

# POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

**Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

***Le supply chain di assiemi in materiale  
polimerico realizzati tramite Additive  
Manufacturing. Studio dello stato dell'arte.***



**Relatore**

Prof.ssa Anna Corinna Cagliano

**Candidato**

Addati Marco

Anno Accademico 2019/2020



## **RINGRAZIAMENTI**

Ormai giunto alla fine del mio percorso di studi, ritengo doveroso dedicare questo spazio del mio elaborato alle persone che hanno contribuito, con il loro instancabile supporto, alla realizzazione dello stesso.

Un particolare ringraziamento va alla Professoressa Anna Corinna Cagliano che ha seguito, con pazienza e grande disponibilità, la stesura di questa tesi.

Una dedica speciale va alla mia famiglia, in particolare ai miei genitori, Sabino e Rosaria che hanno sempre creduto in me aiutandomi a superare anche i momenti più difficili che ho dovuto affrontare durante questo percorso. Senza di loro tutto ciò non sarebbe stato possibile!

Grazie ad Antonella che è stata sempre al mio fianco, nonostante la distanza, e mi ha supportato in ogni momento ed in ogni scelta fatta con il suo amore.

Vorrei anche ringraziare tutti gli amici, vicini e lontani, che da sempre rallegrano le mie giornate; in particolare, ringrazio Davide e Luca con cui ho avuto il piacere di condividere le intense emozioni del percorso di studi.

## INTRODUZIONE

L'additive manufacturing è una tecnologia produttiva che ha il potere di rivoluzionare i paradigmi manifatturieri tradizionali con conseguente impatto su quelli che sono gli aspetti legati alla catena di fornitura del prodotto. Nel corso degli anni sempre più aziende hanno deciso di adottare il nuovo metodo di produzione sia per realizzare prototipi e sia per realizzare oggetti finiti destinati all'utilizzo diretto. Il settore degli assiemi, date le potenzialità di consolidamento dei componenti offerte dalla stampa 3D, è quello che più ha la possibilità di sfruttare i vantaggi offerti dalla nuova tecnologia. Gli studi scientifici però si limitano ad analizzare gli aspetti di progettazione e di fattibilità degli assiemi realizzati tramite additive manufacturing, molte volte trascurando quelli che sono gli aspetti logistici e gestionali. Proprio questi aspetti potrebbero amplificare i vantaggi ottenibili tramite, ad esempio, la riduzione dei livelli della catena logistica o la possibilità di avvicinare i punti di produzione a quelli di domanda. L'obiettivo del presente elaborato, tramite l'individuazione di un caso di studio presente in letteratura, è l'analisi gli impatti sulla supply chain della produzione tramite additive manufacturing di un assieme in materiale polimerico. Il caso di studio individuato è un portalampada per lampada fluorescente il cui design viene rivisto per consentire il consolidamento delle sue parti in un unico prodotto finito. Il confronto verrà effettuato tra la soluzione attualmente utilizzata per la produzione e distribuzione dell'oggetto in analisi (AS IS) e una possibile configurazione che sfrutti i vantaggi dell'additive manufacturing (TO BE). Affinché il confronto offra un quadro uniforme dei due scenari si è deciso di adottare un modello standard di mappatura ed analisi delle performance di una catena logistica. Lo strumento utilizzato in questo elaborato è il modello Supply-Chain Operations Reference, meglio conosciuto come modello SCOR. La struttura di tale lavoro di tesi parte da un primo capitolo che vede un'attenta discussione della letteratura scientifica su principali temi della supply chain, dell'additive manufacturing e di come questi due aspetti si integrino tra loro. Segue poi il capitolo di analisi della supply chain tradizionale per la produzione e commercializzazione del portalampada individuato come caso. A questo fa seguito un capitolo in cui è ipotizzata ed analizzata una possibile catena logistica basata sull'utilizzo della stampa 3D, confrontandone gli aspetti che la differenziano dal caso tradizionale. L'elaborato termina con la presentazione delle conclusioni a cui ha portato tale lavoro di ricerca. Si evince che gli impatti sulla supply chain generati dall'additive manufacturing sono rilevanti e possono rendere più vantaggiosa l'adozione di una tecnologia che presenta, allo stato attuale, costi di produzione elevati

rispetto alle tecnologie tradizionali. Il presente lavoro di tesi si inserisce all'interno del progetto "Produzione di componenti in materiale polimerico realizzati mediante fabbricazione additiva: studio di accoppiamenti cinematici integrati, valutazione dell'usura, analisi del valore e della sostenibilità con ricadute sul sistema produttivo" presso il Dipartimento di Ingegneria Gestionale e della Produzione del Politecnico di Torino.

# ***INDICE***

<b>INDICE.....</b>	<b>VI</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE.....</b>	<b>IX</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE .....</b>	<b>XII</b>
<b>1 SUPPLY CHAIN E ADDITIVE MANUFACTURING.....</b>	<b>1</b>
1.1 SUPPLY CHAIN: DEFINIZIONI.....	1
1.2 ADDITIVE MANUFACTURING: DEFINIZIONE, APPROCCIO E PRINCIPALI TECNICHE .....	8
1.2.1 Definizione .....	8
1.2.2 Cenni Storici.....	10
1.2.3 Processo produttivo .....	12
1.2.4 Principali tecniche .....	15
1.2.5 Proprietà .....	26
1.2.6 Criticità e limitazioni .....	28
1.3 SUPPLY CHAIN TRADIZIONALI: STRUTTURA E CRITICITÀ .....	30
1.4 SUPPLY CHAIN BASATE SULL'ADDITIVE MANUFACTURING .....	33
1.5 SUPPLY CHAIN IBRIDE.....	39
1.6 SUPPLY CHAIN DI ASSIEMI IN MATERIALE POLIMERICO E ADDITIVE MANUFACTURING.....	41
1.7 ANALISI DEI PRINCIPALI LAVORI PRESENTI IN LETTERATURA SUL TEMA SUPPLY CHAIN BASATA SULLA TECNOLOGIA DELL'ADDITIVE MANUFACTURING.....	46
1.8 RESEARCH GAP .....	57
1.9 IL MODELLO SCOR.....	58
1.9.1 Processi.....	59
1.9.2 Indicatori.....	62
1.9.3 Best Practice .....	64
1.9.4 Persone .....	65
<b>2 CASO DI STUDIO PORTALAMPADE: SUPPLY CHAIN TRADIZIONALE</b>	<b>66</b>
2.1 IL CASO DI STUDIO .....	66
2.1.1 Individuazione del caso di studio .....	66

2.1.2	Il Portalampada.....	67
2.2	PRESENTAZIONE.....	75
2.3	SUBFORNITORI.....	82
2.3.1	Plan.....	83
2.3.2	Source.....	84
2.3.3	Make.....	85
2.3.4	Deliver.....	86
2.3.5	Performance Subfornitori.....	87
2.4	ORIGINAL EQUIPEMENT MANUFACTURER (OEM).....	99
2.4.1	Plan.....	101
2.4.2	Source.....	103
2.4.3	Make.....	103
2.4.4	Deliver.....	105
2.4.5	Performance OEM.....	108
2.5	CASA MADRE.....	136
2.5.1	Plan.....	139
2.5.2	Source.....	140
2.5.3	Return.....	141
2.5.4	Deliver.....	142
2.5.5	Performance casa madre.....	145
<b>3</b>	<b>CASO DI STUDIO PORTALAMPADE: SUPPLY CHAIN BASATA SU ADDITIVE MANUFACTURING.....</b>	<b>162</b>
3.1	PRESENTAZIONE.....	162
3.1.1	Riportare la produzione “in casa”.....	165
3.2	IMPIANTO DI PRODUZIONE.....	168
3.2.1	Plan.....	172
3.2.2	Source.....	174
3.2.3	Make.....	175
3.2.4	Deliver.....	175
3.2.5	Performance impianto produttivo.....	178
3.2.6	Livelli a valle dell’impianto produttivo.....	208
<b>4</b>	<b>CONFRONTI.....</b>	<b>211</b>

4.1	COME NASCONO I BENEFICI PER LA SUPPLY CHAIN .....	211
4.2	BENEFICI DELL'ADOZIONE DELLA STAMPA 3D .....	213
4.3	CONFRONTO DEI PRINCIPALI INDICATORI DI PERFORMANCE .....	219
4.3.1	Lead Time di fornitura.....	219
4.3.2	Tempo di produzione.....	219
4.3.3	Tempo Cash-to-cash.....	220
4.3.4	Utilizzo capacità produttiva.....	220
4.3.5	Costo di manodopera .....	221
4.3.6	Costo totale di spedizione.....	221
4.3.7	Costo unitario di produzione .....	221
4.3.8	Livelli scorte lungo la supply chain.....	222
4.3.9	Perfect Order Rate .....	222
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>224</b>
5.1	BENEFICI PORTATI ALLO STATO DELL'ARTE DELLA LETTERATURA.....	224
5.2	LIMITAZIONI DEL LAVORO DI TESI .....	225
5.3	SPUNTI PER RICERCHE FUTURE .....	225
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>227</b>
	<b>SITOGRAFIA.....</b>	<b>240</b>

# ***INDICE DELLE FIGURE***

<b>Figura 1</b> I processi fondamentali del SCM.....	6
<b>Figura 2</b> Le quattro prospettive dei rapporti tra logistica e SCM.....	8
<b>Figura 3</b> Charles Hull a fianco la stampante SLA-1 nel 2016.....	10
<b>Figura 4</b> Prospettiva di crescita delle dimensioni del mercato .....	12
<b>Figura 5</b> (a) Mandibola umana (b) modello CAD ottenuto tramite scansione 3D (c) modello STL .....	13
<b>Figura 6</b> Fasi di un processo additive manufacturing.....	14
<b>Figura 7</b> Sviluppo del mercato dei materiali utilizzati per la stampa 3D .....	15
<b>Figura 8</b> Processo di Fotopolimerizzazione .....	16
<b>Figura 9</b> Processo di Fusione a letto di polveri .....	18
<b>Figura 10</b> A sinistra la sinterizzazione di uno strato mentre a destra il prodotto finito nella camera di produzione .....	19
<b>Figura 11</b> Processo di Modellazione a deposizione fusa.....	21
<b>Figura 12</b> Processo di Material Jetting .....	22
<b>Figura 13</b> Processo di Binder Jetting.....	23
<b>Figura 14</b> Processo LOM .....	24
<b>Figura 15</b> Processo a Deposizione diretta .....	25
<b>Figura 16</b> Sintesi tecniche e materiali utilizzabili .....	26
<b>Figura 17</b> Esempio di supply chain .....	31
<b>Figura 18</b> Linea produttiva automatizzata NextGenAM.....	37
<b>Figura 19</b> Macchinario ibrido “multitasking” .....	40
<b>Figura 20</b> Ugello del carburante realizzato tramite stampa 3D.....	42
<b>Figura 21</b> Pinze per la movimentazione realizzate tramite additive manufacturing .....	43
<b>Figura 22</b> EOAT realizzati tramite stampa 3D.....	44
<b>Figura 23</b> Framework del Modello SCOR .....	60
<b>Figura 24</b> Concatenazione livelli modello SCOR .....	61
<b>Figura 25</b> Metriche di Livello 1 per i diversi Attributi definiti dallo SCOR.....	63
<b>Figura 26</b> Portalamпада originale .....	68
<b>Figura 27</b> Esempio di tubo fluorescente con attacco bi-pin .....	69
<b>Figura 28</b> Distinta base del Portalamпада prodotto con tecniche tradizionali.....	70
<b>Figura 29</b> Portalamпада riprogettato con tecniche DFRM.....	71
<b>Figura 30</b> Portalamпада riprogettato con tecniche VE.....	73

<b>Figura 31</b> Distinta base del Portalampada prodotto tramite additive manufacturing.....	74
<b>Figura 32</b> Trend di esportazione di portalampane con voltaggio inferiore a 1000V.....	76
<b>Figura 33</b> Quote di mercato per le esportazioni di portalampane nell'anno 2017 .....	77
<b>Figura 34</b> Domande effettuate ai produttori di portalampada asiatici.....	79
<b>Figura 35</b> Supply chain AS-IS per la produzione e distribuzione di portalampane per lampade fluorescenti.....	81
<b>Figura 36</b> Mappa SCOR di Livello 2 dei Subfornitori.....	83
<b>Figura 37</b> Mappa dei Process Element SCOR per il livello dei Subfornitori.....	87
<b>Figura 38</b> Confezionamento su misura.....	95
<b>Figura 39</b> Linea di assemblaggio del prodotto finito .....	99
<b>Figura 40</b> Mappatura SCOR di Livello 1 dell'OEM.....	101
<b>Figura 41</b> Apparecchiatura usata per i test di infiammabilità. ....	104
<b>Figura 42</b> Mappa dei Process Element SCOR per i livello dell'OEM.....	107
<b>Figura 43</b> Crescita del salario minimo nella regione del Guangdong .....	109
<b>Figura 44</b> Disposizione delle scatole sul pallet .....	115
<b>Figura 45</b> Esempio di etichettatura .....	119
<b>Figura 46</b> Confezionamento in blister .....	121
<b>Figura 47</b> Schema riassuntivo Incoterms 2010 .....	128
<b>Figura 48</b> Container pallettizzato (a sinistra) e container a collettame (a destra) .....	133
<b>Figura 49</b> Schema dei termini di pagamento.....	136
<b>Figura 50</b> Mappatura SCOR di Livello 1 della Casa madre.....	138
<b>Figura 51</b> Mappa dei Process Element SCOR per i livello della Casa madre.....	144
<b>Figura 52</b> Carico messo in sicurezza (destra) e carico non in sicurezza (sinistra).....	152
<b>Figura 53</b> Pallet rivestito di film plastico .....	159
<b>Figura 54</b> Sintesi supply chain AS IS.....	161
<b>Figura 55</b> Diversi tipi di portalampada.....	162
<b>Figura 56</b> Supply chain TO-BE per la produzione e distribuzione di portalampane per lampade fluorescenti.....	164
<b>Figura 57</b> Imprese che hanno fatto reshoring per settore produttivo.....	168
<b>Figura 58</b> Mappatura SCOR di Livello 1 dell'Impianto Produttivo.....	169
<b>Figura 59</b> EOS 396 .....	170
<b>Figura 60</b> Mappa dei Process Element SCOR per il livello dell'Impianto produttivo....	177
<b>Figura 61</b> Distributori EOS in Europa e America .....	179
<b>Figura 62</b> Esempio di packaging dei laminati .....	185

<b>Figura 63</b>	Contenitore utilizzato per la movimentazione delle polveri di PA2210 FR....	186
<b>Figura 64</b>	Carrello utilizzato per la movimentazione della camera di produzione .....	196
<b>Figura 65</b>	Schema IPCM EOSINT P3 .....	198
<b>Figura 66</b>	Schema impianto produzione contatti.....	199
<b>Figura 67</b>	Esempio di pallet multi-referenza .....	206
<b>Figura 68</b>	Schema dei livelli di distribuzione a valle dell'impianto produttivo .....	208
<b>Figura 69</b>	Catena di sviluppo dei benefici consentiti dalla stampa 3D nel caso di studio 213	

# ***INDICE DELLE TABELLE***

<b>Tabella 1</b>	Le definizioni di supply chain individuate in letteratura .....	5
<b>Tabella 2</b>	Alcune definizioni di additive manufacturing presenti in letteratura. ....	9
<b>Tabella 3</b>	Sintesi dei principali vantaggi logistici dell'adozione della stampa 3D.....	38
<b>Tabella 4</b>	Descrizione degli articoli individuati in letteratura riguardanti l'impatto della stampa 3D sulla supply chain .....	57
<b>Tabella 5</b>	Calcolo costi di produzione .....	192
<b>Tabella 6</b>	Confronto costi di assemblaggio .....	200
<b>Tabella 7</b>	Effetti dell'adozione dell'additive manufacturing sulla supply chain.....	218
<b>Tabella 8</b>	Sintesi e confronto dei principali KPI per il caso AS IS e il caso TO BE.....	223

# ***1 SUPPLY CHAIN E ADDITIVE MANUFACTURING***

Nel corso di questo primo capitolo verranno presentati al lettore i principali temi su cui verte il presente elaborato in modo tale da rendere chiaro il quadro di sviluppo di tale lavoro. Si parte dalla definizione di supply chain a cui segue la presentazione della nuova tecnologia di produzione ovvero l'additive manufacturing. Si cerca poi di mostrare come il nuovo paradigma produttivo influenza gli aspetti logistici legati alla catena di distribuzione con un riferimento particolare a quelli che sono gli assiemi.

## ***1.1 SUPPLY CHAIN: DEFINIZIONI***

La supply chain, letteralmente catena di distribuzione, è un sistema di organizzazioni, persone, attività, informazioni e risorse coinvolte nel processo di trasferimento o fornitura di un prodotto o un servizio dal fornitore al cliente [1]. Questo processo è molto complesso e parte dall'acquisizione delle materie prime, prosegue con la loro trasformazione in prodotto finito e termina con la fornitura dello stesso al cliente. Esistono numerose definizioni, di diversi autori e professionisti, che riguardano il termine supply chain; alcune tra queste sono riassunte nella tabella sottostante (Tabella 1).

<b><i>Autore</i></b>	<b><i>Definizione</i></b>
Lummus & Alber, 1997	“la rete di entità attraverso cui scorrono i flussi di materiali. Tali entità possono includere fornitori, vettori, siti di produzione, centri di distribuzione, rivenditori e clienti “.

<p>Council of Supply Chain Management Professionals , 2003</p>	<p>“1) partendo dalle materie prime non lavorate e terminando con il cliente finale che utilizza il prodotto finito, la catena di approvvigionamento collega molte aziende. 2) lo scambio di materiali e informazioni nel processo logistico che va dall'acquisizione delle materie prime alla consegna dei prodotti finiti all'utente finale. Tutti i fornitori, i fornitori di servizi e i clienti sono anelli della supply chain”.</p>
<p>The Supply Chain Council, 1997</p>	<p>“La supply chain - termine sempre più utilizzato dai professionisti della logistica - comprende ogni sforzo per produrre e consegnare un prodotto finale, dal fornitore del fornitore al cliente del cliente. Quattro processi di base – plan, source, make, deliver - definiscono in generale questi sforzi, che includono la gestione della domanda e dell’offerta, l'approvvigionamento di materie prime e componenti, la produzione e l'assemblaggio, lo stoccaggio e la tracciabilità dell'inventario, l'inserimento e la gestione degli ordini, la distribuzione su tutti i canali, e la consegna al cliente”.</p>

Quinn, 1997	<p>“tutte le attività associate alla movimentazione delle merci dalla fase delle materie prime fino all'utilizzatore finale. Ciò include l'approvvigionamento e la fornitura, la pianificazione della produzione, l'elaborazione degli ordini, la gestione dell'inventario, il trasporto, il magazzinaggio e il servizio clienti. È importante sottolineare che comprende anche i sistemi informativi necessari per monitorare tutte queste attività”.</p>
Lummus & Vokurka, 1999	<p>“tutte le attività coinvolte nella consegna di un prodotto, dalle materie prime fino al cliente, incluso l'approvvigionamento delle materie prime e dei componenti, la produzione e l'assemblaggio, lo stoccaggio e la tracciabilità dell'inventario, l'inserimento e la gestione degli ordini, la distribuzione su tutti i canali, la consegna al cliente e i sistemi informativi necessari per monitorare tutte queste attività”.</p>
La Londe & Masters, 1994	<p>“L'insieme delle imprese che muovono i materiali a valle può essere definito come una catena di fornitura”.</p>
Christopher, 1992	<p>“Una supply chain è la rete di organizzazioni che sono coinvolte, attraverso collegamenti a monte e a valle, nei diversi processi e attività che producono valore sotto forma di prodotti e servizi forniti al consumatore finale”.</p>

Mentzer et al., 2001	<p>“Una supply chain 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”.</p>
Carter, Rogers, & Choi, 2015	<p>Definiscono sei premesse fondamentali sulla struttura e sui confini della supply chain. Le premesse sono:</p> <p>“(1) la supply chain è una rete, costituita da nodi e collegamenti;</p> <p>(2) la supply chain come rete funziona come un complesso sistema adattativo, in cui ogni agente è alle prese con la tensione tra il controllo e l'emergenza;</p> <p>(3) la supply chain è relativa a un particolare prodotto e agente;</p> <p>(4) la supply chain è costituita sia da una catena di approvvigionamento fisica che da una catena di approvvigionamento di supporto;</p> <p>(5) la catena di approvvigionamento è delimitata dall'orizzonte visibile dell'agente focale; e</p> <p>(6) l'orizzonte visibile dell'agente focale è soggetto ad attenuazione, dove la distanza si basa su fattori quali la distanza fisica, la distanza culturale e la centralità della vicinanza”.</p>

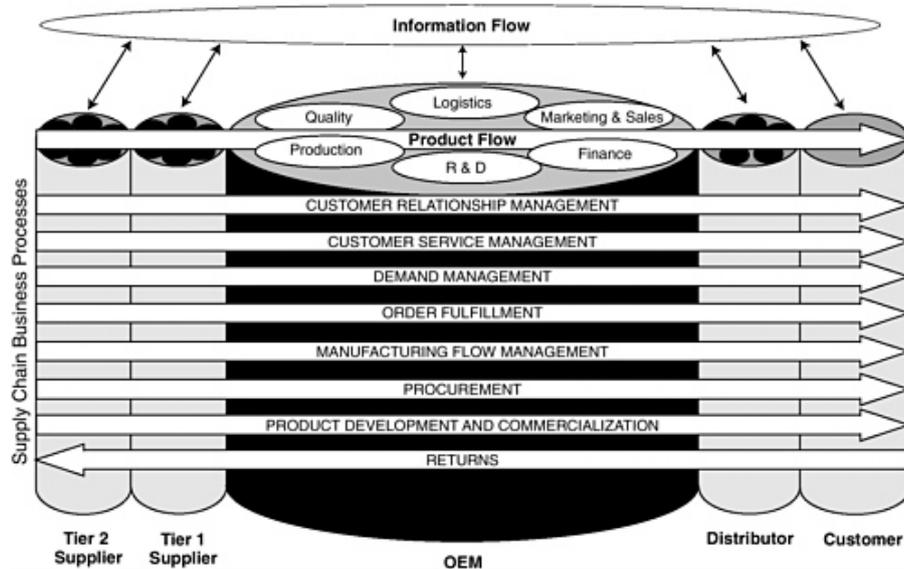
Govil & Proth, 2002	“Una supply chain è una rete globale di organizzazioni che collaborano per migliorare i flussi di materiali e informazioni tra fornitori e clienti al minor costo possibile ed alla massima velocità. L'obiettivo di una catena di fornitura è la soddisfazione del cliente”.
Lambert, Stock, & Ellram, 1998	“Una supply chain come l'allineamento delle imprese che porta prodotti o servizi sul mercato”.

