.*, 2018):

- i. *Visibilità in tempo reale*: visibilità dinamica, sicura e interattiva attraverso l'intera catena di approvvigionamento migliorerà la gestione del DSC;
- ii. *Collaborazione continua*: le capacità sono armonizzate all'interno e oltre i confini fisici per aumentare la collaborazione tra gli attori coinvolti della catena di fornitura;
- iii. *Allineamento dei fornitori*: allineare l'interesse di tutte le imprese della catena di fornitura con il proprio per creare incentivi per una migliore performance e sviluppare la fiducia (allineamento);
- iv. *Integrazione*: costruire l'integrazione delle catene di fornitura digitali e non in modo che una visione unificata e completa dell'inventario in tutta l'azienda può essere raggiunta;
- v. *Informazioni condivise*: il DSC permette una più facile condivisione delle informazioni su previsioni di vendita e dati di produzione;
- vi. *Modelli operativi altamente evoluti*: le funzioni del prodotto e del servizio possono essere modificate facilmente per soddisfare le richieste mutevoli dei clienti;

- vii. *Adozione di strumenti avanzati di analisi:* l'analisi avanzata dei dati migliora il processo decisionale. Ottenere una migliore comprensione e previsione della domanda e risolvere problemi considerati precedentemente irrisolvibili e persino sconosciuti lungo la catena di approvvigionamento;
- viii. *Esecuzione automatizzata:* interazioni uomo-macchina senza soluzione di continuità aumentano l'efficienza operativa;
- ix. *Innovazione migliorata e accelerata:* le catene di fornitura digitali ispirano e favoriscono le innovazioni nel design, nelle operazioni e nelle relationships;
- x. *Massima efficienza:* integrazione senza soluzione di continuità di persone, processi e tecnologia;
- xi. *Maggiore reattività:* informazioni migliori e analisi sofisticate analisi possono aiutare ad accelerare le risposte alle mosse dei concorrenti, ai cambiamenti tecnologici e ai segnali mutevoli della domanda e dell'offerta;
- xii. *Prevenzione proattiva:* i sistemi di supporto decisionale guidati da analitica predittiva possono rafforzare l'adattabilità e l'affidabilità;

In conclusione, possiamo affermare che la maggior parte delle organizzazioni di successo del mondo hanno l'eccellenza nelle loro catene di approvvigionamento, e si può arrivare a sostenere addirittura che la concorrenza tra le organizzazioni è la concorrenza tra le loro catene di approvvigionamento. Le catene di fornitura, come descritto ampiamente in questo paragrafo, si stanno evolvendo e stanno diventando qualcosa di nuovo. I giorni in cui una catena di approvvigionamento classica e tradizionale si limitava a spostare merci da un luogo all'altro sono finiti. Al giorno d'oggi, quindi, le catene di approvvigionamento richiedono una dimensione significativa di attività complesse che devono essere tutte coordinate e tracciate. Così, la digitalizzazione permette l'evoluzione della prossima generazione di catene di fornitura che offrono sia flessibilità ed efficienza.

### 1.3 TECNOLOGIE ABILITANTI

In questo paragrafo, verranno analizzate le tecnologie di industria 4.0 che hanno permesso il passaggio alla Digital Supply Chain. In particolare, esse verranno qui inizialmente presentate tutte, mentre, nel successivo capitolo 2 si analizzerà dettagliatamente l'applicazione di due delle tecnologie digitali alla supply chain, descrivendone benefici, utilizzo e difficoltà nell'implementazione di tali tecnologie all'interno della catena di fornitura.

Secondo la definizione della Commissione Europea [2]:

*“le tecnologie abilitanti sono tecnologie ad alta intensità di conoscenza e associate ad elevata attività di Ricerca e Sviluppo, a cicli di innovazione rapidi, a consistenti spese d'investimento e a posti di lavoro altamente qualificati”.*

È da precisare che l'innovazione 4.0 non consiste nell'introdurre un macchinario all'avanguardia dal punto di vista tecnologico, ma nel sapere combinare diverse tecnologie e in tal modo integrare il sistema di fabbrica e le filiere produttive in modo da renderle un sistema integrato, connesso in cui macchine, persone e sistemi informativi collaborano fra loro per realizzare [4]:

- i. prodotti più intelligenti
- ii. servizi più intelligenti
- iii. ambienti di lavoro più intelligenti.

La lista delle tecnologie digitali attribuite all'Industria 4.0 è lunga e articolata e di seguito si illustrano le nove individuate dal Governo italiano nel Piano Industry 4.0, poi riassunte e raffigurate in figura 5 [4]:

1. *Robotics*: comprende il gruppo di tecnologie additive composto da diversi modelli di macchine o sistemi che si possono connettere tra loro e permettere il controllo da remoto. La componente principale è la “Robotica

Collaborativa” ovvero la condivisione di uno spazio di lavoro tra uomo e robot in modo efficiente e sicuro grazie all’intelligenza artificiale delle macchine che sono in grado di percepire lo spazio circostante. L’uso dei robot nel processo di produzione non è nuovo, tuttavia, anche quest’ultimi sono soggetto a miglioramenti ed evoluzione. I nuovi robot saranno più autosufficienti, autonomi, interattivi e costruiti come unità di lavoro integrata che funziona al fianco della forza lavoro umana. Andranno a sostituire i lavori semplici e ripetitivi, ovvero quelli facilmente standardizzabili e adattabili alle capacità delle macchine.

2. *Additive Manufacturing*: i termini stampanti 3D e Additive Manufacturing sono spesso usati in modo intercambiabile in quanto entrambi si riferiscono alla creazione di oggetti fisici tridimensionali a partire da un modello digitale che rappresenta il loro design. Nella manifattura tradizionale la realizzazione di un prodotto avveniva tramite l’asportazione di materiale da un componente grezzo. Con la manifattura additiva, invece, un componente viene realizzato mediante il deposito stratificato di materiale. Ne deriva la possibilità di creare prodotti personalizzati e con caratteristiche geometriche complesse, non realizzabili con le tecniche tradizionali, utilizzando una minor quantità di materia prima, ma ancor più una riduzione dei tempi di prototipazione e dei costi relativi alle varianti. L’innovazione della stampa 3D non è recente, ma oggi il campo di utilizzo di questa tecnologia è più ampio poiché si possono realizzare oggetti di maggiori dimensioni in una gamma ampia di materiali ed il costo delle macchine ha subito una riduzione.
3. *Augmented reality*: l’evoluzione della realtà virtuale, basata su un ambiente informativo totalmente fittizio, è rappresentata dalla realtà aumentata che, al contrario, integra la realtà con informazioni di qualsiasi forma in tempo reale. La realtà aumentata è da considerarsi quindi un’integrazione dell’ambiente fisico con l’obiettivo di semplificare l’attività dell’utente e potenziare le interazioni con il mondo reale. La possibilità di sostituire la documentazione cartacea con comandi vocali direttamente nel campo visivo dell’operatore, la

visualizzazione delle operazioni da svolgere in una particolare fase di lavoro in tempo reale sono alcuni esempi di attività che si potranno eseguire aumentando la qualità del prodotto e rendendo il lavoro più flessibile.

4. *Simulation*: le simulazioni vengono utilizzate nei processi di produzione per analizzare i dati reali in tempo reale in un modello virtuale controllato, considerando impianti, prodotti e personale operativo. L'obiettivo è quello di testare e ottimizzare i processi prima ancora della loro realizzazione fisica, riducendo i tempi di installazione ed aumentando la qualità del prodotto. In tal modo sarà possibile attuare correzioni nel processo produttivo di un determinato prodotto senza affrontare gli ingenti costi derivanti dal learning-by-doing, ridurre il tempo di setup delle macchine ed incrementare la qualità dei processi industriali nonché dei prodotti realizzati.
  
5. *Horizontal/Vertical integration*: l'adozione di tecnologie interconnesse, sia in modo verticale che orizzontale, permette di analizzare i big data e creare sistemi aperti per la loro condivisione in tempo reale. Questo consentirà la digitalizzazione e l'integrazione lungo tutta la catena del valore, al fine di creare un flusso automatizzato efficiente ed efficace. In generale si ottiene un risparmio di tempi e costi lungo tutto il processo produttivo ed un aumento di valore del prodotto per il cliente. L'obiettivo dell'industria 4.0 è la convergenza e convivenza tra il sistema Operation Technology (OT) e Information Technology (IT). In particolare, l'integrazione verticale permette all'azienda di rapportarsi con tutti i membri della catena del valore, dai fornitori ai clienti finali, determinando degli standard e degli obiettivi di lavoro condivisi. L'integrazione orizzontale, invece, supporta la gestione delle informazioni tra aree aziendali che contribuiscono alla definizione del ciclo di vita di un prodotto.
  
6. *Internet of Things*: il concetto di Internet of Things (IoT) esprime l'applicazione di componenti e dispositivi tecnologici inseriti all'interno di oggetti fisici rendendoli "intelligenti" ed in grado di comunicare ed interagire tra loro e con il mondo circostante, attraverso internet e grazie ad un linguaggio

standardizzato. Non si parla solo di una interfaccia macchina-macchina, bensì di un sistema uomo-macchina. Con l'IoT ci si può focalizzare su un insieme di tecnologie che consentono di collegare ad internet qualsiasi tipo di dispositivo. Flessibilità, personalizzazione del prodotto, dialogo in tempo reale tra cliente, progettazione, fornitore e produzione sono gli effetti dello sviluppo dell'IoT.

7. *Cloud*: il Cloud consiste in una infrastruttura IT comune, flessibile e di progettazione aperta per condividere dati, informazioni e applicazioni attraverso internet oltre i confini aziendali, in modo da seguire la trasformazione dei modelli di business con la capacità necessaria. In un contesto di notevole flessibilità dei processi produttivi ed organizzativi e vista la crescente domanda di personalizzazione del prodotto da parte del consumatore nell'Industry 4.0, il cloud rappresenta il mezzo più idoneo per realizzare la collaborazione tra imprese e, una volta raggiunto l'obiettivo prefissato, consentire lo smantellamento di tali organizzazioni virtuali temporanee, in funzione di nuove opportunità di business.
8. *Cybersecurity*: in un mondo totalmente connesso sulla rete e l'uso di protocolli sempre più standardizzati, richiesti anche dall'industria 4.0 stessa, accresce il tema dei sistemi di Cybersecurity per garantire all'azienda la sicurezza delle informazioni rilevanti per il business. Il motivo è semplice: qualsiasi dispositivo connesso a Internet è violabile. La necessità di proteggere i sistemi industriali dalle minacce informatiche, alle comunicazioni sicure e affidabili, alla gestione dell'identità e degli accessi di macchine e utenti è essenziale. Il termine cybersecurity indica l'insieme delle tecnologie, processi, prodotti e standard, volte alla protezione dei sistemi informatici da attacchi che possono portare alla perdita o alla compromissione di dati ed informazioni.
9. *Big Data and Analytics*: con il termine Big Data and Analytics si intende la raccolta e l'analisi di dati provenienti da fonti diverse che transitano attraverso internet e che descrivono, per esempio, le tendenze del mercato, le abitudini dei consumatori, la reputazione dei marchi, la domanda di beni ed altro ancora. A partire dagli anni '90 ad oggi l'analisi dei dati si è evoluta da supporto alla

decisione a sostegno all'esecuzione delle decisioni a livello di top management. Attraverso opportuni strumenti per la gestione dei big data, le imprese possono effettivamente estrarre valore economico dalle operazioni di acquisizione ed elaborazione di grandi volumi e varietà di dati, essendo in grado di identificare possibili scenari futuri e quali azioni intraprendere per ottimizzare i risultati.

## Industria 4.0: Le tecnologie abilitanti



Figura 5 – Industria 4.0: le tecnologie abilitanti [4]

Analizzate quelle che sono le tecnologie abilitanti, è giusto descrivere anche le cosiddette “tecnologie abilitanti complementari”. Le tecnologie abilitanti complementari sono tecnologie già diffuse in molte realtà aziendali che tuttavia rientrano nelle tecnologie abilitanti solo se utilizzate in maniera accoppiata e funzionale ad esse. In particolare, si parla di [4]:

- i. Soluzioni tecnologiche digitali di filiera finalizzate all’ottimizzazione della gestione della supply chain e della gestione delle relazioni con i diversi attori (ad esempio, sistemi che abilitano soluzioni di Drop Shipping, di “azzeramento di magazzino” e di “just in time”)
- ii. Software, piattaforme e applicazioni digitali per la gestione e il coordinamento della logistica con elevate caratteristiche di integrazione delle attività di servizio (ad esempio, ERP (Enterprise Resource Planning), MES (Manufacturing Execution System), PLM (Product Lifecycle Management), SCM (Supply Chain management), CRM (Customer Relationship Management), progettazione ed utilizzo di tecnologie di tracciamento RFID;
- iii. Sistemi di e-commerce;
- iv. Sistemi di pagamento mobile e/o via Internet;
- v. Sistemi EDI (Electronic Data Interchange);
- vi. Geolocalizzazione;
- vii. Tecnologie per l’in-store customer experience;
- viii. System integration applicata all’automazione dei processi;

In conclusione, le prospettive di crescita sono enormi nell’ambito della supply chain 4.0. Bisogna che le aziende generino le opportune competenze per personalizzare il percorso, adattandolo alla propria realtà, senza perdere preziose opportunità.

## **2 APPLICAZIONE DELLE TECNOLOGIE**

### **4.0 ALLA SUPPLY CHAIN**

In questo capitolo inizialmente verranno descritti quelli che sono i benefici per le aziende derivanti dall'applicazione di tutte le tecnologie 4.0 alla Supply Chain, e successivamente ci si soffermerà dettagliatamente sulla descrizione delle tecnologie Internet of Things e Additive Manufacturing, focus dell'attività di ricerca che verrà presentata nel capitolo 3.

Come già annunciato al paragrafo 1.1, la quarta rivoluzione industriale, rispetto alle precedenti, vede come protagonista l'utilizzo all'interno dell'impianto di produzione di più tecnologie abilitanti, soluzioni o miglioramenti tecnologici che racchiudono al loro interno molta attività di ricerca e sviluppo e sono in grado di rivitalizzare il sistema produttivo. Ciò significa che sfruttando tali soluzioni i processi legati all'industria saranno dotati di una interconnessione veloce, chiara e diretta tra tutti gli asset aziendali. L'implementazione di queste nuove tecnologie richiede un cambio di paradigma dal vecchio concetto di fabbrica alla nuova fabbrica intelligente (smart factory), caratterizzata da una produzione digitalizzata, che funziona in maniera dinamica e "brillante" (brilliant manufacturing) [4], composta da processi più fluidi, interconnessi, e da sistemi di produzione adeguati alla modernità e ai suoi bisogni, capaci di utilizzare al meglio le risorse disponibili. Produrre di più sprecando meno, questo è il mantra della trasformazione in atto. Sinteticamente, si può affermare che la quarta rivoluzione industriale è caratterizzata dall'introduzione nel sistema produttivo di macchine intelligenti, interconnesse tra loro e collegate ad internet, che permettono analisi complesse attraverso Big Data e adattamenti real-time.

Tramite il collegamento di ciascun asset coinvolto nella filiera logistico-produttiva, il vantaggio primario del paradigma Industria 4.0 è sicuramente la disponibilità di tutte le informazioni pertinenti in tempo reale. Grazie all'integrazione dei dati offerti da queste tecnologie, si ottiene una maggiore efficienza dei processi produttivi e una migliore qualità dei prodotti stessi. L'impatto positivo per l'intera catena di fornitura appare evidente a seguito di una sincronizzazione tra azienda e il resto degli attori presenti nella Supply Chain. Ricavare dai dati in qualsiasi momento la rendicontazione ed il supporto

necessario a superare eventuali problemi produttivi non è un aspetto da sottovalutare. La connessione tra persone, cose e sistemi, crea un enorme valore aggiunto in termini di riduzione dei costi, disponibilità di informazioni in real-time e interazione tra risorse. In più le tecnologie abilitanti comportano un miglioramento dell'interfaccia uomo-macchina che si traduce in una riduzione di errori e incidenti, migliorando a livello globale la sicurezza dei centri produttivi e dei magazzini. Ma i benefici per le imprese non si limitano all'operatività dei processi logistici: le tecnologie abilitanti consentono di creare le basi di una logistica sostenibile. Per le aziende, l'adozione di un modello green ha un impatto sul fatturato in quanto è mirato ad abbattere il consumo sia energetico sia di materie prime necessarie.

I benefici della rivoluzione che sta travolgendo l'ecosistema produttivo derivanti dall'introduzione delle tecnologie 4.0 all'interno della supply chain sono quindi molteplici, ma possono essere racchiusi e riassunti nei seguenti [6]:

- i. *Maggiore flessibilità* attraverso la produzione di piccoli lotti ai costi della grande scala;
- ii. *Maggiore velocità* dal prototipo alla produzione in serie, attraverso le tecnologie innovative;
- iii. *Maggiore produttività* attraverso minori tempi di set-up, riduzione errori e fermi macchina;
- iv. *Migliore qualità* e minori scarti mediante sensori che monitorano la produzione in tempo reale;
- v. *Maggiore competitività* del prodotto grazie a maggiori funzionalità derivanti dall'Internet delle cose;

Si passa ora all'analisi dell'applicazione di due delle tecnologie digitali alla supply chain, rispettivamente nei paragrafi 2.1 e 2.2: Internet of Things e Additive Manufacturing. Verranno presentate le modifiche della struttura della supply chain derivante dalla loro implementazione ed i vantaggi che portano ai vari attori della catena di fornitura.

## **2.1 INTERNET OF THINGS**

Dopo aver descritto questa tecnologia nei suoi tratti essenziali nel paragrafo 1.3, essendo focus dell'attività di ricerca che verrà presentata nel capitolo 3, è doveroso in primis descriverla più dettagliatamente e successivamente passare all'esame della sua applicazione alla Supply Chain.

### **2.1.1 CENNI STORICI**

Il precursore dell'IoT è il concetto di dispositivi connessi che è iniziato nei primi anni '90 al Centro Auto-ID del MIT. Secondo quanto riferito, Kevin Ashton, direttore del Centro, ha coniato il termine IoT nel 1999. Nel 1997, Ashton ha considerato la possibilità di utilizzare tag di identificazione a radiofrequenza (RFID) per tracciare i prodotti attraverso la catena di fornitura di Procter and Gamble. I tag RFID sono stati utilizzati per leggere e identificare gli oggetti e poi trasmettere le informazioni in modalità wireless attraverso una rete. Prima di allora, l'adozione industriale dei tag RFID è iniziata nel 1980. Poi un nuovo concetto di sensori e attuatori attraverso una rete di sensori wireless (WSN) è apparso per rilevare, tracciare e monitorare gli oggetti con applicazioni nella sanità e nella gestione del traffico. Al giorno d'oggi, queste reti sono arricchite con dispositivi GPS, smartphone, social network, cloud computing e analisi dei dati per sostenere il moderno concetto di IoT (Manavalan *et al.*, 2018). In Europa, ed in particolare in Germania, l'IoT è una delle tecnologie fondanti dell'Industria 4.0 nel settore manifatturiero.

L'evoluzione del concetto dell'IoT e di quanto descritto è rappresentato in figura 6.

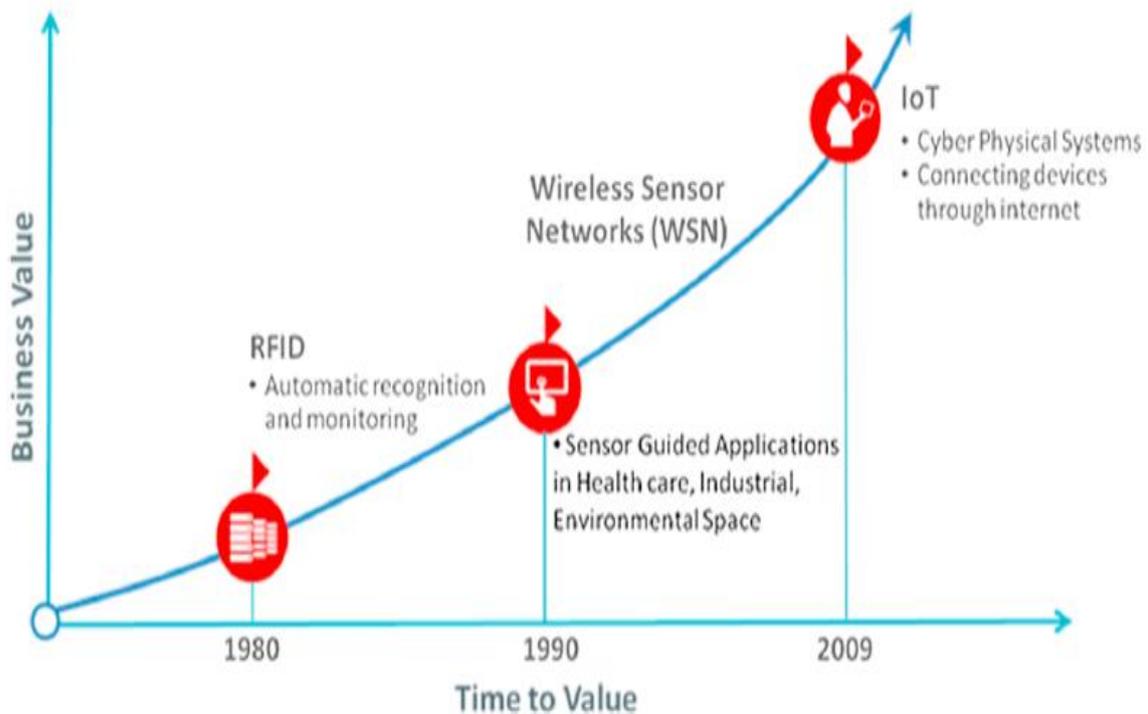


Figura 6 – Evoluzione dell’IoT (Manavalan et al., 2018)

### 2.1.2 LIVELLI E TECNOLOGIE CHIAVE DELL’INTERNET OF THINGS

Proseguendo la descrizione, la rete IoT comprende quattro livelli essenziali (Manavalan et al., 2018):

- i. *il livello di rilevamento*, che integra l’hardware esistente per rilevare il mondo fisico e acquisisce i dati;
- ii. *il livello di rete*, che collega e trasferisce i dati su reti wireless o cablate;
- iii. *il livello di servizio*, che integra e gestisce servizi e applicazioni attraverso il middleware;
- iv. *il livello dell’interfaccia*, che visualizza informazioni e permette all’utente di interagire con il sistema.

Questo permette all'IoT di catturare una grande quantità di dati (Big Data) ed elaborarla, implementando servizi e applicazioni. Inoltre, la scalabilità di questi sistemi possiede un alto potenziale attraverso una facile integrazione di sensori aggiuntivi o dati esterni.

Come si può evincere da quanto appena descritto, l'IoT è un concetto molto ampio che comprende al suo interno più tecnologie. Lee e Lee hanno definito cinque tecnologie chiave dell'IoT (Lee *et al.*, 2015):

1. *Identificazione a radiofrequenza (RFID)*: permette di identificare, tracciare e trasmettere informazioni. Ci sono cinque classi principali di tag RFID. I tag di classe 1 sono solo tag passivi con una memoria di lettura/scrittura. Alcune funzionalità relative alla sicurezza sono aggiunte ai tag di classe 2. I tag semi-passivi (classe 3) sono alimentati da una batteria e possono includere sensori. I tag attivi (classe 4) sono anch'essi alimentati a batteria e possono comunicare con tag simili. Infine, i tag di classe 5 possono attivare altri tag e sono direttamente collegati a reti back-end.

2. *Reti di sensori wireless (WSN)*: è una rete composta da un insieme di sensori per monitorare e tenere traccia dello stato di diversi dispositivi come la loro posizione, i movimenti o la temperatura. I sensori possono essere utilizzati per una moltitudine di scopi come temperatura, pressione, flusso, livello, immagini, rumore, inquinamento atmosferico, prossimità e spostamento, infrarossi, umidità e velocità. Possono anche cooperare e comunicare con tag RFID.

3. *Middleware*: è un livello software orientato ai servizi che permette agli sviluppatori di software la possibilità di comunicare con dispositivi eterogenei come sensori, attuatori o tag RFID.

4. *Applicazioni IoT*: consentono interazioni da dispositivo a dispositivo e da uomo a dispositivo. Le applicazioni IoT costituiscono l'interfaccia tra l'utente e i dispositivi. Dovrebbero essere in grado di presentare i dati in modo intuitivo, identificare problemi e suggerire soluzioni.

5. *Cloud computing*: è una piattaforma informatica basata su Internet dove un pool di diverse risorse informatiche può essere condiviso e accessibile su richiesta. Il cloud computing è fondamentale per la diffusione dell'IoT a causa dell'enorme volume di dati generati dai dispositivi IoT e la necessità di essere analizzati con computer di elaborazione ad alta velocità per consentire un processo decisionale efficiente e in tempo reale. Molte piattaforme cloud-IoT sono disponibili sul mercato. Esse svolgono lo stesso ruolo del software middleware e il loro scopo principale è quello di collegare i dispositivi IoT e le applicazioni IoT. Aiutano a trasmettere e proteggere i dati dai dispositivi IoT ai sistemi ERP e al software di business intelligence per fornire ai decisori informazioni in tempo reale. I servizi di cloud computing rappresentano un'alternativa efficiente a possedere e gestire data center, tuttavia, per alcune applicazioni sensibili alla latenza, le aziende possono avere bisogno di capacità di archiviazione, calcolo e comunicazione locali.

Il Cloud, i Big Data e l'IoT sono tecnologie indivisibili, utilizzate per condividere volumi di dati in tempo reale senza alcun ritardo nelle prestazioni. I Big Data collegano una massiccia quantità di dati che possono essere sia strutturati che non strutturati. L'IoT è essenzialmente il mezzo che raccoglie e invia dati in modo che gli utenti prendano decisioni informate. Riassumendo, Big Data e Cloud sono il carburante, e IoT è il cervello per realizzare il futuro di un mondo connesso intelligente (Lee *et al.*, 2015).

### **2.1.3 INTERNET OF THINGS E SUPPLY CHAIN**

Dopo aver presentato l'Internet delle Cose e aver compreso quanto sia vasto il suo mondo, è giusto analizzarlo relativamente ad uno dei contesti in cui è applicabile. In particolare, l'IoT, all'interno del contesto supply chain, può essere definito come segue:

[. . .] *“una rete di oggetti fisici che sono collegati digitalmente per sentire, monitorare e interagire all'interno di un'azienda e tra l'azienda e la sua catena di approvvigionamento che consente agilità, visibilità, tracciamento e condivisione delle*

*informazioni per facilitare la pianificazione, il controllo e il coordinamento tempestivi dei processi” (Ben-Daya et al., 2019).*

Dalla definizione proposta emergono quattro caratteristiche chiave dell’IoT che è importante sottolineare in ottica Supply Chain:

- (i) Il requisito della connettività digitale degli oggetti fisici nella catena di approvvigionamento;
- (ii) La natura di questa connettività è proattiva e consente l’archiviazione, l’analisi e la condivisione dei dati;
- (iii) La comunicazione coinvolge i processi all’interno di un’organizzazione così come le transazioni tra organizzazioni che coprono tutti i principali processi della catena di approvvigionamento;
- (iv) L’IoT faciliterà la pianificazione, il controllo e il coordinamento dei processi della catena di approvvigionamento.

L’IoT è una delle tecnologie abilitanti più influenti di oggi che hanno un impatto sulle imprese e su come opera la catena di approvvigionamento. Con l’IoT, controllare la catena di approvvigionamento in modo dinamico e prendere decisioni sulla posizione esterna delle risorse è fattibile. L’IoT è destinato a offrire soluzioni efficienti e rapide necessarie per affrontare le sfide della catena di approvvigionamento, abilitando la tecnologia basata sui sensori e condividendo le informazioni attraverso internet. Alcune delle sfide chiave della catena di approvvigionamento sono affrontate utilizzando sistemi di SCM abilitati all’IoT. I dispositivi intelligenti IoT permettono alle aziende facenti parte della catena di approvvigionamento di ridurre i costi che derivano dal processo di acquisizione della conoscenza. L’applicazione dell’IoT nella gestione della catena di approvvigionamento la renderà più intelligente e avrà le seguenti caratteristiche (Manavalan et al., 2018):

- i. *Informato*: le informazioni nella catena di approvvigionamento sono generate dalla macchina.
- ii. *Interconnesso*: attraverso l’uso di oggetti intelligenti e sistemi IT.

- iii. *Intelligente*: ottimizza le prestazioni attraverso una vasta scala di decisioni ottimali.
- iv. *Automatizzato*: tutti i processi devono essere automatizzati per sostituire le risorse a bassa efficienza.
- v. *Integrato*: collaborazione tra le fasi della catena di approvvigionamento.
- vi. *Innovativo*: l'evoluzione di nuovi valori attraverso soluzioni per soddisfare nuove esigenze.

#### **2.1.4 VANTAGGI DELL'APPLICAZIONE DELL'INTERNET OF THINGS ALLA SUPPLY CHAIN**

Per quanto riguarda, invece, i principali impatti dell'IoT sulla Supply chain essi sono i seguenti (Manavalan *et al.*, 2018):

1. *Migliorare la gestione dell'inventario*: la visibilità in tempo reale dell'inventario è stata creata attraverso l'uso di internet delle cose (IOT). Il processo di gestione dell'inventario si baserà sul tirare a indovinare senza avere una visibilità in tempo reale. Inoltre, la raccolta manuale dei dati causa il problema del disordine dell'inventario. L'aggiunta di sensori porta a un tasso di precisione del 100% dell'inventario.
2. *Gestione della catena di approvvigionamento in tempo reale*: nella gestione tradizionale, le informazioni sulla domanda passano solo ad un partner invece di dividerle. Ma le nuove tecnologie dei tag RFID permettono il processo di registrazione di tutti i tipi di informazioni come la produzione e la data di scadenza, il periodo di garanzia e questo permetterà di ottenere una gestione efficace della catena di approvvigionamento.
3. *Massimizzare la trasparenza della logistica*: tutte le informazioni di trasporto (condizioni di trasporto, destinazione, ecc.) saranno disponibili all'intera catena di approvvigionamento attraverso l'uso di oggetti intelligenti. Questo aumenterà la possibilità di monitorare e salvare le merci. Inoltre, riduce al minimo i costi di ritorno e ha un grande impatto sulla soddisfazione del cliente.

In conclusione, l'influenza dell'IoT nella catena di approvvigionamento è da dire che è ancora nella fase iniziale, ma ogni tipo di organizzazione della catena di approvvigionamento ha bisogno di investire su tali tecnologie per raccoglierne i benefici a lungo termine (Lee *et al.*, 2015). L'integrazione della catena di approvvigionamento è importante per migliorare le prestazioni aziendali. Queste, come detto, migliorano attraverso la riduzione dei costi, il miglioramento della reattività, l'aumento del livello di servizio e facilitando il processo decisionale. La condivisione delle informazioni e la collaborazione così come l'agilità sono le caratteristiche chiave dell'integrazione della catena di approvvigionamento. Da una prospettiva relativa al contesto supply chain, l'IoT può consentire alle macchine di prendere decisioni con un minimo o nessun intervento umano. Si tratta di integrare e abilitare le tecnologie di comunicazione delle informazioni, tra cui RFID, reti di sensori wireless, sistemi machine-to-machine e applicazioni mobili. L'uso dell'IoT nelle catene di approvvigionamento potrebbe portare visibilità a ogni singolo articolo, generando una catena di approvvigionamento altamente visibile, dove la posizione e le caratteristiche di tutte le risorse nella catena di approvvigionamento potrebbero essere accertate in qualsiasi momento. L'implementazione dell'IoT porta a un aumento dei profitti, una riduzione del prodotto in eccesso che perde rapidamente valore, una risposta più rapida alle esigenze mutevoli dei clienti o alla disponibilità dei fornitori, e una maggiore ottimizzazione delle spedizioni e la garanzia di consegne complete. Le catene di fornitura che rispondono e adattano a questa rapida crescita dell'IoT otterranno maggiori benefici e più vantaggi nel nuovo ambiente commerciale. L'adozione dell'IoT fa agire le imprese in modo predittivo invece di reagire alle sfide di un mercato complesso e volatile e reagire in modo predittivo aiuterà le organizzazioni a migliorare significativamente le loro prestazioni operative attraverso una gestione efficace dei livelli di produzione. Questo porterà anche a una consegna più efficiente di servizi e prodotti al mercato alleviando i vincoli comuni di una domanda imprevedibile e interruzioni di fornitura. Le aziende devono abbracciare tali soluzioni IoT in modo intelligente per incorporare queste tecnologie che sostengono catene di approvvigionamento più efficaci.

Tuttavia, la maggior parte delle aziende fallisce a causa della scarsa integrazione di tecnologia nella loro supply chain. Ci sono molte sfide e barriere che si possono incontrare quando si adotta l'IoT. Tra queste vi è il fatto che le imprese non comprendono

ancora i potenziali guadagni che possono ottenere dall'adozione dell'IoT e questo è il motivo per cui molte imprese non hanno ancora deciso di abbracciarla. A questa si aggiungono le sfide che le aziende affrontano per ottenere l'accesso ai dipendenti che possiedono le conoscenze e le competenze richieste rimangono un altro fattore chiave che ostacola l'adozione dell'IoT. Inoltre, l'incorporazione di nuove tecnologie in ambienti, strutture e modelli aziendali esistenti è sempre stata una sfida difficile da superare. Altre sfide possono essere legate all'integrazione tecnologica interna e all'integrazione tecnologica esterna. Infine, molte aziende semplicemente non sono pronte per un tale cambiamento non avendo a disposizione l'architettura necessaria (Manavalan *et al.*, 2018). Il cambiamento di una catena di fornitura con l'applicazione dell'IoT è rappresentato nella figura successiva.

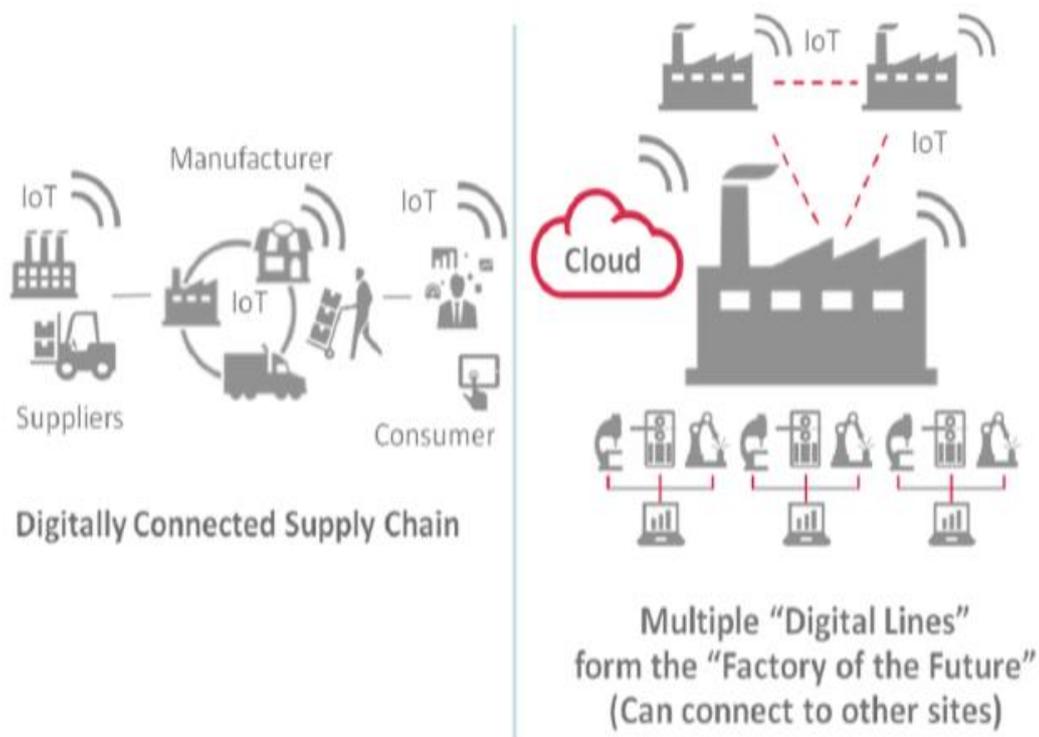


Figura 7 – Supply chain e IoT (Manavalan *et al.*, 2018)

## 2.2 ADDITIVE MANUFACTURING

Lo stesso grado di descrizione utilizzato per l'IoT nel paragrafo 2.1, verrà eseguito anche per la presentazione della tecnologia Additive Manufacturing (AM) o più comunemente conosciuta come 3D printing, essendo la seconda tecnologia digitale focus dell'attività di ricerca. Anche qui verrà prima descritta dettagliatamente in un quadro globale per poi inserirla nel contesto della supply chain.

### 2.2.1 DEFINIZIONE

L' AM anche denominata Fabbricazione a forma libera (SFF), o più comunemente Stampa 3D, designa una classe di tecnologie nelle quali un pezzo è costruito direttamente a partire da un modello 3D virtuale tramite l'aggiunta di materiale per strati sovrapposti. L'AM è definito dalle norme ASTM F2792-12a (Standard terminology for Additive Manufacturing Technologies) come il *“processo additivo di materiale per creare oggetti da un modello 3D, normalmente strato su strato, in opposizione ai processi sottrattivi di produzione, che sono le metodologie tradizionali”* [7].

Si rende quindi possibile la realizzazione di oggetti reali a partire da oggetti virtuali.

In accordo con la definizione dell'AM, per produrre un pezzo sono sufficienti la scelta di un software 3D, di un modello 3D e di un materiale di partenza. Di conseguenza è possibile generare parti con geometrie arbitrarie senza il bisogno di adottare il consueto processo produttivo. Generalmente i pezzi così creati sono pronti per l'utilizzo, non necessitano cioè di altre lavorazioni di finitura ma anche la fabbricazione di parti semifinite si mostra essere economicamente vantaggiosa. Il materiale di partenza è tipicamente utilizzato nel processo in forma di polvere, pasta, inchiostro, sospensione o solido tale per cui esso si trova in uno stato ottimizzato per la deposizione a strati sovrapposti. Durante il processo di produzione si costruisce l'oggetto desiderato e contemporaneamente esso assume le proprietà fisiche finali o almeno le proprietà meccaniche necessarie per essere poi successivamente processato e portato alla sua forma finale. Tuttavia, esistono ancora diversi limiti a partire da bassa produttività, scarsa qualità e incertezza delle proprietà meccaniche dei pezzi finali. La causa

principale di questi effetti indesiderati sta negli aspetti di controllo del processo poiché i fenomeni fisici associati all'AM sono complessi, tra i quali la fusione/solidificazione e la vaporizzazione, il trasferimento di calore e di massa.

Dal momento che esiste la necessità di utilizzare numerose tipologie di materiali e di costruire geometrie dalle più semplici alle più complesse in scale diverse, si sono sviluppate e continuano a evolversi un'innumerabile serie di tecnologie di AM. Negli ultimi anni esiste una tendenza significativa verso l'AM per la produzione di componenti strutturali, principalmente in aree come quelle aerospaziali e motoristiche, che potrebbero beneficiare di significativi risparmi in termini di funzionalità. Un grande sforzo si sta facendo per rendere questi processi AM più veloci e più affidabili [7].

### 2.2.2 CENNI STORICI

Dal punto di vista storico, l'inizio della stampa 3D può essere fatto risalire al 1976, quando fu inventata la stampante (2D) a getto d'inchiostro. Intorno al 1984 si superò la stampa con l'inchiostro aggiungendo a quest'ultima una terza dimensione e si iniziò a stampare con i materiali. La differenza risiede nel passaggio dalla creazione di documenti a quella di oggetti. I primi sistemi di stampaggio tridimensionale furono progettati con l'obiettivo di supportare le aziende nello sviluppo di prototipi. Successivamente furono ideate molte tecnologie per la stampa 3D e una grande varietà di applicazioni in diversi settori. Quindi la stampa 3D solamente in un decennio ha visto lo sviluppo delle sue 3 tipologie principali: SLA (stereolitografia), SLS (Selective Laser Sintering) and FDM (Fused Deposition Modeling) [8].

Gli sviluppi di queste tecnologie sono così sintetizzabili [7,8,9]:

- *Fine anni Sessanta*: gli americani A. Herbert. e C. Full e il Giapponese Kodama lavorano in modo indipendente per sviluppare un sistema di solidificazione selettiva di un fotopolimero per costruire un oggetto tridimensionale per strati successivi.
- *1984*: Charles Hull brevetta un sistema che battezza "Stereolitografia".

- *1986*: C. Hull e R. Fried fondano la 3D Systems, azienda destinata alla produzione e alla commercializzazione delle macchine per la stereolitografia.
- *1987*: la 3D Systems presenta la prima macchina (SLA I) e viene avviato il B test con alcune aziende interessate alla sperimentazione della stereolitografia.
- *1989*: Carl Deckard brevetta la SLS (Selective Laser Sintering), processo a sinterizzazione selettiva tramite fascio laser (200-400W) di un letto di polvere metallica strato per strato. Da questa tecnologia nasceranno le cugine DMLS (Direct Metal Laser Sintering) e SLM (Selective Laser Melting), quest'ultima estremamente accurata e perciò molto utilizzata per dispositivi medici e dentali.
- *1992*: Scott Crump inventa una nuova tecnica di stampa 3D, la FDM (Fused Deposition Modeling), in cui un filamento, costituito da polimeri e riscaldato da una resistenza, viene fatto passare attraverso un ugello, il quale strato dopo strato si solidifica e riesce a dar forma all'oggetto. Questa tecnologia è stata concepita per la prototipazione ed è diventata la più largamente diffusa dando origine ai cosiddetti "Makers".

Successivamente, si verificarono eventi storici che risulta importante sottolineare [7,8,9]:

- *1999*: il primo organo stampato in laboratorio viene impiantato negli esseri umani. La tecnologia è sviluppata dagli scienziati presso l'Istituto Wake Forest di Medicina Rigenerativa.
- *Inizio 2000*: sviluppo di prime stampanti di dimensioni ridotte adatte per la casa.
- *2005*: l'Open Source collabora con la stampa 3D. Il dottor Adrian Bowyer presso l'Università di Bath fonda RepRap, un'iniziativa open source per costruire una stampante 3D in grado di stampare la maggior parte dei suoi componenti.
- *2008*: prima stampante auto replicante.

- 2009: MakerBot Industries, una società di hardware open-source per stampanti 3D, comincia a vendere i kit fai da te che consentono agli acquirenti di costruire le proprie stampanti.
- 2014: la NASA porta nello spazio una stampante 3D per realizzare il primo oggetto stampato in 3D fuori dalla Terra.

Mentre nel periodo iniziale di sviluppo queste tecnologie erano destinate alla creazione di prototipi ora ci si sta focalizzando sulle possibilità di produzione di parti finite complesse con materiali aventi particolari proprietà fisiche e meccaniche che con altre tecnologie non sono realizzabili. Osservando anche la variazione di terminologia, presentata in figura 8, prima Rapid Prototyping ora Additive Manufacturing, si capisce appunto in che direzione queste tecnologie stiano andando: non più attenzione solo alla rapidità del processo produttivo che permetteva la realizzazione di solo prototipi con scarsa qualità ma soprattutto attenzione verso le proprietà finali del manufatto [7].

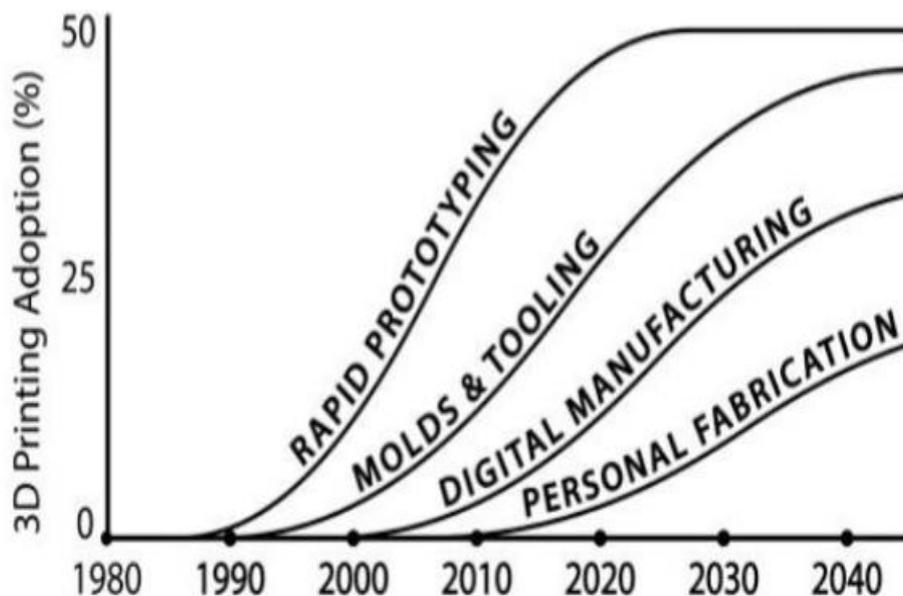


Figura 8 - La tendenza all'adozione della stampa 3D nel tempo [7]

### 2.2.3 L'ADDITIVE MANUFACTURING NELLA REALTÀ PRODUTTIVA ATTUALE

Tornando al periodo attuale, un gran numero di processi di produzione additiva è ora quindi a disposizione. Essi differiscono nel modo in cui gli strati vengono depositati, nel principio di consolidamento del pezzo e nei materiali che possono essere usati. Alcuni metodi fondono o ammorbidiscono i materiali per produrre gli strati, come le citate Selective Laser Sintering (SLS) e Fused Deposition Modeling (FDM), mentre altri utilizzano processi di reticolazione per materiali liquidi come la Stereolitografia (SLA) (Zocca *et al.*, 2015).

Ogni metodo ha i suoi vantaggi e svantaggi, e non andremo nel dettaglio spiegandoli tutti, però è importante sottolineare che le principali considerazioni che vanno fatte per la scelta di una macchina sono generalmente:

- i. il costo della parte da produrre (velocità di stampa);
- ii. il costo dell'intero processo;
- iii. il costo e la gamma di materiali processabili.

Si prosegue con un diverso tipo di classificazione, dividendo le tecnologie di AM in due categorie: (Zocca *et al.*, 2015)

- i. *Dirette*: il materiale è direttamente depositato solo nella posizione determinata creando la forma dell'oggetto finale.
- ii. *Indirette*: quelle tecnologie in cui prima uno strato di materiale è depositato e successivamente la sezione del pezzo da creare viene consolidata in questo strato. Alla fine del processo, il materiale in eccesso è rimosso.

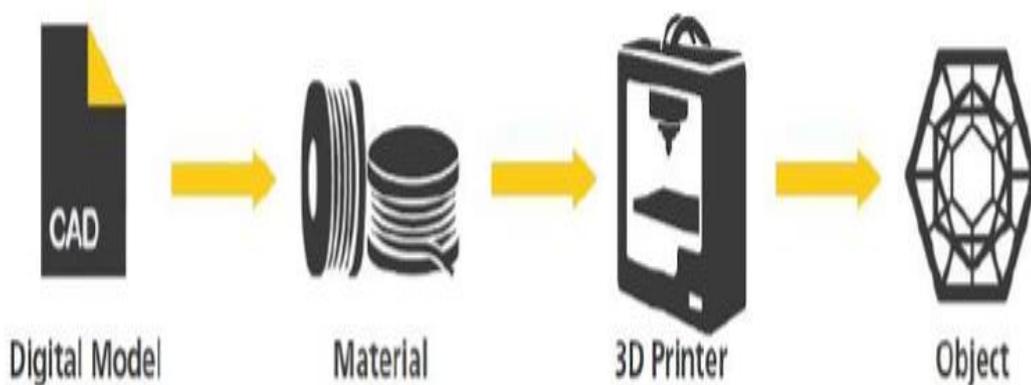
## **2.2.4 I MATERIALI**

Descritta la tecnologia in maniera globale e la sua storia, è doveroso parlare di quelli che sono i materiali utilizzabili dall' AM (Ngo *et al.*, 2018). Essi sono in continuo aumento grazie al crescente interesse verso queste tecnologie. Si possono però identificare i materiali più comunemente usati, ovvero polimeri termoplastici come ABS, PLA e PVA e metalli come acciaio e titanio e quelli meno comuni quali i materiali ceramici, vetri e i materiali biologici. È noto che i materiali non sono processabili con tutte le svariate tecnologie AM e che ognuno possiede le proprie caratteristiche fisiche e dovrà essere utilizzato con la tecnica di AM opportuna. Infatti, le tecnologie specifiche sono collegate a determinati tipi, forme e stati dei materiali. Si hanno quindi materiali che vengono utilizzati come polveri, solitamente i metalli, in forma di sospensione, come le resine fotosensibili, in forma solida, come ad esempio i polimeri termoplastici oppure in forma di pasta (polvere + legante) come ad esempio i materiali ceramici. L'AM di parti con materiali complessi e gradienti di proprietà richiede quindi una conoscenza approfondita dei materiali che devono essere trasformati nell'oggetto finale e le considerazioni su di esso sono di fondamentale importanza.

## **2.2.5 IL PROCESSO PRODUTTIVO**

Trattati i materiali, si passa al processo di produzione in sé. In generale il processo di produzione di un pezzo finito mette in collegamento tra loro quelle che sono una interfaccia software (modello 3D), un hardware (stampante) e dei materiali, che concorrono tutti all'ottenimento di un pezzo finale. In breve, si passa dal virtuale al reale [7]. Il processo può essere sintetizzato in quattro passaggi fondamentali, come mostrato in Figura 9:

1. *Creazione o acquisizione di un modello CAD* di partenza esemplificativo del pezzo finale, esportazione in formato STL e preparazione alla stampa tramite software di slicing;
2. *Seguente o contemporanea scelta del materiale di stampa*, che implica anche il più delle volte la scelta della tecnologia di AM con cui sarà prodotto il pezzo;
3. *Scelta della tecnologia di stampaggio*, settaggio dei parametri ottimali e stampa;
4. *Prodotto finale*, con o senza processi di consolidamento se necessari, es. sinterizzazione.



*Figura 9 – Passaggi fondamentali di un generico processo di AM [7]*

Nonostante sia stata scelta una sequenza per descrivere meglio il processo, ogni step è strettamente collegato con tutti gli altri e ogni scelta deve essere attentamente valutata in riferimento a tutte le altre. Notevole importanza assume la parte di modellazione virtuale per il controllo finale della qualità del pezzo.

Di conseguenza la catena di produzione cambia come mostrato in figura 10.

Gli ambiti più diversi stanno accogliendo e sperimentando l'AM. Attualmente l'utilizzo principale della fabbricazione additiva riguarda il settore industriale per la produzione di prototipi e oggetti finiti.

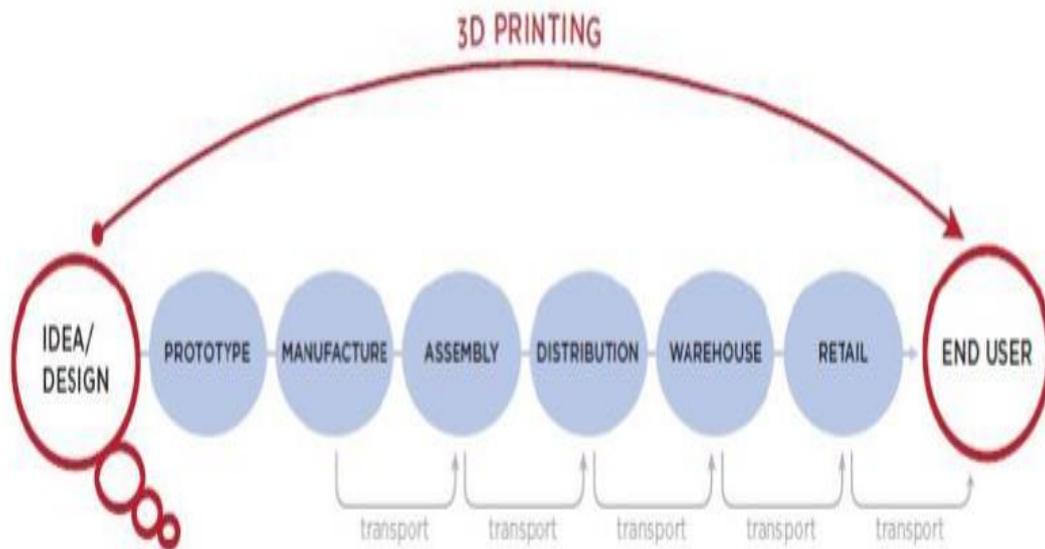


Figura 10 – Catena di produzione tradizionale vs. Stampa 3D [7]

### 2.2.6 ADDITIVE MANUFACTURING E SUPPLY CHAIN

Diversi studi indicano che l'uso della tecnologia AM può avere un impatto sui diversi attori della catena di fornitura, come i fornitori, le aziende manifatturiere e i clienti (Oettmeier *et al.*, 2016). Per iniziare l'AM ha il potenziale di semplificare le catene di fornitura rendendole più strette e corte. Questo probabilmente perché le tecnologie AM offrono l'opportunità di integrare funzionalità aggiuntive nei prodotti e di ottimizzare i prodotti per funzione, il che può ridurre il numero di sottocomponenti necessari e quindi di fornitori. In aggiunta, la produzione di piccoli lotti potrebbe essere trasferita da paesi a basso salario a quelli ad alto salario, poiché l'AM può ridurre la necessità di lavoro manuale. Questo sembra essere particolarmente rilevante per le aziende che offrono prodotti fatti a mano e personalizzati, dato che questi sono particolarmente ad alta intensità di manodopera. Con l'AM, le operazioni di un'azienda potrebbero anche diventare più agili, per esempio grazie alla capacità delle tecnologie di modificare rapidamente il design del prodotto. I clienti dei prodotti AM potrebbero beneficiare di livelli di servizio più elevati, poiché la produzione potrebbe essere decentralizzata e quindi avvenire più vicino al cliente. Ma gli effetti non si riducono solo alle implicazioni

sulle strutture di rete della supply chain, ma anche sui processi di SCM. Infatti, per cogliere le maggiori opportunità nella progettazione dei prodotti rese possibili dalle tecnologie AM, processi e pratiche di gestione e di ricerca e sviluppo nuove sembrano essere inevitabili. Una transizione all'AM può evocare cambiamenti nella pianificazione dei processi e nella progettazione dei prodotti, così come nel controllo della qualità.