*Tabella 1 Le definizioni di supply chain individuate in letteratura*

Dalla serie di definizioni proposte al lettore si può evincere che la supply chain viene intesa come un'entità, composta da più attori e più livelli che ha come obiettivo quello di fornire un servizio o un prodotto al cliente che è esso stesso parte di questa catena. Le diverse fasi e i diversi attori coinvolti in questo processo necessitano di coordinamento comune al fine di massimizzare il valore creato per il cliente e il profitto delle singole aziende. Tale insieme di attività viene spesso definito come Supply Chain Management (SCM), letteralmente gestione della catena di distribuzione. La nascita di questo termine spetterebbe ai consulenti Oliver e Weber (Oliver & Webber, 1982) che hanno utilizzato per la prima volta tale definizione. Molti autori poi hanno provato a dare una definizione di SCM, tra questi vi sono Ellram e Cooper (Ellram & Cooper, 1993) che parlano di “una filosofia di integrazione per gestire il flusso totale di un canale distributivo dal fornitore al cliente finale”. Ancora Monczka e Morgan (Monczka & Morgan, 1997) parlando di SCM affermano che “la gestione integrata della supply chain consiste nell'andare oltre il cliente e quindi gestire tutti i processi necessari per fornire valore al cliente in modo orizzontale”. Per ulteriori definizioni si rimanda il lettore alla ricerca di Mentzer e altri (Mentzer et al., 2001) in cui vengono presentate in forma tabellare, come sopra fatto, le definizioni per SCM. Gli stessi autori indicano il Supply Chain Management come “il coordinamento sistemico e strategico delle tradizionali funzioni aziendali e le tattiche trasversali di queste funzioni aziendali all'interno di una determinata azienda e tra le imprese della catena di approvvigionamento,

al fine di migliorare le prestazioni a lungo termine delle singole aziende e della catena di approvvigionamento nel suo complesso”. Si evince la concezione che non siano le aziende, intese come entità singole, a competere ma che piuttosto siano le intere catene logistiche che lottano nel soddisfare al meglio i bisogni dei clienti. È dunque necessario considerare le diverse entità come un sistema unico che agisce nell’interesse comune dei singoli attori e del cliente finale. Stock e Lambert (Stock & Lambert, 2001) affermano che il SCM è la gestione di otto processi aziendali fondamentali (Figura 1):

1. Gestione delle relazioni con i clienti
2. Gestione del servizio offerto al cliente
3. Gestione della domanda
4. Evasione ordini
5. Gestione del flusso produttivo
6. Approvvigionamento
7. Sviluppo e commercializzazione del prodotto
8. Gestione dei resi

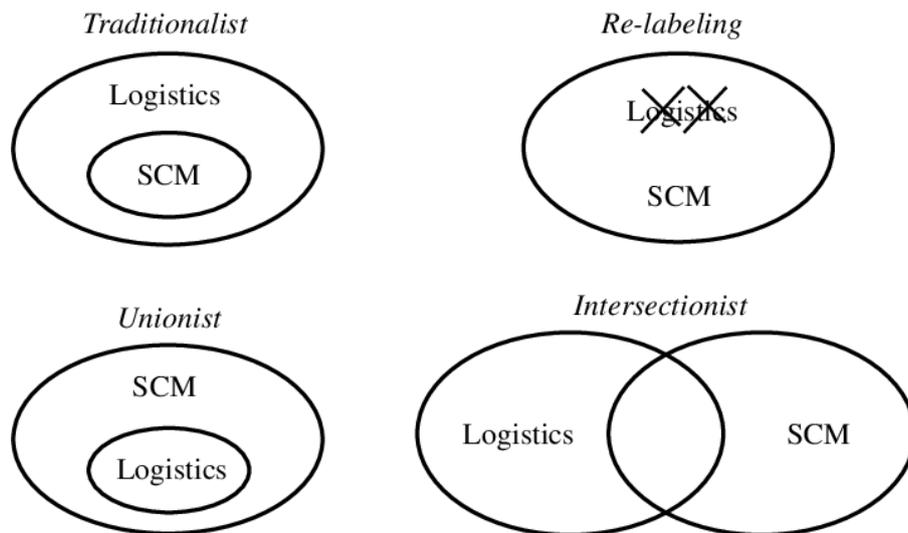


**Figura 1** I processi fondamentali del SCM (Stock & Lambert, 2001)

Spesso viene utilizzato anche il termine logistica per riferirsi alla supply chain, secondo la definizione data dall'Associazione Italiana di Logistica (AILOG), essa è "l'insieme delle attività organizzative, gestionali e strategiche che governano nell'azienda i flussi di materiali e delle relative informazioni dalle origini presso i fornitori fino alla consegna dei prodotti finiti ai clienti e al servizio post-vendita". Un'ulteriore definizione dei vari termini

presentati, al fine di comprenderne meglio la differenza, proviene da APICS. APICS è un'organizzazione internazionale senza fini di lucro che si occupa di Supply Chain Management ed offre servizi educativi, programmi di certificazione, strumenti di miglioramento e opportunità di creare network professionali al fine di migliorare le prestazioni in campo lavorativo. Questa organizzazione redige ed aggiorna periodicamente un dizionario di quelli che sono i principali termini usati in questo settore, la definizione per la parola supply chain è "La rete globale utilizzata per fornire prodotti e servizi dalle materie prime ai clienti finali attraverso un flusso ingegnerizzato di informazioni, distribuzione fisica e liquidità". Mentre alla voce supply chain management vi è "La progettazione, pianificazione, esecuzione, controllo e monitoraggio delle attività della supply chain con l'obiettivo di creare valore netto, costruire un'infrastruttura competitiva, sfruttare la logistica mondiale, sincronizzare l'offerta con la domanda e misurare le prestazioni globali". La definizione di logistica riporta è invece diversa a seconda che si faccia riferimento a un contesto industriale o ad un contesto militare" In un contesto industriale, l'arte e la scienza di ottenere, produrre e distribuire materiale e prodotto nel posto giusto e in quantità adeguate. In senso militare (dove ha un maggiore utilizzo), il suo significato può includere anche la movimentazione del personale". Esistono quattro visioni (Figura 2) che cercano di spiegare la relazione tra supply chain, in particolar modo intesa come SCM, e la logistica (Larson & Halldorsson, 2004):

- Tradizionalista: vede il SCM come una piccola branca della logistica, una sorta di "logistica fuori dall'azienda" che riduce il SCM ad una sorta di logistica esterna tra organizzazioni diverse.
- Della rietichettatura: vede il SCM e la logistica come la stessa cosa che ha ricevuto negli anni nominazioni diverse.
- Unionista: questa prospettiva guarda la logistica come una branca del SCM, per cui questa ultima è qualcosa che ingloba più attività e più funzioni aziendali come ad esempio il marketing, gli acquisti.
- Dell'intersezione: secondo cui il SCM non è l'unione di più aree funzionali come logistica, marketing, operations e acquisti ma piuttosto include aspetti strategici e integrativi tra tutte queste aree.



*Figura 2 Le quattro prospettive dei rapporti tra logistica e SCM (Larson & Halldorsson, 2004)*

## **1.2 ADDITIVE MANUFACTURING: DEFINIZIONE, APPROCCIO E PRINCIPALI TECNICHE**

### **1.2.1 Definizione**

Additive manufacturing è il termine generale usato per definire le tecnologie produttive che basandosi su una rappresentazione geometrica creano un oggetto fisico tramite l'aggiunta di materiale. Il termine additive (additiva) infatti si riferisce alla costruzione dell'oggetto strato per strato in opposizione ai processi produttivi tradizionali che generalmente sono sottrattivi, ovvero che realizzano il prodotto tramite l'eliminazione di materiale da un blocco iniziale. Basti pensare ad esempio alla fresatura, alla tornitura o alla foratura che sono tutte tecniche sottrattive. Una definizione più precisa di ciò che si intende per additive manufacturing viene fornita dall'International Standard ISO/ASTM52900-15 del 2015 che ha come obiettivo proprio quello di creare una definizione armonizzata di quelli che sono i termini usati in questo settore. Secondo questo standard l'additive manufacturing è "il processo di unione dei materiali per realizzare parti derivanti modelli 3D, di solito strato su strato, in contrapposizione alle metodologie di produzione sottrattiva e di formatura". Tale definizione viene ripresa e sostenuta dalla più autorevole società di consulenza nel settore la Wohlers Associates, Inc. Altre definizioni sono presenti in letteratura, ma sono del tutto simili, o in alcuni casi si rifanno, a quella che è la terminologia usata dallo standard ISO; per

completezza e maggior chiarezza per il lettore vengono presentate comunque una serie di definizioni di additive manufacturing trovate in letteratura (Tabella 2).

<i>Autore</i>	<i>Definizione</i>
Gebhardt, 2012	“L’additive manufacturing è un processo di fabbricazione automatizzato basato su livelli per la realizzazione di oggetti fisici tridimensionali direttamente da dati 3D-CAD senza l'utilizzo di strumenti tradizionali”.
Wiberg, Persson, & Ölvander, 2019	“Additive manufacturing (AM) è un termine ombrello per diversi metodi di produzione che mirano a realizzare forme tridimensionali complesse sovrapponendo successivamente materiale”.
Rogers, Baricz, & Pawar, 2016	“La stampa 3D (nota anche come additive, digital e rapid manufacturing) si riferisce non a una, ma a molteplici tecnologie e processi produttivi che consentono agli utenti di creare un oggetto tangibile da un modello digitale tridimensionale”.
Khajavi, Partanen, & Holmström, 2014	“L’additive manufacturing (AM), noto anche come produzione diretta, è una tecnologia digitale per la produzione di oggetti fisici strato per strato da un file CAD (Computer Aided Design) tridimensionale”.

**Tabella 2** Alcune definizioni di additive manufacturing presenti in letteratura.

Le diverse definizioni presentate hanno in comune alcuni aspetti, tutte fanno riferimento ai modelli tridimensionali Computer-Aided Design (CAD) come punto di partenza. Si tende poi sempre a sottolineare che la produzione avviene strato per strato o livello per livello proprio per evidenziare l’opposizione alle tecniche tradizionali che sono spesso sottrattive. Si pone quasi sempre l’attenzione sul fatto che ad essere realizzati siano oggetti fisici

tangibili. Alcune poi, soprattutto le più recenti, fanno riferimento all'additive manufacturing come ad una moltitudine di tecniche produttive differenti piuttosto che ad una singola tecnica produttiva.

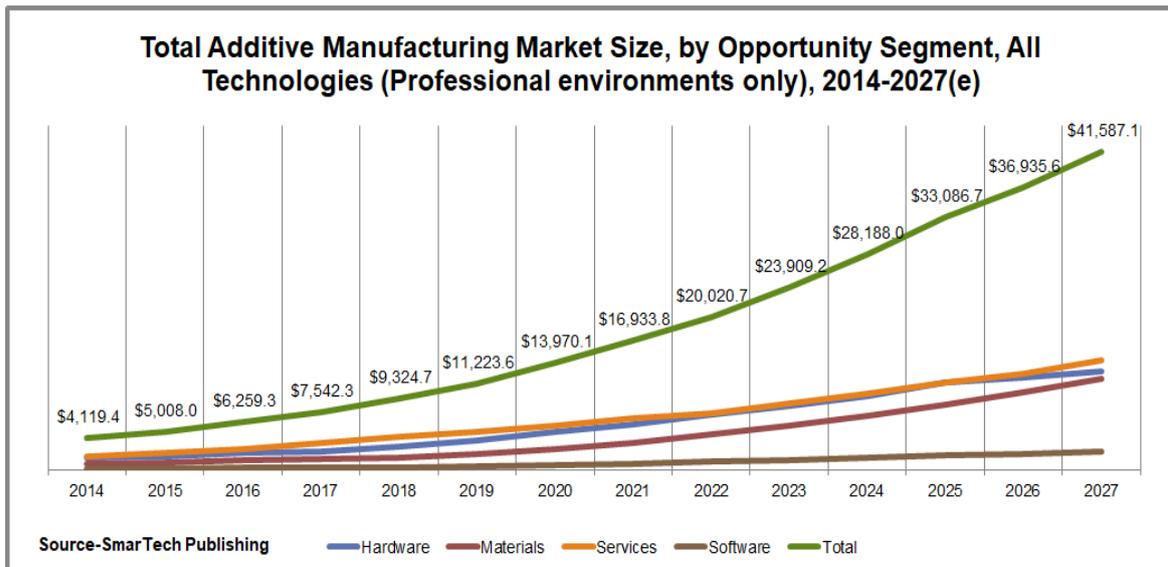
### ***1.2.2 Cenni Storici***

L'additive manufacturing non è una tecnologia nata in tempi recenti, come erroneamente la maggior parte dei non addetti ai lavori pensano. I primi tentativi di creare oggetti solidi partendo da foto polimeri, ovvero da polimeri che cambiano le loro proprietà se esposti a particolari radiazioni, risalgono alla fine degli anni Sessanta presso il Battelle Memorial Institute. Nel 1967, il danese Wyn K. Swainson richiede il brevetto dal titolo "Method of Producing a 3D Figure by Holography" basandosi sulla tecnologia a due laser sviluppata in precedenza. Il primo a sviluppare la tecnologia moderna a singolo laser è stato Hideo Kodama del Nagoya Municipal Industrial Research Institute. Nel 1984, il co-fondatore dell'azienda 3D system Charles Hull richiede il brevetto per un apparato per la produzione di oggetti tridimensionali tramite stereolitografia, il processo che solidifica sottilissimi strati di polimeri liquidi fotosensibili ai raggi UV prodotti da un laser. A pochi anni di distanza la stessa azienda immette sul mercato il primo macchinario destinato alla stampa 3D, la stampante SLA-1 che utilizza la tecnologia sopra presentata (Figura 3).



***Figura 3*** Charles Hull a fianco la stampante SLA-1 nel 2016 (Fonte: [www.3Dprint.com](http://www.3Dprint.com))

A partire dal 1991 vengono commercializzate una serie di apparecchiature che sfruttano nuove tecnologie tra cui troviamo la Modellazione a deposizione fusa (o FDM Fused Deposition Modeling) e la Sinterizzazione laser selettiva (o SLS Selective Laser Sintering). A partire dal 1996 vengono presentate una serie di soluzioni “a basso costo” che ampliano il mercato dell’additive manufacturing, inoltre compaiono sul mercato nuovi macchinari e nuove tecnologie in rapida sequenza. Tra queste, di particolare rilievo è la realizzazione di una tecnologia che consentisse tramite SLS la realizzazione di oggetti in leghe metalliche, ciò avvenne grazie a ricercatori tedeschi del Fraunhofer Institute. Nel 2000 l’azienda Stratasys introduce la plastica ABS tra i materiali disponibili, aprendo così un mondo di opportunità ai creatori. Gli anni 2000 sono stati fondamentali per lo sviluppo della stampa 3D. 2011 è un anno fondamentale per la tecnologia SLS in quanto una serie di brevetti scadono ed aumentano rapidamente i progressi in tale campo. Lo stesso avviene nel 2014 con la tecnologia FDM, ciò permette la nascita di stampanti desktop a bassissimo costo. Negli ultimi anni una serie di grandi imprese hanno investito centinaia di milioni di dollari nell’additive manufacturing, un caso da segnalare è la GE Aviation che utilizza la stampa 3D per la produzione degli ugelli carburante dei suoi nuovi motori LEAP che andranno a motorizzare la famiglia degli Airbus A320 e la famiglia dei Boeing 737, i due aeromobili più diffusi sul mercato. Dunque, negli ultimi anni si è assistito ad uno sviluppo rapido delle diverse tecniche di produzione, ciò ha consentito all’additive manufacturing di non essere più una tecnologia destinata alla sola produzione di prototipi (Rapid Prototyping) ma di essere anche adatta alla realizzazione di prodotti finiti destinati alla vendita (Rapid Manufacturing). Oggi, aziende private e ricercatori universitari, continuano a sviluppare e testare nuove soluzioni per rendere sempre più rapida e meno costosa tale tecnologia. Il mercato inoltre, appare in rapida crescita; alla fine del 2018 il valore globale del mercato della stampa 3D (inteso come hardware, software, materiali e servizi) è stato stimato a 9.3 miliardi di dollari con una crescita del 18% rispetto all’anno precedente (SmarTech Analysis, 2019). Nuovi player, che offrono soluzioni innovative, continuano ad affacciarsi al mercato e le collaborazioni e le acquisizioni continuano a proliferare. Le prospettive per il futuro sono incoraggianti e prevedono una rapida e continua crescita del mercato (Figura 4).