Prima di calarci nei dettagli di quelli che sono i vantaggi e gli svantaggi dell'AM a livello di supply chain, bisogna sottolineare che l'implementazione delle tecnologie additive nelle Supply Chain produce effetti strutturali diversi a seconda del livello logistico interessato. In altre parole, le configurazioni delle catene di fornitura basate sulla produzione additiva (AM-based Supply Chain) dipendono dai luoghi della catena di fornitura in cui vengono implementate le tecnologie additive. Esistono perciò diverse configurazioni di AM-based Supply Chain (Gallinaro 2021):

- i. *centralizzate*, se le tecnologie additive sono implementate nel main plant;
- ii. completamente decentrate o *distribuite*, se le tecnologie additive sono implementate nei production plant vicini ai clienti;
- iii. ma anche *soluzioni intermedie*, come l'hub configuration, che è una configurazione intermedia tra una totalmente centralizzata e una totalmente distribuita, con localizzazioni intermedie delle tecnologie additive, cioè tra il main plant e i centri di produzione vicini ai clienti.

Se le tecnologie additive vengono implementate in una Supply Chain a livello centrale, l'Original Equipment Manufacturer (OEM) viene a dotarsi di macchine additive, in genere per affiancare la produzione convenzionale con produzioni di piccole serie o personalizzate, quelle a bassa domanda o a domanda oscillante, che non necessitano di tempi brevi di risposta; oppure per testare progetti innovativi. Nelle Supply Chain dei pezzi di ricambio (spare part), le tecnologie additive localizzate a livello centrale sono quelle che implementano i produttori nei centri regionali di distribuzione gestiti dalle società con le quali firmano contratti di manutenzione e riparazione. Questi contratti regolamentano, tra l'altro, il rifornimento di spare part dei centri di servizio, la cui richiesta da parte dell'utilizzatore finale non richiede immediata risposta. Le macchine AM posizionate a livello centrale di una Supply Chain sostituiscono, perciò, il

magazzino dei prodotti finali o delle spare part, che non sono frequentemente richiesti e il cui tempo di risposta alla domanda non è critico. Le tecnologie additive localizzate in una supply chain a livello decentrato sono quelle posizionate in strutture produttive prossime ai luoghi di utilizzo del prodotto finale o della spare part, cioè vicino al cliente interno o esterno. Se implementate a livello decentrato, le tecnologie additive favoriscono e supportano la riduzione del numero dei livelli delle supply chain, in quanto consentono di eludere i fornitori di componenti e i distributori dei prodotti finiti o delle spare part. In altri termini, le tecnologie additive possono determinare la compiuta disintermediazione delle catene di fornitura. La localizzazione delle macchine additive vicino agli user del prodotto o della spare part genera la moltiplicazione degli investimenti dell'impresa focale di una catena di fornitura che deve essere giustificata da domande locali capienti e da soddisfare in tempi brevi. L'investimento in macchine additive decentrate prende il posto dei costi di trasporto dei prodotti finiti, e dei costi strutturali e di amministrazione dei magazzini dei prodotti finiti dell'intera filiera produttiva. Analoghe conseguenze si generano nelle Supply Chain decentrate delle spare part che verificano l'implementazione delle tecnologie additive nei centri di servizio vicini ai clienti. Le Supply Chain decentrate basate su tecnologie additive garantiscono, in genere, minori lead time e tempi di consegna dei manufatti rispetto a configurazioni di Supply Chain centralizzate (Gallinaro 2021).

In sintesi: le tecnologie additive localizzate a livello centrale annullano i costi del magazzino centrale di prodotti finiti o delle spare part i cui tempi di risposta alla domanda non sono critici, e li sostituiscono con investimenti fissi di tipo produttivo. Mentre le tecnologie additive decentrate riducono il numero dei livelli delle Supply Chain; dunque, tutti i costi che da quel numero dipendono come costi di trasporto e i costi di magazzino dell'intera filiera. La sostituzione del magazzino centrale con configurazioni di AM centralizzate può rappresentare un primo passo nel processo di implementazione delle tecnologie additive nelle supply chain, e che, nel corso del tempo, una configurazione di AM-based supply chain centralizzata può evolversi in una di tipo distribuito. Le Supply Chain distribuite incarnano, dunque, il decentramento produttivo. La produzione decentrata o distribuita (distributed manufacturing) prende la forma organizzativa delle reti di mini-factory. Trattasi di network di strutture produttive decentrate (production plant) assai vicine ai clienti o localizzate nei vari mercati locali

in cui l'impresa opera. La prossimità della mini-factory al cliente o ad un mercato locale agevola l'accesso dell'impresa focale di un business model alla customer knowledge che è di elevata strategicità ai fini della creazione del prodotto personalizzato o altamente specifico per il cliente, ma anche ai fini del processo innovativo. Ciascuna mini-fabbrica è dotata di tecnologie della produzione additiva per contenere i costi della personalizzazione. Oltre alle attività di produzione, ogni mini-fabbrica svolge vendita ed assistenza al cliente, spesso anche attività di progettazione digitale di prodotto. Siffatte strutture incarnano i principi della lean-agile factory, in quanto favoriscono tempi brevi e costi contenuti di produzione e consegna di prodotti personalizzati o unici, o di piccole serie di prodotti. Le mini-fabbriche consentono, dunque, la produzione di prodotti o spare part vicina al punto di utilizzo. Questo genera una conseguenza sulla decisione di investire in macchine AM distribuite, che sono costose nell'attuale stadio di sviluppo cui sono pervenute le tecnologie additive e deve essere giustificata economicamente dall'esistenza di domande locali, anche se basse ed oscillanti, che devono essere soddisfatte in modo personalizzato ed in tempi brevi, come nel caso delle domande di spare part nell'aeronautica o nei settori del biomedicale ovvero motivata da una domanda proveniente da luoghi difficili da raggiungere con i mezzi di trasporto convenzionali. La produzione distribuita può essere considerata uno stadio intermedio del processo evolutivo del manufacturing verso la pura produzione personalizzata, realizzata direttamente dal consumatore, utilizzando file di progetti scaricati da piattaforme di progettazione aperte, e stampanti domestiche o di negozi 3D printing vicini (Gallinaro 2021).

L'implementazione delle tecnologie digitali della produzione additiva in una Supply Chain, indipendentemente dalla configurazione accentrata o decentrata che viene a manifestarsi, implica la sostituzione, in toto o in parte, dei magazzini di componenti, parti di ricambio e prodotti finiti, con magazzini di materiali grezzi e con 'magazzini virtuali' di file digitali di progetto. Materiali grezzi e file di progetto viaggiano più velocemente ed efficientemente dei prodotti fisici lungo i livelli della supply chain, questi ultimi come detto altresì ridotti di numero.

### 2.2.7 VANTAGGI E LIMITI DELL'APPLICAZIONE DELL'ADDITIVE MANUFACTURING ALLA SUPPLY CHAIN

Nonostante ne siano stati già descritti parecchi, ed altri risultano facilmente intuibili grazie all'analisi dettagliata proposta, come preannunciato ad inizio capitolo 2, si elencano i principali vantaggi dell'adozione delle tecnologie AM alla supply chain, i quali possono essere riassunti nei seguenti (Ngo *et al.*, 2018):

- i. *Riduzione sensibile del Time to Market*, dal momento che esiste la possibilità di produrre piccoli lotti da immettere subito nel mercato per testarne l'efficacia e l'appetibilità;
- ii. *Flessibilità nella produzione*, poiché si lavora solo sul modello virtuale ma il macchinario rimane lo stesso, quindi nessun attrezzaggio particolare necessario.
- iii. *Riduzione dei costi di produzione*, sia grazie alla cancellazione delle linee produttive sia per l'eliminazione quasi totale degli scarti;
- iv. *Eliminazione dei costi di trasporto del prodotto finito*, dal momento che in un futuro nemmeno tanto prossimo, ogni prodotto non sarà inviato come pezzo fisico ma come modello 3D virtuale e il cliente potrà stampare da solo il pezzo;
- v. *Brevi delivery time* al cliente per riduzioni dei livelli delle supply chain o per la vicinanza delle macchine AM agli end user dei prodotti o delle spare part;
- vi. *Annullamento delle esigenze di custodia delle scorte* di componenti, prodotti finiti e spare part di sicurezza per fronteggiare la domanda imprevedibile ed occasionale, quindi minori costi di warehousing e di packaging a livello di intera supply chain;
- vii. *Maggior valore creato per il cliente* e, pertanto, maggior willigness to pay un premium price per ottenere il prodotto altamente customizzato;
- viii. *Nessuna o bassa dipendenza della supply chain dai fornitori di componenti*;

Di contro è opportuno sottolineare come esistano ancora dei limiti, legati soprattutto alla complessità dei fenomeni fisici che avvengono durante il processo. Si possono riassumere in (Ngo *et al.*, 2018):

- i. *Bassa produttività*, poiché generalmente la stampa è un processo molto lungo e dispendioso in termini di tempo;
- ii. *Scarsa qualità*, intesa come finitura superficiale e come qualità complessiva del pezzo;
- iii. *Elevati costi* fissi a livello di supply chain in ipotesi di decentramento produttivo (moltiplicazione delle macchine additive);
- iv. *Dipendenza dai fornitori* dei materiali per la produzione additiva;
- v. *Reperibilità e disponibilità dei materiali non sempre garantita*;
- vi. *Non sempre adattabile a pezzi molto semplici o di grandi dimensioni, oppure a serie di produzione con volumi elevati*;

In conclusione, in tempi di crescente concorrenza, l'innovazione nella tecnologia di produzione può essere utilizzata strategicamente per differenziare le aziende dai concorrenti. L'AM rappresenta tale soluzione innovativa nel campo dei processi di fabbricazione. Il crescente interesse rivolto verso le tecnologie di stampa 3D è destinato a rivoluzionare tutti i settori dell'industria e ad avere implicazioni sui concetti stessi di produzione e lavoro, con risvolti economici ed etici (Gallinaro 2021).

## **3 ATTIVITÀ DI RICERCA: METODOLOGIA E STRUMENTI**

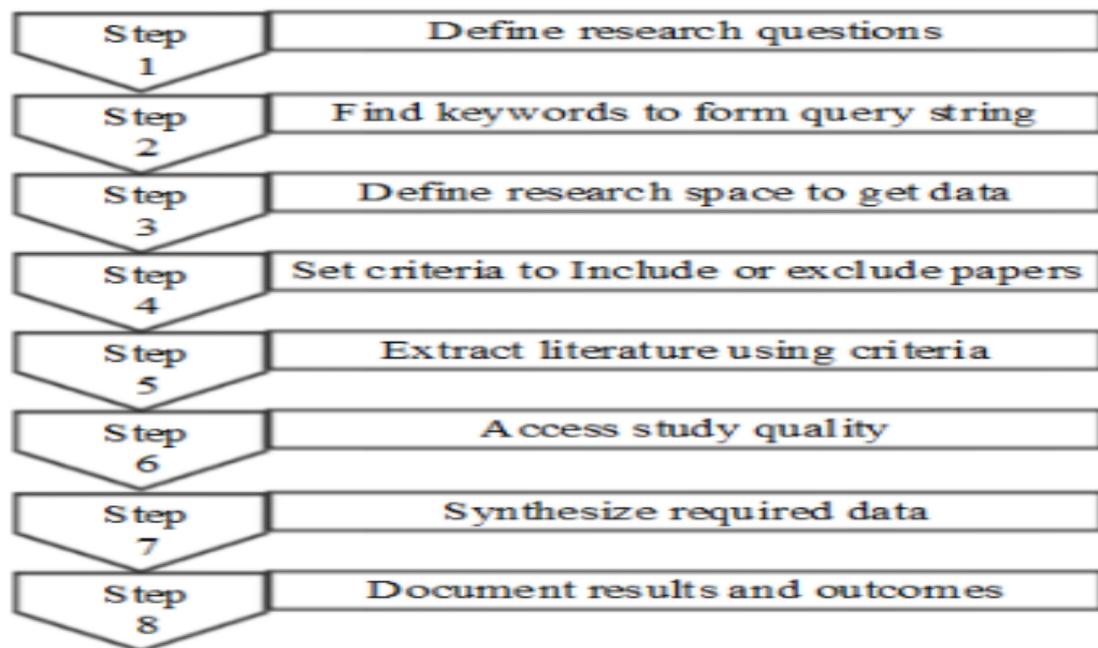
In questo capitolo verrà presentata l'attività di ricerca effettuata, gli strumenti usati e i vari step di analisi eseguiti. Nello specifico, verranno descritte le modalità di ricerca utilizzate per raccogliere e riportare i fattori determinanti l'affermazione del tema della Digital Supply Chain derivante dalle specifiche applicazioni ad essa di due delle tecnologie di Industria 4.0: Internet of Things e Additive Manufacturing. L'analisi della letteratura che verrà presentata è un'attività parte di un progetto di ricerca. Tale attività è stata eseguita da tre studenti del Politecnico di Torino, ognuno focalizzato su differenti tecnologie digitali, con la supervisione e partecipazione costante, attraverso diversi meeting di allineamento e avanzamento lavoro, della Dottoressa Mahsa Mahdavisharif e della Professoressa Anna Corinna Cagliano.

### **3.1 SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

L'attività parte del progetto di ricerca concerne l'analisi della letteratura finalizzata allo studio del tema della Digital Supply Chain e delle due tecnologie in esame precedentemente analizzate dettagliatamente nel capitolo 2. In particolare, lo scopo dell'analisi è studiare la loro applicazione alla Supply Chain e gli effetti della loro implementazione sulla catena di fornitura. La metodologia scientifica utilizzata, particolarmente performante per lo studio delle tematiche emergenti e l'individuazione dei loro trend [10], è quella del "Systematic Literature Review". L'analisi si realizzerà quindi tramite strumenti propri di tale metodologia.

Una revisione sistematica, o Systematic Review, è uno strumento secondario di ricerca scientifica il cui obiettivo è quello di riassumere dati provenienti da strumenti di ricerca primari, ad esempio con una rassegna esaustiva della letteratura scientifica relativa a un dato argomento e con particolare attenzione alle fonti, che devono essere altamente referenziate, per individuare, evidenziare e valutare, in ricerca di alta qualità, tutte le prove pertinenti a una specifica questione scientifica. L'obiettivo di ogni systematic

review è sintetizzare le informazioni provenienti da più studi e pervenire ad una visione complessiva dell'argomento di interesse. La Systematic Review usa metodi chiari e pianificati a priori nonché step specifici, mostrati in figura 11, per identificare, selezionare, valutare e sintetizzare studi simili [10].



*Figura 11 – Passi principali di una Systematic Literature Review [12]*

Tra i criteri pianificati a priori, nell'analisi della letteratura che verrà presentata, è stata fatta la scelta di eseguire l'attività di ricerca usando come unica fonte dei dati per la ricerca e selezione degli studi il Database "Scopus" al quale si è avuto libero accesso mediante la biblioteca multimediale del Politecnico di Torino. Qualsiasi studio non presente in tale Database non è stato considerato.

In un primo step, eseguito da altri ricercatori partecipanti al progetto in questione, si è proceduto alla selezione dei primi articoli che costituiranno la base per i successivi step di ricerca: i cosiddetti Basic Papers. Lo studio è avvenuto per parole chiave e per ogni articolo figurante nel risultato di ricerca è stato letto prima l'abstract e nell'eventualità in cui fosse pertinente all'argomento di ricerca esso è stato analizzato con maggior dettaglio. Una volta letto con attenzione, se conforme a studi di applicazioni di tecnologie digitali alla Supply Chain, allora esso veniva selezionato passando ad essere un basic paper della ricerca. Viceversa, esso è stato scartato ed inserito nella cosiddetta

lista dei “Rejected Papers” indicandone titolo, autore, anno di pubblicazione e la specifica motivazione tra alcune definite a priori, che elencheremo in avanti.

Le parole chiave oggetto di questa prima ricerca sono state:

- i. *"Additive Manufacturing" AND "supply chain";*
- ii. *"Big Data" AND "supply chain";*
- iii. *"IoT" AND "supply chain";*
- iv. *"Blockchain" AND "supply chain";*
- v. *"Digital Supply Chain";*
- vi. *"Cloud computing" AND "supply chain";*
- vii. *"digitalization" AND "supply chain";*
- viii. *"lean" AND "Digital Supply Chain".*

In totale sono stati selezionati 338 articoli. Ogni articolo è stato analizzato dettagliatamente ed anche il giornale in cui è stato pubblicato lo studio. In particolare, per ciascuno degli articoli è stato indicato l'autore, il titolo, l'anno di pubblicazione, il mese e l'anno in cui è stato analizzato dall'attività di ricerca, il numero di citazioni in successivi articoli che esso ha riscontrato e le parole chiavi dell'articolo. Per ogni studio descritto negli articoli scientifici è stata indicata la metodologia di ricerca, la modalità di raccolta dei dati, le domande di ricerca, il gap di ricerca, i limiti, le scoperte e i passi futuri dello studio. Infine, è stato analizzato anche il giornale in cui è stato pubblicato, indicandone la qualità secondo la classificazione dei quartili per i dati scientifici e il 5-Year Impact Factor, ovvero un indice sintetico che misura il numero medio di citazioni ricevute in un particolare anno da articoli pubblicati in una rivista scientifica nei cinque anni precedenti. Infine, per ogni articolo è stato eseguito un riassunto dei punti cruciali ed un commento critico soggettivo. Questo step di ricerca degli articoli primari è stato eseguito da gennaio 2020 a marzo 2021. Fatto ciò, si è proceduto ad attuare lo strumento dello *Snowballing*, step successivo dell'analisi della letteratura oggetto della presente tesi. Per questo step dell'attività di ricerca, che verrà ampiamente descritto nel paragrafo 3.2, sono stati presi in considerazione solo gli articoli selezionati dal risultato di ricerca con parole chiave "Additive Manufacturing" AND "supply chain" e "IoT" AND "supply chain", per un totale di 104 articoli.

## 3.2 SNOWBALLING STEP

In questo paragrafo verrà descritto il secondo step dell'attività di ricerca. Come preannunciato ad inizio capitolo 3, lo strumento utilizzato per completare l'analisi della letteratura eseguita con il metodo scientifico della Systematic Literature Review è quello del cosiddetto "Snowballing".

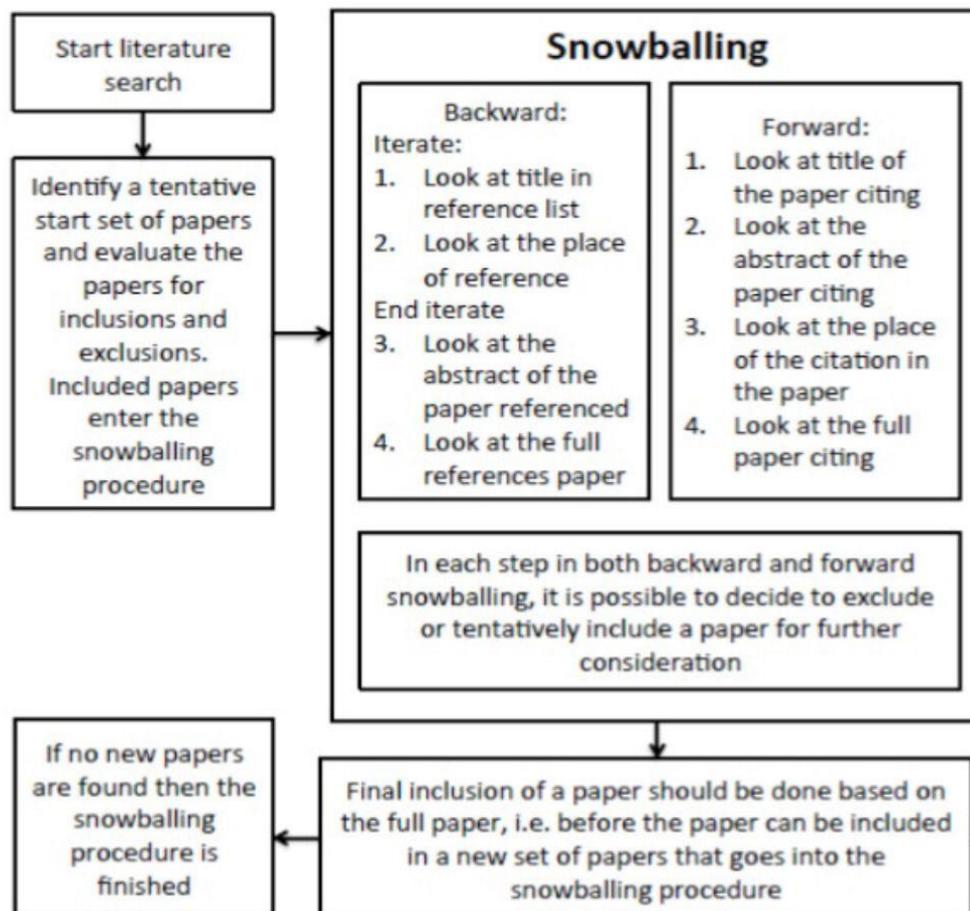


Figura 12 - Procedura snowballing (Wohlin 2014)

La procedura di Snowballing è delineata nei passi della figura 12. Come si evince e come preannunciato nel paragrafo 3.1, è necessario un set iniziale di articoli definiti basic papers da utilizzare come base per la procedura di Snowballing. È importante, al fine di poter parlare di un buon set di partenza, che il numero di articoli nel set iniziale non sia

troppo piccolo e non è questo il caso avendo selezionato 104 articoli per sole due tecnologie digitali. Inoltre, il set iniziale dovrebbe coprire diversi editori, anni e autori. La questione importante qui è la diversità. Tuttavia, non si è mai certi di aver identificato un buon set di basic papers.

Una volta che il set iniziale è stato certificato e deciso definitivamente si passa alla prima delle due procedure di Snowballing: il *“Backward Snowballing”*. Per quest’ultima si intende usare la lista di riferimento di articoli base allo scopo di identificare nuovi articoli da includere nella ricerca. In particolare, per ogni basic paper si deve procedere esaminandone la bibliografia. Infatti, la bibliografia contiene tutti gli articoli citati da quel particolare basic paper, precedentemente scritti e pubblicati. Il significato di *“backward”* si cela proprio in questo, in quanto si analizzano quei documenti che sono serviti come spunto per lo studio descritto nell’articolo di base. Ogni articolo presente nella bibliografia è stato cercato nel database Scopus e se non presente, come detto, è stato scartato a priori. Viceversa, una volta trovato l’articolo, è stato letto prima l’abstract e se da questo si riteneva che l’articolo potesse discutere di studi pertinenti all’argomento oggetto dell’analisi della letteratura veniva aggiunto entrando a far parte dei cosiddetti *“Snowballing papers”*. Se invece, sia l’abstract che nell’eventualità anche il testo completo, non fossero risultati afferenti all’analisi dopo una lettura approfondita, l’articolo veniva aggiunto ai rejected papers, facendo attenzione che quest’ultimo non fosse già presente nella lista di rifiuto, già compilata precedentemente nello step di ricerca dei basic papers. La revisione della bibliografia dei basic papers, e quindi lo step del backward Snowballing, è stata eseguita in tutto il periodo di ottobre e di novembre 2021. Sono state revisionate le bibliografie dei 104 articoli pertinenti l’applicazione dell’IoT e dell’AM alla supply chain allo scopo di tentare di non escludere nessun articolo interessante e rendere l’analisi della letteratura più rigorosa possibile.

Nel periodo di dicembre 2021 si è passati e si è eseguito il successivo step di analisi: il *“Forward Snowballing”*. A differenza del backward, esso consiste non nell’analisi delle bibliografie degli articoli, ma nella revisione degli articoli successivi ai basic papers che li hanno citati e quindi all’identificazione di nuovi articoli basati su quegli articoli che citano l’articolo in esame. Proprio per questo si parla di forward, ovvero in avanti. Anche qui prima si è studiato l’abstract, e se questo è stato ritenuto insufficiente, si è studiato il testo completo per prendere una decisione riguardo al nuovo articolo. Nell’eventualità

in cui esso venisse scartato, è stato inserito tra i rejected papers indicandone titolo, autore, anno di pubblicazione e la motivazione del rifiuto, scelta tra le seguenti:

- i. *Non riguardante il supply chain management*
- ii. *Non riguardante una tra le tecnologie digitali*
- iii. *Informatica*
- iv. *Inaccessibile*
- v. *Articolo risalente ad anni precedenti al 2010 e al contempo senza alcuna citazione in articoli successivi*
- vi. *Duplicato*
- vii. *Non incentrato sulla supply chain dell'industria manifatturiera (ad esempio industria agroalimentare)*

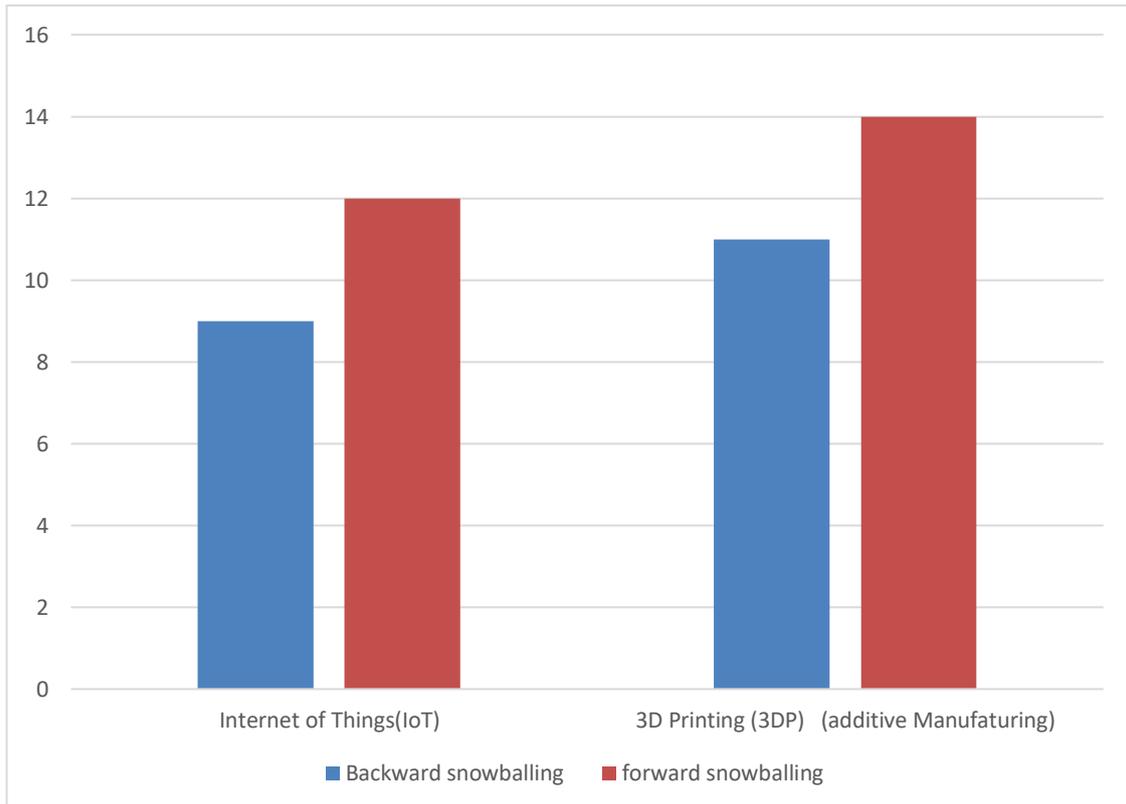
L'approccio usato per includere nuovi documenti, quindi, è uguale a quello seguito per il backward Snowballing, ciò che cambia è solo il riferimento dal quale estrapolare potenziali nuovi papers, se precedente o successivo. Anche qui sono stati analizzate tutte le citazioni ricevute dai 104 papers in esame.