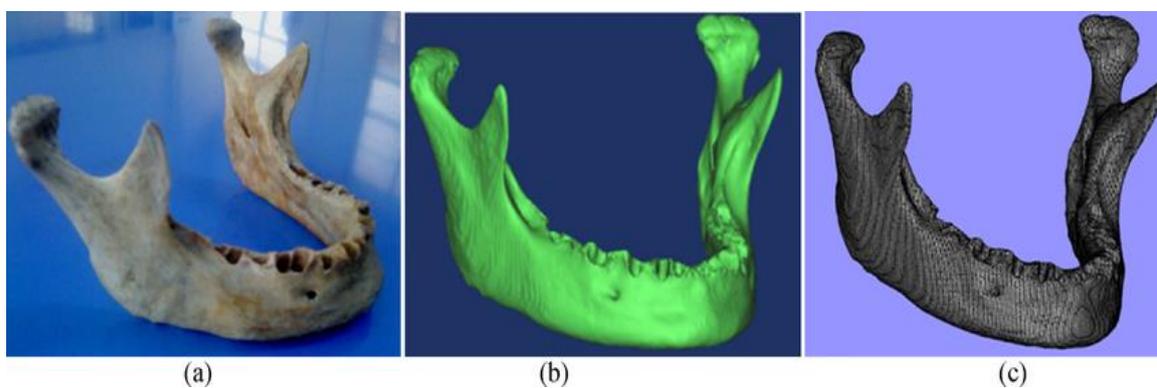


*Figura 4* Prospettiva di crescita delle dimensioni del mercato (Fonte: SmarTech Analysis)

### 1.2.3 Processo produttivo

La realizzazione di un oggetto tramite additive manufacturing presenta una serie di fasi che verranno presentate in questo paragrafo al fine di creare un quadro più ampio per la comprensione del seguente elaborato. Come qualsiasi progettazione e realizzazione di un prodotto si parte dall'identificare le esigenze del cliente in modo tale da realizzare qualcosa che vada incontro alle stesse. Una volta definita l'idea e le caratteristiche del prodotto da realizzare si passa alla fase di progettazione. Molti studi affermano che una delle chiavi del successo dell'additive manufacturing sta in questa fase, ovvero non devono essere seguiti i paradigmi tradizionali ma deve essere seguito un approccio mirato all'ottimizzazione del design per sfruttare al massimo le caratteristiche dalla produzione additiva. Questo approccio viene anche definito Design for Rapid Manufacturing (DFRM) ed i suoi principi sono spiegati in una serie di ricerche (Hague, Campbell, & Dickens, Implications on design of rapid manufacturing, 2003) (Hague, Mansour, & Saleh, Design opportunities with rapid manufacturing, 2003) (Becker, Grzesiak, & Henning, 2005). Tra questi vi è ad esempio quello di sfruttare al massimo la possibilità di realizzare qualsiasi tipo di forma riprogettando da zero il prodotto da generare. In particolar modo bisogna tenere presente la possibilità di realizzare canali interni o oggetti con spessori diversificati. Molto rilevante è anche la possibilità di consolidare i diversi componenti di un oggetto in un singolo prodotto finito o in ogni caso è possibile ridurre i componenti dello stesso, inoltre strutture a nido d'ape e

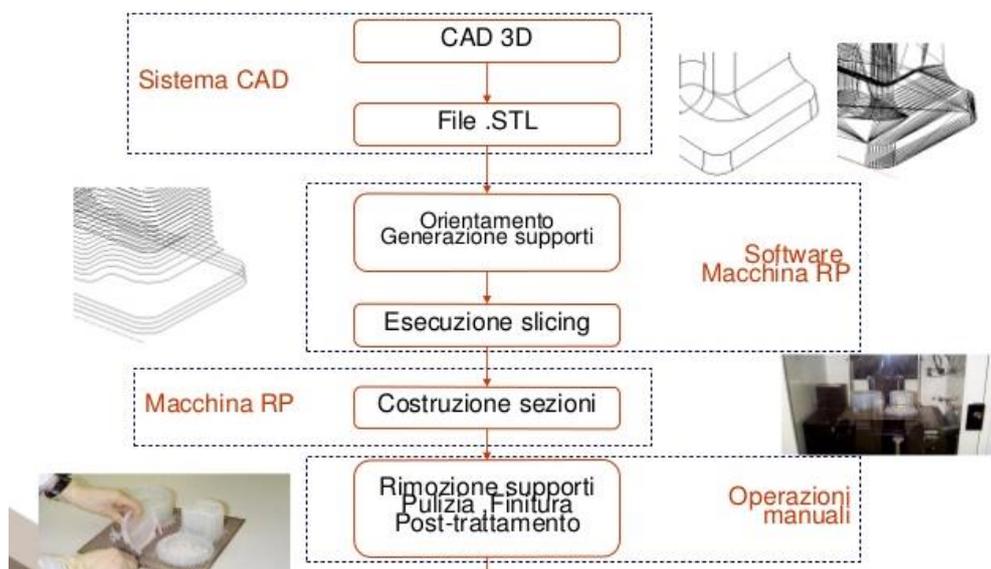
vuoti consentono di avere un vantaggio in termini di peso. Bisogna tenere in considerazione che l'additive manufacturing necessita di particolari accortezze in fase di progettazione, ad esempio la necessità di materiale di supporto pone alcune limitazioni alle forme da realizzare oppure bisogna considerare che l'accuratezza di alcune tecnologie è limitata e non consente di realizzare oggetti con piccole tolleranze dimensionali. Tenendo a mente queste considerazioni è possibile ottenere un progetto CAD funzionale ed ottimizzato per la realizzazione del prodotto tramite stampa 3D. Oggi la generazione del modello può avvenire anche tramite una serie di scanner 3D che partendo da un modello reale, generano un file digitale identico al modello stesso da riprodurre. Il modello matematico tridimensionale digitale realizzato in un sistema CAD è la prima fase. Segue poi la conversione del modello in un file di linguaggio standard denominato Standard Triangulation Language (STL); tale conversione può essere ottenuta dallo stesso software utilizzato per realizzare il modello CAD. Un file .stl (Figura 5) (Manmadhachary, Ravi, & Krishnanand, 2016) rappresenta l'oggetto realizzato in CAD la cui superficie è stata discretizzata in triangoli, infatti il file consiste in una serie di coordinate X, Y e Z ripetute per ognuno dei vertici del triangolo associate ad un vettore normale alla superficie che ne descrive l'orientamento.



**Figura 5** (a) Mandibola umana (b) modello CAD ottenuto tramite scansione 3D (c) modello STL (Manmadhachary, Ravi, & Krishnanand, 2016)

Questo tipo di file risulta semplice da generare e processare ma presenta alcune criticità in quanto potrebbero essere necessari dei ritocchi eseguiti manualmente per sistemare errori avvenuti nella conversione. Esistono diversi formati di conversione ma senza dubbio quello STL è il più diffuso; questo funge da interfaccia tra il modello CAD ed il Software della stampante 3D che genera i supporti, se necessari, e permette di configurare i parametri produttivi in modo da ottimizzarli. La fase successiva viene definita "Slicing" e consiste nel

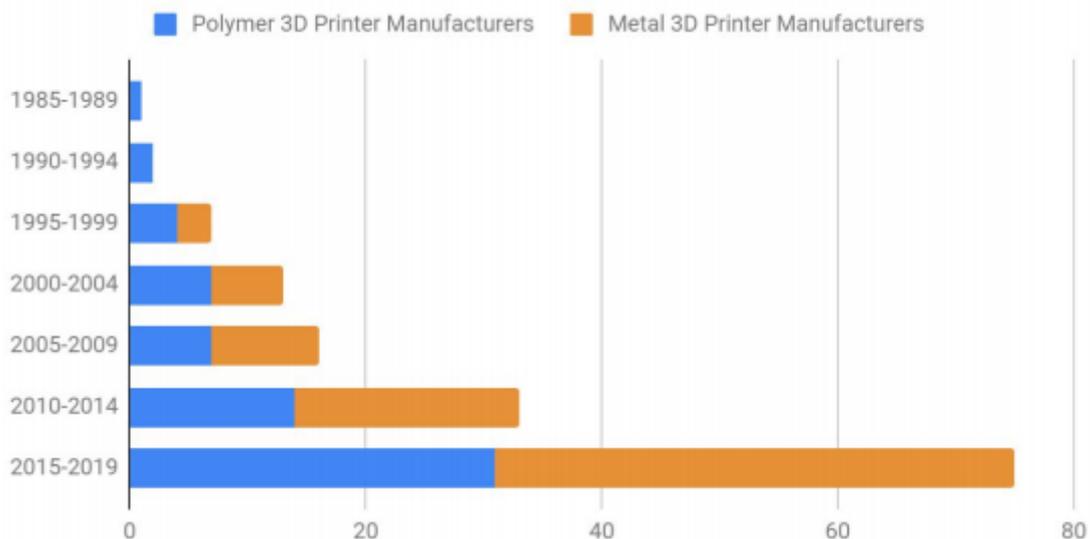
generare le diverse sezioni, i versi strati, che andranno ad essere stampati di volta in volta per realizzare il prodotto. Queste sezioni sono ottenute dall'intersezione di piani paralleli tra loro e perpendicolari rispetto alla base di lavoro, la distanza tra due piani successivi definisce quella che sarà la risoluzione che influenza la finitura superficiale del prodotto e dipende dal macchinario utilizzato. Inoltre, aumentando i livelli da realizzare andrà ad aumentare anche il tempo necessario per la produzione; anche l'orientamento dell'oggetto influisce su tempi e sulla finitura finale. Il file così generato può essere inviato tramite USB o Wi-Fi al macchinario che realizzerà il prodotto finito. Le modalità con le quali avviene la fase produttiva sono specifiche delle diverse tecniche di additive manufacturing, le cui caratteristiche principali verranno presentate successivamente. Terminata la fase di stampa seguono le fasi di post-processamento, queste sono più o meno lunghe a seconda del materiale utilizzato ed a seconda delle specifiche richieste nonché a seconda dell'uso a cui è destinato l'oggetto realizzato. I prodotti in metallo ad esempio necessitano di trattamenti termici per aumentarne le proprietà meccaniche, a questi possono susseguirsi anche successivi trattamenti di finitura superficiale. In ogni caso sono più o meno sempre necessarie la pulizia degli oggetti e la rimozione di eventuali supporti. Nella figura sottostante (Figura 6) vengono sintetizzate tutte le fasi necessarie alla realizzazione di un prodotto tramite additive manufacturing.



**Figura 6** Fasi di un processo additive manufacturing (Fonte: Progetto NFPF)

### 1.2.4 Principali tecniche

Esistono oggi diverse tecniche di produzione additiva e nel corso di questo paragrafo verranno presentate al lettore con una descrizione sintetica di quelli che sono i metodi di processo, le caratteristiche ed i principali vantaggi e criticità. Ogni tecnologia infatti ha i propri vincoli e le proprie peculiarità riguardanti i materiali utilizzati, il grado di finitura ottenibile ed i tempi e costi di realizzazione. Una prima macro-classificazione può essere effettuata prendendo in considerazione i materiali utilizzati; oggi è possibile stampare tramite additive manufacturing oggetti in metallo, in plastica, in materiale organico e in ceramica. Le applicazioni maggiori però riguardano i materiali polimerici ed i metalli, i secondi, negli ultimi 20 anni hanno subito una rapida crescita e sono divenuti oggi i materiali più utilizzati nel settore (Figura 7).

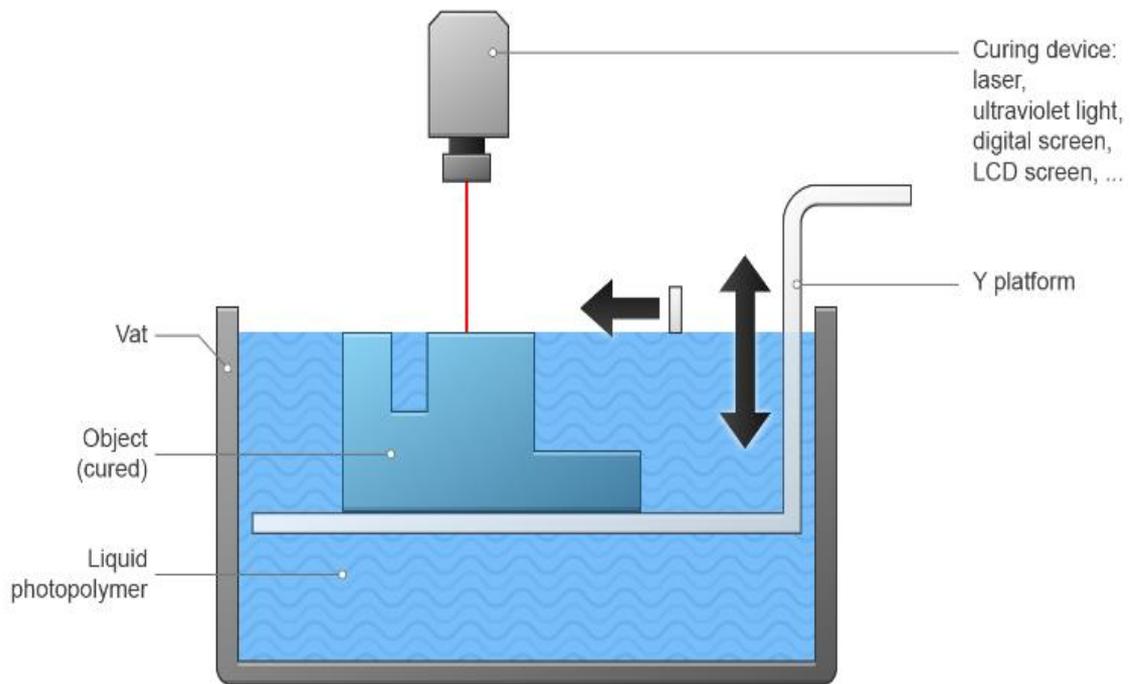


*Figura 7 Sviluppo del mercato dei materiali utilizzati per la stampa 3D (Fonte: AMFG The Additive Manufacturing Landscape 2019)*

### Fotopolimerizzazione

La fotopolimerizzazione è il principio su cui si basavano le prime applicazioni di additive manufacturing ed è anche il principio alla base di una serie di applicazioni moderno. Queste tecniche diverse si basano sullo stesso principio secondo cui un liquido o una resina fotosensibile, ovvero materiali dotati di una proprietà di mutare le proprie caratteristiche fisico chimiche alla luce, viene selettivamente solidificato da una fonte di calore o energia

(Figura 8). Strato dopo strato il prodotto viene realizzato seguendo questo principio. Le fonti da cui viene generata l'energia utilizzata a indurire il materiale fotosensibile sono diverse; le prime applicazioni utilizzavano laser mentre alcune applicazioni moderne utilizzano schermi LCD. Le principali tecniche che si basano su questa tecnologia sono la Stereolitografia (SLA o Stereolithography Apparatus), il Digital Light Processing (DLP) ed il Continuous Liquid Interface Production (CLIP).



**Figura 8** Processo di Fotopolimerizzazione (Fonte: Dassault Systèmes)

### ***Stereolitografia (SL)***

Questa tecnica prevede che la base su cui verrà realizzato l'oggetto è immersa nel liquido fotosensibile, il laser ultravioletto ha il compito di solidificare i vari strati che andranno a formare il prodotto finito. Per fare ciò la base si muove verticalmente, in alcune stampanti si alza mentre in altre si abbassa, al fine di consentire al raggio di solidificare lo strato successivo. Sono necessari dei supporti al fine di sorreggere delle parti del prodotto che a causa della forza di gravità potrebbero deformarsi. Il prodotto finito necessita di un bagno in una soluzione chimica al fine di rimuovere la resina in eccesso nonché è necessario un processo di essiccazione in un forno ultravioletto. Questa tecnologia viene utilizzata prevalentemente in fase di prototipazione grazie alla sua buona finitura ed alla rapidità con

cui può essere realizzato il prodotto. I materiali a disposizione sono vari ed includono anche polimeri flessibili, gomme e materiali trasparenti. Gli aspetti negativi di questa tecnologia sono legati al fatto che i materiali, essendo sensibili ai raggi UV, tendono col tempo a deteriorarsi ed a perdere le loro caratteristiche fisiche e meccaniche. Ciò rende impossibile utilizzare tale tecnica per la produzione in serie di oggetti finiti.

### ***Digital Light Processing (DLP)***

Questa tecnica è molto simile alla SL ma si differenzia da esse per la fonte di energia, infatti al posto di utilizzare un laser utilizza un proiettore di luce digitale che ha la funzione di solidificare il polimero fotosensibile. A differenza delle macchine stereolitografiche la stampanti 3D che utilizzano la DLP possono essere molto più economiche ma non raggiungono ancora gli elevati standard di precisione e qualità della SLA. Infatti, la finitura dell'oggetto dipende dalla risoluzione del proiettore di luce, ciò fa nascere l'esigenza di successive fasi di finitura come la sabbiatura. I vantaggi, le criticità e le applicazioni sono analoghe a quelle della Stereolitografia ma a questi si aggiunge che il processo è più veloce.

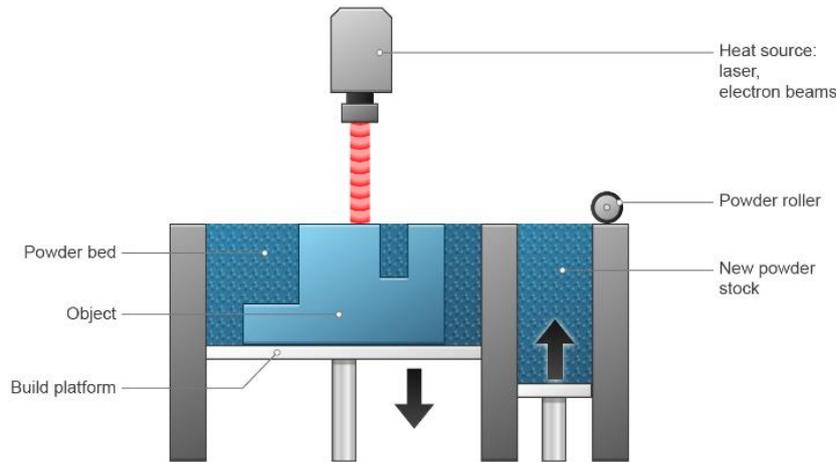
### ***Continuous Liquid Interface Production (CLIP)***

È una tecnica di proprietà dell'azienda Carbon in cui la base di lavoro è a contatto con il liquido fotosensibile contenuto in una vasca. Parte della base è trasparente ai raggi ultravioletti e ciò consente al proiettore digitale di creare una sequenza continua di immagini UV che attraversano la base e solidificano la resina. Il vantaggio principale di questa tecnica è che si tratta di un processo continuo che permette di non creare alcuno strato visibile nel prodotto finito, permettendo così di avere un livello di dettaglio molto elevato. Inoltre, si tratta di un processo molto più veloce degli altri precedentemente presentati ma che presenta una capacità produttiva limitata.

### ***Powder bed fusion (fusione a letto di polveri)***

Questo insieme di tecniche sfruttano una fonte di calore, principalmente laser o a fascio di elettroni, per fondere strati particelle in polvere in modo da realizzare il prodotto finito (Figura 9). Le polveri utilizzate possono essere sia polimeriche e sia metalliche. Questo gruppo di tecniche produttive permette di realizzare, con una tolleranza molto bassa ed un'ottima finitura superficiale, una serie di geometrie complesse anche senza l'utilizzo di supporti, in quanto il letto di polveri funge da supporto, lasciando così ampi margini in fase

di progettazione. Inoltre, è possibile realizzare grandi volumi di prodotti, specialmente quelli in materiale plastico, destinati alla commercializzazione.

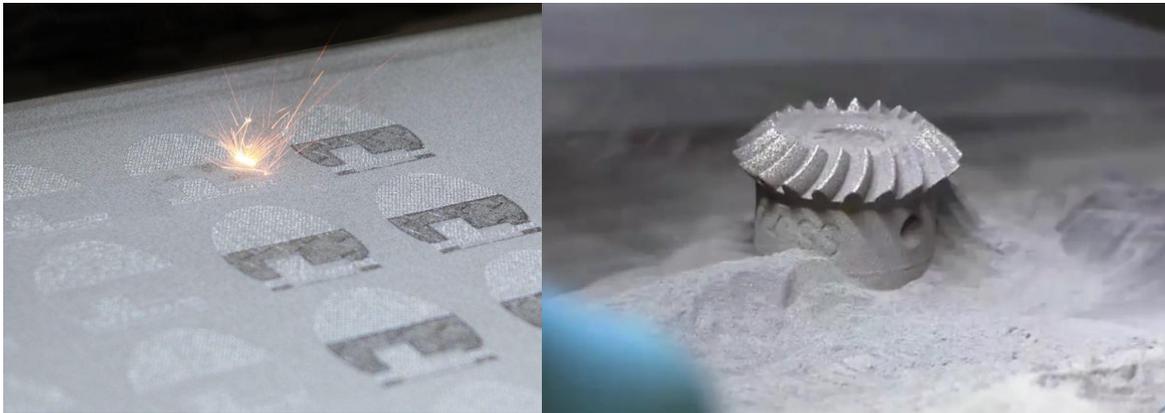


**Figura 9** Processo di Fusione a letto di polveri (Fonte: Dassault Systèmes)

### ***Sinterizzazione Laser Selettiva (SLS o Selective Laser Sintering)***

Il processo si basa sull'utilizzo di una laser per sinterizzare o fondere materiale in forma di polvere al fine di creare, strato dopo strato, il prodotto finito. Si parte dalla deposizione di uno strato di polvere su di una base di lavoro, ciò avviene anche per mezzo di una spatola che consente di livellare l'altezza del materiale. Una sorgente laser traccia sullo strato di polvere la sezione, o la "fetta", dell'oggetto in modo tale da fondere e solidificare le particelle. Realizzato lo strato il processo può ripetersi in modo iterativo fino al completamento del prodotto, ovvero la base scende di livello e viene alimentata con un nuovo strato di polveri da sinterizzare. Il prodotto finito si trova poi immerso nella polvere e necessita di essere rimosso e pulito tramite aria compressa (Figura 10); buona parte delle polveri non utilizzate possono essere riutilizzate per altre produzioni riducendo così gli scarti produttivi. Il letto di polveri deve essere mantenuto a temperature elevate affinché il processo di sinterizzazione avvenga correttamente, ciò implica la necessità di una fase di raffreddamento al termina della realizzazione di un lotto. Inoltre, la camera di produzione stessa deve essere riempita di Azoto al fine di evitare l'ossidazione delle polveri che potrebbe inficiare la corretta realizzazione del lotto. I principali materiali utilizzati sono polimeri, in particolar modo poliammidi (Nylon), o Alumide un mix di polveri di alluminio e poliammidi. Tra i principali vantaggi di tale tecnica si ha la possibilità di realizzare prototipi in materiale termoplastico destinati all'utilizzo finale, la grande produttività e la possibilità

di realizzare forme complesse. Vi è inoltre la possibilità di aggiungere nuovi componenti da realizzare a lavorazione già avviata, assicurando così notevole flessibilità. Tra i limiti di tale tecnologia si riscontrano la necessità di pulire i prodotti in modo tale da eliminare la polvere in eccesso ed il costo dei materiali utilizzati.



*Figura 10 A sinistra la sinterizzazione di uno strato mentre a destra il prodotto finito nella camera di produzione (Fonte: EOS GmbH)*

### ***Fusione Laser Selettiva (SLM o Selective Laser Melting)***

Questa tecnica, spesso chiamata anche Direct Metal Laser Sintering (DMLS) per ragioni storiche legate alle aziende creatrici delle apparecchiature, è del tutto simile al SLS ma riguarda la realizzazione di oggetti in metallo. Il processo prevede le stesse fasi del SLS. La tecnologia SLM consente la fusione della polvere di metallo per cui è possibile usare materiali di un singolo tipo come l'alluminio mentre il DMLS consente la sinterizzazioni di polveri di leghe di acciaio o titanio. Alcune strutture di supporto potrebbero essere necessarie al fine di ridurre lo stress residuo nel prodotto finito. Questa tecnica permette la realizzazione di oggetti in alternativa ai processi tradizionali di deformazione plastica e di fonderia, inoltre date le peculiarità specifiche è possibile ottenere proprietà meccaniche migliore rispetto ai processi tradizionali. Lo sbalzo termico a cui sono sottoposte le polveri può rendere necessari dei trattamenti termici successivi volti ad eliminare le tensioni residue all'interno del pezzo. Tramite SLM possono essere realizzati prodotti con proprietà tali da renderli utilizzabili in diversi settori come ad esempio quello aerospaziale, quello manifatturiero o quello medico. I vantaggi sono legati al fatto di poter realizzare prodotti funzionali anche di grande dimensione ed al fatto che buona parte delle polveri possono essere riutilizzate. Gli aspetti critici sono legati allo stress termico che subiscono i prodotti e che rende necessario

trattamenti termici successivi. Inoltre, la rimozione di eventuali strutture di supporto richiede ulteriori lavorazioni meccaniche di taglio e finitura superficiale.

### ***Fusione a fascio di elettroni (EBM o Electron Beam Melting)***

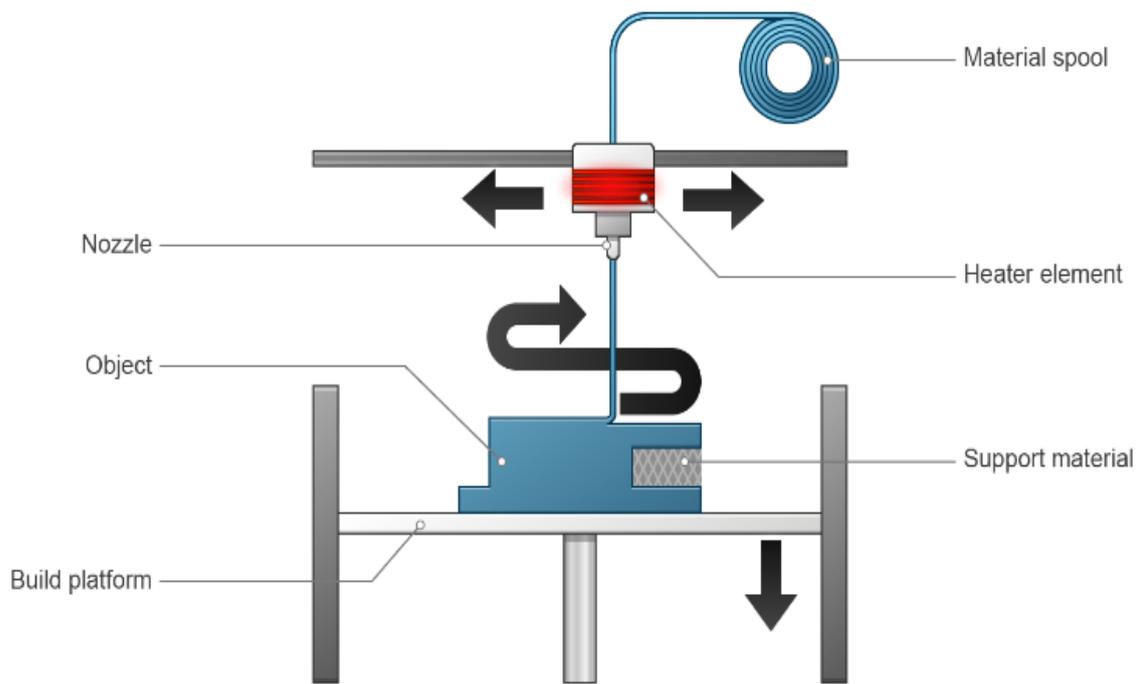
Questa tecnica, come quella SLM, porta alla completa fusione delle polveri solo che in questo caso ciò non avviene per mezzo di un laser ma tramite un fascio opportunamente concentrato e accelerato di elettroni. Allo stato attuale è possibile utilizzare un limitato numero di materiali, prevalentemente leghe di titanio utilizzate in ambito medico per la creazione di protesi su misura o leghe cromo-cobalto. Le proprietà meccaniche delle parti realizzate in tale tecnica sono buone, soprattutto per quel che riguarda la durezza e la resistenza, in ogni caso però sono necessari alcuni trattamenti termici successivi.

### ***Multi-Jet Fusion (MJF)***

Questa tecnica, anche essa basata su polveri, non impiega alcun laser infatti il letto di polvere viene riscaldato in modo uniforme e successivamente viene depositato un agente di fusione nei punti in cui è necessario fondere selettivamente le particelle. Viene anche depositato un agente di rifinitura ai contorni, per migliorare la risoluzione delle parti. Il processo poi continua ricoprendo lo strato con un nuovo livello di polvere. La caratteristica principale di questo processo è la velocità di produzione che è superiore rispetto alle altre tecniche presentate in precedenza, mentre i materiali utilizzabili sono ad oggi ancora limitati dato che si tratta di una tecnologia nata da poco tempo.

### ***Modellazione a deposizione fusa***

La Fused Deposition Modelling (FDM), denominata anche Fused Filament Fabrication (FFF), è la tecnica più conosciuta ed economica per realizzare oggetti tramite additive manufacturing, è inoltre applicata nella maggior parte delle stampanti desktop commercializzate. Un filamento plastico o un filo metallico viene srotolato da una bobina, che fornisce il materiale ad un ugello di estrusione, con il quale è possibile gestire il flusso. L'ugello è riscaldato per poter sciogliere il materiale e permettere così la deposizione dello strato volto a realizzare il prodotto (Figura 11).

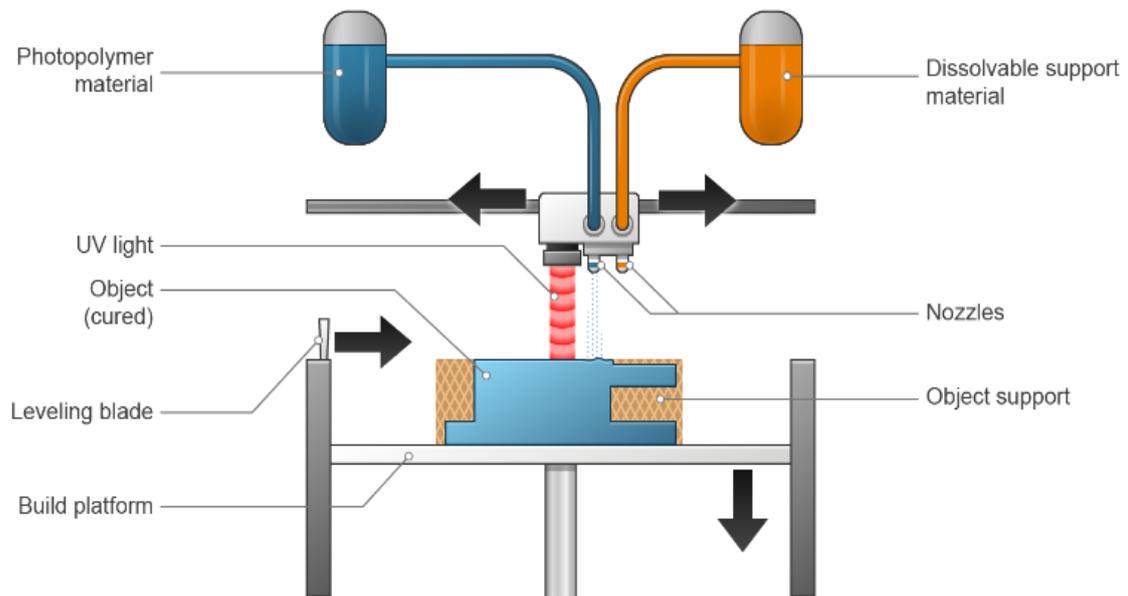


**Figura 11** Processo di Modellazione a deposizione fusa (Fonte: Dassault Systèmes)

Tale tecnica, seppure abbia il vantaggio di essere relativamente economica ed accessibile, ha il grande svantaggio di realizzare prodotti fortemente anisotropi e dalla scarsa finitura. Una grande varietà di materiali polimerici possono essere utilizzati tra cui l'acrilonitrile butadiene stirene (ABS), il policarbonato (PC), il polistirene (PS) e il poliammide (PA); possono essere anche utilizzate paste ceramiche, di cemento o cioccolato. La possibilità di installare più ugelli sulla stessa stampante consente di aumentare la velocità di realizzazione del prodotto ma anche di utilizzare più materiali contemporaneamente per ottenere compositi dalle proprietà meccaniche migliori. Le principali applicazioni di tale tecnologia riguardano la prototipazione, l'hobbistica e la realizzazione di piccole serie di prodotti. Un'ulteriore caratteristica è legata alla semplicità del processo che non presenta particolari rischi legati alla sicurezza degli utilizzatori; mentre propria la natura del processo non consente di sfruttare al massimo il volume di lavoro in quanto non è possibile realizzare più unità sovrapposte.

## ***Material Jetting***

La tecnica Material Jetting (MJ) è forse la tecnica che più si avvicina al processo di stampa tradizionale, infatti una testina spruzza sottili strati di foto polimero liquido che vengono istantaneamente solidificati da una lampade a raggi UV. Dopo che si è formato il primo strato, la piattaforma scende e vengono costruiti i livelli successivi fino alla creazione dell'oggetto finale (Figura 12).

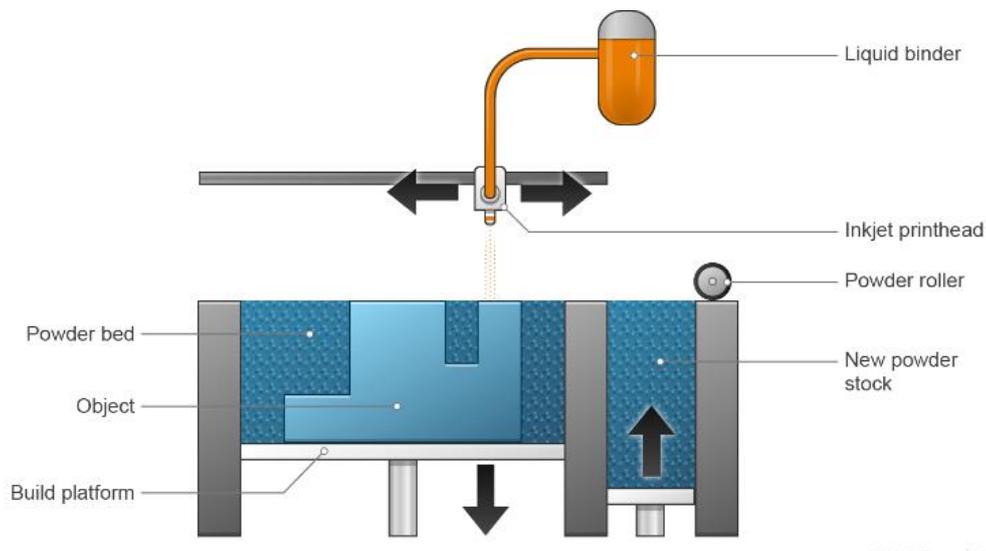


***Figura 12*** Processo di Material Jetting (Fonte: Dassault Systèmes)

Può esserci la necessità di realizzare strutture di supporto, in genere in materiale solubile in acqua o in soluzioni particolari, che poi verranno rimosse immergendo il prodotto nella soluzione. Diversi materiali possono essere utilizzati, anche più alla volta sfruttando più testine di stampa. I vantaggi di tale tecnica sono legati alla possibilità di ottenere un ottimo grado di finitura ed alla possibilità di usare colori diversi e materiali diversi contemporaneamente. I limiti invece sono dovuti all'utilizzo di materiali fotosensibili che perdono le proprietà meccaniche con il tempo. Gli sviluppi di tale tecnologia hanno consentito di utilizzare particelle di dimensioni sempre minori fino ad utilizzare nanoparticelle di metalli nel NanoParticle Jetting (NPJ).

### ***Binder Jetting (getto legante)***

La tecnica di stampa 3D Binder Jetting prevede la deposizione di un agente legante su sottili strati di materiale in polvere che può essere a base ceramica (vetro o gesso) o metallica. Durante il processo la testina di stampa 3D si sposta sulla piattaforma di costruzione depositando goccioline di legante, stampando ogni strato in modo simile alle stampanti tradizionali. Quando uno strato è completo, il letto di polvere si sposta verso il basso e un nuovo strato di polvere viene distribuito nell'area di costruzione. Il processo viene ripetuto strato per strato fino al completamento di tutte le parti (Figura 13).

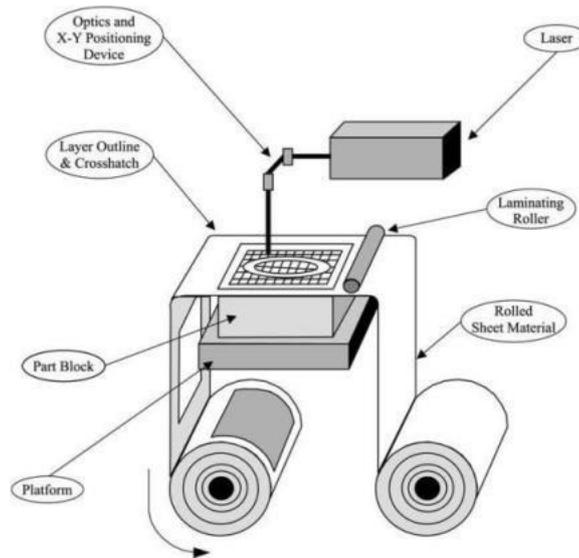


**Figura 13** Processo di Binder Jetting (Fonte: Dassault Systèmes)

Ulteriori trattamenti sono necessari per l'aumento delle proprietà meccaniche del prodotto come ad esempio possono essere effettuate delle infiltrazioni con adesivi o bronzo per rendere la parti più resistenti oppure si possono effettuare successi trattamenti termici. Questa caratteristica non lo rende particolarmente adatto alla realizzazione di applicazioni funzionali mentre la possibilità di usare materiali contemporaneamente materiali di colore diverso lo rende appetibile per applicazioni estetiche. Le parti sono più convenienti delle parti metalliche realizzate con SLM o DMLS in quanto non vi sono laser ma hanno proprietà meccaniche più scarse perché i grani dei materiali non si fondono completamente.

### ***Fogli laminati***

Questa tecnica, nota anche come Laminated Object Manufacturing (LOM), consiste nel sovrapporre diversi strati di materiale composto da lamine per produrre il pezzo finito. Vengono generalmente utilizzati rotoli di materiale con rivestimento adesivo, il materiale viene tagliato secondo la forma desiderata con un laser o con una lama e viene pressato sullo strato precedente e così via fino a creare il prodotto (Figura 14)

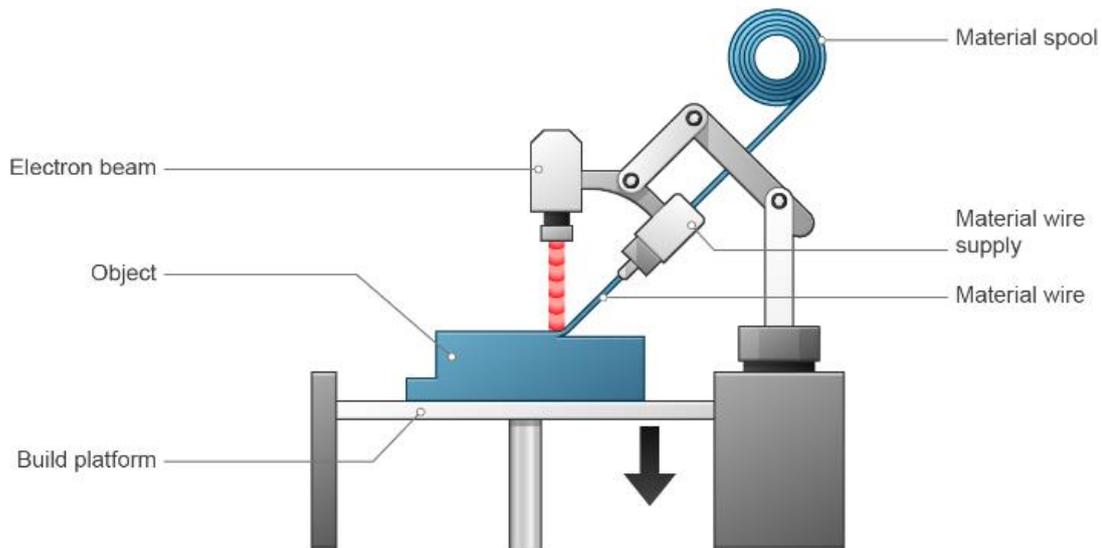


**Figura 14** Processo LOM (Fonte: [www.canadamakes.ca](http://www.canadamakes.ca))

Il principale materiale utilizzato in queste applicazioni è la carta ma possono anche essere utilizzati laminati in materiale polimerico, mentre non è possibile utilizzare materia metallici a causa della difficoltà nel tagliarli. Le applicazioni di tale tecnica sono per lo più per fini estetici.

### ***Deposizione diretta***

Le tecniche a deposizione diretta, o Directed Energy Deposition (DED), realizzano il prodotto fondendo materiale metallico, in forma di polvere o filo, tramite una fonte di calore concentrata (fascio di elettroni, laser o arco elettrico) mentre questo viene depositato in un punto preciso. L'ugello di deposizione, a ciascun passaggio, segue la forma da realizzare similmente a quanto avviene con le tecniche di modellazione a deposizione fusa (Figura 15).



**Figura 15** Processo a Deposizione diretta (Fonte: Dassault Systèmes)

Questo processo è principalmente usato per riparare o modificare pezzi esistenti di grande dimensione tramite la deposizione di nuovi strati di materiale; ciò avviene in particolar modo per le pale di turbine o eliche dato che tale tecnologia può essere installata in combinazione ad utensili a controllo numerico tradizionali. La deposizione deve avvenire in atmosfera controllata tramite argon dato che l'ossigeno potrebbe inficiare l'adesione dei livelli e le proprietà del prodotto. Al contrario della tecnica SLM la polvere metallica viene applicata solo dove necessario. A seconda dell'azienda proprietaria del brevetto e dalla specifica applicazione si distinguono diverse tecnologie appartenenti a questa classe. Le più rilevanti ed interessanti sono la tecnologia LENS di Optomec e quella Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) di Sciaky. I metalli possono essere stampati con le tecniche DED e comprendono in particolare alluminio, rame, titanio, acciaio inossidabile, acciaio per utensili, leghe di rame e nichel e diverse leghe di acciaio. Gli aspetti critici di tale tecnica sono legati al basso livello di finitura superficiale ottenuto a causa dello spessore dello strato che si deposita di volta in volta e che fa sì che successive lavorazioni meccaniche siano necessarie.

Nella figura sottostante (Figura 16) vengono sintetizzate le tecniche analizzate in relazione alla tipologia di materiale che può essere adottato nella realizzazione dei prodotti.