Il lavoro non si è limitato solo alla ricerca di nuovi articoli. Infatti, quanto fatto per i basic papers, è stato eseguito anche per tutti i nuovi articoli sia che essi siano stati inclusi nell'analisi con la procedura di backward Snowballing che con quella di forward Snowballing. Più specificatamente, ricordandolo, per ogni Snowballing paper è stato indicato l'autore, il titolo, l'anno di pubblicazione, il mese e l'anno in cui è stato analizzato, il numero di citazioni in successivi articoli che esso ha riscontrato e le parole chiavi dell'articolo. Per ogni studio descritto negli articoli scientifici è stata indicata la metodologia di ricerca, la modalità di raccolta dei dati, le domande di ricerca, il gap di ricerca, i limiti, le scoperte e i passi futuri dello studio. Infine, è stato analizzato anche il giornale in cui è stato pubblicato, indicandone la qualità secondo la classificazione dei quartili per i dati scientifici e il 5-Year Impact Factor, descritto ad inizio capitolo ed oltre ciò è stata eseguita una discussione sommaria dell'articolo stesso nonché commenti critici soggettivi.

Inoltre, ogni articolo è stato classificato in base a tre diverse prospettive di analisi, scomposte in base ai principali temi risultanti dal primo step di revisione letteraria:

1. Processi della catena di fornitura. In particolare:
  - i. *Trasporto*
  - ii. *Gestione dell'inventario*
  - iii. *Produzione*
  - iv. *Approvvigionamento*
  - v. *Stoccaggio*
  - vi. *Previsione della domanda, marketing e pricing*
  - vii. *Relazione con i clienti*
  - viii. *Supply chain in generale*
  
2. Area e problemi della catena di fornitura. Nello specifico:
  - i. *Condivisione delle informazioni*
  - ii. *Condivisione dei ricavi o costi*
  - iii. *Rischio*
  - iv. *Valutazione/misurazione delle performance*
  - v. *Finanziario*
  - vi. *Pianificazione*
  - vii. *Business model*
  
3. Metodologia di ricerca:
  - i. *Modello matematico/di ottimizzazione*
  - ii. *Simulazione*
  - iii. *System Dynamics/ Modelli Agent Based*
  - iv. *Sondaggio o caso studio*
  - v. *Literature Review*
  - vi. *Concettuale/Framework*
  - vii. *Test d'ipotesi*
  - viii. *Sviluppo di un modello/architettura*
  - ix. *Sviluppo di strumento/piattaforma/sistema informatico*
  - x. *Metodi Multi-Criteria Decision Making (MCDM)*

Infine, per ogni articolo trovato, nell'eventualità in cui la metodologia di ricerca usata facesse riferimento ad una particolare teoria, quest'ultima è stata indicata così come è stato indicato il caso in cui un articolo descrivesse l'applicazione di più tecnologie digitali alla supply chain; quindi, nel caso in cui non descrivesse una sola delle due tecnologie in esame.



*Figura 13 – Nuovi articoli trovati a seguito sia dello step di Backward Snowballing che di Forward Snowballing*

Alla fine delle due procedure di Snowballing, dopo più di tre mesi di meeting, revisione, e analisi costante della letteratura, sono stati trovati un totale di ulteriori 46 nuovi articoli pertinenti la Digital Supply Chain e l'applicazione delle tecnologie IoT e AM su di essa. In particolare, per quanto riguarda la tecnologia IoT sono stati individuati 9 nuovi articoli tramite la procedura del backward Snowballing e 11 con la successiva forward Snowballing, mentre per la tecnologia AM 12 nuovi articoli dopo aver concluso lo step di backward Snowballing e 14 a chiusura dello step di forward Snowballing. Il tutto è riassunto nel grafico precedente.

### 3.3 ANALISI DEI RISULTATI DELLO SNOWBALLING

In questo paragrafo verrà descritto il passo successivo allo step di Snowballing dell'attività di ricerca: le analisi critiche degli articoli raccolti.

Dopo aver terminato lo step di Snowballing, nel mese di gennaio 2022, si è passati allo studio dettagliato e alle analisi critiche dei soli nuovi articoli trovati grazie allo strumento descritto nel paragrafo 3.1. Dunque, dopo un primo focus nei 104 basic papers, nel mese di gennaio ci si è concentrati solo sui 46 nuovi Snowballing papers.

#### 3.3.1 ANALISI DELLE MOTIVAZIONI DI RIFIUTO DEGLI ARTICOLI

Come prima analisi critica si è proceduto all'approfondimento delle ragioni di rifiuto che hanno portato ad inserire uno studio, durante la fase di Snowballing, tra i rejected papers, allo scopo di avere una percezione del limite corrente della letteratura sull'applicazione di AM e IoT alla Supply Chain nell'eventualità in cui esistesse.

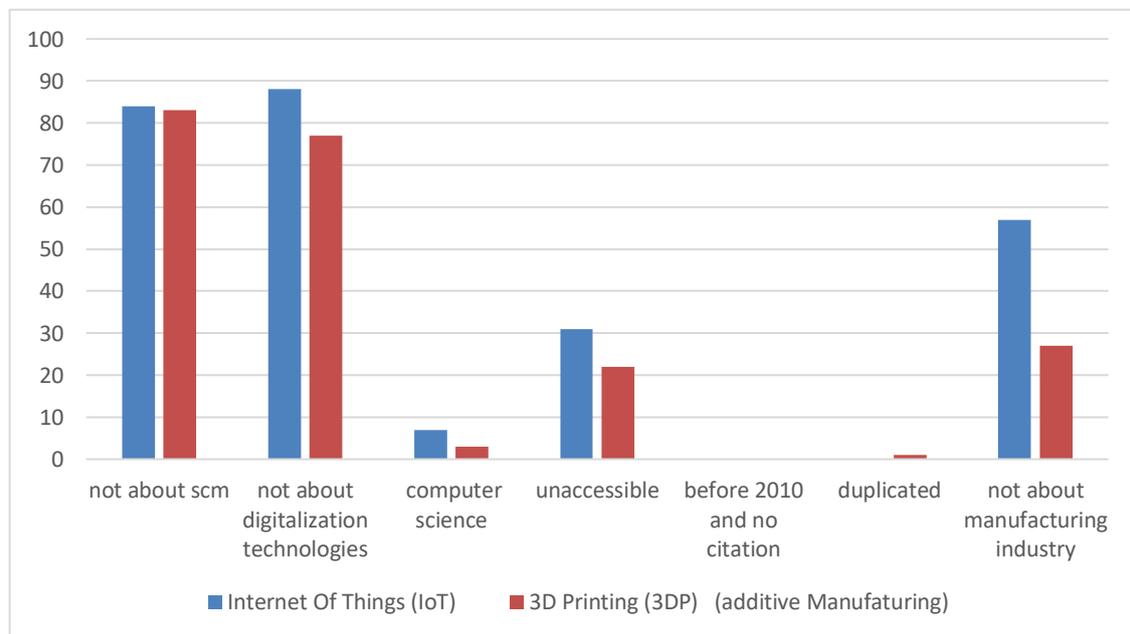


Figura 14 – Numero papers per motivazioni rifiuto a seguito dello step di Snowballing

Come si evince dai grafici in figura 14 e 15, si sono ottenuti risultati pressoché uguali per le due tecnologie AM e IoT. Si può affermare che la letteratura è principalmente interessata a studi riguardanti le due tecnologie di Industria 4.0 o la catena di fornitura in sé, ed è carente, invece, sull’unione dei due argomenti, ovvero ricerche che analizzano gli effetti che le tecnologie AM e IoT possano avere sui vari livelli della Supply Chain. Inoltre, un gran numero di studi presenti nella letteratura non riguarda casi applicativi del settore manifatturiero, focus dell’attività di ricerca, ma ricerche sull’applicazione delle tecnologie AM e IoT alla Supply Chain su settori principalmente concernenti il food. In aggiunta, altri studi risultavano inaccessibili dal momento che, come annunciato al paragrafo 3.2, è stata fatta la scelta di eseguire l’attività di ricerca usando come unica fonte dei dati per la ricerca e selezione degli studi il Database “Scopus” al quale si è avuto libero accesso mediante la biblioteca multimediale del Politecnico di Torino. Qualsiasi studio non presente in tale Database non è stato considerato definendolo inaccessibile, pertanto, è possibile che alcuni articoli rilevanti non siano stati considerati.

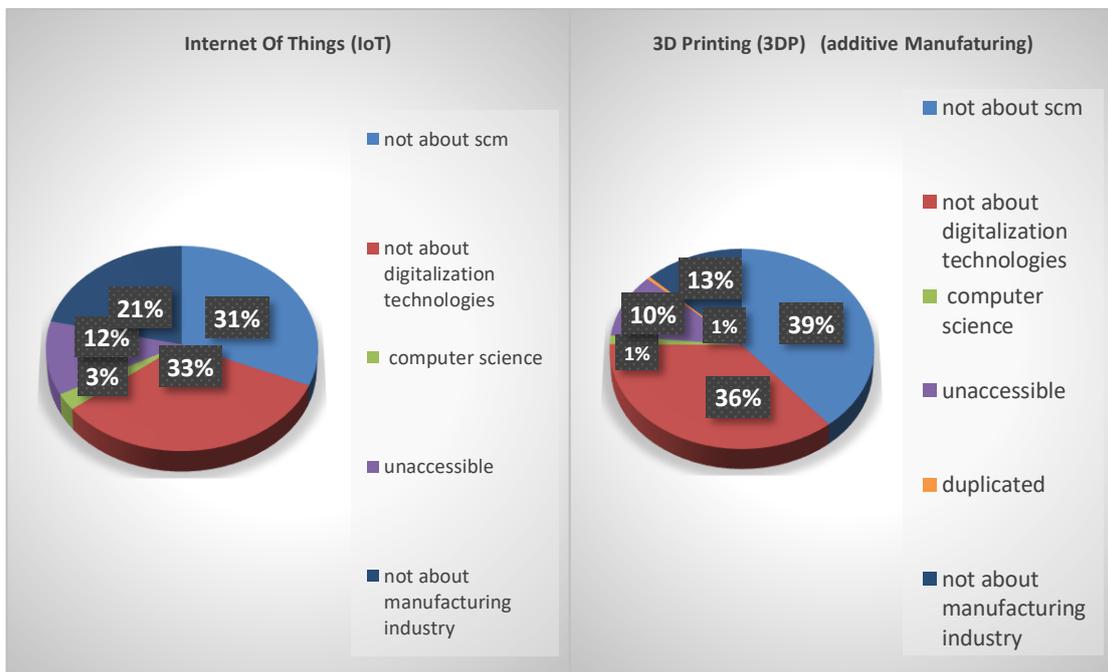


Figura 15 – Percentuale papers per motivazioni rifiuto a seguito dello step di Snowballing

### **3.3.2 ANALISI DELLE RIVISTE: QUALITÀ E 5 YEAR IMPACT FACTOR**

Come preannunciato al paragrafo 3.2, oltre le caratteristiche strettamente correlate all'articolo e allo studio scientifico descritto in esso, durante lo step dello Snowballing e successivamente in quello delle analisi, si è prestata molta attenzione anche alle riviste in cui i vari articoli sono stati pubblicati allo scopo di sapere quali riviste pubblicano maggiormente gli articoli nei vari campi. In aggiunta, del giornale è stata indicato anche la qualità secondo la classificazione dei quartili per i dati scientifici, cercando tale dato presso il sito “Scimago Journal & Country Rank” e il 5-Year Impact Factor, quest'ultimo dato la maggior parte delle volte indicato, invece, presso il sito ufficiale del giornale nella sezione “Indexing & rankings”. Per i 46 Snowballing papers sono stati riscontrati 33 riviste diverse che hanno pubblicato i vari studi. I titoli delle riviste incontrate e la frequenza del numero di papers analizzati nel secondo step di ricerca e pubblicati in tali sono indicati in figura 16. Il giornale con più papers risulta essere l'International Journal of Production Economics, il quale ha pubblicato quattro articoli risultanti dall'analisi della letteratura, trattanti sia l'applicazione dell'IoT alla Supply Chain che l'AM. Tali articoli sono stati individuati tutti a seguito dello step di backward Snowballing. Meritano una citazione in onore anche l'International Journal of Advanced Manufacturing Technology e il Journal of Manufacturing Technology Management, i quali si trovano invece entrambi al secondo posto con tre articoli pubblicati tra i Snowballing papers. Anch'essi non hanno una preferenza tra le due tecnologie di Industria 4.0, focus dell'attività di ricerca. Il resto delle riviste, invece, ha pubblicato due o un solo articolo di quelli presi in esame.

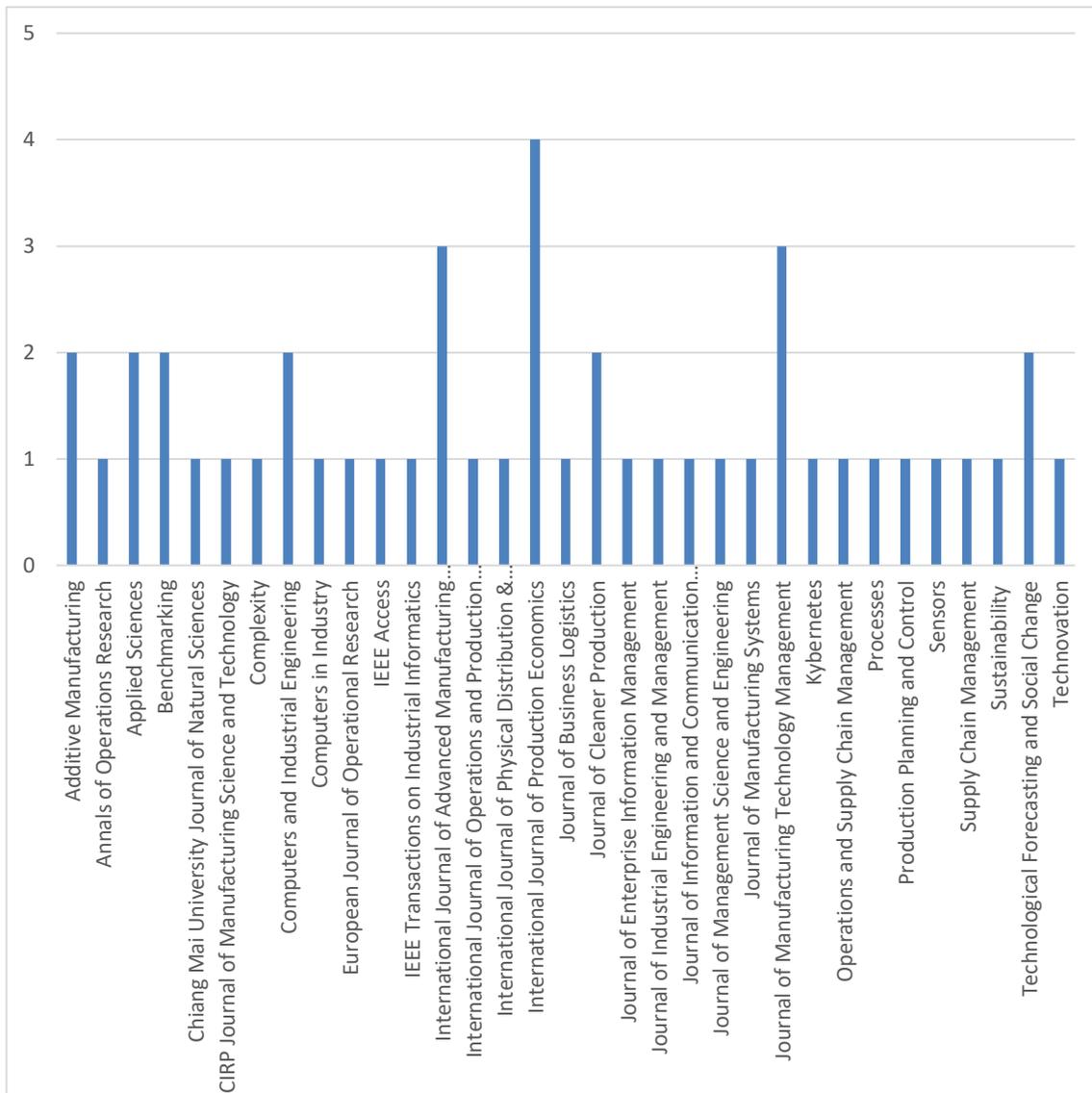


Figura 16 – Riviste e numero di Snowballing papers pubblicati

A questo punto ci si è focalizzati sull'analisi della qualità delle riviste allo scopo di capire se determinate tematiche delle tre prospettive di ricerca fossero discusse maggiormente in riviste di alta o bassa qualità, nel caso in cui esistesse tale correlazione. O ancora, se una delle due tecnologie prese in esame è stata dibattuta maggiormente su riviste di qualità Q1, la più alta qualità, o in riviste valutate meno qualitative.

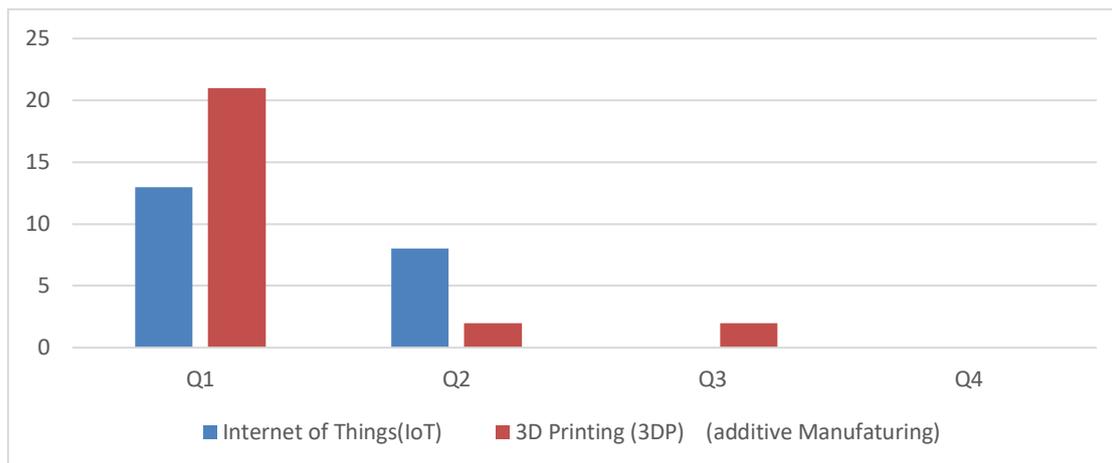


Figura 17 – *Quantità e qualità delle riviste pubblicanti studi sull'applicazione delle tecnologie IoT e Additive Manufacturing alla Supply Chain*

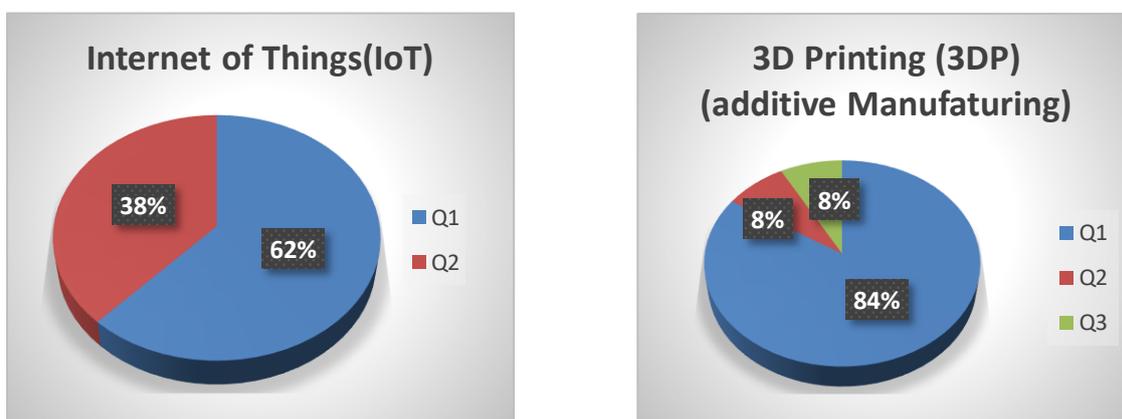


Figura 18 - *Percentuale qualità delle riviste in cui le due tecnologie sono state dibattute*

Come si evince dai grafici presentati sopra, è stato riscontrato un maggior utilizzo di riviste di qualità alta per pubblicare articoli scientifici riguardanti la tecnologia AM, con l'84% sul totale degli articoli, contro il 62% dell'IoT. Tuttavia, a differenza dell'IoT, dove solo riviste di qualità Q1 e Q2 hanno pubblicato studi sulla sua applicazione alla supply chain, nel caso dell'AM è stato riscontrato un 8% di utilizzo anche di riviste di qualità Q3, stessa percentuale di utilizzo di riviste Q2. L'analisi effettuata, come detto, però, si è spinta ancora più nel dettaglio alla ricerca di correlazioni tra risultati dibattuti e qualità delle riviste. Sono state analizzate le due tecnologie separatamente, e nel caso dell'AM è risultato essere significativo studiare solo riviste di qualità Q2 e Q3, poiché quelle di qualità più alta, avendo pubblicato 21 articoli su un totale di 25 inclusi per tale tecnologia, ovviamente, descrivono e analizzano tutte le più svariate tematiche e

risulterebbe un'analisi simile a quella effettuata in precedenza sul totale degli articoli e la correlazione con le tre prospettive di ricerca, non conducendo quindi a risultati diversi ed interessanti da sottolineare.

Ultima analisi afferente le riviste e non agli studi specifici in sé riguarda quella sul “5 Year Impact Factor”, il quale considera il numero medio di citazioni ricevute nell'anno di riferimento dagli articoli pubblicati sulla rivista nei 5 anni precedenti. Lo scopo è capire se esiste un collegamento tra le citazioni ricevute, e quindi il 5 Year Impact Factor, e una fra le due tecnologie o se determinate prospettive di ricerca vengono solamente pubblicate in quella specifica rivista con 5-IF più alto. In sintesi, capire se esiste una correlazione tra le riviste più o meno influenti e gli oggetti della ricerca e capire anche il trend che gli articoli scientifici riguardanti l'applicazione di tecnologie digitali alla supply chain stanno seguendo.

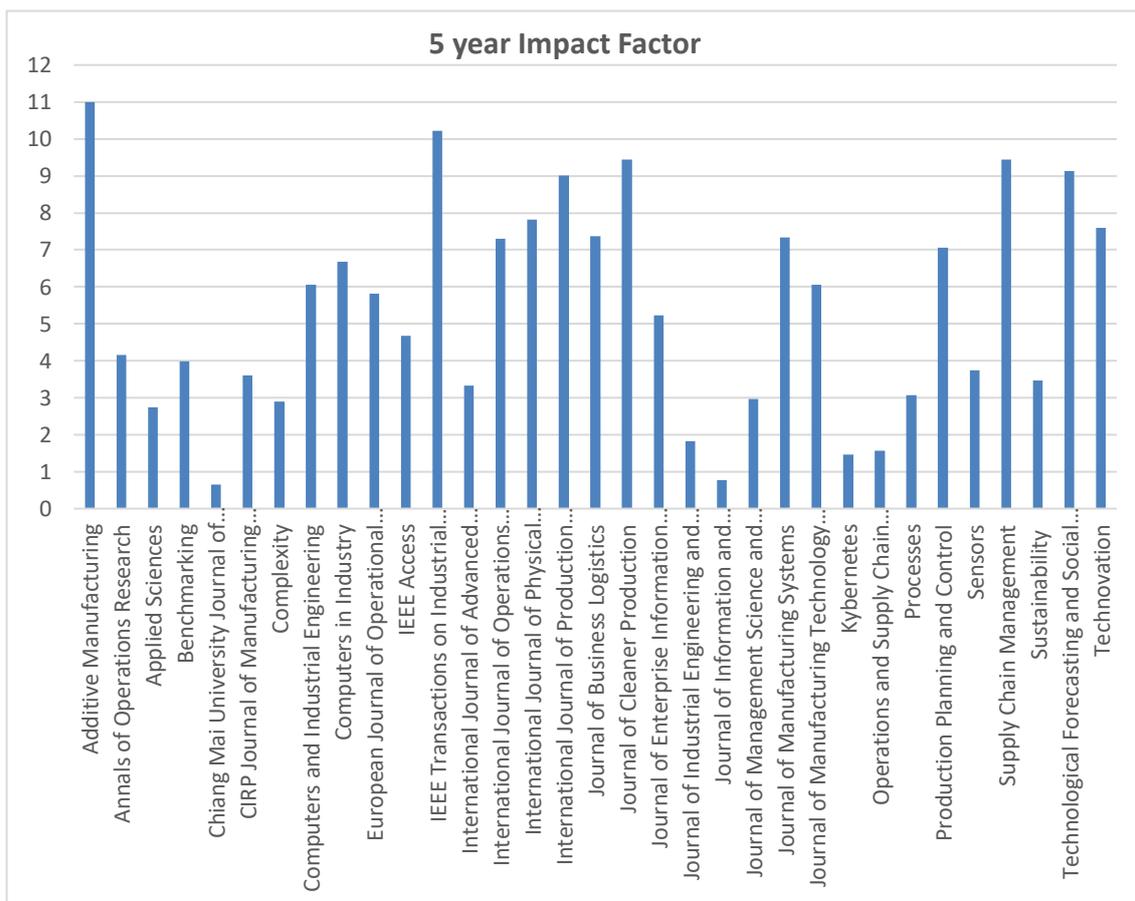
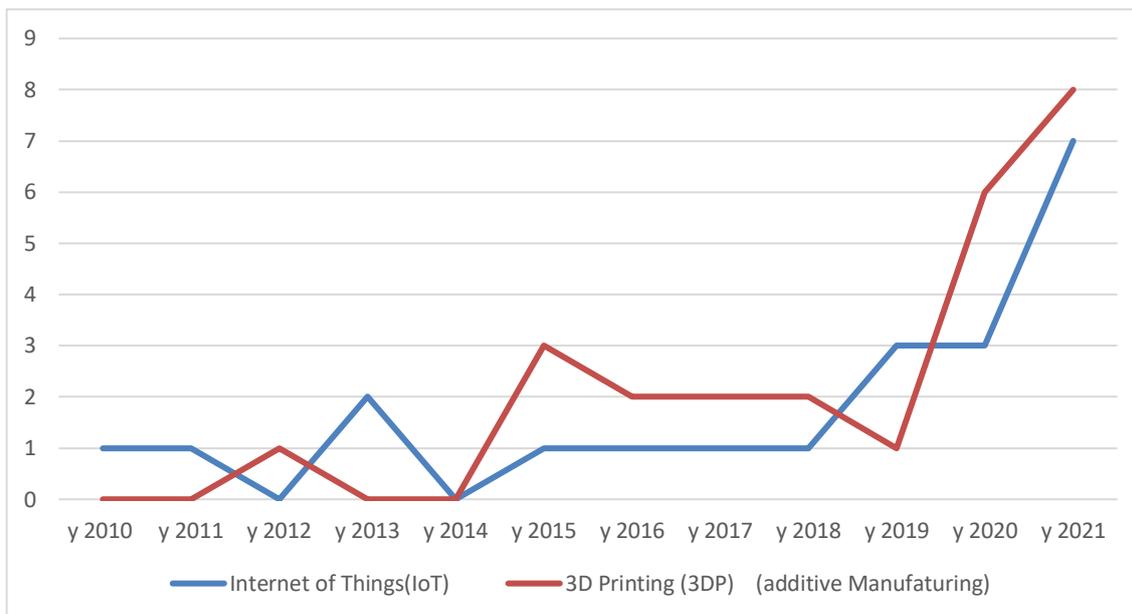


Figura 19 – 5 year Impact Factor delle riviste

I 5 Year Impact Factor di tutte le riviste sono indicati in figura 19. La media dei 5-IF di tutte le riviste incluse risulta essere del 5,37, un dato buono dal momento che un 5-IF pari a 1 indica che in media c'è stata una citazione nell'anno di riferimento per ogni articolo pubblicato dalla rivista nei cinque anni precedenti. Dai risultati, si può affermare, che l'oggetto di ricerca è comunque di tendenza visto il gran numero di citazioni che ricevono le riviste che pubblicano gli studi sul tema e dunque gli articoli e le ricerche su di esso vengono quindi pubblicati in ottime riviste, oltre che principalmente in riviste di alta qualità come visto precedentemente. Il tutto è strettamente correlato. Le quotazioni di una rivista crescono con la qualità dei lavori che essa accetta e pubblica e lavori di bassa qualità non permettono alla rivista di essere catalogata tra quelle importanti per un determinato settore scientifico e di conseguenza di ricevere una citazione. Infatti, l'indicatore di qualità del giornale mostra la più alta posizione per categoria tematica della rivista nel Journal Citation Reports e il Q1 indica il 25% delle riviste con i fattori di impatto più elevati, il che risulta coerente con i risultati indicati. Non è stata riscontrata, invece, alcuna correlazione tra una delle due tecnologie ed il fatto di essere dibattute su riviste con 5-IF più alto.