	Material extrusion	Material jetting	Binder jetting	Vat photopolymerization	Sheet lamination	Powder bed fusion	Directed energy deposition
Polymers and polymer blends	x	x	x	x	x	x	
Composites		x	x	x		x	
Metals		x	x		x	x	x
Graded/hybrid metals					x		x
Ceramics			x	x		x	
Investment casting patterns		x	x	x		x	
Sand molds and cores	x		x			x	
Paper					x		

**Figura 16** Sintesi tecniche e materiali utilizzabili (Fonte: Wohlers Report 2012)

### 1.2.5 Proprietà

Dopo aver presentato brevemente le principali tecniche ci si concentra ora sull'individuazione delle principali peculiarità e caratteristiche dell'additive manufacturing, soprattutto riguardanti gli aspetti tecnologici. Ricercatori e professionisti del settore si sono concentrati negli anni ad individuare i vantaggi ottenibili tramite questo nuovo paradigma produttivo spesso in confronto con i metodi tradizionali di produzione. La produzione additiva consente la realizzazione di prodotto senza la necessità di utilizzare stampi o forme, riducendo in questo modo gli investimenti necessari e rendendo economicamente vantaggioso produrre piccoli lotti e piccole serie. Il costo di realizzazione di nuovi stampi per le tecniche di stampaggio classiche è molto rilevante ed ha un impatto elevato su quelli che sono i costi di produzione per questo per alcune particolari applicazione e per una quantità di prodotti media l'additive manufacturing potrebbe presentare dei costi di produzione inferiori a quelli standard (Atzeni & Salmi, Economics of additive manufacturing for end-useable metal parts, 2012). Si potrebbero ridurre, data l'assenza di stampi e il non utilizzo di diverse metodologie produttive, anche gli spazi fisici destinati alla produzione che potrebbero essere destinati ad altre attività a valore aggiunto (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010). L'utilizzare la stampa 3D potrebbe abbassare le barriere di ingresso nel mercato favorendo così l'ingresso di nuovi attori e l'aumento della concorrenza (Weller, Kleer, & Piller, 2015). Il non essere legati ai vincoli dei processi tradizionali consente di ottenere una libertà quasi totale riguardo il design e le forme di progettazione e realizzazione dei prodotti, specialmente per quel che riguarda le strutture interne. Ciò consente di ottenere una serie di vantaggi, in termini di peso, di resistenza, di applicazione

funzionale e di dissipazione del calore che permetterebbero ai prodotti di ottenere prestazioni maggiori nel loro ciclo vita rispetto agli stessi prodotti con tecniche classiche (Huang et al., 2017) (Huang et al., Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components, 2016). La maggiore complessità nelle geometrie può essere ottenuta senza una maggiorazione di quelli che sono i normali costi di produzione. L'additive manufacturing presenta anche una grande automazione nella fase di realizzazione del prodotto, ed oggi sono in sperimentazioni per aumentare questa caratteristica anche nelle fasi di lavorazione successive. Ciò consente di ridurre i costi legati alla manodopera favorendo così la rilocalizzazione delle attività produttive dai paesi asiatici ai paesi occidentali (Achillas, Aidonis, Iakovou, Thymianidis, & Tzetzis, 2015). Inoltre, è possibile ottenere la personalizzazione dei prodotti su larga scala secondo le richieste di ogni singolo cliente senza dover realizzare nuovi stampi o nuovi modelli. Vengono eliminati in questo modo anche la maggior parte dei tempi di riattrezzaggio e di set up necessari a cambiare la produzione. Ciò rende fattibile ed anche più rapida la realizzazione di prodotti personalizzati dato che è anche relativamente semplice andare a modificare i modelli CAD per adattarli alle diverse esigenze. Ciò rende questo metodo perfetto, e per questo largamente adottato, per la realizzazione di prototipi e pre-serie al fine di valutarne le caratteristiche. Si può ridurre così anche il time to market di nuove linee di prodotto appositamente sviluppate accelerando così il processo di innovazione e sviluppo (Oettmeier & Hofmann, 2016). Questi aspetti tecnologici se sommati consentirebbero di ridurre anche le scorte fisiche di prodotti finiti e semilavorati (Ghadge, Karantoni, Chaudhuri, & Srinivasan, 2018), spesso infatti con le tecniche tradizionali si ha sovrapproduzione poiché si tende ad aumentare il numero di prodotti al fine di ridurre i costi di produzione unitari (Holmström & Gutowski, Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities?, 2017). Nell'additive manufacturing invece i costi di produzione sono quasi totalmente costanti ed indipendenti dalle quantità prodotte (Hopkinson & Dickens, 2003) per cui è possibile ottenere economicamente una produzione make to order. Ciò sommato all'eliminazione di alcuni livelli della catena ed alla semplificazione dei componenti utilizzati consentirebbe di semplificare molto gli aspetti logistici legati alla realizzazione di un prodotto. La natura additiva del processo consentirebbe inoltre di ridurre anche la quantità di materia prima necessaria per la produzione ed il tasso di scarti e sfridi; infatti buona parte del materiale non utilizzato può essere riciclato ed impiegato in produzioni successive. Ciò risulta particolarmente rilevante per la realizzazione di oggetti in metallo (Carroll et al., 2006). Il non essere legati dai vincoli

dei processi tradizionali consentirebbe la decentralizzazione delle attività produttive in modo renderle sempre più vicine al cliente finale, il caso estremo di tale ipotesi prevederebbe il cliente come produttore diventando così “prosumer” e non più un semplice consumatore (Bogers, Hadar, & Bilberg, 2016). Ad esempio, molti studi hanno analizzato la possibilità di produrre ricambi per aerei direttamente negli hangar in cui viene effettuata la manutenzione rendendo così la gestione degli stessi più semplice ed economica in quanto non vi è la necessità di avere scorte fisiche e si può raggiungere più rapidamente il cliente evitando costosi fermi macchina (Khajavi, Holmström, & Partanen, 2018). Un altro importante vantaggio dell’additive manufacturing riguarda la possibilità di consolidare prodotto composti da diversi componenti in un solo prodotto finito dal design rivisto che ingloba giunzioni e punti di ancoraggio (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) (Holmström & Gutowski, Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities?, 2017). Questo consente sia di ridurre i costi legati agli aspetti produttivi dei diversi componenti nonché quelli legati alle fasi di assemblaggio che spesso sono svolte a mano. Importante è anche in questo caso la riduzione delle criticità di gestione e logistica legate al doversi rifornire di una grande quantità di componenti. Tutti questi aspetti possono influenzare positivamente anche l’efficienza ambientale riducendo l’energia necessaria alla produzione, riducendo le emissioni legate ai trasporti e migliorando l’efficienza dei prodotti durante il loro ciclo vita (Li, Jia, Cheng, & Hu, 2017).

### ***1.2.6 Criticità e limitazioni***

Nonostante l’additive manufacturing presenti una serie di vantaggi, nel corso degli anni sono emerse una serie di criticità e limitazioni legate all’adozione di tale tecnologia. Si parte innanzi tutto dalle limitazioni legate ai materiali disponibili, non tutti i materiali tradizionali possono essere processati per stampa 3D. Qualora lo fossero non è detto che rispettino gli standard di qualità e sicurezza necessari ed ottenibili tramite le tecniche tradizionali; alcuni prodotti realizzati tramite additive manufacturing ad esempio non presentano le stesse proprietà meccaniche e di resistenza in fase di utilizzo di quelli realizzati tramite altri processi. Spesso ciò è dovuto anche all’anisotropia di molti processi di produzione additiva (Das, Ranganathan, & Murugan, 2018). Vi sono poi limitazioni riguardanti i colori utilizzabili che sono spesso limitati o comunque non è possibile realizzare prodotto multicolore se non tramite verniciature successive (Ituarte, Khajavi, & Partanen, 2016). Ci

sono anche limitazioni legate alle dimensioni degli oggetti da realizzare dovute limitatezza delle aree di lavoro delle stampanti. Lavorazioni e trattamenti successivi potrebbero essere necessari per ottenere una finitura superficiale adeguata o per migliorare le caratteristiche del prodotto. A questo si aggiunge il fatto che in alcuni casi la ripetibilità del processo di additive manufacturing non è garantita per cui bisogna porre particolarmente attenzione alla qualità dei prodotti realizzati in quanto questa potrebbe essere differente di lotto in lotto. Un altro aspetto critico dei processi di stampa 3D è la velocità di produzione, questa è una chiave fondamentale nello sviluppo di tale tecnologia e nella sua applicabilità per la produzione di pezzi finiti e non solo di prototipi. Ciò è particolarmente evidente se si intende realizzare oggetti di grandi dimensioni (Attaran, 2017). Sebbene in alcuni casi l'additive manufacturing sia più rapido delle tecniche tradizionali in altri potrebbero essere necessarie ore se non giorni per completare la produzione. Sono in corso una serie di studi su metodologie di design e di impostazione dei parametri di stampa, nonché studi su come migliorare i macchinari, che nel corso degli anni hanno consentito di ridurre e consentiranno di farlo ancora, il tempo di produzione. Critici sono anche i costi legati all'adozione di questa nuova tecnica produttiva, il costo elevato delle stampanti potrebbe costituire una barriera di ingresso per molti player. Nonostante questo, i costi, grazie allo sviluppo di nuove tecnologie, vanno via via diminuendo. Un altro svantaggio economico legato all'additive manufacturing si presenta nel costo delle materie prime, spesso queste sono sviluppate specificatamente per la produzione additiva e vengono esclusivamente vendute dai produttori di macchinari. Ciò fa sì che il costo delle stesse sia molto maggiore rispetto all'equivalente materia prima utilizzata nei processi tradizionali (Covert, 2014). La concorrenza dei produttori, il rendere "open source" i macchinari e lo sviluppo tecnologico stanno favorendo negli ultimi anni un abbattimento dei costi delle polveri e dei filamenti per additive manufacturing (Dawes, Bowerman, & Trepleton, 2015). Inoltre, il fatto che la maggior parte di tale materiali possa essere riutilizzato e l'assenza di sprechi in fase di produzione aiutano a ridurre l'incidenza di tali costi. Il fattore costo dei macchinari ed il fattore costo delle materie prime impattano direttamente sui costi di produzione, se a ciò si aggiunge la quasi totale assenza di economie di scala si scopre subito che per alcune applicazioni il costo di realizzazione tramite additive manufacturing potrebbe essere maggiore di quello standard (Achillas, Tzetzis, & Raimondo, 2017). Gli sviluppi auspicati precedentemente e gli impatti positivi su altre funzioni aziendali (come la logistica, i trasporti, la gestione dei processi) potrebbero rendere lo stesso più vantaggioso utilizzare la stampa 3D nonostante il mero costo di produzione si maggiore in quanto si hanno altri

vantaggi economici che lo compensano. Un altro aspetto critico riguarda la manodopera necessarie, in particolar modo l'additive manufacturing necessita di figure professionali specializzate nel design e nella produzione. Questo potrebbe contribuire all'aumento dei costi se non si considera il fatto che il processo produttivo, essendo automatizzato, non necessita della supervisione di un operatore. Inoltre, i nuovi design potrebbero consentire di eliminare successive fasi di montaggio e assemblaggio riducendo così i costi legati alla manodopera (Achillas, Aidonis, Iakovou, Thymianidis, & Tzetzis, 2015). Altre criticità riguardano anche la regolamentazione (Attaran, 2017), che non è sempre così rapida da poter seguire gli sviluppi tecnologici, e i diritti di proprietà. La possibilità di poter realizzare qualsiasi prodotto fa nascere problemi legati al copyright ed alla proprietà intellettuale sui beni realizzati. Nonostante queste criticità e limitazioni i progressi nel settore della stampa 3D sono molti e rapidi consento di ridurre tali aspetti, testimonianza ne è il fatto che sempre più aziende adottano tale tecnologia come mostra la crescita del mercato e le sue aspettative future.

### ***1.3 SUPPLY CHAIN TRADIZIONALI: STRUTTURA E CRITICITÀ***

Come detto la supply chain è un insieme di entità aziendali che ha come obiettivo quello di fornire un servizio o un prodotto al cliente finale. Le figure che possono prendere parte a tale attività possono essere diverse, i "nodi" della rete logistica possono essere molto numerosi; infatti oggi si utilizza spesso il termine "long supply chain" per sottolineare la complessità delle nuove reti logistiche (Jain & Benyoucef, 2008). Vi è la necessità di realizzare una serie di "flussi" paralleli sia fisici che informatici e finanziari al fine di assicurare il giusto prodotto, nella quantità richiesta, nel giusto posto, nel giusto tempo ed al minor costo possibile. Per questa ragione non esiste una struttura standard della supply chain che si adatti a tutte le esigenze, ma ognuna si adatta per rispecchiare la strategia aziendale. In genere però sono sempre presenti alcune figure (Figura 17), tra queste vi è uno o più fornitori per i componenti necessari a realizzare il prodotto, poi vi è il produttore che si occupa di realizzare il prodotto assemblando i componenti acquistati, poi vi è una rete di distribuzione ed infine vi è il cliente.



**Figura 17** Esempio di supply chain (Fonte: *Supply Chain, Blockchain & IoT — AnyLedger use case spotlight*)

Questa struttura, così complessa, deve far fronte ad una serie di fattori ed a una serie di sfide che ne minano il corretto funzionamento. Le più grandi e le più strategiche partono dal mercato che negli ultimi anni ha visto una progressiva crescita di quelle che sono le esigenze dei clienti dovuta anche allo sviluppo di internet e dell'e-commerce. La necessità di raggiungere il cliente in tempo rapido ed in ogni luogo ha minato la stabilità delle supply chain tradizionali che spesso non sono in grado di rispondere a queste esigenze in maniera efficiente. Il fatto poi che le abitudini dei clienti siano in rapido cambiamento e la necessità di differenziazione fanno sì che vi sia la continua nascita di nuovi prodotti che vanno ad aggiungersi a quelli già esistenti rendendo, insieme all'andamento variabile domanda, sempre più difficile la gestione delle previsioni e dei magazzini. Ciò aumenta la necessità di introdurre nuovi prodotti sul mercato e questo deve avvenire in maniera rapida ed economica. In molti casi vi è anche la necessità che tali prodotti vengano personalizzati per rispondere alle esigenze dei clienti. Nasce così il concetto di supply chain "agile", ovvero che deve adattarsi rapidamente alle mutazioni del mercato; l'agilità diventa un fattore cruciale per il raggiungimento degli obiettivi strategici aziendali se non addirittura una necessità per la sopravvivenza della supply chain stessa (Vastag, Kasarda, & Boone, 1994). Se a questo aggiungiamo anche il contesto competitivo in cui sono costrette ad operare le moderne supply chain è chiaro che un altro fattore importante riguarda l'ottenere gli obiettivi al minore costo possibile. Poiché la supply chain è una struttura composta da molte entità, spesso tra loro molto diverse e con obiettivi distinti, un altro fattore critico riguarda la cooperazione tra le figure all'interno della stessa. Spesso possono esserci dei conflitti che

possono generare inefficienze, infatti se ognuno si concentra sui propri interessi non si raggiungerà mai l'ottimo globale. La fiducia, intesa come trust, è forse il primo aspetto che deve nascere affinché si possa iniziare una collaborazione; deve crearsi poi una rete di scambio di informazioni che permetta di avere visibilità su tutte le fasi che avvengono nella supply chain. La mancanza di visibilità infatti crea una sbagliata pianificazione della produzione e degli ordini nonché alti costi di distribuzione ed inefficienze. Il non avere a disposizione informazioni sulla vera domanda finale, in aggiunta al numero elevato di livelli che formano la catena, fa sì che queste si basino su previsioni, spesso sbagliate. L'esempio più lampante di questo fenomeno è l'Effetto Bullwhip, o effetto Forrester (Forrester, 1997), che mostra come in mancanza di scambio di informazioni le inefficienze si propaghino in tutta la supply chain. Per raggiungere una corretta cooperazione diventano quindi indispensabili una serie di strumenti tecnologici che possano essere adottati da tutti gli attori all'interno della filiera. Nonostante oggi si abbiano le possibilità per creare una supply chain cooperativa, spesso le aziende preferiscono operare ottimizzando solo i propri interessi. Vi sono poi una serie di sfide operative che hanno come obiettivo primario quello di aumentare l'efficienza e l'efficacia delle supply chain. Come detto il mercato richiede lead time di risposta sempre più rapidi e prezzi competitivi. Gli sprechi devono essere necessariamente eliminati e per fare questo si adatta la filosofia "Lean" alla supply chain con i suoi tool (TQM, TPM, 5S, value stream mapping). Diventa indispensabile quindi ridurre le quantità immagazzinate e produrre e rifornire solo quanto effettivamente necessario al mercato aspirando di ottenere una produzione Just in Time (JIT) aumentando la frequenza di rifornimento. Per far ciò però è necessaria anche una grande flessibilità dal punto di vista tecnologico che spesso non è possibile ottenere con i sistemi tradizionali; in aiuto possono venire nuovi paradigmi di produzione come appunto l'additive manufacturing. Un altro fattore critico delle attuali supply chain riguarda la localizzazione degli attori, oggi le catene sono spesso internazionali e presentano grandi distanze fisiche tra le varie entità. Basti pensare a quante attività produttive sono state date in outsourcing nel Far East. Ciò fa nascere grandi lead time di fornitura e variabilità nei tempi di consegna, che in aggiunta alle difficoltà nella previsione della domanda, possono creare grandi problemi alla stabilità della supply chain. I problemi di coordinazione presentati prima aumentano e ad essi si sommano una serie di criticità legate ad aspetti culturali e politici. L'outsourcing, che spesso si pensa possa essere una strategia di mitigazione del rischio, potrebbe invece far nascere nuove fonti di rischio che spesso sono sconosciute o su cui non si ha alcun potere. Riuscire a misurare correttamente le performance della supply chain può essere un ulteriore aspetto critico, la

difficoltà nell'identificare degli indicatori che siano facili da calcolare e di facile lettura può generare delle inefficienze dovute alla mancanza di monitoraggio di quelli che sono gli aspetti chiave per il successo della strategia (Beamon, 1999). La complessità delle moderne supply chain le rende spesso anche più vulnerabili a fattori esterni perturbanti e dirompenti (Christopher & Lee, Mitigating supply chain risk through improved confidence, 2004) come ad esempio guasti nella rete di comunicazione, eventi catastrofici, scioperi o mutamento della legislazione. Ciò è dovuto anche alla massiccia digitalizzazione che fa sì che i processi siano ormai dipendenti dai sistemi software che li gestiscono. Vi sono una serie di studi che cercano di analizzare e classificare le fonti di rischio che possono minacciare il corretto funzionamento di una supply chain (Heckmann, Comes, & Nickel, 2015). Uno degli attributi dunque che diventa indispensabile per la catena logistica è la “resilienza” intesa come la capacità di un sistema di adattarsi al cambiamento e di reagire positivamente ad eventi negativi come, ad esempio, fenomeni distruttivi. A tutto questo si somma la necessità che la supply chain sia sempre più sostenibile a livello ambientale, si parla proprio di green supply chain management (GSCM). L'imminenza e l'attenzione crescente a questo tema è mostrata anche dagli studi che a partire dal 2010 hanno subito una crescita esponenziale (Tseng, Islam, Karia, Fauzi, & Afrin, 2019). Inoltre, la maggior parte di tali pubblicazioni viene fatta in Cina, ciò mostra come siano proprio i paesi che hanno un impatto maggiore in termini di inquinamento a voler far qualcosa per migliorare la situazione.