### **3.3.3 ANALISI DEL NUMERO DI ARTICOLI PUBBLICATI NEGLI ANNI**

Prima di analizzare in dettaglio i risultati ottenuti per le due tecnologie, allo scopo di comprendere il trend dell'oggetto della ricerca descritta però, è più opportuno in primis analizzare il numero dei papers riguardanti studi sull'applicazione delle due tecnologie alla Supply Chain e studiarne il loro andamento negli anni. Di conseguenza è stata svolta un'ulteriore analisi critica riguardante il numero di articoli Snowballing in ogni anno per ogni tecnologia. Successivamente al paragrafo 3.3.11 e 3.3.12 si analizzeranno nel dettaglio e negli anni anche il trend delle tre prospettive di ricerca per le due tecnologie.



*Figura 20 – Numero di papers pubblicati dal 2010 al 2021 per le due tecnologie*

Come si evince dal grafico in figura 20, l'andamento è sicuramente in crescita, quasi esponenziale, per entrambe le tecnologie e gli studi sulla loro applicazione alla Supply Chain. Più del 50% degli articoli inclusi nell'analisi della letteratura dopo lo step di Snowballing, risulta essere stato pubblicato dal 2020 in poi, nonostante la procedura di Snowballing sia stata effettuata sia a ritroso che in avanti. Questo è un dato molto significativo dal momento che si analizzano nel complesso 46 articoli scientifici e il risultato sta ad indicare che le ricerche sull'argomento oggetto della tesi sono in continua crescita e negli ultimi anni sempre più studi vengono effettuati a riguardo. Avere una catena di fornitura digitale sta diventando, ormai, e sarà nel breve periodo, una necessità per tutti gli attori coinvolti nei diversi livelli della supply chain, come spiegato nel primo capitolo. Di conseguenza, è coerente riscontrare un aumento esponenziale e non lineare degli studi sull'applicazione di due tra le diverse tecnologie di industria 4.0 soprattutto, ipotesi plausibile, dopo l'emergenza sanitaria causata dalla pandemia di Covid-19 del 2020, la quale ha messo molte aziende di fronte all'esigenza e alla sfida di costruire un sistema digitale, interconnesso, tracciabile e collaborativo e gli studi condotti a riguardo si sono intensificati allo scopo di scalare il tempo di ascesa della Digital Supply Chain prendendo decisioni consapevoli sulle soluzioni digitali da applicare.

### 3.3.4 ANALISI DELLE DUE TECNOLOGIE: LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA

Come prima analisi critica focalizzata esclusivamente sulle tecnologie AM e IoT, si è proceduto all'approfondimento del numero di articoli, per le due tecnologie, correlati alle tre diverse prospettive di ricerca nel quale gli articoli, come preannunciato nel paragrafo 3.1, sono stati classificati: Supply Chain processes, Supply Chain areas and issues e Supply Chain methodologies.

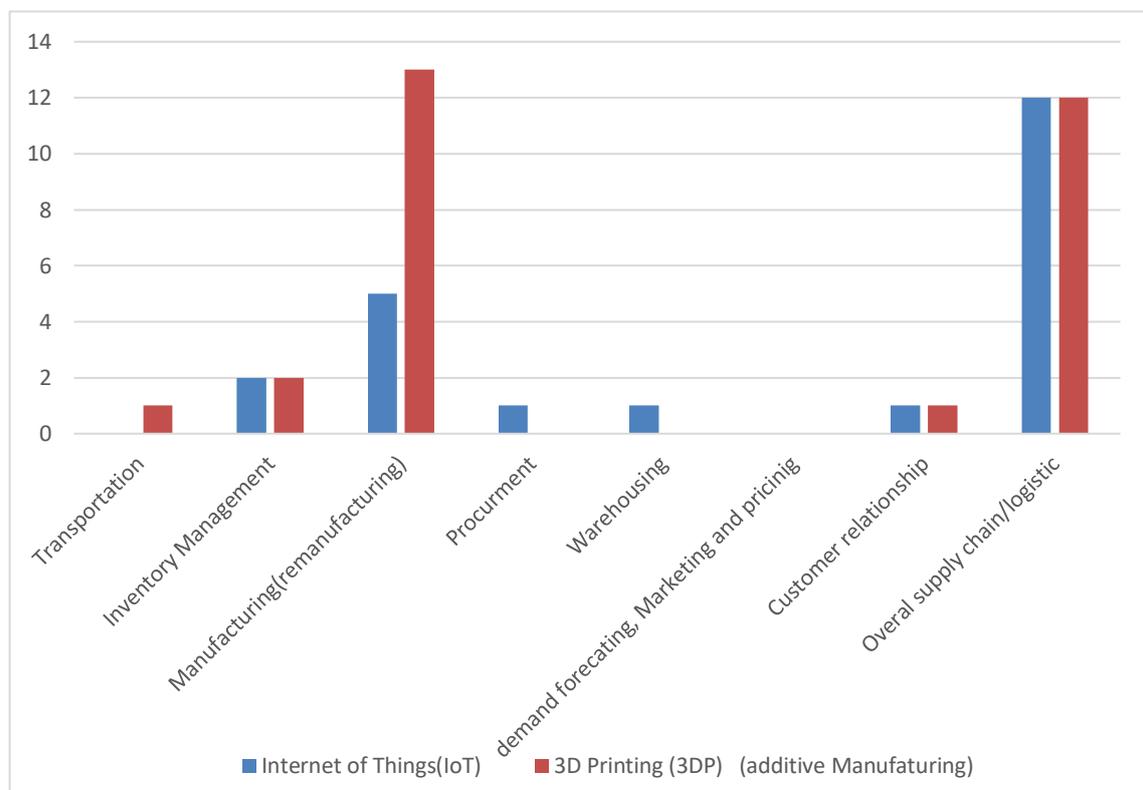


Figura 21 – Numero dei papers per tecnologia per la prospettiva di ricerca Supply Chain processes

Come si evince dal grafico in figura 21, per la tecnologia AM è stato riscontrato che la maggior parte degli articoli analizzati nella ricerca e presenti nella letteratura trattano del processo di produzione e nessun articolo ha trattato specificamente gli argomenti di approvvigionamento, magazzinaggio e previsione della domanda, marketing e prezzi, trattati invece in maniera più generica nei numerosi articoli analizzanti la situazione complessiva della supply chain. Questo è coerente con la tecnologia stessa, in quanto,

come preannunciato al paragrafo 2.2, l'applicazione dell'AM alla Supply Chain, principalmente, va a modificare il modo in cui i pezzi vengono prodotti; dunque, è inevitabile che la letteratura sia incentrata soprattutto su tale argomento, peccando ancora sugli altri. Diversa, invece, la situazione dell'IoT, dove è presente almeno un articolo che tratta tutte le diverse attività della Supply Chain, con l'eccezione del processo di trasporto. Anche qui sono numerosi gli articoli che analizzano la supply chain in maniera complessiva, senza che risulti spiccare un argomento specifico come nel caso dell'AM.

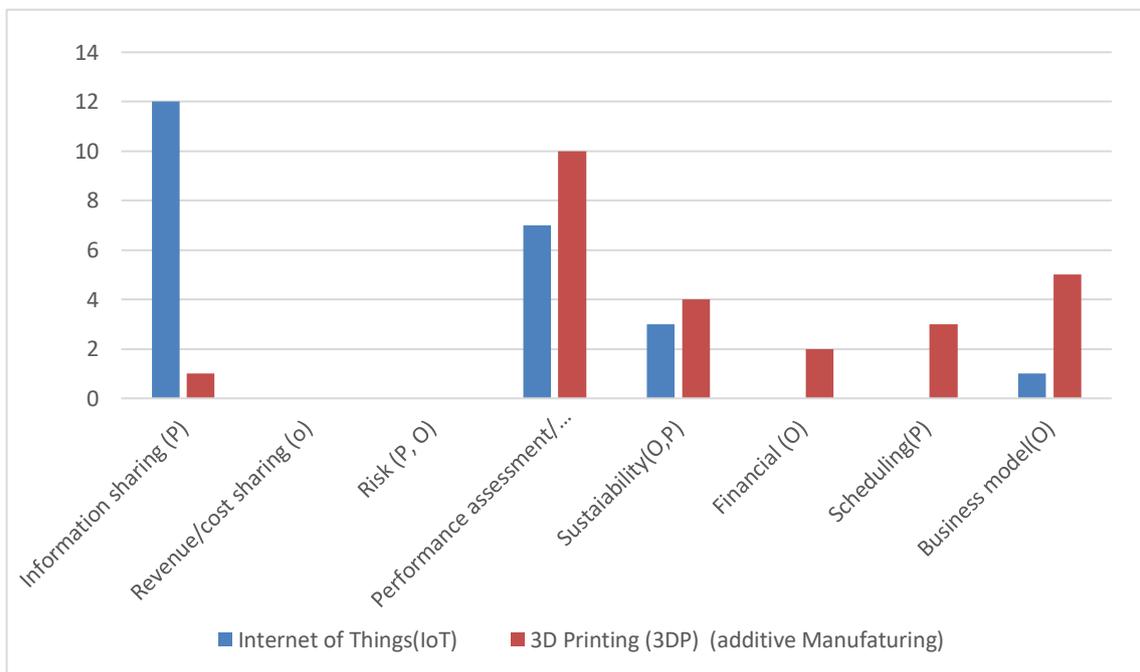


Figura 22 - Numero dei papers per tecnologia per la prospettiva di ricerca Supply Chain areas and issues

Per quanto concerne, invece, l'area ed il problema della catena di fornitura discusso nei Snowballing papers, si evince come nel caso della tecnologia IoT il tema principale sia l'information sharing. Questo era facilmente intuibile in quanto, dopo aver descritto ampiamente la tecnologia nel capitolo precedente, si capisce quale sia il vantaggio principale che una Supply Chain acquisisce implementando l'IoT all'interno: informazioni in tempo reale lungo tutti gli attori della catena di fornitura, che permette una migliore gestione dei vari livelli della Supply Chain. È coerente quindi che per l'IoT la letteratura scientifica sia incentrata soprattutto in tale problema specifico più che in

un'attività precisa. E quindi è inevitabile, di conseguenza, che la maggior parte degli articoli rimanenti non faccia che discutere di performance valutando e misurando i vantaggi ottenuti dall'applicazione dell'IoT. Quest'ultimo vale anche per l'AM: possiamo affermare che la letteratura si concentri nel far evidenziare e rendere conosciute quelli che sono i vantaggi e gli svantaggi dell'adozione delle due tecnologie alla supply chain a livello di performance. Inoltre, è coerente anche il fatto che nel caso della stampa 3D molti studi siano incentrati sul business model dal momento che l'applicazione della tecnologia alla Supply Chain è collegata al cambio di relazione con i fornitori e clienti, per via delle motivazioni e della natura stessa della tecnologia, ampiamente discusso nel paragrafo 2.2, dedicato all'AM.

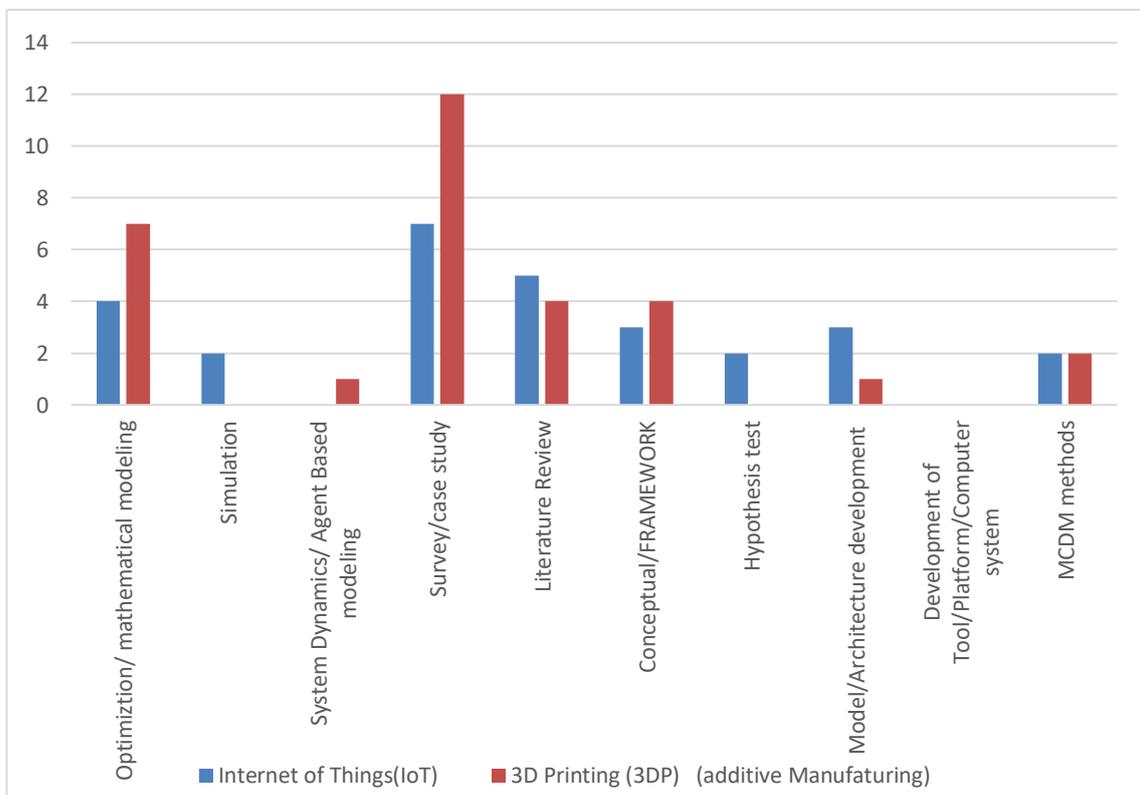


Figura 23 - Numero dei papers per tecnologia per la prospettiva di ricerca Supply Chain methodologies

In conclusione, di questa prima analisi focalizzata sulle tre prospettive di ricerca, gli studi presentati nei nuovi 46 articoli selezionati riguardano principalmente, per entrambe le tecnologie in esame, sondaggi o casi studio, come mostrato in figura 23. Ovviamente, ogni metodologia usata presenta i propri limiti, ampiamente analizzati durante la fase di

Snowballing per ogni articolo, come preannunciato. Nel caso di sondaggi, sicuramente si sa che riflettono i risultati degli intervistati, i quali potrebbero avere interessi economici sia nell'essere ottimisti che pessimisti all'implementazione delle tecnologie digitali alla Supply Chain. Tuttavia, sono tali metodologie a prevalere, trovando più sotto sia revisioni della letteratura che modelli matematici, che seppur quest'ultimi sembrerebbero più rigorosi, anche loro si focalizzano solo su particolari situazioni di analisi difficilmente generalizzabili. Infine, sono molteplici anche gli studi in cui si arriva a proporre un Framework o in cui si presentano modelli di Supply Chain derivanti dall'applicazione delle tecnologie.

### **3.3.5 ANALISI DELLA RELAZIONE INTER-FUNZIONALE TRA LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA: INTERNET OF THINGS**

Le analisi critiche delle tre diverse prospettive di ricerca non si sono concluse qui. Infatti, si è deciso di analizzare ancora più dettagliatamente, ed in particolare studiarle in maniera incrociata. Si è cercato di capire se ci fosse una correlazione tra gli argomenti trattati, ovvero se ad esempio quegli studi focalizzati su un determinato processo della Supply Chain, di conseguenza, trattassero una determinata area o problema della catena di fornitura o usassero, per lo studio di quella determinata area, una metodologia di ricerca specifica. L'analisi è stata eseguita per entrambe le tecnologie separatamente. In sintesi, lo scopo ultimo è stato analizzare la relazione inter-funzionale, per ogni tecnologia, tra:

- i. *Area e problemi Supply Chain e processo Supply Chain* in base al numero di documenti su ciascun problema relativo a ciascun processo;
- ii. *Area e problemi Supply Chain e metodologie di ricerca Supply Chain* basate sul numero di documenti su ciascun problema in relazione a ciascuna metodologia;
- iii. *Processo Supply Chain e metodologie di ricerca Supply Chain* basate sul numero di documenti di ciascun processo in relazione a ciascuna metodologia;

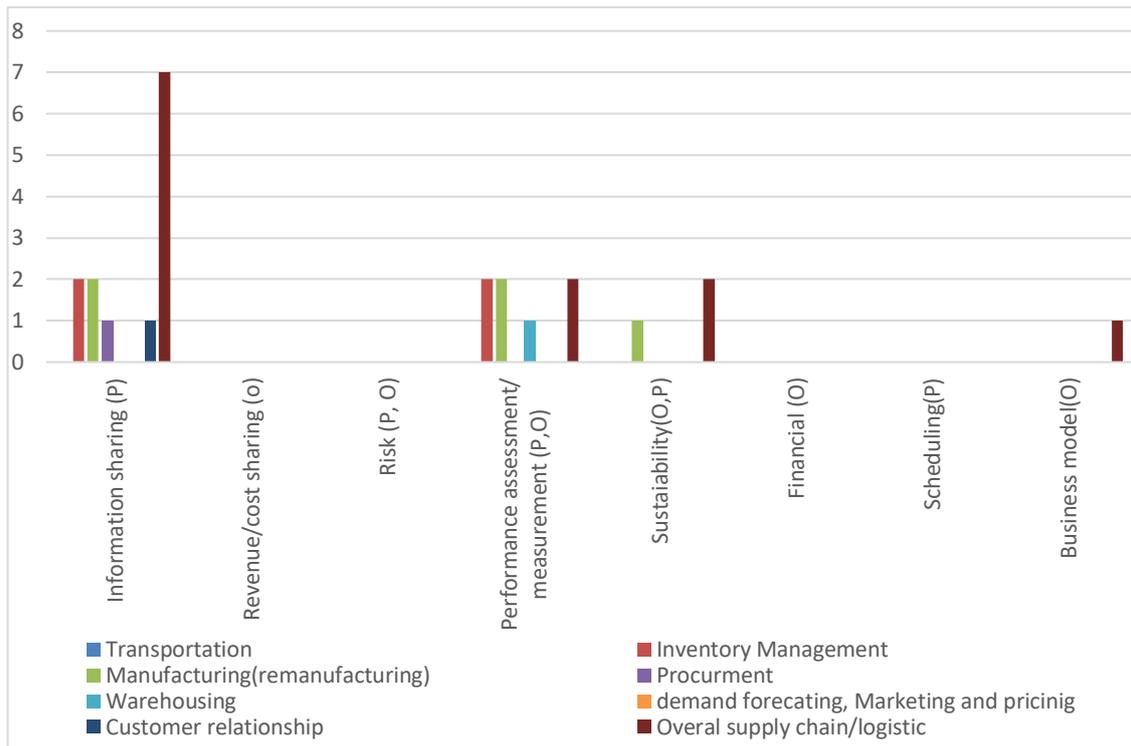


Figura 24 – Supply Chain areas and issues/Supply Chain processes (IoT)

In un primo momento ci si è focalizzati nell'analisi critica dei soli Snowballing papers trattanti l'IoT e la sua applicazione alla Supply Chain. Nel caso dell'IoT, si evince dal grafico in figura 24, come tutte le attività della catena di fornitura abbiano una correlazione inter-funzionale con il problema della condivisione di informazioni, come presumibile. Tra tutte le attività affrontate negli studi dei Snowballing papers solo quella di magazzinaggio risulta essere correlata ad una misurazione di performance più che alla condivisione di informazioni. Discorso opposto invece per l'attività di gestione di relazione con i clienti. Comunque, si può affermare che non spicchi nessuna correlazione particolare ed esclusiva tra area e processo Supply Chain, per quanto riguarda la tecnologia IoT.

Spostando l'analisi alla correlazione inter-funzionale tra le aree e i problemi della catena di fornitura e le metodologie di ricerca usate, sempre per l'IoT, spicca, come osservabile dal grafico successivo, che nel caso dell'information sharing, l'unica metodologia non usata per affrontare tale problema sia quella dei metodi decisionali multicriterio (MCDM), metodologia incontrata due volte nei papers ed usata solo per affrontare il problema della sostenibilità ambientale.

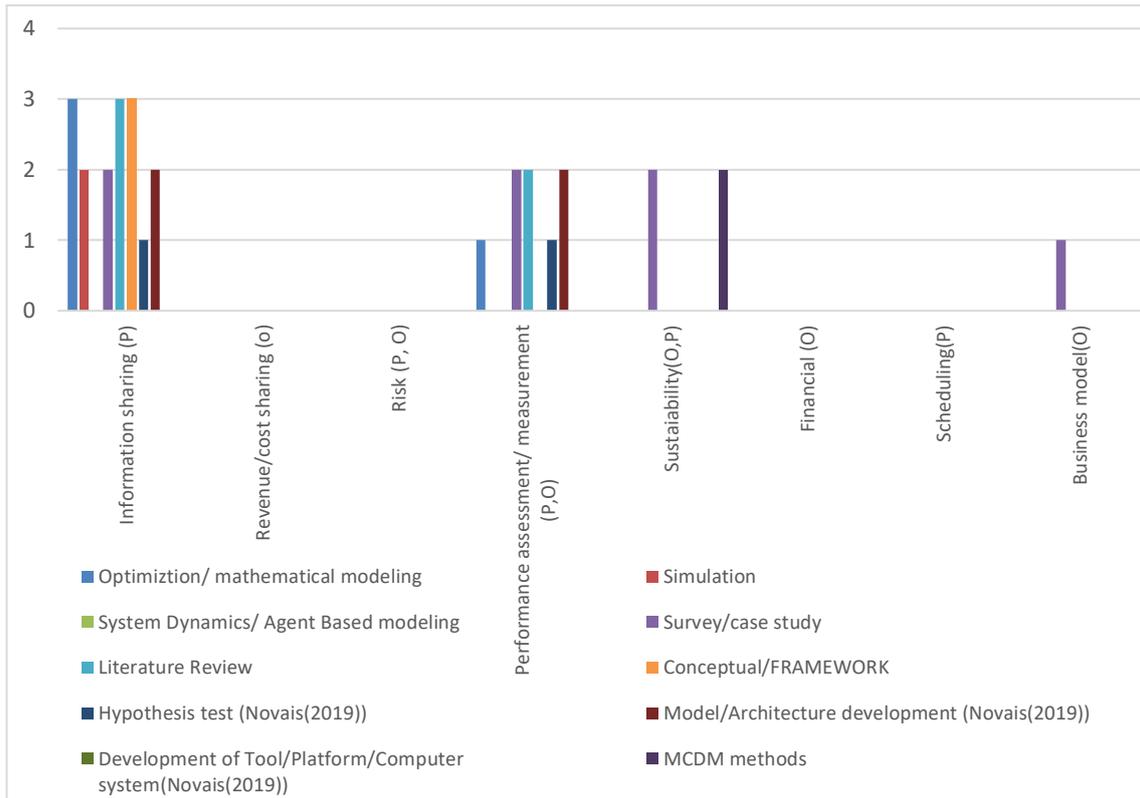


Figura 25 – Supply Chain areas and Issues/Supply Chain methodologies (IoT)

In aggiunta, le simulazioni e articoli prettamente concettuali, sono state riscontrate solo nella presentazione del tema information sharing e non nelle altre aree. I sondaggi o casi studio, invece, risultano essere l'unica metodologia di ricerca incontrata e che ha affrontato tutte le problematiche della supply chain indistintamente.

Proseguendo e concludendo l'analisi incrociata delle prospettive di ricerca per l'IoT, si evince dalla figura 26 che nel caso di articoli trattanti la catena di fornitura in maniera complessiva e non focalizzata, in tali studi, sono state utilizzate tutte le metodologie di ricerca elencate nel paragrafo precedente, con il predominio di analisi della letteratura. Spicca, invece, come dominante la metodologia del sondaggio o del caso studio nel caso di studio del tema del processo produttivo della catena di fornitura con l'implementazione dell'IoT. In conclusione, è da sottolineare come l'unico studio avente come argomento l'attività di trasporto sia stato condotto tramite un modello matematico, mentre i soli a trattare il processo di approvvigionamento e la relazione con i clienti entrambi presentano una presentazione concettuale dell'argomento.

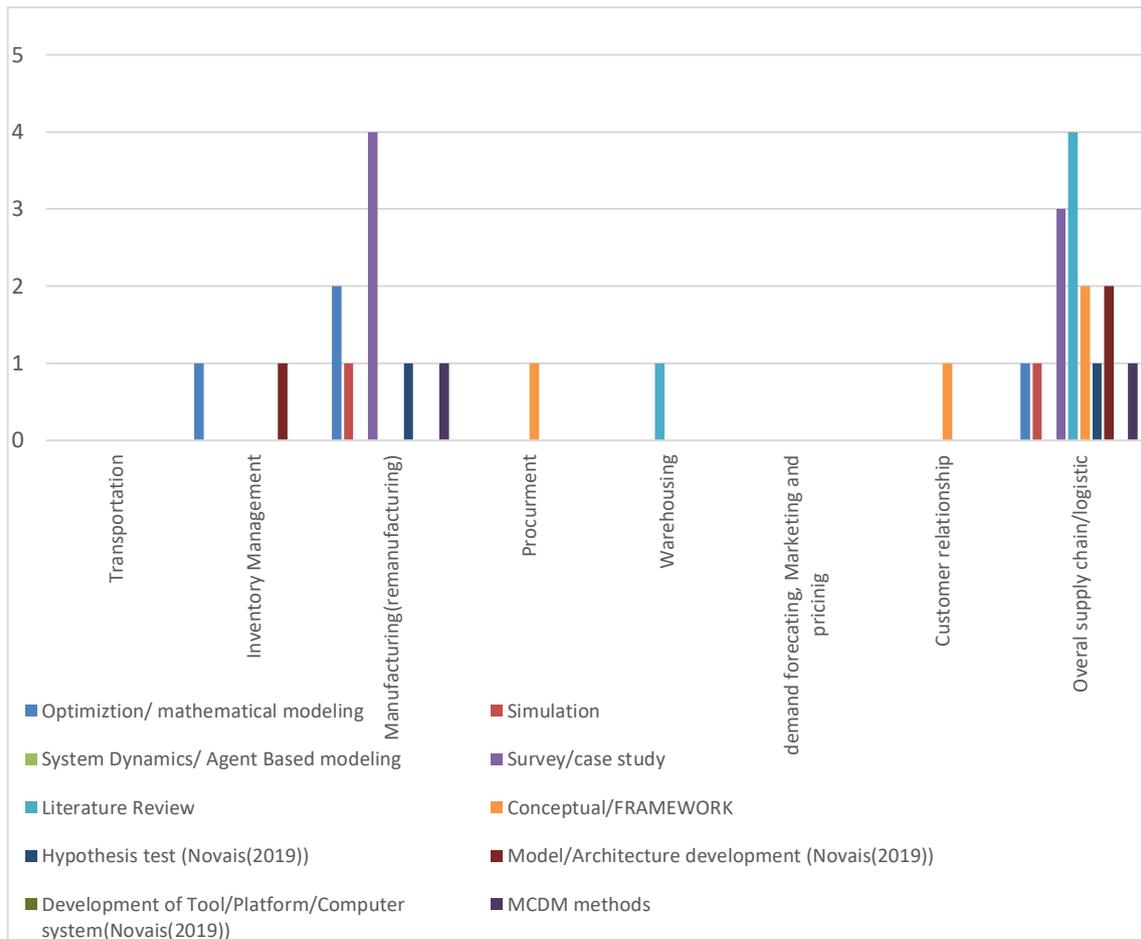


Figura 26 – Supply Chain processes/Supply Chain methodologies (IoT)

### 3.3.6 ANALISI DELLA RELAZIONE INTER-FUNZIONALE TRA LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA: ADDITIVE MANUFACTURING

Conclusa l'analisi dell'IoT si è passati a quella della tecnologia AM. Il tema centrale di tale tecnologia, ovvero il cambiamento del processo produttivo, dopo l'analisi della letteratura avvenuta durante la procedura di Snowballing e la conseguente classificazione degli articoli nelle tre prospettive di ricerca, risulta essere associato e correlato a tutte le aree e i problemi della catena di fornitura, incrociandosi a partire con il business model e finendo con l'information sharing. Questo vale anche per gli articoli che affrontano le attività e i processi di tutta la catena di fornitura. È da sottolineare, invece, che gli unici articoli riscontrati nel secondo step di analisi della letteratura, trattanti il processo di trasporto e la gestione del magazzino, si incrociano in letteratura

entrambi con il problema di misurazione e valutazione delle performance, mentre per quanto concerne la relazione con i clienti è stata riscontrata una correlazione con la tematica di scambio di informazioni. I risultati ottenuti ed analizzati sono riportati in figura 27.

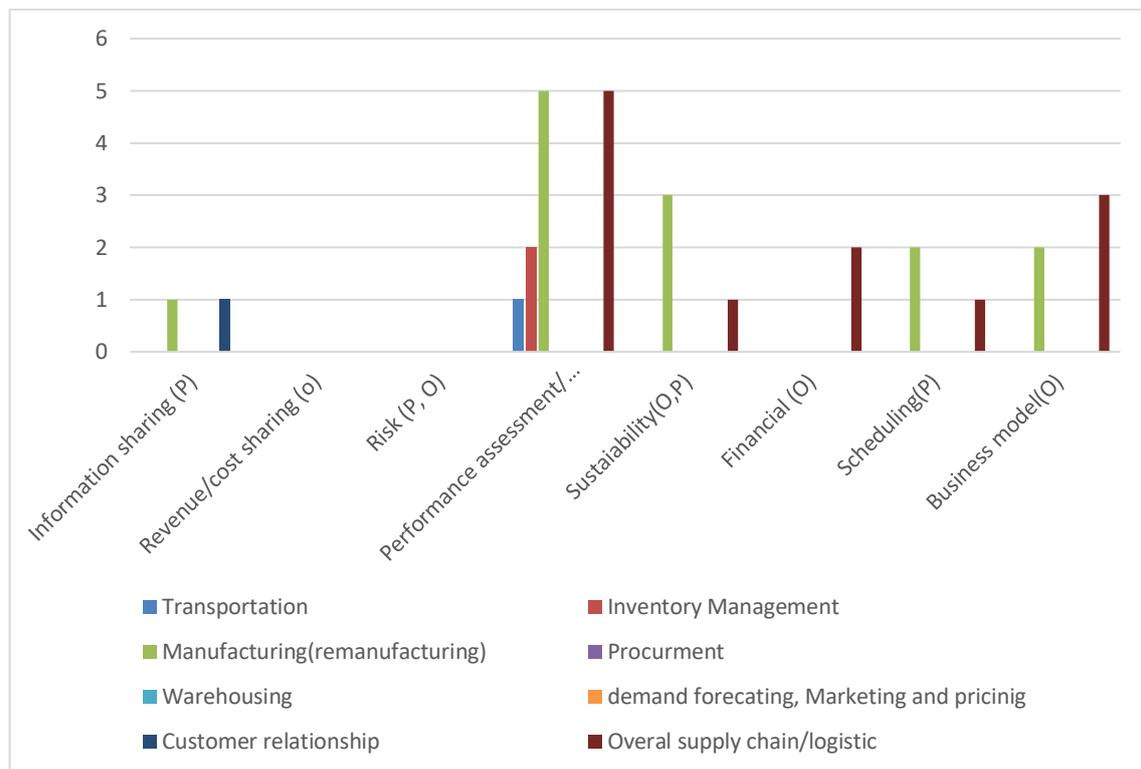


Figura 27 – Supply Chain areas and Issues/Supply Chain processes (Additive Manufacturing)

Per quanto concerne l'analisi alla correlazione inter-funzionale tra le aree e i problemi della catena di fornitura e le metodologie di ricerca usate, rappresentata in figura 28, si riscontra un picco di ben 8 articoli riguardanti l'utilizzo di sondaggi o casi studi nel caso in cui si affronti il problema della misurazione o valutazione delle performance all'interno della catena di fornitura a seguito dell'applicazione dell'AM. Particolare, invece, che l'unico studio analizzato ed incontrato analizzante il tema dell'information sharing nel caso di implementazione della stampa 3D alla Supply Chain, tema poco popolare e coerente con tale tecnologia, sia correlato anche all'unico studio in cui sia stato sviluppato un modello o un'architettura specifica. A differenza dell'IoT in cui i metodi multicriterio sono stati utilizzati solo nell'area della sostenibilità, qui essi sono stati usati per affrontare il tema di cambio relazione con clienti e fornitori, ovvero il

business model della catena di fornitura, ed anche per problemi prettamente finanziari, il che induce a pensare che non sia presente una chiara correlazione tra tali metodi e un problema specifico della Supply Chain nella letteratura scientifica.

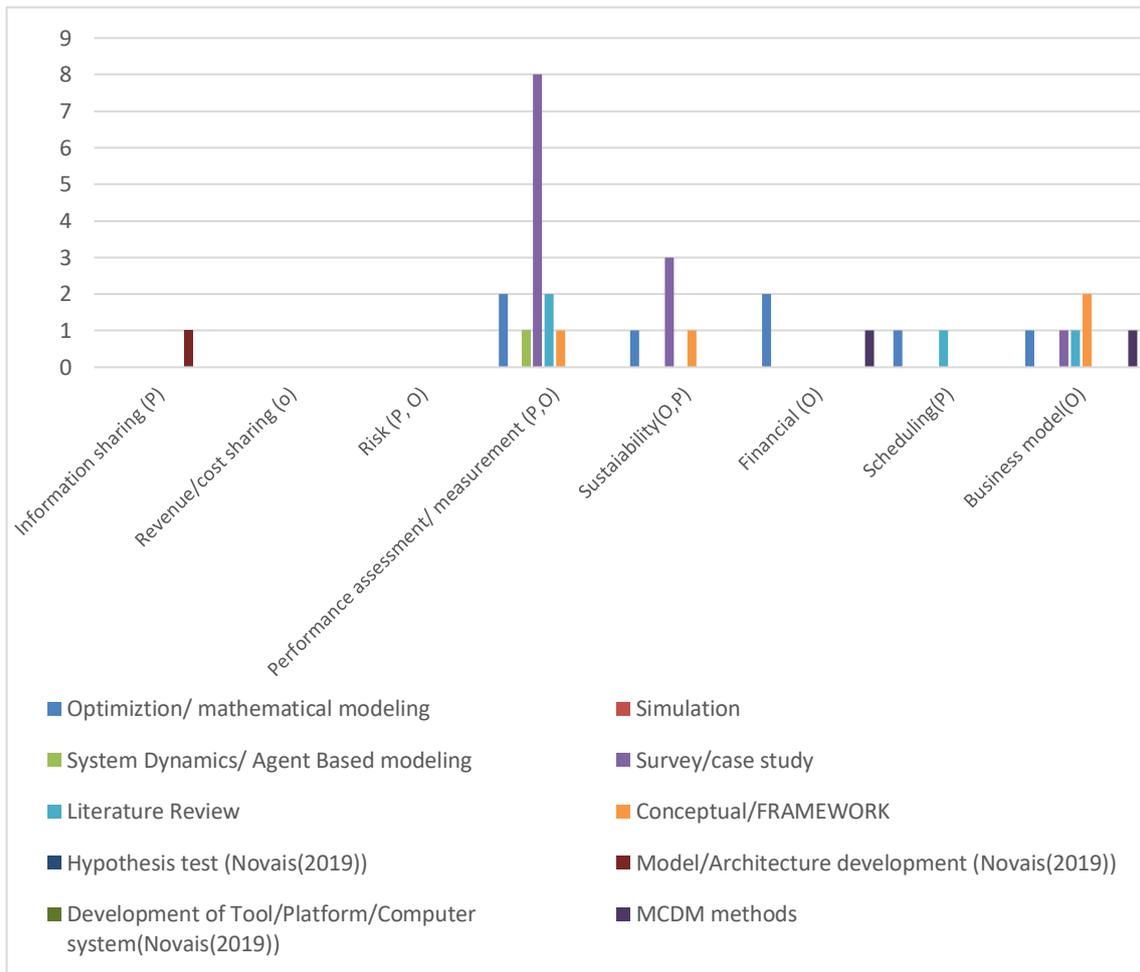


Figura 28 – Supply Chain areas and Issues/Supply Chain methodologies (Additive Manufacturing)

Per concludere questa fase di analisi inter-funzionale tra prospettive di ricerca, si arriva a studiare quella possibile tra attività o processo della catena di fornitura e la metodologia usata per trattarlo, anche nel caso dell'AM, mostrata in figura 29. Il metodo di ricerca più utilizzato coincide indubbiamente con l'attività maggiormente descritta nella letteratura, ovvero tanti sondaggi o casi studi affrontano il tema del manufacturing o remanufacturing. Così come tutte le ulteriori metodologie di ricerca sono state riscontrate ad affrontare tale tema, con l'eccezione dei System Dynamics o Modelli Agent Based, usato comunque per trattare della Supply Chain in generale. E lo stesso

vale per i sondaggi, che affrontano tutte le tematiche della supply chain incontrate con l'analisi della letteratura.

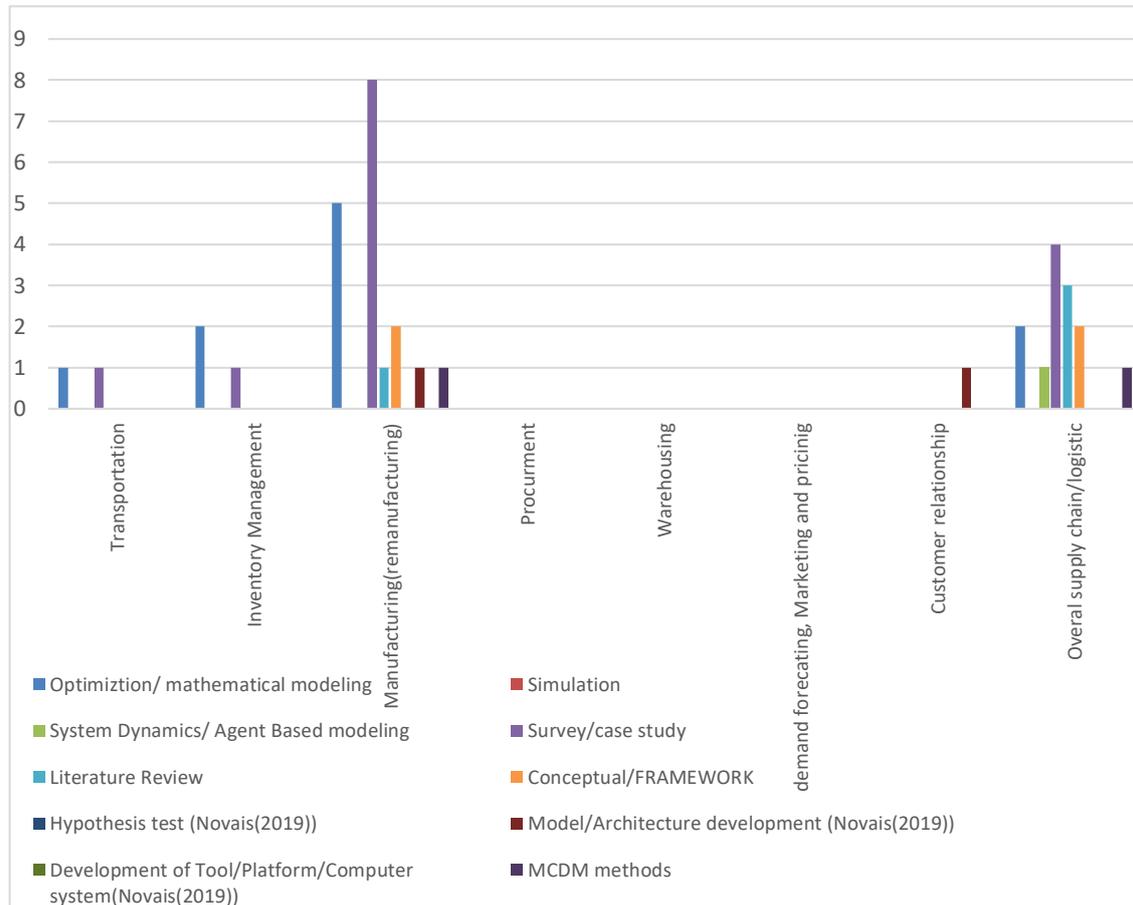


Figura 29 – Supply Chain processes/Supply Chain methodologies (Additive Manufacturing)

Comunque, la mancanza di articoli e studi utilizzando alcune metodologie di ricerca non trattate ed argomenti non affrontati ha reso più difficile trovare relazioni inter-funzionali tra le tre diverse prospettive di ricerca analizzate, ma i limiti dell'analisi della letteratura dell'attività di ricerca dell'applicazione dell'AM e dell'IoT alla supply chain descritta in questo capitolo verranno affrontati al paragrafo 4.2.

### 3.3.7 ANALISI DELLE TEORIE

Si è proseguito passando a tutt'altra prospettiva di analisi, in particolare lo studio delle teorie presenti negli articoli. Come detto, nella fase di Snowballing, per ogni articolo, è stata evidenziata la teoria, nell'eventualità in cui fosse presente ed usata nella metodologia di ricerca dello studio presentato, ovvero discipline o metodo di ricerca specifici.

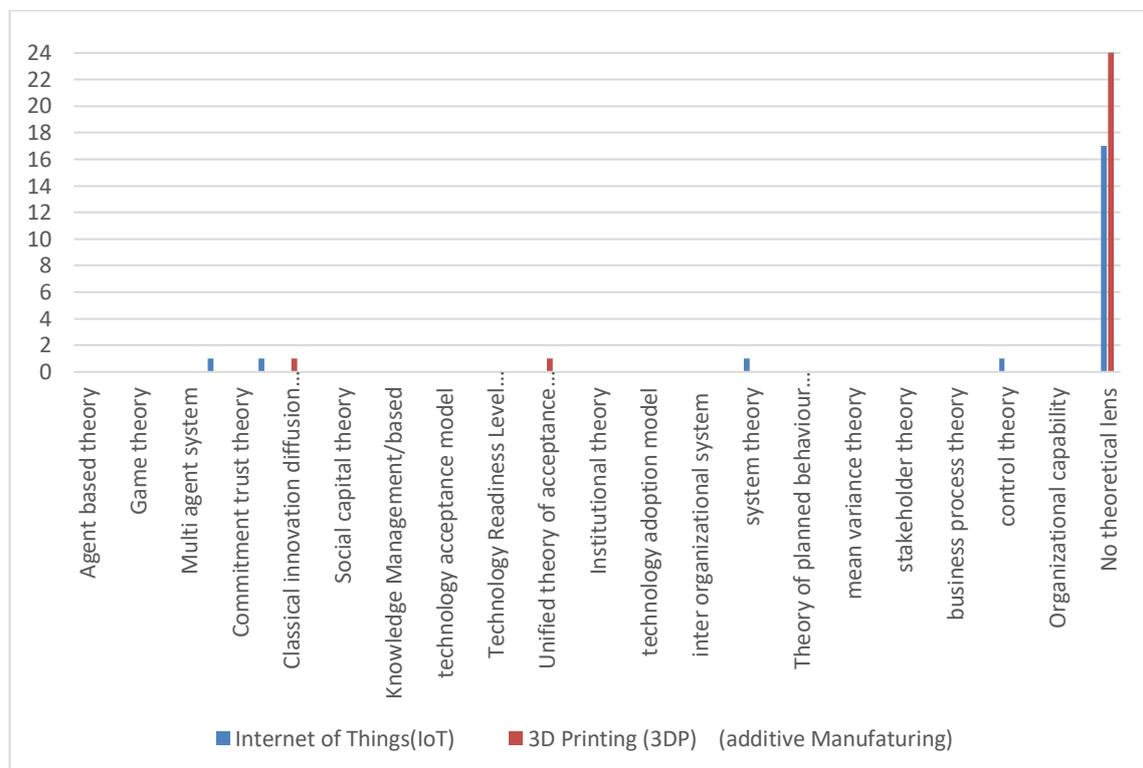


Figura 30 – Analisi critica delle teorie dei Snowballing papers

La maggior parte degli studi sull'applicazione dell'IoT e dell'AM alla Supply Chain non utilizza teorie specifiche. Questo è per lo meno il risultato dell'analisi degli articoli selezionati a seguito dello step di Snowballing. Infatti, solo 5 studi su un totale di 46 inclusi, alcuni utilizzanti anche più metodi di ricerca, hanno fatto uso di particolari discipline tra le tantissime potenziali e presentate in figura 30, alcune delle quali erano state riscontrate tra i basic papers, dai quali si è preso spunto. Inoltre, non risulta spiccare alcuna teoria preferita e più utilizzata, dal momento che i 5 studi usano tutte teorie diverse, per un totale di sei teorie riscontrate. Tuttavia, si può affermare che quanto meno

vi è una tendenza maggiore nell'uso di teorie nell'ambito delle ricerche eseguite sull'applicazione dell'IoT alla Supply Chain in quanto quattro dei cinque studi riguardano proprio questa tecnologia di industria 4.0.

In particolare, come si evince dai grafici in figura 31, nell'ambito dell'AM è stato riscontrato solo uno studio (Schniederjans *et al.*, 2017) utilizzante però rispettivamente due teorie specifiche mostrate nel grafico successivo: unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT) e la Classical innovation diffusion theory.

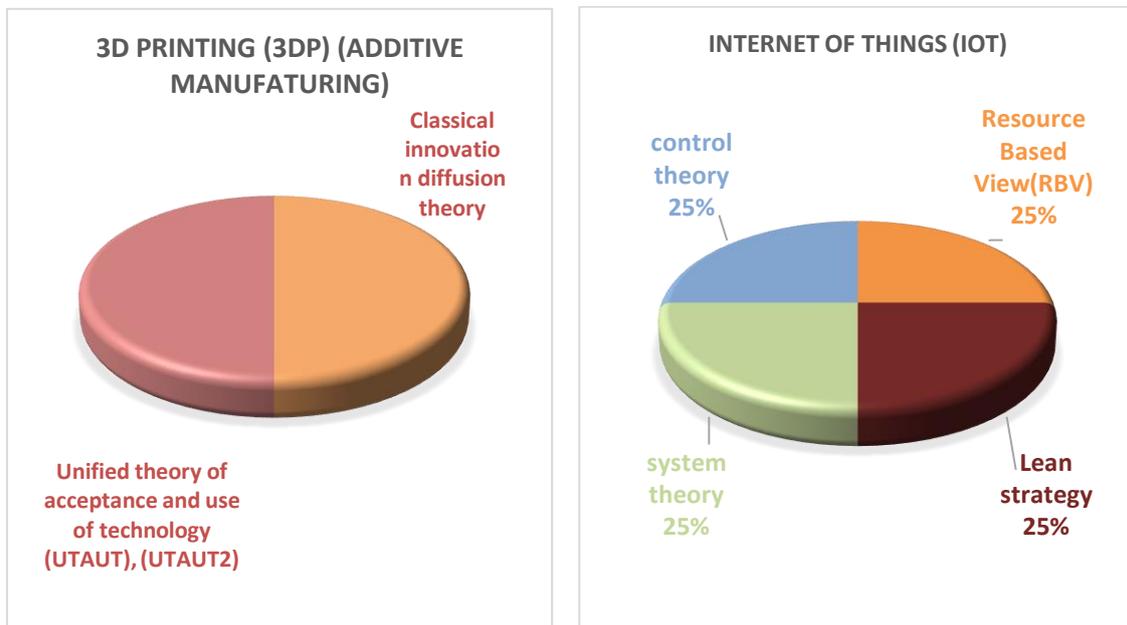


Figura 31 – Analisi critica della percentuale delle teorie usate nei Snowballing papers

Mentre per l'IoT, nei quattro diversi studi riscontrati (Papanagnou *et al.*, 2021; Zelbst *et al.*, 2020; Rane *et al.*, 2019 e Pimsakul *et al.*, 2021), le teorie risultano essere: control theory, resource based view theory (RBV), system theory e lean strategy.

### 3.3.8 ANALISI DELLA COMBINAZIONE TRA LE TECNOLOGIE DI INDUSTRIA 4.0

Ulteriore analisi critica effettuata riguarda lo studio di quegli articoli che menzionano più di una tecnologia di Industria 4.0 oltre ad una delle due focus dell'attività di ricerca. Lo scopo è scoprire una combinazione, se esiste, più o meno forte tra le varie tecnologie digitali e se l'applicazione di una di esse alla Supply Chain presuppone di conseguenza l'adozione anche di altre.

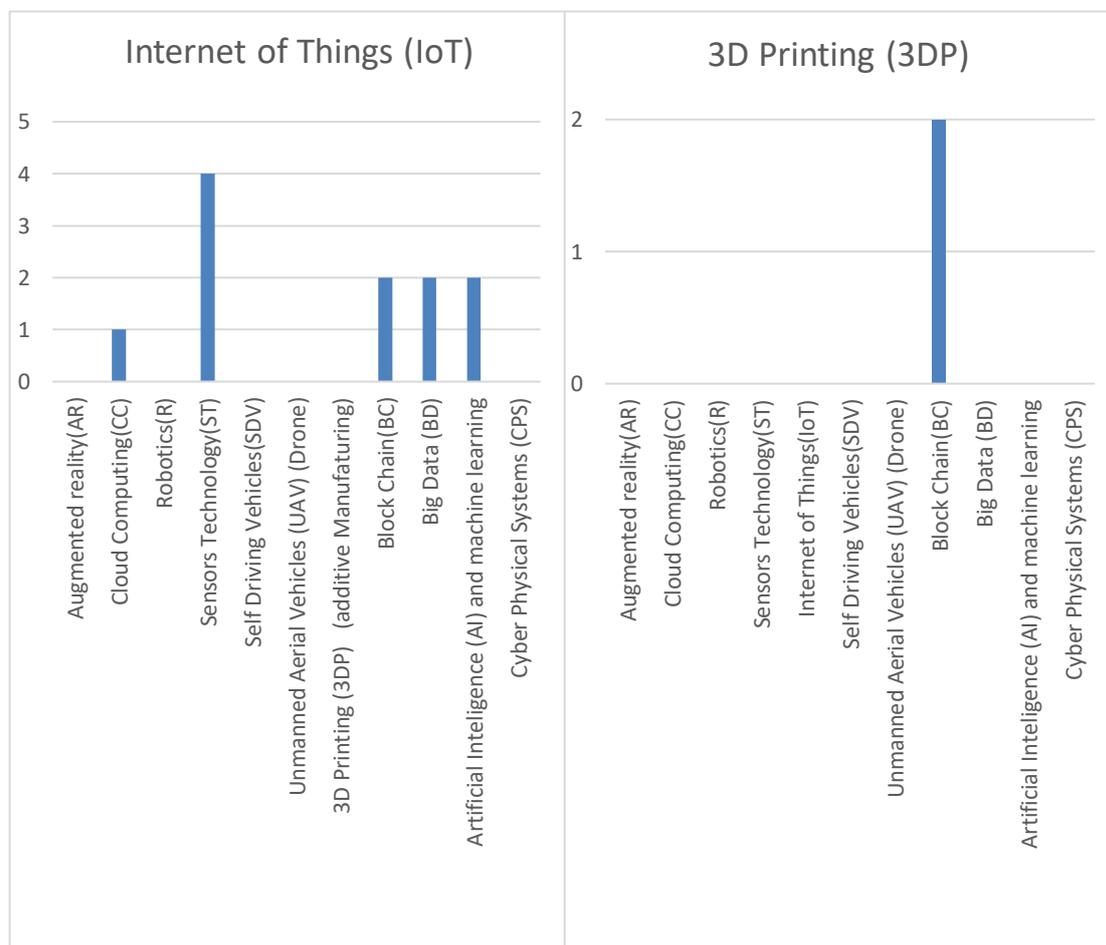


Figura 32 – Numero di papers per tecnologia trattanti più tecnologie digitali

Il risultato dell'analisi porta ad affermare che l'IoT viene applicata alla Supply Chain in maniera combinata ad altre tecnologie di Industria 4.0 più dell'AM. Infatti, la condivisione di informazioni in un mondo caratterizzato dalla continua crescita del volume di dati, poterli avere a disposizione in tempo reale in ogni livello della catena di

fornitura risulta essere fondamentale per una Supply Chain intelligente in cui più tecnologie digitali sono state applicate. Inoltre, la natura stessa della tecnologia IoT presuppone l'utilizzo complementare di sensori per acquisire informazioni esterne, da qui la forte presenza di studi in cui l'applicazione dell'IoT è studiata in combinazione con la sensors technology.

Invece, l'unica tecnologia studiata in combinazione con l'AM, dall'analisi dei Snowballing papers, risulta essere la blockchain dal momento che la combinazione di AM e blockchain potrebbe essere particolarmente promettente in quanto quest'ultima può potenzialmente affrontare le sfide associate alla natura digitale dell'AM e la letteratura scientifica sta andando in questa direzione.

In figura 32 il dettaglio del numero esatto di papers e quindi di ricerche focalizzate su più tecnologie digitali, distinguendo l'IoT e l'AM.