#### ***1.4 SUPPLY CHAIN BASATE SULL'ADDITIVE MANUFACTURING***

L'analisi degli impatti dell'additive manufacturing sulla supply chain è un argomento di studi che nel corso degli ultimi anni è cresciuto molto; se in un primo momento i ricercatori si sono concentrati sugli aspetti produttivi con l'affermarsi del nuovo paradigma tecnologico è divenuto importante analizzare il suo impatto sulla catena logistica. Nel corso di questo paragrafo, a seguito di un'attenta analisi della letteratura scientifica sull'argomento, verranno presentati gli impatti della produzione additiva sulla supply chain. Il primo grande effetto riguarda la struttura dell'intera supply chain intesa come localizzazione e numero degli attori coinvolti nella fornitura di un prodotto. Innanzitutto, il numero dei livelli della catena logistica potrebbe ridursi, anche in maniera considerevole, a causa della riduzione dei componenti necessari alla realizzazione di un oggetto. Come già detto la libertà nel design permessa da questa tecnica produttiva favorisce il consolidamento degli assiemi, ovvero di quelli oggetti composti da più componenti. Il consolidamento e dunque l'eliminazione dei

componenti consentirebbe di eliminare dalla supply chain alcuni fornitori, ciò permetterebbe anche di semplificare le risorse destinate al coordinamento ed alla gestione della supply chain (Feldmann & Pumpe, 2017). La localizzazione dei siti produttivi che adottano l'additive manufacturing è un altro aspetto strutturale importante. Si passa da soluzioni più centralizzate che prevedono l'installazione dei macchinari all'interno degli attuali impianti produttivi a soluzioni più decentralizzate che avvicinano la produzione al cliente in modo tale da seguire meglio l'andamento della domanda reale e da ridurre le fasi di trasporto e immagazzinamento. Si potrebbe potenzialmente avere la nascita di un cliente-produttore che ha la possibilità di realizzare nella propria casa gli oggetti di cui ha bisogno; anche se ciò appare del tutto utopistico al giorno d'oggi. Studi mostrano che la soluzione centralizzata si adatta meglio a bassi livelli di domanda, ad alti livelli di variabilità e a lunghi lead time di produzione mentre la soluzione distribuita è più adeguata ad alti livelli di domanda stabile con tempi di produzione rapidi (Liu, Huang, Mokasdar, Zhou, & Hou, 2014). Poiché la flessibilità produttiva gioca un ruolo fondamentale nella flessibilità dell'intera supply chain (Jain & Benyoucef, 2008), e l'additive manufacturing è da molti considerata la tecnica produttiva più flessibile al momento (Eyers, Potter, Gosling, & Naim, 2018); è possibile, tramite essa, rendere l'intera catena logistica più agile e resiliente. Cambiano anche i modelli di business che diventano consumer-centric, ovvero il cliente viene messo al centro del processo di realizzazione del prodotto, ciò permette di ridurre il tempo di sviluppo e commercializzazione dei nuovi prodotti e di creare design personalizzati senza costi aggiuntivi. Gli aspetti però che più sono stati analizzati e che più subiscono l'influenza del nuovo paradigma produttivo sono quelli operativi legati alla in particolar modo alla logistica. Gli effetti su quest'ultima sono dovuti anche alla rilocalizzazione ed all'eliminazione di alcuni livelli come detto in precedenza. L'additive manufacturing permetterebbe di ridurre sia i costi di trasporto (costo tonnellata per km percorso) che quelli di stoccaggio dei prodotti (Barz, Buer, & Haasis, 2016), a ciò si unisce la possibilità di localizzare i siti produttivi più vicino ai punti di domanda data la capacità di produrre senza stampi ed attrezzature diverse per ogni componente. Laddove le attività di trasporto siano necessarie queste possono sfruttare il fatto che i prodotti realizzati tramite additive manufacturing sono in genere più leggeri, grazie al design ottimizzato con strutture a nido d'ape e con materiali innovati, aumentando così l'efficienza degli stessi e riducendone i costi dato che si consuma meno carburante per effettuarli. I lead time della catena logistica si riducono (Huang et al., Environmental and Economic Implications of Distributed Additive Manufacturing: The Case of Injection Mold Tooling, 2017) soprattutto per i prodotti realizzati su misura alle

esigenze del singolo cliente e per quelli composti da più componenti che possono essere consolidati. La flessibilità dell'additive manufacturing, dovuta alla mancanza di lunghi tempi di riattrezzaggio unita alla capacità di realizzare qualsiasi design, consente di adottare una logica produttiva make to order. Ciò fa sì che si riducano le quantità immagazzinate per andare incontro all'incertezza delle previsioni che si ha di solito quando si adotta una logica produttiva make to stock. Il magazzino fisico viene sostituito da un magazzino virtuale che contiene i modelli dei prodotti che poi saranno realizzati tramite stampa 3D. Vi è uno studio molto interessante (Feldmann & Pompe, 2017) che tramite l'individuazione di 8 casi in cui l'additive manufacturing viene utilizzato come tecnica produttiva ed una serie di interviste che le diverse funzioni aziendali di tali società, cerca di comprendere come l'adozione della nuova tecnologia impatti sugli aspetti della supply chain. Gli autori si basano su Economic Value Added (EVA) e SCOR (che verrà presentato nel Paragrafo 1.10) per legare i driver di costo con i processi logistici; risultati ottenuti sono interessanti. Per quel che riguarda i processi Source, la stampa 3D semplifica in particolar modo la pianificazione degli approvvigionamenti perché si ha a che fare con meno fornitori e con meno materiali da gestire; in più sono in forma di polvere e ciò ne semplifica l'handling e l'immagazzinamento. Basti pensare al caso in cui un produttore debba relazionarsi con una serie di fornitori per l'acquisto dei diversi componenti necessari per realizzare il proprio prodotto. In questo modo aumenta l'affidabilità dei piani di fornitura stabili in quanto possono essere generate delle previsioni più accurate, si possono ridurre così i costi di stock out e si evitano costosi trasporti urgenti per rimediare a questi ultimi. I vantaggi mostrati precedentemente saranno tanto maggiori tanto minore sarà il grado di standardizzazione del prodotto da realizzare. Per quel che riguarda i processi produttivi (Make) vi è una grande influenza di quella che è la tecnica di stampa adottata, da quello che è il materiale e dalla geometria stessa del prodotto da realizzare. Sembra però comune in tutti i casi che i costi delle materie prime siano più alti mentre si riducono le fasi di assemblaggio; i vantaggi ottenuti dalla riduzione del lavoro manuale un fase di montaggio potrebbero essere persi se vi è la necessità di numerosi post-trattamenti. Anche questo studio mostra che è possibile ottenere risparmi sulla quantità di materia prima utilizzata dato che solo una minima parte di essa viene scartata e la maggior parte può essere riutilizzata. L'ammortamento dei macchinari ed il loro utilizzo influiscono molto sui costi di produzione ed in molti casi il tempo di realizzazione del prodotto aumenta. Alcune tecniche necessitano di post-trattamenti che utilizzano materiali pericolosi come ad esempio l'acetone, questi potrebbero richiedere particolari misure di handling e stoccaggio facendo aumentare i costi relativi a tali attività. Si possono ridurre anche i costi degli asset

dato che non vi è più la necessità di utilizzare, gestire e dismettere stampi diversi. In sintesi, i costi di produzione decrescono in particolar modo grazie al minore impatto dei costi di manodopera e dei costi dei tool utilizzati dall'industria tradizionale. Per quel che riguarda i processi di consegna (Deliver) il loro impatto dipende molto dal livello della catena in cui si decide di implementare l'additive manufacturing. Avvicinando la produzione ai punti di domanda, oltre che ridurre le distanze fisiche, si possono eliminare alcuni costi legati ai trasporti come ad esempio quelli doganali. I casi di studio mostrano una riduzione dei livelli di magazzino dei prodotti finiti in quanto è possibile produrre seguendo più fedelmente gli andamenti della domanda producendo lotti più piccoli. Ciò permette di ottimizzare i trasporti e di aumentarne la frequenza in modo tale da ridurre i costi dovuti a mancate vendite e stock out. Si riducono anche i costi di pianificazione e di transazione legati ai trasporti in quanto è possibile raggiungere una maggiore coordinazione tra queste attività e quelle di produzione. In alcuni casi l'additive manufacturing potrebbe migliorare la tracciabilità dei prodotti e ridurre il rischio di contraffazioni data la possibilità di stampare su di essi dei codici nascosti internamente. Dunque, anche i costi di consegna nel complesso si riducono, ciò potrebbe non avvenire nel momento in cui la stampa 3D faccia nascere la necessità di creare nuovi canali logistici per raggiungere il cliente. I costi di reso (Return) vedono un incremento a causa dell'impossibilità di riparare i prodotti realizzati tramite additive manufacturing data l'assenza di componenti intercambiabili. Ciò implica che l'unica soluzione è la sostituzione dell'intero prodotto e ciò implica costi di reso maggiori. Gli autori analizzano anche gli Asset della supply chain ed evincono che i guadagni dalla riduzione del capitale immobilizzato (magazzini e infrastrutture) deve essere confrontato con il costo delle apparecchiature additive manufacturing al fine di comprendere se vi sia un vantaggio nell'adozione della nuova tecnica. A soluzioni del tutto simili arrivano gli autori di un interessante studio analogo (Verboeket & Krikke, 2019) che però, invece che basarsi su casi di studio reali si basa su un'attenta review bibliografica sull'argomento in questione. Sono in corso sperimentazioni per quel che riguarda la logistica interna allo stabilimento produttivo (Figura 18), grandi player del settore stanno cercando di creare soluzioni modulari ed integrate per gestire le fasi produttive e i post-trattamenti in modo continuo ed automatizzato senza l'ausilio di personale. Per far ciò si utilizzano sistemi di movimentazione autonomi connessi in rete e complessi software che permettono il coordinamento di più apparecchiature che lavorano all'unisono. L'automazione dell'intera catena di produzione additiva consentirà in futuro di fabbricare lotti più grandi in serie, con la stessa affidabilità, funzionalità, durata ed efficienza economica dei componenti fabbricati in modo tradizionale.



**Figura 18** Linea produttiva automatizzata NextGenAM (Fonte: [www.eos.com](http://www.eos.com))

I benefici presentati fin ora sono stati compresi e sfruttati ampiamente nel settore aeronautico, molti infatti sono gli studi che mostrano l'impatto positivo della produzione decentralizzata tramite additive manufacturing di pezzi di ricambio (Khajavi, Holmström, & Partanen, 2018) (Ghadge, Karantoni, Chaudhuri, & Srinivasan, 2018) (Li et al., 2019) oppure sulla possibilità di realizzare componenti dal peso ridotto che consentono di avere notevoli risparmi sul costo di carburante durante il ciclo vita di un aeromobile (Huang et al., Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components, 2016). Anche il settore dei ricambi per oggetti di largo consumo può ricevere i vantaggi della stampa 3D grazie alla significativa riduzione dei tempi di riparazione permessi (Chekurov & Salmi, 2017). I potenziali impatti positivi dell'additive manufacturing sulle catene logistiche tradizionali (sintetizzati nella Tabella 3) però devono essere generalizzati con attenzione. Piuttosto è importante che si analizzi caso per caso dato che contesti industriali diversi potrebbero portare a impatti molto diversi. da qui anche la necessità di tale elaborato, ovvero di andare ad analizzare nel dettaglio un caso di studio reale per evincere gli effetti della stampa 3D sulla supply chain nel suo insieme.

<i><b>Potenzialità Additive Manufacturing</b></i>	<i><b>Impatto sulla Supply Chain</b></i>
Personalizzazione di massa	Riduzione lead time di sviluppo e produzione. Riduzione del Time to Market.
Produzione on-demand	Gestione Make to Order della catena. Riduzione livello magazzino di prodotti finiti. Digitalizzazione dei magazzini.
Produzione decentralizzata	Reshoring. Riduzione lotti produttivi. Riduzione fasi di trasporto. Riduzione livello magazzino di prodotti finiti. Riduzione impatto ambientale.
Possibilità di consolidare più componenti	Eliminazione di alcuni livelli della supply chain. Riduzione livello magazzino delle materie prime. Migliore coordinamento e pianificazione degli approvvigionamenti.
Libertà nel design del prodotto	Aumento sostenibilità.
Flessibilità produttiva	Aumento resilienza supply chain. Aumento flessibilità supply chain. Migliore tracciabilità prodotti.

***Tabella 3** Sintesi dei principali vantaggi logistici dell'adozione della stampa 3D*

## ***1.5 SUPPLY CHAIN IBRIDE***

Alcuni ricercatori hanno effettuato, nel loro studio (Zhu, Dhokia, Nassehi, & Newman, 2013), un'interessante analisi di ciò che si intende per processo produttivo ibrido e come questo viene definito, gli autori forniscono inoltre un'attenta revisione dei maggiori sistemi ibridi. Una interessante definizione è fornita dall'International Institution for Production Engineering Research (CIRP) secondo cui un processo di produzione ibrido combina due o più processi di produzione consolidati in un nuovo set-up combinato in cui i vantaggi di ciascun processo discreto possono essere sfruttati in modo sinergico. In questa sfera di processi rientrano anche quelli che combinano tecniche di produzione tradizionali (ad esempio quelle sottrattive) alle più moderne tecniche di produzione additiva. Le supply chain ibride sono le catene di fornitura che al loro interno vedono l'adozione di una combinazione di tecniche produttive tradizionali e di tecniche di additive manufacturing. Questa configurazione è spesso necessaria in quanto, allo stato attuale, è difficile realizzare un prodotto esclusivamente attraverso stampa 3D. Ciò sia perché in molti casi vi è la necessità di lavorazioni tradizionali aggiuntive, come ad esempio trattamenti termici o di verniciatura, e sia perché in molti casi sono necessari componenti realizzati con tecniche classiche per completare il prodotto realizzato in additive manufacturing (ad esempio viti, flange ecc.). Un'altra interessante applicazione del concetto di produzione ibrida riguarda la realizzazione di macchinari "multitasking" che combinano la tecnica a deposizione diretta con le tradizionali lavorazioni per asportazione di truciolo (Figura 19); tali macchinari sono particolarmente utili per effettuare riparazioni di oggetti danneggiati. Queste soluzioni però sono riservate alla realizzazione di oggetti in metallo e non hanno trovato applicazione per quelli che sono i materiali plastici.



*Figura 19 Macchinario ibrido “multitasking” (Fonte:www.dmgmori.com)*

Nel caso di prodotti realizzati in metallo, la supply chain ibrida è una necessità perché bisogna effettuare una serie di post-trattamenti sia superficiali che termici per ottenere le tolleranze superficiali e le caratteristiche meccaniche necessarie al rispetto delle specifiche tecniche di utilizzo. Strong e altri ricercatori (Strong, Kay, Conner, Wakefield, & Manogharan, 2018) analizzano, tramite un modello di simulazione, come l’additive manufacturing può integrarsi alle lavorazioni tradizionali in particolar modo focalizzando l’attenzione sulla scelta della localizzazione dei siti produttivi nella regione americana. Un ulteriore esempio è lo studio di Chiu e Lin (Chiu & Lin, 2016) che attraverso un modello di simulazione discreta analizzano la fattibilità di una supply chain ibrida per la realizzazione di lampade personalizzate formate dai componenti funzionali standard e da quelli estetici realizzati seguendo le richieste dello specifico cliente. Häfele e altri ricercatori (Häfele, Schneberger, Kaspar, Vielhaber, & Griebisch, 2019) valutano i criteri per l’integrazione, già in fase di sviluppo prodotto, delle tecniche di produzione ibrida soprattutto per l’identificazione e l’analisi quelli che sono i post-trattamenti necessari. Anche altri studi (Sasson & Johnson, 2016) affermano che la stampa 3D non sostituirà i sistemi di produzione tradizionali ma sarà complementare ad essi. La differenziazione del metodo di produzione va fatta però in base ai volumi di vendita ed alla complessità del prodotto; quelli a basso volume di vendite e ad alta complessità potranno essere realizzata tramite additive

manufacturing grazie alla flessibilità offerta dalla tecnica produttiva. Dunque, la realizzazione di prodotti di nicchia può diventare economicamente vantaggiosa e la capacità produttiva inutilizzata delle stampanti può essere offerta sul mercato. Mentre i prodotti ad alto volume di vendita dovranno essere realizzati con le tecniche tradizionali per sfruttarne le economie di scala attuali fin quando la produzione additiva non sarà meno costosa. A conclusioni simili sono giunti altri studi (Achillas, Tzetzis, & Raimondo, 2017) che sostengono che la soluzione ibrida sarà più indicata per aziende che gestiscono molti codici prodotto. Queste sulla base di un'analisi di Pareto individueranno i prodotti che vengono movimentati in bassa quantità e con bassa frequenza, questi prodotti saranno i candidati ideali per la produzione tramite additive manufacturing. Gli altri invece potranno essere prodotti con le tecniche attualmente in uso. Così facendo si possono ridurre i livelli di scorte di sicurezza necessari alla gestione dei prodotti "di nicchia" e si potranno ottenere vantaggi sugli spazi fisici disponibili, sul capitale immobilizzato e sulle complicazioni gestionali di tali prodotti. Anche altri studiosi del settore (Durach, Kurpjuweit, & Wagner, 2017) sono convinti che l'additive manufacturing, allo stato attuale, non andrà a sostituire la produzione di massa ma sarà ad essa complementare; inoltre non si avrà la customizzazione di massa ma questa sarà riservata a determinati settori. Come si evince molti studi si concentrano sui post trattamenti necessari nella stampa 3D di oggetti in metallo, altri valutano solo teoricamente l'adozione di soluzioni ibride mentre pochi, se non nulli, sono gli studi che analizzano nel dettaglio una supply chain ibrida esistente.

## ***1.6 SUPPLY CHAIN DI ASSIEMI IN MATERIALE POLIMERICO E ADDITIVE MANUFACTURING***

La possibilità di consolidare le diverse componenti di un prodotto e ridurre così la complessità dello stesso è una delle più promettenti applicazioni dell'additive manufacturing (Wholers, 2014). Ciò è particolarmente vero se si considera la realizzazione di assiemi meccanici. Un sistema meccanico (o assieme) è per definizione un sistema in grado di compiere un lavoro, assolvendo a specifiche funzionalità e requisiti prescritti all'inizio della progettazione. Questo è costituito da più componenti meccaniche che a loro volta sono definite come gli elementi di base che concorrono alla definizione di un assieme. Il consolidamento di tali componenti in un unico prodotto può essere ottenuto grazie alla libertà progettuale consentita dalla stampa 3D. In questo modo è possibile innanzi tutto ridurre le fasi di assemblaggio che di solito sono necessarie alla realizzazione di questo tipo di prodotti

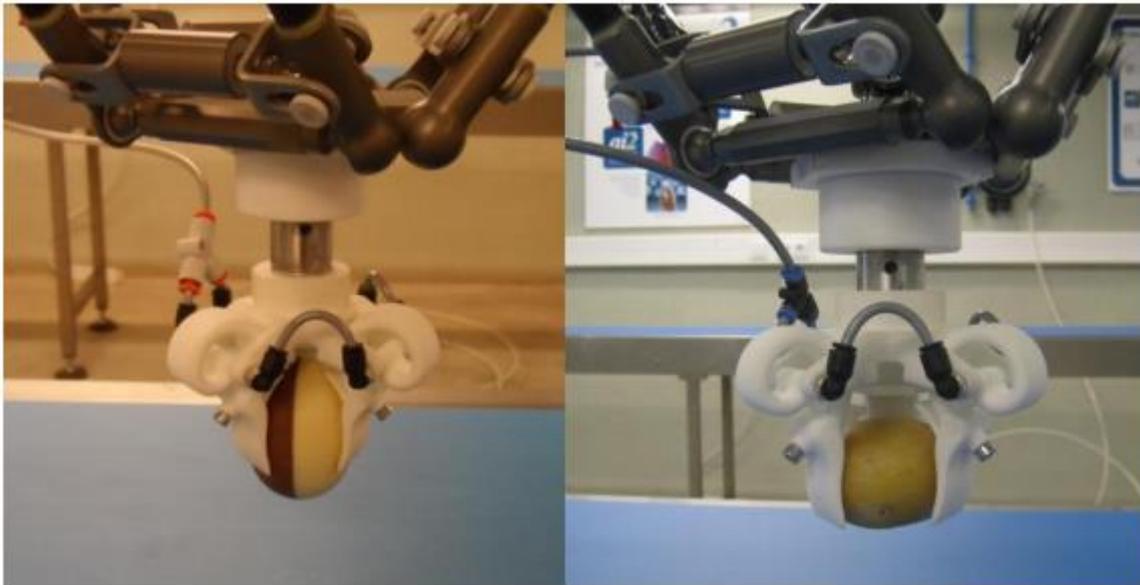
(Feldmann & Pumpe, 2017). Molti studi infatti indicano che la consolidazione ottenuta tramite additive manufacturing permette di ridurre sia i costi di assemblaggio e sia i costi di sviluppo del prodotto (Johnson & Kirchain, 2009). Altri impatti positivi possono presentarsi nel ciclo vita del prodotto, il ridotto numero dei componenti e la possibilità di usare tecniche DFRM permettono di ottenere prodotti dal peso minore. Ad esempio, uno studio ha permesso di consolidare un morsetto in acciaio composto da 19 componenti in un unico prodotto finito; oltre al consolidamento è stata conseguita anche una considerevole riduzione del peso dell'assieme stesso di circa il 20% (Yang, Tang, & Zhao, A new part consolidation method to embrace the design freedom of additive manufacturing, 2015). Uno dei casi più popolari di consolidamento è quello di un ugello del carburante (Figura 20) utilizzato nei motori CFM LEAP della General Electric. Utilizzando la tecnologia additive manufacturing è stato possibile ridurre il numero di componenti da 18 a 1, diminuire il peso del 25% ed aumentare di 5 volte il tempo di vita stimato. L'azienda prevede di realizzare oltre 100.000 ugelli entro il 2020 e secondo le loro analisi l'adozione dei nuovi motori consentirebbe un risparmio di circa 3 milioni di dollari, durante il ciclo vita, rispetto allo stesso motore senza i componenti realizzati tramite additive manufacturing.



*Figura 20 Ugello del carburante realizzato tramite stampa 3D (Fonte: GE Aviation)*

Altri settori hanno sperimentato le possibilità offerte dall'additive manufacturing, ad esempio sono state realizzate protesi funzionali di arti in un unico componente tramite l'utilizzo di stampa 3D (Cuellar J. S., Smit, Breedveld, Zadpoor, & Plettenburg, 2019). Un altro esempio interessante sono le pinze per la movimentazione attraverso robot (Figura 21),

queste possono essere realizzate in un unico pezzo e possono seguire perfettamente le forme dell'oggetto che andranno a spostare. Si possono anche realizzare pinze flessibili che si adattano meglio alla superficie del prodotto e consentono la movimentazione senza la necessità di applicare una forza elevata che potrebbe danneggiare l'oggetto stesso. La loro vita operativa in alcuni casi non è lunghissima a causa di deformazioni permanenti che accadono dopo una serie di cicli di lavoro. Uno studio molto interessante valuta i vantaggi e l'applicabilità di tali pinze al settore alimentare (Blanes, Mellado, & Beltran, 2014).



*Figura 21 Pinze per la movimentazione realizzate tramite additive manufacturing (Blanes, Mellado, & Beltran, 2014)*

Un'altra interessante applicazione individuata nel mondo industriale riguarda gli End Of Arm Tool (EOAT) (Figura 22), questi possono essere prodotti tramite additive manufacturing sfruttando la possibilità di consolidare diversi componenti, di ridurre il peso degli stessi e di aumentarne le funzionalità.



*Figura 22 EOAT realizzati tramite stampa 3D (Fonte: [www.anubis3d.com](http://www.anubis3d.com))*

Per sfruttare al meglio le possibilità offerte dalla nuova tecnica, bisogna studiare attentamente le parti candidabili ad un proficuo consolidamento al fine di ottenere il massimo vantaggio dalla stessa; molti framework di analisi sono forniti in letteratura (Yang, Min, Ghibaud, & Zhao, 2019) (Yang, Talekar, Sulthan, & Zhao, 2017). Laddove il consolidamento completo in un solo prodotto finito non sia possibile ma vi sia la necessità di produrre comunque un certo numero ridotto di componenti può nascere un quesito. Tale quesito riguarda se sia più vantaggioso produrre, nella camera di produzione, più kit di componenti per la realizzazione del prodotto finito o più lotti di singole componenti che poi andranno assemblate. Questo problema è stato analizzato in letteratura (Khajavi et al., 2018) da cui emerge che il produrre a lotti costa meno dal punto di vista manifatturiero perché si ottimizza l'utilizzo della camera di produzione con specifici software. Producendo dei kit però si possono ottenere vantaggi logistici tipo la semplificazione delle operazioni di sorting, una pianificazione produttiva più semplice, l'assenza di magazzini di work in progress ed una più rapida risposta nella consegna del primo prodotto finito. Vi sono anche dei potenziali aspetti negativi come il fatto che il consolidamento elimini la possibilità di riparare il prodotto finito tramite la sostituzione dei componenti danneggiati o difettosi. Ciò implica che solo il completo rimpiazzo del prodotto potrà riportare lo stesso al corretto funzionamento. In alcuni casi questa criticità potrebbe generare costi di acquisizione e stoccaggio più alti dovuti alle gestione di pezzi finiti (Knofius, van der Heijden, & Zijm, 2019). Possono però esserci vantaggi in fase di dismissione del prodotto, il fatto che questo sia consolidato in un pezzo e che non vi siano componenti di materiale diverso (viti in ferro

ad esempio) può essere utile in fase di riciclo dato anche il fatto che i polimeri utilizzati nelle stampanti sono riutilizzabili al 100%. Secondo alcuni autori (Douglas, 2015), la maggior parte degli studi attuali sull'argomento si limitano ad esaminare la fattibilità del consolidamento di un assieme senza considerarne l'impatto sulla supply chain ad esempio in termini di riduzione dei magazzini e dei costi di trasporto. Molti studi concentrano la loro attenzione sulla fattibilità e sui principi di realizzazione delle giunzioni meccaniche che sostituiscono i metodi di assemblaggio tradizionali fatti ad esempio di viti (Cuellar J. S., Smit, Plettenburg, & Zadpoor, 2018) (Cali et al., 2012). Altri (Sossou, Demoly, Montavon, & Gomes, 2018) dopo aver parlato degli aspetti teorici dell'argomento, provano a mettere in atto i principi specifici della progettazione per additive manufacturing tramite un caso di studio; presentando gli aspetti critici delle giunzioni, dei materiali e dell'orientamento del pezzo in fase di realizzazione. Altri studi si limitano a fornire casi di studio ed analisi di fattibilità di possibili candidati al consolidamento tramite stampa 3D, ad esempio Cardona (Cardona, 2015) fornisce un esempio di consolidamento nella realizzazione di un riduttore armonico ma non ne presenta gli aspetti produttivi o logistici. Un altro esempio è quello fornito da De Crescenzo e Lucchi (De Crescenzo & Lucchi, 2017), gli autori sviluppano, tramite una revisione del design, un meccanismo robotico consolidato volto alla movimentazione di oggetti; anche in questo caso però ci si limita all'analisi di fattibilità ed alla realizzazione di un singolo prototipo senza analizzare minimamente gli aspetti economici e logistici. Dall'analisi della letteratura effettuata è emerso come pochi studi si concentrino sull'analisi della fattibilità economica del realizzare, tramite additive manufacturing consolidato, i casi di studio individuati. Ciò consentirebbe di avvicinarsi alla possibilità di realizzare oggetti per la produzione di massa e non solo per la prototipazione e gli studi di fattibilità. Inoltre, la maggior parte degli studi si concentra sugli assieme in materiale metallico, lasciando così scoperto il settore di quelli realizzati in materiale polimerico. Molti studi si concentrano sugli aspetti progettuali e sul design ma nessuno considera l'impatto del consolidamento sulla supply chain tramite l'analisi di un caso di studio reale. Secondo una review (Singamneni et al., 2019) che ha analizzato le ricerche che hanno trattato l'applicazione di tecniche di additive manufacturing al settore aeronautico, il settore più prolifico da questo punto di vista, solo il 4% dei 183 articoli analizzati riguarda la supply chain. Questo è un limite che solo in poche analisi (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) è stato superato prendendo anche in considerazione la fattibilità economica del processo di stampa 3D in confronto con quelle che sono le tecniche tradizionali di produzione.

## ***1.7 ANALISI DEI PRINCIPALI LAVORI PRESENTI IN LETTERATURA SUL TEMA SUPPLY CHAIN BASATA SULLA TECNOLOGIA DELL'ADDITIVE MANUFACTURING***

Al fine di comprendere al meglio il tema in questione e per individuare un caso di studio da trattare, è stata effettuata un'attenta, e interessata, ricerca in letteratura dei principali lavori sul tema supply chain e additive manufacturing. Oltre ai lavori presentati fin ora, sono state analizzate altre ricerche che verranno brevemente descritte nel corso di questo paragrafo. Secondo uno studio (Costabile, Fera, Fruggiero, Lambiase, & Pham, 2017) sulla letteratura scientifica sul tema stampa 3D, circa il 50% delle ricerche possono essere classificate come "overview" o presentazioni generali delle diverse tecniche. Un altro 20% si concentra sui parametri tecnologici analizzando l'impatto di variabili tecniche sulle caratteristiche fisiche del prodotto. Meno del 10% invece si concentra sull'impatto dell'additive manufacturing sul costo e sulle performance della supply chain. Il bias è stato riscontrato anche nel corso della ricerca di informazioni per la redazione di questo elaborato. Poiché le informazioni generali e tecnologiche della nuova tecnica produttiva sono state già trattate, in questo paragrafo non verranno descritti gli articoli di carattere generale analizzati ma solo quelli inerenti agli aspetti logistici (Tabella 4).

<i><b>Autori</b></i>	<i><b>Descrizione articolo</b></i>
<i><b>Ottimizzazione supply chain a due stadi con additive manufacturing</b></i>	
Chowdhury, Shahvari, Marufuzzaman, Francis, & Bian, 2019	In questo studio gli autori cercano di modellare l'impatto dell'additive manufacturing tramite un problema di ottimizzazione a due stadi basato su dati reali. Nel primo stadio avviene la scelta della localizzazione degli impianti produttivi additive manufacturing e il dimensionamento della loro capacità senza avere informazioni sulla domanda. Nel secondo stadio, dopo che la domanda diventa nota, si ottimizzano i costi operativi complessivi. Gli autori evidenziano che lo spessore dei livelli di produzione ha un grande impatto sui costi di produzione. Questo deve essere minimo in modo tale che, nonostante vi sia un aumento dei costi di produzione, vi sia un risparmio sui costi di post-processamento data la maggior finitura del prodotto. Evincono anche che i livelli di domanda e la loro variabilità hanno un elevato impatto sulla localizzazione e sul numero di impianti da realizzare;

	<p>per questo motivo è fondamentale fare di tutto per prevedere al meglio queste informazioni. Il livello scelto di scorte di sicurezza in polveri impatta sui costi operativi, quanto maggiore sarà il livello di scorte tanto saranno alti i costi legati al magazzino, ai trasporti ed alla produzione. In aggiunta anche il livello di polveri sprecate deve essere minimo dato che elevato consumo di materie prime genera elevati costi.</p>
<p>Pour, Zanoni, Bacchetti, Zanardini, &amp; Perona, 2019</p>	<p>Studio sistemico che utilizza il modello JELS (Joint Economic Lot Sizing) per quantificare analiticamente l'impatto dell'additive manufacturing in una supply chain a due livelli in confronto con una tradizionale. Il modello prevede la minimizzazione dei costi congiunti come in un gioco cooperativo. Per la risoluzione del modello si cerca prima il lotto di spedizione e il numero di spedizioni che minimizzano i costi di magazzino. Il secondo step prevede l'ottimizzazione congiunta dei costi di magazzino e dei costi di trasporto partendo dai valori trovati alla fase uno. La terza fase prevede infine l'ottimizzazione dei costi complessivi del sistema in cui si considerano anche i costi di produzione. Applicano il loro modello alla ricerca effettuata di Atzeni e Salmi (Atzeni and Salmi, 2012) di cui riportano i valori dei parametri considerati. Da questo esempio numerico evincono che all'ottimo i costi di trasporto e di magazzino per additive manufacturing sono sensibilmente inferiori a rispetto alla soluzione tradizionale; mentre i costi totali minimi per additive manufacturing sono maggiori. Gli autori effettuano poi un'analisi di sensibilità da cui emerge che al crescere della domanda i vantaggi dell'additive manufacturing sui costi di magazzino si amplificano mentre considerando i costi totali la nuova tecnologia risulta competitiva solo per tassi di domanda bassi.</p>
<p><i>Impatto della localizzazione dei macchinari additive manufacturing nella supply chain</i></p>	
<p>Khajavi, Partanen, &amp; Holmström, 2014</p>	<p>Studio analitico sull'utilizzo dell'additive manufacturing per la produzione di un particolare pezzo di ricambio in materiale polimerico per aerei militari F-18 Super Hornet. Vengono considerati, e valutati sulla base dei costi totali, 4 diversi scenari: additive</p>

	<p>manufacturing centralizzato con tecnologia attuale, additive manufacturing distribuito con tecnologia attuale, additive manufacturing centralizzato con possibile tecnologia futura (che richiede meno personale e che ha una camera più piccola ed un costo minore), additive manufacturing distribuito con possibile tecnologia futura. I costi analizzati sono: personale, materiale, trasporto, magazzino, “fermo macchina”, obsolescenza, investimento iniziale per le macchine additive manufacturing, ammortamento e valore magazzino iniziale. Dallo studio si evince che allo stato attuale la soluzione centralizzata è preferibile mentre con il loro ipotetico macchinario additive manufacturing futuro diventa più vantaggiosa la soluzione distribuita. Lo studio è stato aggiornato e implementato nel 2018.</p>
<p>Khajavi, Holmström, &amp; Partanen, 2018</p>	<p>Gli autori dopo aver ripreso i risultati dello da loro effettuato nel 2014 (in cui evincevano che la configurazione centralizzata con additive manufacturing era più vantaggiosa rispetto a quella decentralizzata) aggiungono ulteriori scenari al modello (Supply chain con Hub, additive manufacturing a camera singola allo stato attuale, additive manufacturing multiprodotto allo stato attuale). Dall’analisi concludono che la configurazione ad hub è la più favorevole dal punto di vista economico. Evidenziano inoltre quelli che sono i fattori che più impattano nella scelta delle diverse configurazioni. L’impatto economico del “fermo macchina” è molto rilevante nel settore aeronautico che loro considerano, per cui potrebbe darsi che in altri settori con minori costi di “fermo macchina” emergano scenari più vantaggiosi rispetto all’ additive manufacturing.</p>
<p>Li, Jia, Cheng, &amp; Hu, 2017</p>	<p>Studio che, tramite la simulazione con metodo System Dynamics, analizza i costi totali e la “carbon footprint” in 3 scenari di produzione di un pezzo di ricambio (tradizionale, additive manufacturing centralizzato e additive manufacturing decentralizzato). Risulta che l’additive manufacturing impatta positivamente sia sui costi totali che sulle emissioni e ciò è ancora più marcato quando la variabilità della domanda è elevata (deviazione standard 80% della media). I costi</p>

	<p>maggiori nella produzione tradizionale sono quelli legati ai trasporti perché ci sono più livelli della catena logistica mentre nell' additive manufacturing sono più alti i costi di produzione ma si riducono i livelli della catena logistica e dunque i relativi costi. Le emissioni della produzione tradizionale sono più alte e sono causate soprattutto dalla produzione/estrazione dalle materie prime (prodotto lavorato dal pieno comporta grandi scarti) che sono anche pesanti da trasportare. Anche per lo scenario con additive manufacturing la maggior parte delle emissioni viene dalle materie prime ma sono polveri e più leggere da trasportare. Infine, le emissioni della produzione sono più alte quando si usa additive manufacturing. La soluzione decentralizzata con additive manufacturing è quella migliore dal punto di vista dei costi e delle emissioni. Il modello però non considera i costi fissi e gli ammortamenti e, secondo gli autori, se questi venissero considerati l'additive manufacturing non sarebbe più la soluzione più economica.</p>
<p>Liu, Huang, Mokasdar, Zhou, &amp; Hou, 2014</p>	<p>Poiché il settore dei ricambi aeronautici necessita di elevate scorte di sicurezza (per far fronte agli elevati livelli di servizio richiesti) lo studio verte sull'analisi di come queste scorte variano in 3 possibili scenari di supply chain: tradizionale, con additive manufacturing distribuito e con additive manufacturing centralizzato. Il modello SCOR viene utilizzato per confrontare le diverse supply chain nei vari scenari (gli autori lo usano principalmente per mappare le diverse catene logistiche). Considerano poi un ipotetico caso di studio in cui andare a confrontare analiticamente i 3 diversi scenari considerando la produzione di 6 diversi ricambi in metallo. Il confronto da loro effettuato considera solo i livelli di scorte di sicurezza necessari nei vari livelli della supply chain per i vari scenari. Emerge che per tutti i tipi di prodotti le soluzioni con additive manufacturing permettono di abbattere i livelli di scorte di sicurezza. Inoltre, per i ricambi con bassa domanda e grandi lead time di produzione la soluzione con additive manufacturing centralizzato permette di raggiungere livelli di scorte più bassi; mentre nel caso di lead time ridotti e domanda costante è</p>

	<p>preferibile additive manufacturing distribuito nei vari punti di consumo ovvero gli hangar di riparazione. È effettuata l'analisi della sensibilità dei parametri da cui emerge che la variabilità della domanda impatta sul livello di sorte di sicurezza in modo più lieve quando è utilizzato l'additive manufacturing; lo stesso succede se si vuole aumentare il livello di servizio. Lo studio si conclude con il dubbio su come i guadagni ottenuti con additive manufacturing debbano essere ripartiti all'interno della supply chain e su chi tragga i maggiori vantaggi da questa tecnologia nel settore aeronautico.</p>
<p>Barz, Buer, &amp; Haasis, 2016</p>	<p>Studio volto a modellizzare l'impatto dell'additive manufacturing sulla struttura di un network logistico. Il modello prevede una catena logistica stilizzata a due livelli in cui sono presenti dei fornitori, dei produttori e dei clienti finali. Il modello prevede tre scenari diversi e viene risolto tramite un problema di ottimizzazione TSCFLP (Two-stage capacitated facility location problem) in cui le variabili decisionali sono i volumi trasportati dai fornitori ai produttori, l'apertura o la chiusura di un determinato centro produttivo e la fornitura di un cliente da parte di un determinato centro produttivo. La presenza dell'additive manufacturing viene modellizzata tramite il buy-to-fly-ratio, ovvero il rapporto tra il peso delle materie prime utilizzate e il peso del prodotto finito. Tramite additive manufacturing si otterrebbe una maggiore efficienza nell'utilizzo delle materie prime mentre la produzione tradizionale prevede grandi sprechi. Il tasso per additive manufacturing è stabilito 2:1 (ovvero il peso del prodotto finale è la metà delle materie prime utilizzate) mentre quello per le tecniche tradizionali è 20:1. Lo studio identifica 4 indicatori di performance: costi totali del network (trasporti e apertura dei siti produttivi), costi di trasporto medi per cliente, numero di centri produttivi aperti e rapporto tra trasporti del primo e del secondo livello. Le conclusioni mostrano che additive manufacturing riduce i costi di trasporto del network (più del 50%) e permette di avvicinare i siti produttivi ai punti di domanda mentre non si ha una riduzione dei siti produttivi necessari. Si riduce anche il costo di trasporto medio</p>

	per cliente dovuto più che altro al risparmio sui trasporti dal fornitore al produttore che sono in volume minore.
Ghadge, Karantoni, Chaudhuri, & Srinivasan, 2018	<p>Studio volto ad analizzare l'impatto dell'additive manufacturing nella supply chain dei ricambi per aerei tramite l'utilizzo di un modello di simulazione System Dynamics (SD). Gli aerei vengono mantenuti nelle service location che si trovano presso gli aeroporti, questi hangar hanno un magazzino di ricambi limitato. Ci sono poi dei centri di distribuzione gestiti dai MRO/OEM che riforniscono più service locations. Qualora vi siano dei backorder il produttore produce altri pezzi o risponde con il suo magazzino prodotti finiti. I due casi in analisi sono network logistico con additive manufacturing in ogni service location (zero lead time, zero magazzino dei centri distribuzione e nell'OEM) e network logistico tradizionale; mentre il componente analizzato è una flangia in titanio. I risultati mostrano che il livello aggregato dei magazzini con additive manufacturing è molto inferiore rispetto a quello che si ha nel caso tradizionale (è solo il 25% del caso tradizionale) e ciò è dovuto al fatto che il lead time è ridotto e le parti sono prodotte quando vi è effettiva domanda. Le oscillazioni del livello di magazzino sono anche più smorzate. I costi di mantenimento dei magazzini con additive manufacturing sono molto più bassi perché si mantengono meno scorte nella catena e ci sono meno livelli di stock. Questo riduce i costi collegati all'obsolescenza. Viene effettuata un'analisi della sensibilità da cui si evince che i vantaggi dell'additive manufacturing sono ancora più marcati quanto si aumenta la deviazione standard della domanda e quando si aumenta il livello di servizio richiesto. Questi risultati sono molto desiderabili nel settore dei ricambi aeronautici in cui la domanda è molto variabile. Nello studio non vengono analizzati i costi di produzione ed i costi legati all'acquisto dei materiali additive manufacturing e non viene considerata la possibile complessità dovuta al produrre pezzi finiti nelle service location (esperienza personale, macchinari per i post trattamenti, controlli qualità ecc.)</p>

Li et al., 2019	Lo studio è volto a confrontare, tramite una simulazione ad eventi discreti, lo scenario distribuito (macchine additive manufacturing nelle service location in cui avviene la manutenzione degli aerei) e lo scenario centralizzato (macchine additive manufacturing nel centro distribuzione) nella produzione di ricambi aeronautici. Le performance analizzate per confrontare le due configurazioni sono il tempo nel sistema e i costi inclusi quelli di “fermo macchina”. Dai risultati si evince che non sempre la supply chain distribuita porta a tempi di attesa minori, ciò è dovuto al fatto che nella configurazione centralizzata si può avere il pooling della capacità produttiva; ovvero si può sfruttare meglio la capacità produttiva. I costi invece sono molto diversi a seconda dell’impatto delle penalità di fermo. Quando queste sono alte impattano per il 98% dei costi totali mentre quando sono basse sono più importanti i costi relativi alle macchine; mentre i costi logistici sono sempre trascurabili. Quindi la scelta tra configurazione localizzata o centralizzata dipende molto dai costi di penalità; quando questi sono alti conviene la soluzione centralizzata (hai tempi di attesa minori) mentre quando sono bassi bisogna considerare il trade-off tra il costo dei macchinari e i costi di penalità.
Holmström, Partanen, Tuomi, & Walter, 2010	Lo studio analizza diversi scenari di adozione dell’additive manufacturing per la realizzazione di ricambi per aerei. Lo scenario che appare più fattibile, date alcune limitazioni tecnologiche ancora presenti, è quello centralizzato in cui la produzione avviene negli impianti produttivi o nei centri di distribuzione. Non appare ancora possibile la produzione diretta nei centri di consumo a causa del grande investimento capitale richiesto ed alla necessità di post trattamenti.
<i>Impatto additive manufacturing sul supply chain management</i>	
Oettmeier & Hofmann, 2016	Gli autori si concentrano sull’impatto dell’additive manufacturing sui processi e sulle componenti del supply chain management in aziende che producono Engineering to Order prendendo come riferimento due aziende che producono dispositivi acustici. Si concentrano su 5 attività principali del supply chain management: rapporto con i