### 3.3.9 ANALISI DELLA RELAZIONE TRA LA QUALITÀ DELLE RIVISTE E LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA: INTERNET OF THINGS

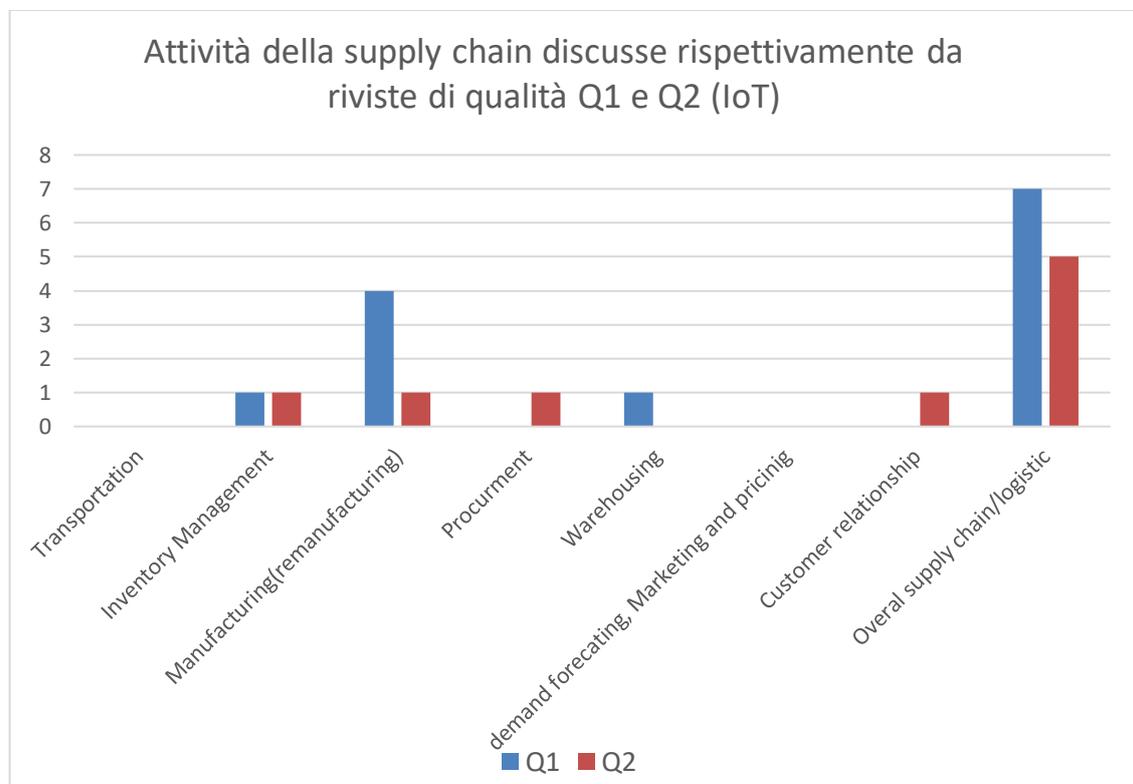


Figura 33 – Attività della supply chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q1 e Q2 (IoT)

Iniziando l'analisi critica, citata nel titolo del paragrafo 3.3.9, con la tecnologia IoT nell'ambito dei processi della supply chain, non si riscontra una chiara ed evidente correlazione tra qualità del giornale e tematica trattata. Infatti, come mostrato nella figura precedente, gli argomenti trattati sono pressoché uguali, con l'eccezione del processo di approvvigionamento e della relazione con i clienti, tematiche esposte in studi pubblicati in riviste Q1, e dell'attività di magazzinaggio, discussa invece in riviste di qualità inferiore. Tuttavia, poiché per tali attività nell'analisi della letteratura condotta durante il secondo step dell'attività di ricerca è stato riscontrato un solo studio, non può essere significativa la potenziale correlazione fra tali tematiche precedentemente indicate e qualità di giornale. Infatti, con un numero maggiore di articoli si potrebbe arrivare a conclusioni diverse, anche considerando il fatto che in questa analisi critica condotta per l'IoT, tredici articoli su un totale di ventuno sono stati pubblicati in riviste di qualità Q1.

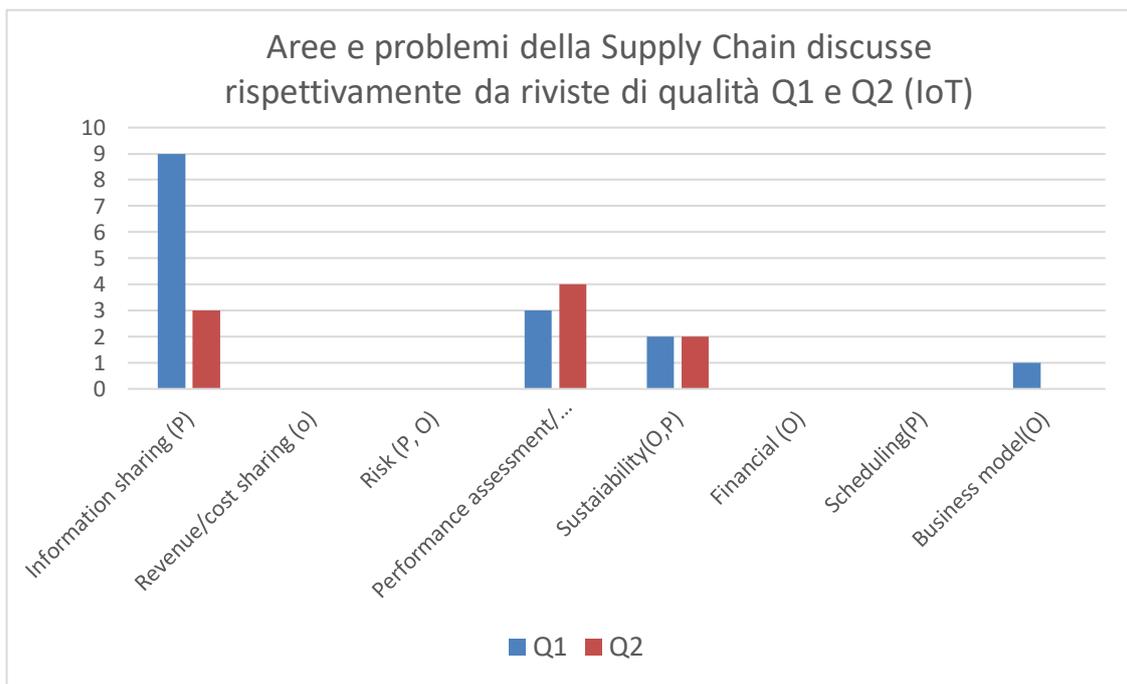


Figura 34 – Aree e problemi della Supply Chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q1 e Q2 (IoT)

L'analisi critica procede e continua spostandosi alla seconda prospettiva di ricerca riguardante le aree e i problemi della Supply Chain. Anche in questo caso può essere ripetuta la stessa considerazione fatta per le attività della catena di fornitura. Infatti,

come si evince dal grafico precedente, riviste di qualità Q1 e Q2 trattano gli stessi argomenti, ed il solo studio sul business model pubblicato in un giornale di qualità alta non risulta essere significativo. Tuttavia, si può fare una puntualizzazione particolare sulla tematica di valutazione di performance che risulterebbe molto dibattuta soprattutto da riviste Q2, dimostrato dal fatto che, seppur come detto di numero inferiore, conta ben quattro articoli su un totale di otto trattanti tale argomento, superando anche le riviste Q1 in questa tematica, nonostante il numero superiore di pubblicazioni.

Discorso diverso invece quando si analizzano quelle che sono le metodologie di ricerca usate negli studi pubblicati nelle varie riviste, presentate nel grafico in figura 35. Si può affermare che vi sia una chiara correlazione tra la metodologia dei modelli matematici o di ottimizzazione e le riviste di qualità più alta. Infatti, tutti e quattro gli studi utilizzando tale metodologia di ricerca sono stati pubblicati in riviste di qualità Q1, e la stessa correlazione e andamento sembrerebbe esistere anche con la metodologia di simulazione; tuttavia, essendo che si parla di soli due studi incontrati, si decide di non considerarla significativa.

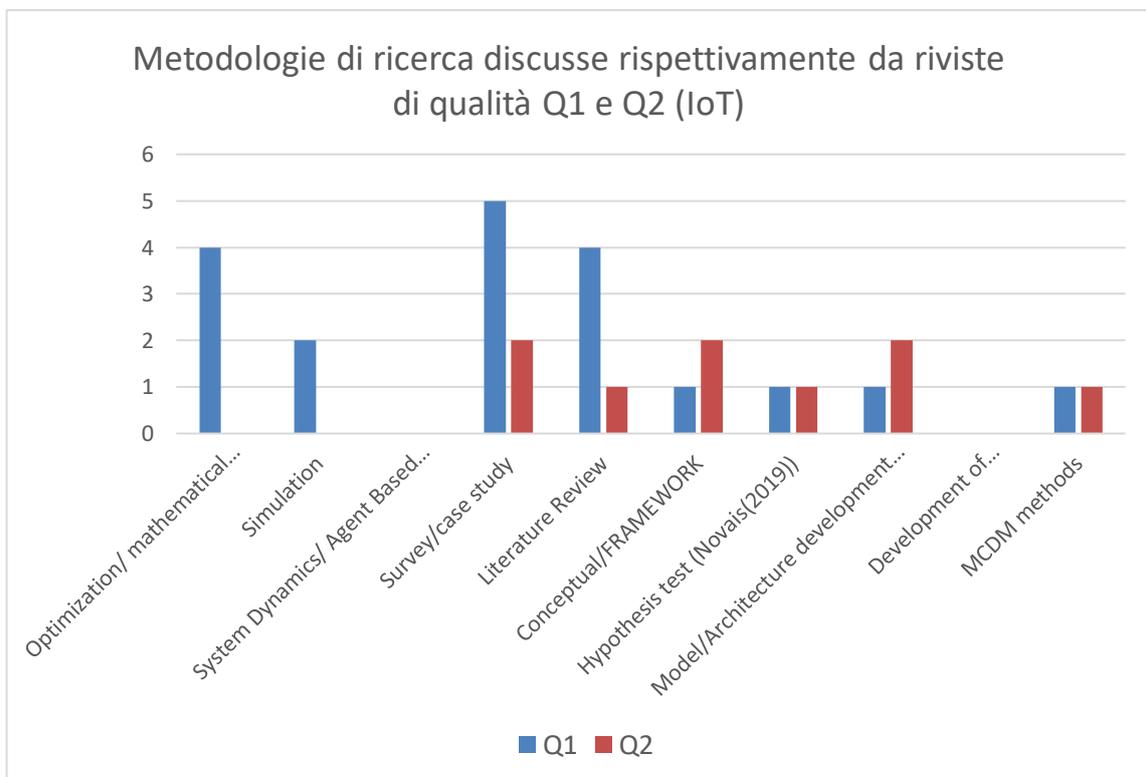


Figura 35 – Metodologie di ricerca discusse rispettivamente da riviste di qualità Q1 e Q2 (IoT)

### **3.3.10 ANALISI DELLA RELAZIONE TRA LA QUALITÀ DELLE RIVISTE E LE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA: ADDITIVE MANUFACTURING**

Conclusa l'analisi critica della potenziale correlazione tra qualità delle riviste e tematiche trattate per la tecnologia IoT, si è proceduto ad eseguirla anche per l'AM e per le tre prospettive di ricerca nello stesso ordine. Come detto, per questa tecnologia l'analisi è stata condotta solo per le riviste Q2 e Q3 per le motivazioni descritte sopra. L'unica analisi risultata significativa ed interessante da sottolineare risulta essere quella per le aree e i problemi relativi alla supply chain. Infatti, sia per le attività della catena di fornitura che per le metodologie di ricerca utilizzate, non risulta esistere nessuna correlazione specifica, dal momento che tali riviste hanno trattato le tematiche e le metodologie più popolari in letteratura per la stampa 3D, già rilevate e sottolineate nell'analisi precedente riguardante tutti gli articoli, indistintamente dal giornale in cui sono stati pubblicati e mostrate rispettivamente in figura 21 e 23. In particolare, si intende l'attività di produzione e la Supply Chain in maniera complessiva, che risultano essere le tematiche più presenti in letteratura nel caso di applicazione dell'AM alla Supply Chain. Per le restanti attività, non essendo molto trattate dalla letteratura, seppur pubblicate solo in riviste Q1, non può essere affermata una correlazione particolare con tali riviste. Discorso analogo vale per le metodologie, con una prevalenza di sondaggi e casi studio, metodologia più presente in letteratura. Tuttavia, come mostrato in figura 23, la seconda metodologia più utilizzata e frequente è risultata essere l'impiego di modelli matematici o di ottimizzazione, e nessun giornale di qualità Q2 e Q3 ha pubblicato studi a riguardo, come si evince dalla figura 36. Di conseguenza si può affermare una correlazione tra tale metodologia e la pubblicazione di studi sull'applicazione dell'AM alla Supply Chain, utilizzando tale strumento di ricerca, sulle riviste di qualità più alta.

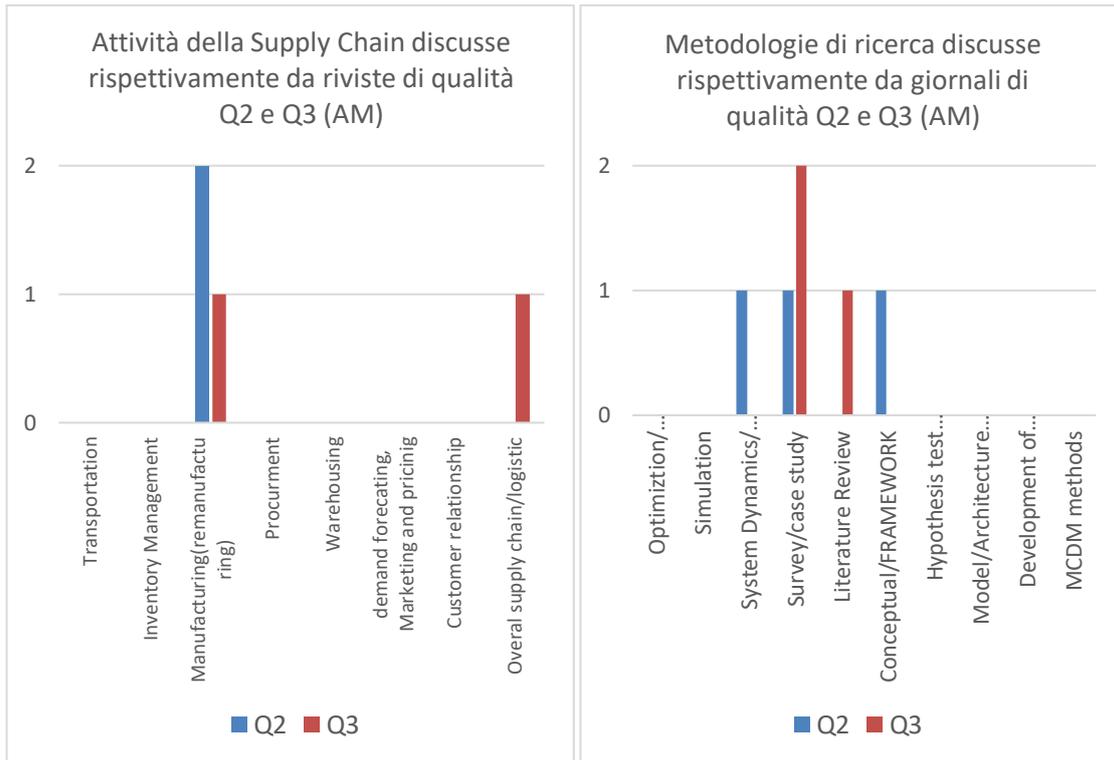


Figura 36 – Attività (sinistra) e metodologie (destra) della Supply Chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q2 e Q3 (Additive Manufacturing)

Infine, anche per quanto riguarda le aree e i problemi della catena di fornitura, le riviste di qualità Q2 e Q3 hanno pubblicato gli studi inclusi con l'attività di Snowballing trattanti solo il tema più incontrato in letteratura, ovvero la valutazione e misurazione delle performance, rappresentato in figura 37. A questo punto si può affermare che uno dei motivi per il quale la tematica della performance assessment/measurement risulta essere la più incontrata in letteratura è anche perché essa viene trattata e il relativo studio pubblicato in qualsiasi rivista scientifica, a prescindere dalla valutazione qualitativa attribuita a quest'ultima. Inoltre, di conseguenza, tutte le altre aree frequentemente affrontate, come mostrato in figura 22, sono dibattute maggiormente in riviste con la qualità più alta. In particolare, la tematica della sostenibilità, scheduling e il business model.

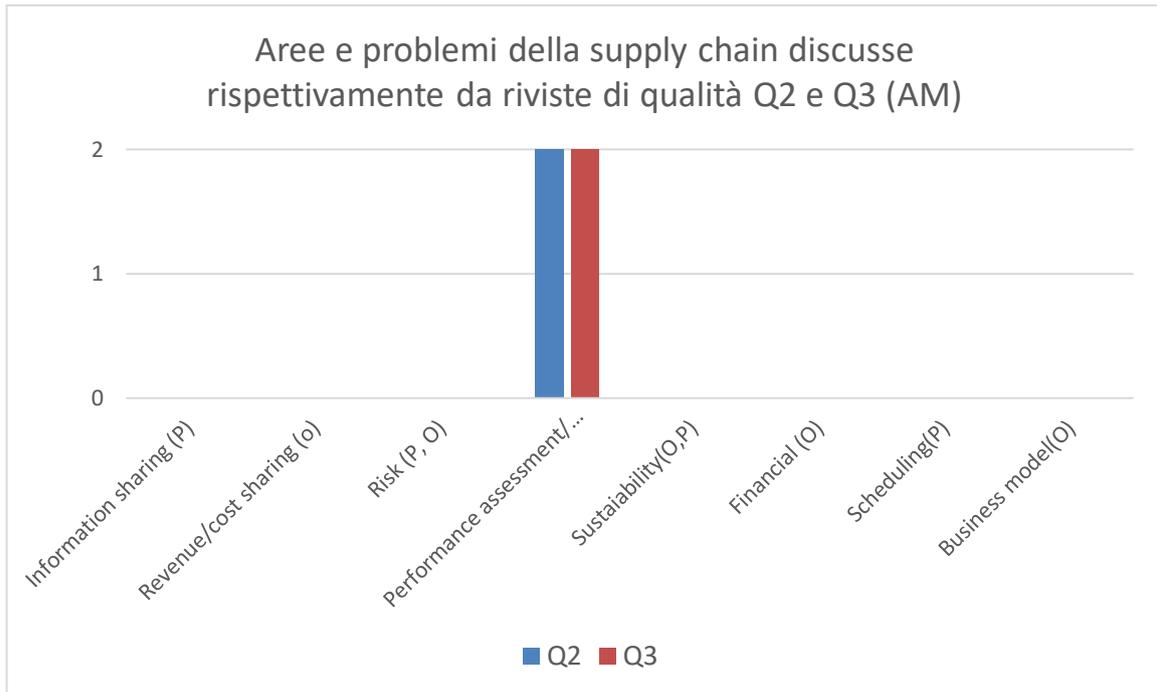


Figura 37 – Aree e problemi della supply chain discusse rispettivamente da riviste di qualità Q2 e Q3 (Additive Manufacturing)

### 3.3.11 ANALISI DELLE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA NEGLI ANNI: INTERNET OF THINGS

Come preannunciato al paragrafo 3.3.3, come ultima analisi critica verrà approfondito nel dettaglio il trend negli anni delle varie tematiche delle tre prospettive di ricerca. Muovendosi nel dettaglio, partendo dalla tecnologia IoT, le tematiche più di tendenza oggi riguardano, come mostrato nel grafico sotto, l'information sharing e la performance assessment/measurement, per quanto riguarda i problemi della Supply Chain, e il manufacturing, invece, per le attività della catena di fornitura. Di conseguenza, l'unione delle analisi critiche sulle quantità di studi condotti per le tre prospettive di ricerca e quest'ultima, porta ad affermare che tutte le altre tematiche, già poco discusse in letteratura, come il magazzinaggio e l'approvvigionamento risultano essere anche meno recenti e non di tendenza per la tecnologia IoT. La letteratura, sia passata che recente, è focalizzata sui temi citati, e l'andamento crescente fa presupporre un aumento di studi in questi campi.

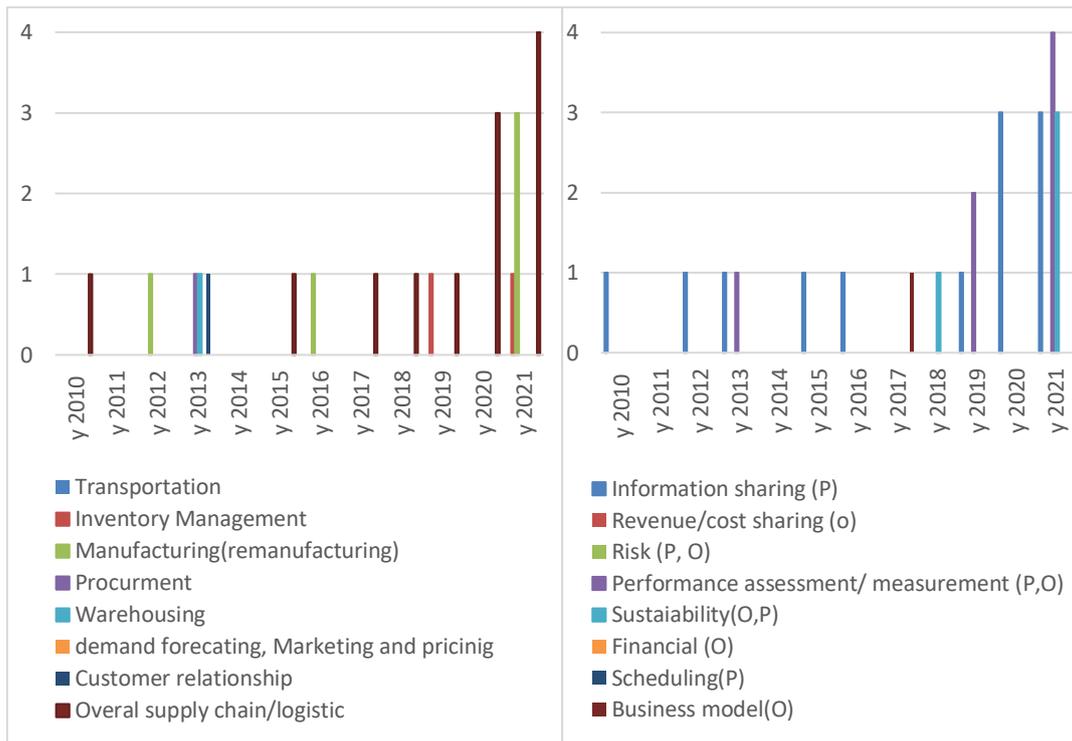


Figura 38 – Tematiche trattate dai papers per anno (IoT)

Per quanto concerne le metodologie di ricerca usate ed incontrate nei papers, invece, non sembra esserne stata accantonata nessuna, dal momento che dal 2019 in poi tutte le metodologie sono state riscontrate almeno in uno studio incluso nell’analisi della letteratura.

Unica nota da sottolineare riguarda i due studi utilizzando il metodo MCDM, i quali sono entrambi stati pubblicati nel 2021, come mostrato in figura 39, potenziale segnale di aumento e focus di utilizzo di tale metodologia negli anni futuri. Per quanto riguarda, infine, le due metodologie di ricerca più presenti, ovvero literature review e sondaggi o casi studio, esse risultano essere presenti costantemente negli anni, con stesso picco toccato nel 2021.

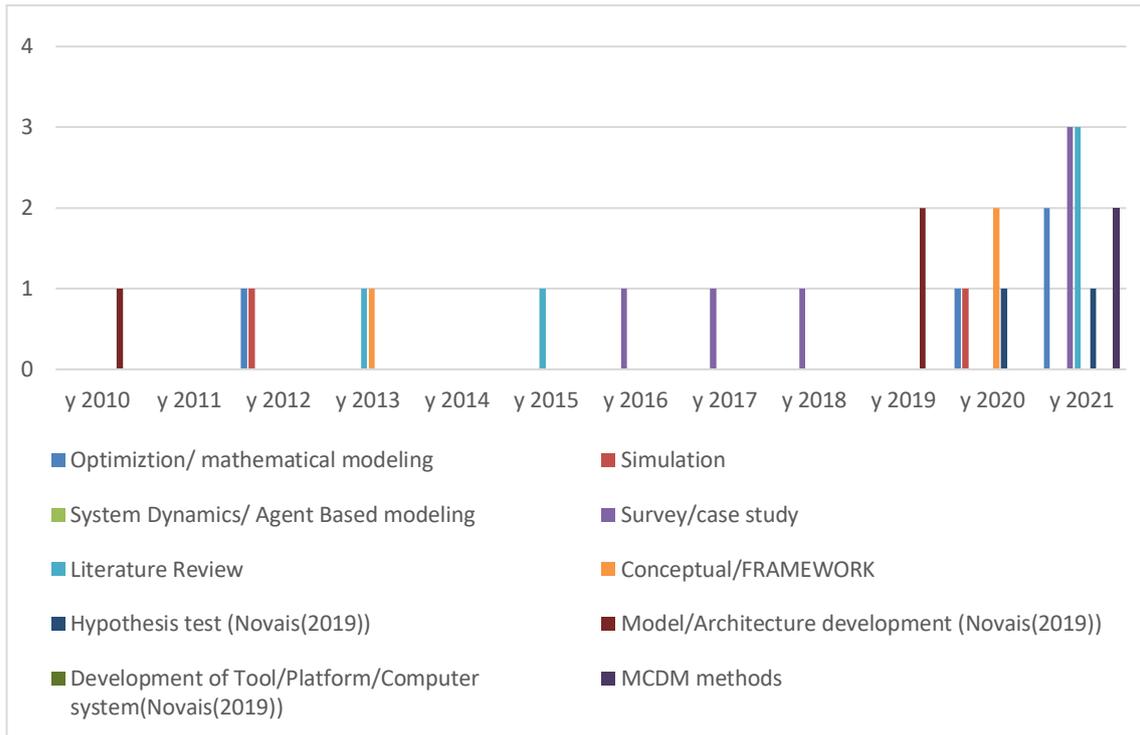


Figura 39 – Metodologie di ricerca per anno (IoT)

### 3.3.12 ANALISI DELLE TRE PROSPETTIVE DI RICERCA NEGLI ANNI: ADDITIVE MANUFACTURING

Spostando il focus sulla seconda tecnologia di Industria 4.0, si parte, anche per l'AM, dalle attività e dai problemi della catena di fornitura, mostrando le tematiche trattate dai Snowballing papers negli anni nel grafico successivo in figura 40.

Da quest'ultimo si evince come il tema dell'attività di produzione sia stato studiato costantemente negli anni, così come gli effetti che l'implementazione dell'AM porta a tutta la catena di fornitura in maniera complessiva. Tuttavia, le tematiche che dall'analisi sul numero degli studi risultavano le meno trattate, esse sono state analizzate tutte in studi recenti, ed analisi delle letterature future saranno necessarie per capire se il focus degli studi sui vari processi della catena di fornitura dopo l'applicazione dell'AM si sta realmente allargando e non è più fermo in un'unica attività.

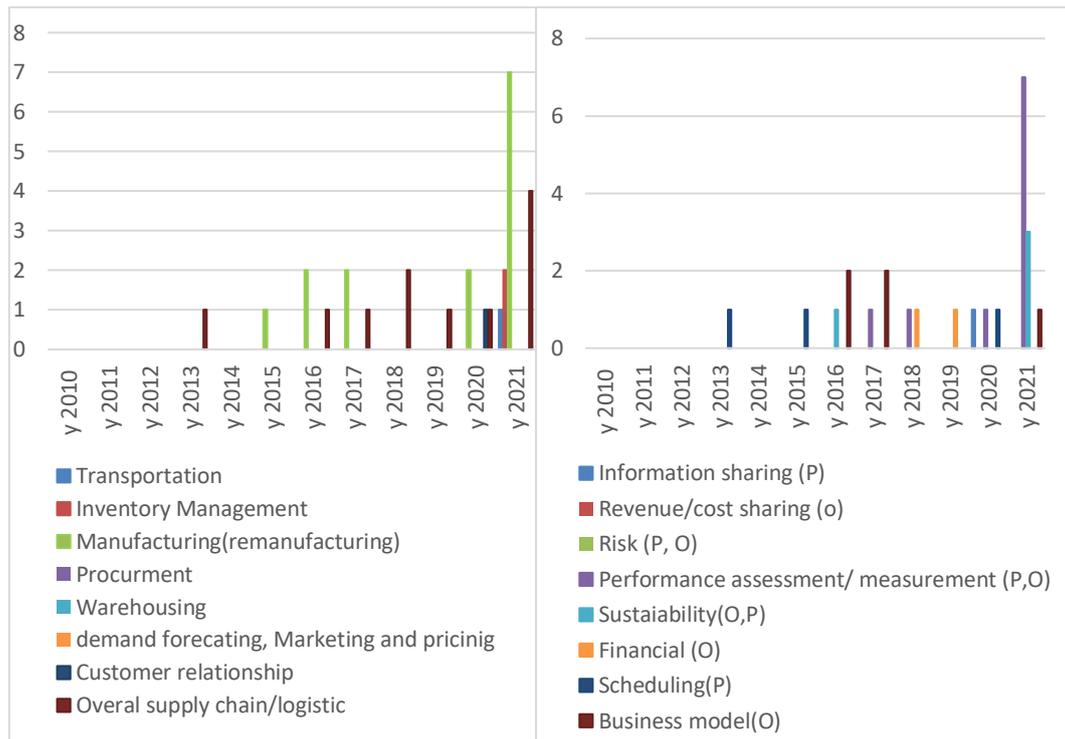


Figura 40 – Tematiche trattate dai papers per anno (Additive Manufacturing)

Per quanto riguarda, invece, le aree e i problemi della Supply Chain affrontati dalla letteratura, essi sembrerebbero essere presenti costantemente negli anni e nessun'area è stata abbandonata negli anni più recenti. Quest'ultima affermazione è una differenza totale rispetto all'IoT, dove, come detto, solo le tematiche più affrontate risultano a loro volta essere anche le più recenti.

Infine, si è passati all'analisi delle metodologie di ricerca usate negli anni, osservabili in figura 41. Questa volta, invece, così come per l'IoT, anche per l'AM nessuna metodologia è stata accantonata negli anni, dal momento che dal 2020 in poi tutte le metodologie sono state riscontrate almeno in uno studio incluso nell'analisi della letteratura, con un picco nell'ultimo anno sia dei modelli matematici che dei sondaggi o caso studio, già metodi più presenti in letteratura e che sembrerebbe, quindi, che continueranno ad esserlo.

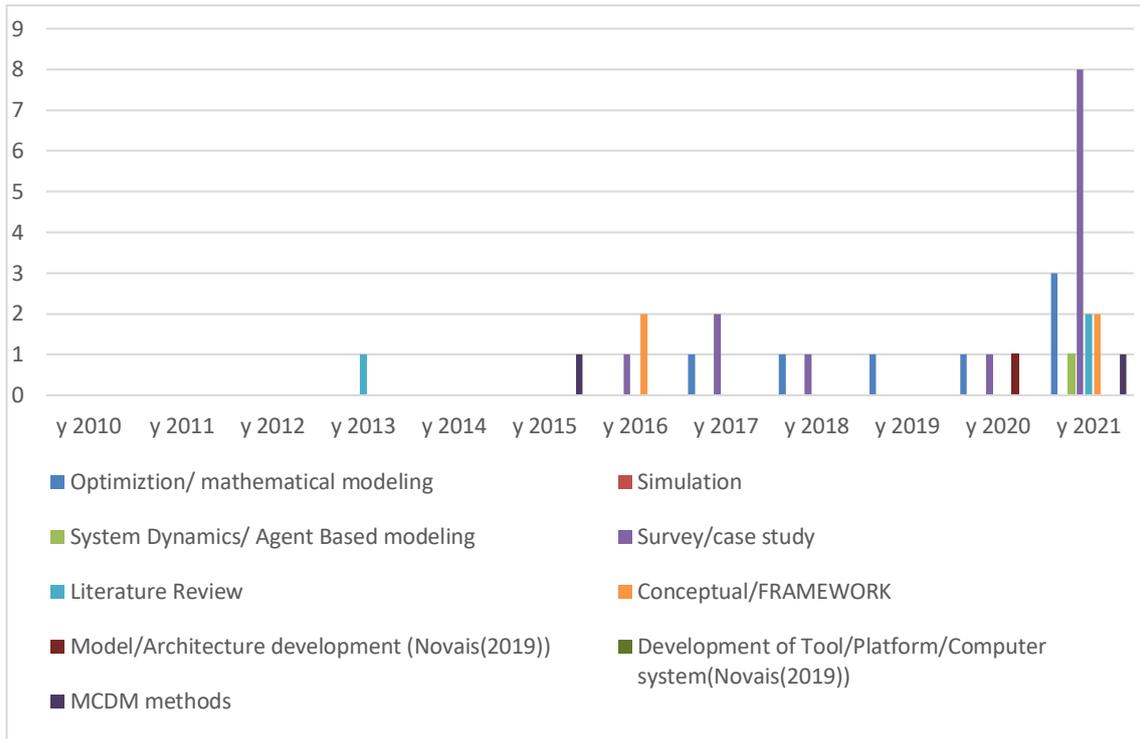


Figura 41 – Metodologie di ricerca per anno (Additive Manufacturing)

Si conclude così l'ultimo step dell'attività di ricerca concernente le analisi critiche degli articoli inclusi nell'analisi della letteratura a seguito della procedura di Snowballing. Seguono le considerazioni finali derivanti dall'analisi della letteratura sull'applicazione dell'IoT e dell'AM alla Supply Chain, in cui si arriverà ad un unico pensiero comune che sintetizzi ed incorpori i risultati di tutti gli studi analizzati.

### 3.4 CONSIDERAZIONI FINALI

L'obiettivo iniziale di questo studio era da un lato capire l'impatto che potessero avere l'AM e l'IoT sulla Supply Chain e dall'altro comprendere come questi strumenti innovativi potessero risolvere le inefficienze tipiche di una catena di fornitura tradizionale e non digitale, come ad esempio l'assenza di monitoraggio dei flussi di magazzino e la mancanza di tracciabilità univoca dell'intero processo di produzione. Inoltre, comprendere anche il focus e i limiti della letteratura, in modo da indirizzare la ricerca futura. Grazie ai molteplici articoli analizzati a seguito dell'attuazione della procedura di Snowballing si è arrivato a specifiche conclusioni finali riguardanti le due

tecnologie di Industria 4.0 e la loro applicazione alla Supply Chain che saranno rinforzate in questo paragrafo citando alcuni studi inclusi nell'analisi della letteratura riassunte in Tabella 1.

Iniziando dall'IoT, ciò che risulta è che le catene di fornitura a seguito dell'implementazione delle tecnologie IoT, come ad esempio la tecnologia di identificazione a radiofrequenza (RFID), risultano essere più capaci della maggior parte delle pratiche industriali attuali tradizionali sia nella gestione dei processi di produzione dinamici sia nel fornire una visibilità in tempo reale delle informazioni sul work-in-process; quindi, il suo uso renderebbe la catena di fornitura più efficiente. L'uso dell'IoT potrebbe migliorare le attività principali della catena di approvvigionamento manifatturiera, tra cui la produzione, la gestione del magazzino e dell'inventario, la distribuzione e la gestione del ciclo di vita del prodotto (Chen *et al.*, 2010). Si è scoperto che l'IoT integrato nelle Supply Chain risolve le sfide legate alle operazioni logistiche e sincronizza e monitora i dati in tempo reale dei processi fisici. L'IoT gioca un ruolo critico nel raggiungimento della visibilità nelle Supply Chain, dato che gli studi hanno dimostrato una riduzione del 40-70% dei costi di inventario solo grazie alla visibilità delle informazioni ottenuta grazie all'uso regolare degli RFID. Inoltre, è stato appreso che la pianificazione della catena di approvvigionamento, la collaborazione, la tracciabilità, la flessibilità, la trasparenza, la gestione delle prestazioni e la gestione degli ordini sono i benefici chiave dell'integrazione dell'IoT per raggiungere la visibilità della Supply Chain, sfida della catena di fornitura tradizionale (Ahmed *et al.*, 2021). Inoltre, i risultati mostrano che l'IoT può ridurre i costi associati alle fluttuazioni dell'inventario ed eliminare l'effetto bullwhip nelle catene di fornitura, ovvero un aumento della variabilità della domanda man mano che ci si allontana dal mercato finale e si risale la catena di fornitura (Papanagnou 2021). Ma negli studi risulta essere importante anche il tema della sostenibilità, come mostrato nel paragrafo 3.3: in particolare, dai sondaggi sul tema della sostenibilità risulta che solo pochi dei partecipanti è consapevole della quantità di energia che consumano le macchine che utilizzano. I risultati supportano l'ipotesi che una maggiore trasparenza fornita dalla digitalizzazione abilitata dall'IoT lungo la catena di fornitura potrebbe portare ad una migliore gestione ambientale delle aziende. La disponibilità, grazie all'IoT, di dati in tempo reale su indicatori ambientali come il consumo di energia potrebbe facilitare l'accesso a tali informazioni da parte di

tutti i dipendenti e quindi migliorare efficacemente la gestione ambientale delle aziende. Infatti, la catena di approvvigionamento è una parte importante di una gestione integrativa della sostenibilità (Beier *et al.*, 2018).

Passando all'AM, invece, il pensiero comune che emerge dai risultati finali ottenuti dalla maggioranza degli studi, sia che essi siano sondaggi, casi studio, simulazioni o modelli matematici, suggerisce, solo per citare alcuni studi, che le moderne tecnologie AM forniscono soluzioni di produzione efficienti per piccoli volumi di produzione, migliorando così la reattività della catena di fornitura attraverso la strategia make-to-order e le possibilità di personalizzazione. Questo nuovo metodo di produzione additiva sembra in grado di ristrutturare le moderne catene di fornitura per quanto riguarda i tempi di consegna, le operazioni, la logistica, l'investimento di capitale e l'ubicazione degli impianti di produzione (Achillas *et al.*, 2015). I risultati degli studi indicano che AM ha semplificato la catena di approvvigionamento per aumentare l'efficienza e la reattività nell'adempimento della domanda. La tecnologia AM offre due opportunità: in primis riprogettare i prodotti con meno componenti ed inoltre fabbricare prodotti vicino ai clienti. L'effetto è la riduzione della necessità di magazzinaggio, trasporto e imballaggio. Inoltre, l'AM può migliorare l'efficienza di una catena di fornitura snella attraverso la produzione just in-time (JIT) e l'eliminazione degli sprechi perché l'AM richiede solo dati 3D e materie prime per produrre una parte complessa (Huang *et al.*, 2013). Lo sfruttamento di queste opportunità porterà a cambiamenti nella distribuzione della produzione e alla riconfigurazione delle catene del valore (Ford *et al.*, 2016). Quindi, AM fornisce una significativa riduzione del time-to-market, una capacità chiave per il successo aziendale e ha portato non solo un'innovazione di processo, ovvero modalità di produzione a strati che aumenta la flessibilità, e meno utilizzo di materiale e rifiuti, ma anche un'innovazione di prodotto. Questa tecnologia rivoluzionaria permette la fabbricazione di prodotti creativi e la costruzione di parti altamente complesse; la condivisione del design e la collaborazione con i consumatori con un basso costo delle modifiche; consentendo la piena personalizzazione delle parti e più funzionalità ed estetica, che è impossibile fabbricare con le tecniche tradizionali. Oltre all'introduzione di nuovi prodotti, l'AM porta a nuovi mercati, pertanto, è ragionevole aspettarsi una crescente domanda di AM nelle aziende (Khorram *et al.*, 2017).

Tabella 1 – Sintesi dei risultati dell'analisi della letteratura

<b>RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DELL'AM</b>	<b>RISULTATI DELL'APPLICAZIONE DELL'IOT</b>
Soluzioni di produzione efficienti per piccoli volumi di produzione	Rende chiara la gestione delle informazioni e delle decisioni
Elevata possibilità di personalizzazione delle parti	Visibilità in tempo reale delle informazioni sul work-in-process anche in remoto
Aumento della reattività nell'evasione della domanda	Evita la duplicazione o la dispersione dell'informazione
Eliminazione degli sprechi grazie all'utilizzo di dati 3D come input	Aumenta il coordinamento tra le risorse
Vicinanza e collaborazione con il cliente finale	Può ridurre i costi associati alle fluttuazioni delle scorte
Nuovi prodotti e nuovi mercati	Elimina l'effetto Bullwhip nelle catene di fornitura
Ancora non conveniente per l'inefficiente livello di precisione superficiale	Migliore gestione ambientale delle aziende grazie alla disponibilità di dati in tempo reale su indicatori ambientali come il consumo dell'energia
Non adatta per volumi di produzione elevati	Ancora troppo costoso un cambiamento nella progettazione della catena di approvvigionamento

## **4 CONCLUSIONI**

Nel corso di quest'ultimo capitolo verranno presentati i benefici che il lavoro di analisi della letteratura sulle applicazioni dell'AM e dell'IoT alla Supply Chain potrebbe portare allo stato dell'arte della conoscenza sull'argomento, e dopo aver evidenziato i limiti del lavoro di tesi, si concluderà con gli spunti futuri offerti dalle tematiche trattate.

### **4.1 BENEFICI DEL LAVORO DI TESI**

Attraverso un'analisi della letteratura eseguito con il metodo scientifico della Systematic Literature Review e l'utilizzo dello strumento dello Snowballing, è stato possibile analizzare l'impatto che due tecnologie di Industria 4.0 possono avere sulla Supply Chain. L'analisi del contenuto è stata eseguita partendo da 104 basic papers, e seguita da ulteriori 46 studi inclusi nell'analisi della letteratura a seguito della procedura dello Snowballing. Questo ha reso possibile individuare sia gli effetti consolidati che inconcludenti dell'adozione dell'AM e dell'IoT all'interno del contenuto della Supply Chain, i quali sono stati riportati al paragrafo 3.3 e 3.4.

Questi risultati possono facilitare lo sviluppo delle organizzazioni nel contesto dell'Industria 4.0 perché identificare gli effetti dell'adozione di AM e dell'IoT chiarisce le sfide che le aziende devono superare. Ciò è stato verificato creando sostanzialmente un vero e proprio quadro concettuale risultante dall'analisi della letteratura effettuata che descrive gli effetti dell'adozione di AM e dell'IoT nell'attività di un'azienda.

Inoltre, è da sottolineare, che sono state analizzate tecnologie comunque ancora emergenti, quindi, come ulteriore beneficio del lavoro di tesi si può affermare che si è contribuito significativamente alla letteratura esistente e alla conoscenza in generale dell'argomento oggetto della tesi, aiutando quindi anche i ricercatori. Dunque, data la natura innovativa delle tematiche trattate e le criticità riscontrate, questo studio può giovare la ricerca scientifica sull'argomento. In particolare, essendo una revisione sistematica focalizzata solo sull'applicazione dell'IoT e l'AM alle catene di fornitura del settore manifatturiero, ha facilitato l'identificazione di vari benefici associati a tali Supply Chains, difficilmente individuabili in precedenti lavori incentrati sulla catena di

approvvigionamento di tutti i generici settori o trattanti ciascuna tecnologia di Industria 4.0, oltre che aver sottolineato le lacune che dovrebbero essere esplorate da ricerche future. In conclusione, il lavoro di tesi potrebbe essere anche utilizzato come biblioteca di riferimento per identificare studi specifici sull'applicazione dell'IoT e dell'AM suddivisi per le diverse aree, problemi e attività della catena di fornitura.

## **4.2 LIMITI DEL LAVORO DI TESI**

Oltre a quanto approfondito rispetto allo stato dell'arte della letteratura attuale sugli impatti dell'AM e dell'IoT sulla supply chain, ci sono comunque degli aspetti limitanti il presente lavoro di tesi che meriterebbero di essere sottolineati.

In primis, potenzialmente, alcuni articoli che potrebbero essere di interesse non sono stati inclusi nonostante un processo di selezione strutturato, a causa di un abstract e di parole chiavi non coerenti con il contenuto dell'articolo. La potenziale esclusione di alcuni articoli rappresenta un limite del lavoro di tesi in quanto potrebbe portare conseguentemente a risultati e considerazioni finali differenti sulle tre prospettive di ricerca e l'attuale stato della letteratura sull'applicazione dell'IoT e dell'AM alla Supply Chain.

In aggiunta, aver utilizzato un'unica fonte dei dati per la ricerca e selezione degli studi, il database Scopus, rappresenta un ulteriore limite del presente lavoro. Inoltre, tale vincolo, aumenta la probabilità di aver escluso dal set di papers da analizzare articoli e studi interessanti, così come quella di non aver incluso nella revisione potenziali ulteriori Snowballing papers indicati come inaccessibili in figura 14, in particolare 31 studi sull'applicazione dell'IoT alla Supply Chain e 22 sull'AM.

In conclusione, questo lavoro di revisione della letteratura si è focalizzato solo su studi applicati al contesto manifatturiero e non ha considerato gli effetti dell'implementazione delle due tecnologie di Industria 4.0 sulle diverse catene di fornitura di altri settori industriali.

### 4.3 PASSI FUTURI

I vantaggi ed i limiti riscontrati nei paragrafi precedenti, offrono un importante input per gli studi futuri.

Mentre è già stato fatto molto lavoro su ciò che queste tecnologie porteranno in termini di innovazione di prodotto e di processo, poco è stato fatto sul loro impatto sui modelli di business e sull'innovazione dei modelli di business ad esempio. Infatti, solo per citare alcune osservazioni, mancano ancora studi esplorativi che misurino l'efficacia dell'AM in diversi ambienti e industrie, strategie aziendali, modelli e processi di business e, in generale, come fattore di vantaggio competitivo delle aziende. Anche gli effetti precisi dell'IoT sui concetti di business sono ancora insufficientemente e non sistematicamente esaminati dalla letteratura precedente. Così come, per entrambe le tecnologie, l'attività di trasporto, di approvvigionamento, di previsione della domanda e problemi di ricavi e di rischio. Questo lavoro di tesi ha quindi indirizzato la ricerca indicando le attività e le aree della catena di fornitura sull'applicazione delle due tecnologie inesplorate dagli studi. Questo, in aggiunta a quanto già è stato evidenziato al paragrafo 4.2 riguardo i limiti del presente lavoro di tesi e al paragrafo 3.3.1, dai quali si evince quindi che esistono dei concetti e degli argomenti che sono stati poco approfonditi in letteratura e che dunque rappresentano delle zone d'ombra da analizzare per comprendere appieno gli impatti dell'AM e dell'IoT sulla Supply Chain.

Esiste comunque pochissima letteratura attuale che affronta la questione di cosa impatti l'adozione dell'AM e dell'IoT in quanto 46 Snowballing papers risultanti dal lavoro di tesi non possono essere considerati un risultato che porti ad affermare il contrario. In generale, quindi, lo sviluppo digitale dell'industria in ambito IoT e AM è ancora all'inizio, le idee del concetto e dell'implementazione sono ancora vaghe, di conseguenza sono necessari ulteriori studi per risolvere le criticità rilevanti.

Concludendo, anche la sfida di identificare un miglior set di partenza di basic papers per lo Snowballing può essere un'area per la ricerca futura, nell'ambito di revisione sistematiche della letteratura, ad esempio aumentando la ricerca iniziale con ulteriori parole chiave. Così come anche utilizzare più fonti di ricerca e recuperare articoli da altri database scientifici, come Google Scholar, potrebbe potenzialmente portare

all'inclusione di ulteriori articoli rilevanti e ad un'analisi della letteratura sull'applicazione di AM e IoT alla Supply Chain più completa.



# BIBLIOGRAFIA

Abdel-Basset M., Manogaran G., Mohameda M. (2018). “Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems”, *Future Generation Computer Systems*.

Achillasa C., Aidonis D., Iakovou E., Thymianidisa M., Tzetzisa D. (2014). “A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory”, *Journal of Manufacturing Systems*.

Ahmed S., Kalsoom T., Ramzan N., Pervez Z., Azmat M., Bassam Zeb B., Ur Rehman M. (2021). “Towards Supply Chain Visibility Using Internet of Things: A Dyadic Analysis Review”, *Sensors*.

Beier G., Niehoff S., Xue B. (2018). “More Sustainability in Industry through Industrial Internet of Things?”, *Applied Science*.

Ben-Dayaa M., Hassinib E., Bahrouna Z. (2019). “Internet of things and supply chain management: a literature review”, *International Journal of Production Research*.

Bikas H., Stavropoulos P., Chryssolouris G. (2016). “Additive Manufacturing methods and modelling approaches: a critical review”, *International Journal of Advanced Technology*.

Büyüközkan G., Göçer F. (2018). “Digital Supply Chain: Literature review and a proposed framework for future research”, *Computers in Industry*.

Chen R., Tu M.A, Jwo J. (2010). “An RFID-based enterprise application integration framework for real-time management of dynamic manufacturing processes”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.

Dutta, D. K., Hora M. (2017). “From invention success to commercialization success: Technology ventures and the benefits of upstream and downstream supply-chain alliances”, *Journal of Small Business Management*.

Ford S., Despeisse M. (2016). “Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges”, *Journal of Cleaner Production*.

Gallinaro S. (2021). “Catene di fornitura basate sulla produzione additiva”, *Impresa Progetto Electronic Journal Of Management*.

Ganesan, S. (1994). “Determinants of Long-Term Orientation in Buyer-Seller Relationships,”, *Journal of Marketing*.

Haddud A., DeSouza A., Khare A., Lee H. (2017). “Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains”, *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Huang S. H., Liu P., Mokasdar A., Hou L. (2013). “Additive manufacturing and its societal impact: a literature review”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.

Khorram M., Nonino F. (2016). “Impact of additive manufacturing on business competitiveness: a multiple case study”, *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Lee, I., Lee K. (2015). “The Internet of Things (IoT): Applications, Investments, and Challenges for Enterprises”, *Business Horizons*.

Manavalan E., Jayakrishna K. (2018). “A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements”, *Computers & Industrial Engineering*.

Mentzer, J., De Witt, W., Keebler, J., Nix S., Smith C., Zacharia, Z. (2001). “Defining Supply Chain Management”, *Journal Of Business Logistics*.

Ngo T. D., Kashania A., Imbalzano G., Kate T.Q. Nguyena, David Huib (2018). “Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges”, *Composites Part B*.

Oettmeier K., Hofmann E. (2016). “Impact of additive manufacturing technology adoption on supply chain management processes and components”, *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Papanagnou C. I. (2021). “Measuring and eliminating the bullwhip in closed loop supply chains using control theory and Internet of Things”, *Annals of Operations Research*.

Queiroz M. M., Pereira S. C. F., Telles R., Machado M. C. (2019). “Industry 4.0 and Digital Supply Chain capabilities A framework for understanding digitalisation challenges and opportunities”, *Benchmarking: An International Journal*.

Tofail S. A. M., Elias P. Koumoulos, Bandyopadhyay A., Bose S., O’Donoghue L., Charitidis C. (2018). “Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities”, *Materials Today*.

Verboeketa V., Krikkeb H. (2019). “The disruptive impact of additive manufacturing on supply chains: A literature study, conceptual framework and research agenda”, *Computers in Industry*.

Wilson, G. (2020). “Top 10 2021 supply chain trends”, available at <https://www.supplychaindigital.com/top10/top-10-2021-supply-chain-trends> (accessed January 2022)

Wohlin C. (2014), “Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering”, paper presented at the 18th International

Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE), May 2014, Sweden, available at <https://www.wohlin.eu/ease14.pdf>.

Zocca A., Colombo P., Gomes C. M., Günster J. (2015). “*Additive Manufacturing of Ceramics: Issues, Potentialities and Opportunities*”, J. Am. Ceram. Soc.

# SITOGRAFIA

- [1] [https://blog.osservatori.net/it\\_it/industria-4-0-quarta-rivoluzione-industriale](https://blog.osservatori.net/it_it/industria-4-0-quarta-rivoluzione-industriale)
- [2] <https://www.make-consulting.it/industria-4-0-tecnologie-abilitanti/>
- [3] <https://www.mecalux.it/blog/supply-chain-cos-e>
- [4] <https://www.focusindustria40.com/tecnologie-abilitanti-impresa-4-0/>
- [5] <https://supplychainbeyond.com/pandemics-trade-wars-and-supply-chain-1/modernizing-the-supply-chain-management-traditional-vs-network-supply-chains/>
- [6] <https://www.smactory.com/industria4-0-definizione-e-benefici/#:~:text=Maggiore%20produttivit%C3%A0%20attraverso%20minori%20tempi,derivanti%20dall'Internet%20delle%20cose>
- [7] <http://drrajivdesaimd.com/2017/06/26/3d-printing/>
- [8] <https://www.ilprogettistaindustriale.it/additive-manufacturing-una-storia-di-brevetti/>
- [9] <https://www.yndetech.com/storia-ed-evoluzione-della-stampa-3d/>
- [10] <https://www.mathsly.it/wordpress/systematic-review-10-passi-per-orientarsi-ed-eseguir-la-al-meglio/>
- [11] <https://consulenzaerisorse.it/guida-industria-4-0/>
- [12] [https://www.researchgate.net/figure/Steps-of-Systematic-Literature-Review\\_fig1\\_321422320](https://www.researchgate.net/figure/Steps-of-Systematic-Literature-Review_fig1_321422320)

## **RINGRAZIAMENTI**

Ai miei genitori, sostegno e sfogo quotidiano, che ogni giorno mi rendono sempre più fiero ed orgoglioso di essere loro figlio. Da voi ho imparato tutto, tranne la pazienza per sopportare in casa uno come me. Senza di voi non sarei qui.

A mia sorella, da sempre presente, fin dal mio primo battito. Sei unica, non potevo desiderare compagna di infanzia e di vita migliore. Come marcato nella tua pelle, la mia IANA.

A mia nonna Maria, chef di mille pranzi, non esiste un modo per ringraziarti per tutto ciò che hai fatto e continui a fare per me. In compenso spero solo di poterti renderti orgoglioso oggi.

Alla mia Claudia, conosciuta all'inizio di questo viaggio ed adesso seduta al mio fianco per festeggiarlo insieme. Aggiungiamo Torino come ulteriore tappa. Ti amo.

Ai miei amici di sempre, presenti anche qui a Torino. Non potevo desiderare comitiva migliore. Vi voglio bene.

Alla mia unica amica, così simili da dover litigare per ogni cosa. Ci sei sempre stata nei momenti in cui avevo bisogno solo di un negroni e della mia migliore amica.