	<p>fornitori, flusso manifatturiero, sviluppo prodotto e commercializzazione, soddisfacimento ordini e gestione dei resi. Scoprono, attraverso interviste a vari attori della supply chain, come cambiano le 5 attività quando viene adottato additive manufacturing. Il rapporto con i fornitori diventa più strategico in quanto la qualità dei prodotti dipende molto dalle materie prime usate; inoltre bisogna fare affidamento sulle competenze tecniche dei fornitori. Il flusso manifatturiero è diventato più specializzato perché prima c'era una sola persona che produceva tutto mentre ora ci sono diversi specialisti (design, macchine ecc.); questo permette anche di avere un miglior controllo del processo. Lo sviluppo prodotto e la sua commercializzazione sono facilitati e velocizzati in quanto il cliente è "integrato" nella fase di design e i modelli CAD riproducono fedelmente le richieste dei clienti; servono comunque specifiche conoscenze in R&amp;D. Gli ordini vengono soddisfatti più velocemente grazie anche allo scanning 3D ed alla trasmissione degli stessi in rete. I resi sono diminuiti ed anche nel caso vi sia la necessità di rifare un prodotto difettoso si ha già il CAD nel database.</p>
<p><i>Impatto additive manufacturing sui modelli economici</i></p>	
<p>Weller, Kleer, &amp; Piller, 2015</p>	<p>Studio volto ad indagare l'impatto dell'additive manufacturing sui modelli economici esistenti che vedono la scelta tra produzione specializzata e produzione flessibile. Gli autori ricavano dalla letteratura 4 principi della produzione additiva che sono: produzione versatile, customizzazione e flessibilità gratis, complessità gratis e riduzione degli assemblaggi. Studiano poi come questi principi vadano ad impattare sul payoff di un'impresa in monopolio e ne ricavano che l'additive manufacturing permette al monopolista di aumentare i profitti in quanto può chiedere un premio sul prezzo dato che offre prodotti personalizzati. Studiano poi come l'additive manufacturing impatta nei modelli di scelta tra specializzazione e produzione flessibile in mercati competitivi (distinguono in modelli product-attribute e modelli con la teoria dei giochi). Le conclusioni</p>

	<p>che traggono dalla rivisitazione dei modelli con additive manufacturing vengono presentate tramite proposizioni e sono:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.L'ingresso di produttori con additive manufacturing porta a prezzi di mercato più bassi</li> <li>2.In un mercato in cui più aziende adottano additive manufacturing la competizione si basa su altri costi (oltre quello di produzione) tipo quello di spedizione e di fornitura.</li> <li>3.In un mercato con un'alta penetrazione dell'additive manufacturing gli incumbenti perdono il loro vantaggio strategico di abbassare i prezzi per impedire l'entrata di nuovi players.</li> <li>4.Con l'ingresso dell'additive manufacturing aumenta la competizione poiché le aziende possono offrire prodotti su più mercati.</li> <li>5.Nei mercati grandi in cui la domanda è omogenea le tecniche classiche di produzione sono superiori all'additive manufacturing.</li> <li>6.Nei mercati con domanda incerta e fluttuante, gli incumbenti che adottano l'additive manufacturing domineranno gli entranti in quanto potranno sfruttare le economie di scopo sul marketing e sui fornitori.</li> </ol>
Bogers, Hadar, & Bilberg, 2016	<p>Studio volto a presentare come cambia il modello di business nel momento in cui si adotta un approccio consumer-centric tramite additive manufacturing. Dopo avere presentato i potenziali vantaggi dell'additive manufacturing, lo studio avvalorava l'idea che i modelli di business passeranno dall'essere manufacture-centric ad essere consumer-centric. Ovvero si avrà una maggiore integrazione del cliente nella creazione del valore e nella personalizzazione dei prodotti, sin dalle fasi del design fino ad arrivare all'estremo in cui il cliente produrrà da sé i beni finali (in questo caso di parla di "prosumer"). Il nuovo modello di business avrà una serie di impatti sulle operations e sulla supply chain. Si sposterà più a monte il decoupling point e si avranno delle supply chain più decentralizzate (gli autori parlano di "glocalized supply chain" ovvero tante piccole supply chain locali autosufficienti in ogni parte del globo). Inoltre, si ridurranno i magazzini, si semplificherà la pianificazione e si</p>

	<p>potranno combinare catene logistiche sia agili che lean. Ci sarà inoltre più importanza nella scelta delle localizzazioni delle strutture decentralizzate. Secondo gli autori i due modelli produttivi possono coesistere, ovvero verrà applicato il modello tradizionale per i prodotti in serie ed il nuovo modello per i prodotti personalizzati a bassa domanda. Per fare questo si sottolinea l'importanza di Internet, dovranno anche cambiare i paradigmi classici della proprietà intellettuale dei design in modo da garantire la responsabilità legale dei prodotti creati in una configurazione che vede il cliente come produttore. Lo sviluppo delle nuove tecnologie deve andare di pari passo con lo sviluppo di nuovi business model e di nuove supply chain in modo tale da riuscire a creare il maggior valore possibile per il cliente.</p>
<p><i>Tecnologie additive manufacturing emergenti e loro impatto sulla supply chain</i></p>	
<p>Durach, Kurzjuweit, &amp; Wagner, 2017</p>	<p>Studio empirico volto ad analizzare quelle che sono le tecnologie emergenti più interessanti nel mondo dell'additive manufacturing e quali sono i loro impatti sulla supply chain e le loro barriere all'utilizzo. Ciò avviene tramite più round di interviste (primo round raccolgono i pareri comuni e nel secondo li pongono alla valutazione degli esperti) ad un panel eterogeneo di esperti del settore additive manufacturing (accademici, tecnici, manager). Gli autori evincono in primo luogo che le tecnologie più interessanti e che più si diffonderanno negli anni sono la Powder Bed Fusion e il Material Jetting. La prima per il suo ampio range di materiali utilizzati (metalli, polimeri, ceramiche e compositi) sarà ampiamente utilizzata nella produzione di oggetti finiti; mentre la seconda verrà utilizzata prevalentemente nella fase di prototipazione data la sua grande precisione di produzione. Proseguendo le interviste evincono che le barriere più importanti all'adozione dell'additive manufacturing non sono quelle che normalmente vengono identificate (ed esempio i costi elevati dei macchinari) ma sono soprattutto il limitato range di materiali utilizzabili e la scarsa diffusione di nuovi materiali. Inoltre, molto importanti sono quelle che loro definiscono "barriere soft"</p>

	<p>come ad esempio le skills necessarie agli operatori e la consapevolezza che deve nascere nei clienti di quello che è l'impatto dell'additive manufacturing. Gli esperti identificano poi un arco temporale in cui queste barriere verranno superate e si evince che la maggior parte cadrà nei prossimi 10 anni. Mostrano poi quelli che sono gli impatti dell'additive manufacturing sulla supply chain e tramite lo studio emerge che l'impatto maggiore sarà sul rapporto con i clienti che potranno essere integrati nelle fasi di creazione del valore. A loro avviso la struttura della catena logistica non cambierà in maniera drastica fino ad arrivare alla "produzione casalinga" ma ci sarà uno sviluppo di produttori locali additive manufacturing che offriranno i loro servizi ad altre imprese. Inoltre, additive manufacturing non andrà a sostituire la produzione di massa ma sarà ad essa complementare e non si avrà la customizzazione di massa ma questa sarà riservata a determinati settori. Gli esperti non si aspettano un grande impatto dell'additive manufacturing sulla riduzione dei livelli di magazzino e dei trasporti all'interno della catena logistica; mentre l'additive manufacturing avrà impatto sulle capacità delle supply chain di essere più agili.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Riprogettazione e analisi di fattibilità di un assieme realizzato tramite additive manufacturing</i></p>	
<p>Atzeni &amp; Salmi, 2012</p>	<p>Studio che confronta due tecnologie di produzione (sinterizzazione laser selettiva e la tradizionale presso fusione) per la realizzazione di un componente aeronautico ovvero il carrello dell'aereo Piaggio P-180. Lo studio non considera i costi indiretti e quelli di trasporto e magazzino ma solo quelli di processo (contengono gli ammortamenti di macchinari e stampi), di pre-processo e di post-processo. Il prodotto viene poi presentato e completamente ridisegnato con CAD per permettere di sfruttare a pieno le potenzialità dell'additive manufacturing ovvero viene concepito come un pezzo unico e non più come assieme, vengono anche ridotte alcune sezioni per migliorarne il peso ed infine vengono integrati i fori. I costi per pezzo per la tecnica tradizionale sono calcolati in funzione dei pezzi prodotti e sono</p>

	<p>fortemente influenzati dal costo per la realizzazione dello stampo (oltre il 90%) ed inoltre è necessaria una successiva fase di assemblaggio. Per la tecnica con additive manufacturing invece non sono necessari assemblaggi ed il costo di produzione del singolo pezzo è costante perché viene definito a priori l'utilizzo della macchina. Nel caso dell'additive manufacturing la principale voce di costo è l'ammortamento della macchina ma c'è un grande vantaggio nel poter raggiungere subito la produzione senza dover aspettare i tempi di realizzazione degli stampi tradizionali che sono molto lunghi. Il Breakeven Point è stimato per la produzione di 42 pezzi, dunque si evince che additive manufacturing risulta profittevole solo per volumi di produzione medio-bassi ma ha un time-to-market più veloce.</p>
--	--

*Tabella 4* Descrizione degli articoli individuati in letteratura riguardanti l'impatto della stampa 3D sulla supply chain

## **1.8 RESEARCH GAP**

Dall'analisi della letteratura effettuata si è evidenziato una carenza di ricerche che vadano ad analizzare, tramite casi di studio reali, gli impatti dell'additive manufacturing sulla catena logistica. Vi è la mancanza di studi che cerchino possibili riconfigurazioni di una supply chain esistente se in questa viene adottato il nuovo paradigma produttivo. Molti dei lavori di ricerca infatti si concentrano su casi di analisi creati ad hoc, ovvero su modelli basati su scenari e dati di laboratorio, piuttosto che su modelli che riprendono soluzioni adottate nella realtà. Questi poi, spesso, si limitano ad analizzare la localizzazione delle apparecchiature di additive manufacturing al fine di verificare quale sia quella più economica tra diversi scenari possibili senza considerare nel complesso gli aspetti logistici che vengono modificati. Il bias di ricerca è particolarmente rilevante se si considera il settore degli assiemi che è quello che più potrebbe trarre i vantaggi del consolidamento dei diversi componenti di un assieme permesso dalla stampa 3D. Laddove questo tipo di prodotti siano stati analizzati, ci si è limitati agli aspetti di progettazione ed a quelli tecnologici-produttivi senza considerare l'impatto sugli aspetti legati alla catena logistica. Da qui nasce la necessità di approfondire la ricerca di quelli che sono gli impatti dell'additive manufacturing sulla supply chain con particolare riferimento a quelli che sono gli assiemi in materiale polimerico. Come punto di

partenza di tale ricerca vi è stata la necessità di individuare un caso di studio che presentasse la riprogettazione con consolidamento di un assieme in materiale polimerico. Oltre a questo, era necessario che vi fosse prova della fattibilità economica e progettuale del caso di studio stesso, ovvero che l'oggetto individuato fosse destinato alla produzione e non solo ad una mera fase di progetto o prototipazione. La ricerca in letteratura di uno studio che presentasse queste caratteristiche non è stata semplice dato il numero esiguo di lavori che hanno analizzato, in tal modo, questo tipo di prodotti. Però, una volta individuato un caso di studio è stato possibile approfondire quelli che sono gli aspetti logistico-produttivi che spesso vengono trascurati nella letteratura attuale contribuendo, in questo modo, a colmare parte del gap di ricerca riconosciuto.

### ***1.9 IL MODELLO SCOR***

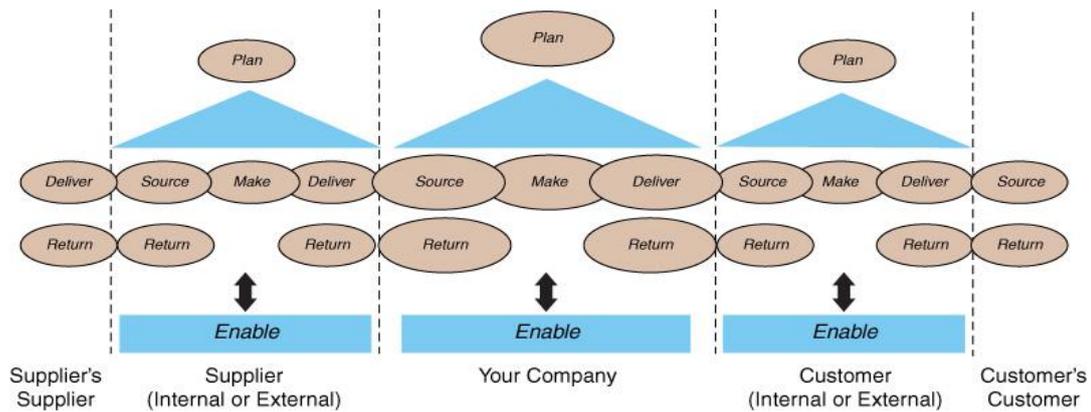
Per confrontare le prestazioni logistiche di una possibile supply chain che adotta la produzione additiva con una tradizionale, si è deciso di fare riferimento al modello SCOR. Una supply chain è una rete di attori che provvede alla fornitura delle materie prime, alla loro trasformazione in beni intermedi e infine alla produzione e consegna degli stessi ai clienti finali. Creare un modello in grado di descrivere oggettivamente le prestazioni di una supply chain è sempre stata una sfida per i ricercatori e i professionisti del settore. Nel corso degli anni ci sono stati diversi modelli che hanno fatto uso di tecniche deterministiche (Voudouris, 1996) e modelli stocastici che hanno introdotto la variabilità (Kapsiotis & Tzafestas, 1994). Sono stati sviluppati anche modelli economici e modelli di simulazione. Il modello SCOR invece è stato progettato per fornire uno standard industriale per la mappatura, il confronto e lo sviluppo di una catena di approvvigionamento. Il modello è stato sviluppato nel 1996 dal Supply Chain Council per aiutare le grandi organizzazioni a valutare e confrontare le diverse attività di una supply chain fornendo loro un quadro standard. Questa struttura incorpora una serie di valutazioni metriche volte ad analizzare come le diverse attività sono collegate tra loro e come operano per spostare i flussi all'interno della supply chain. Il modello è stato più volte rivisto ed implementato per seguire le necessità degli utilizzatori e fornire loro uno strumento al passo con i tempi e che sia in grado di adattarsi a qualsiasi ambito di applicazione. Ad oggi la versione più recente è lo SCOR 12.0 che prova ad inglobare i nuovi trend tecnologici e gli aspetti legati alla sostenibilità. Lo SCOR è stato scelto in quanto fornisce una terminologia univoca a livello internazionale per definire processi, metriche, best practice e competenze in un'unica piattaforma applicabile

su ciascuna supply chain che si sviluppa dai fornitori dei fornitori fino ai clienti dei clienti. La forza del modello risiede quindi nella capacità di presentare, in un formato standard e che si adatta a più contesti industriali:

- Processi
- Indicatori di prestazione
- Best practice
- Persone

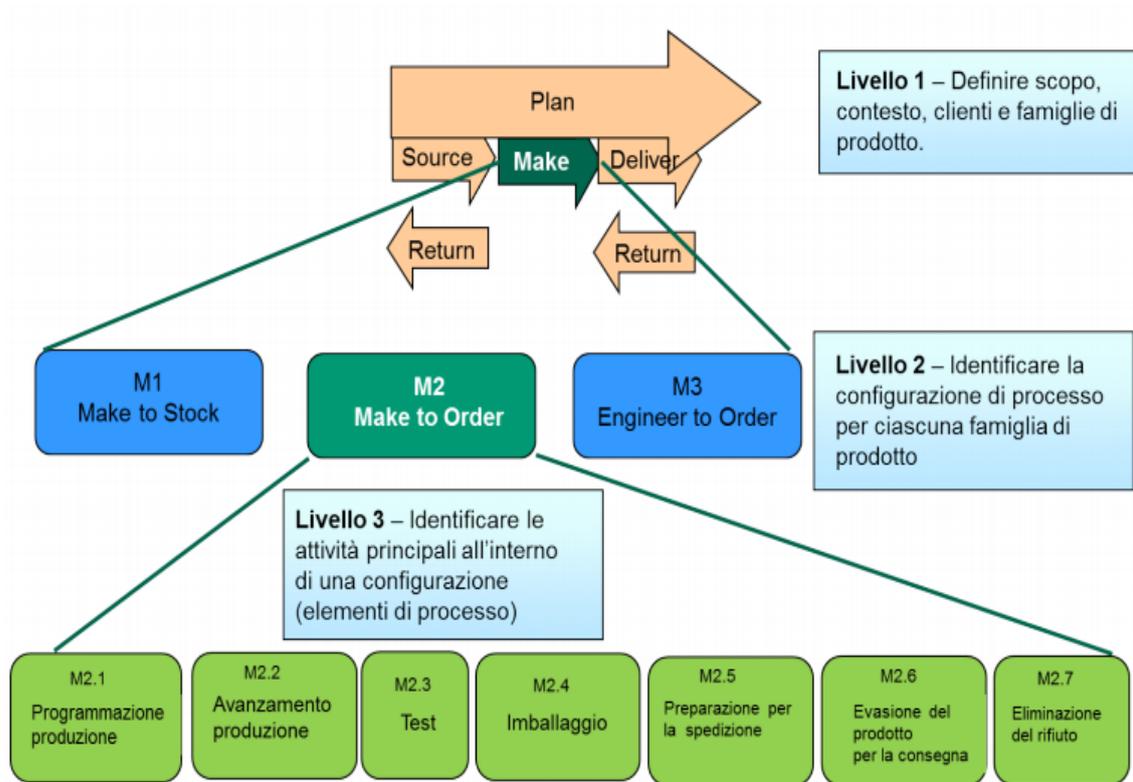
### **1.9.1 Processi**

Il modello viene proposto in una filiera composta da più anelli della catena che sono tra loro in relazione attraverso tre macro-processi che possono essere presenti in ogni singolo elemento della catena (Figura 29). I macro-processi costituiscono il Livello 1 di dettaglio del modelli, ovvero il livello più alto che si relaziona con la strategia industriale dell'azienda in analisi. Questi processi sono predefiniti e sono costituiti dalle attività di approvvigionamento e di spedizione che possono essere regolate da un'attività programmazione. Nel modello possono, inoltre, essere presenti due ulteriori processi quali la trasformazione e il reso dei materiali al fornitore e dal cliente. In particolare, le attività di spedizione (Deliver) collegano un'organizzazione ai suoi clienti, quelle di approvvigionamento (Source) ai propri fornitori, quelle di pianificazione (Plan) regolano la domanda e forniscono l'integrazione tra attività ed organizzazione. In alcuni casi troviamo le attività di trasformazione-produzione (Make) e di reso (Return). Nella versione 11 del modello è stato integrato un nuovo tipo di processo Enable che riguarda le attività legate alla gestione della supply chain ovvero la gestione delle regole di business, dei dati, dei contratti e della rete.



**Figura 23** Framework del Modello SCOR (Lovecchio, 2013)

Per ognuno di questi processi di primo livello, il modello SCOR prevede ulteriori livelli di dettaglio da contestualizzare in virtù delle specificità di ogni singola azienda e delle sue logiche di gestione. Mentre il primo livello identifica la tipologia dell'operazione (Plan, Source, Make, Deliver, Return) il secondo livello ne definisce la logica di gestione e il terzo livello la descrizione delle attività nell'ambito di ogni singola logica di gestione. I processi chiave del Livello 2 sono: Make-to-Stock, Make-to-Order o Engineer-to-Order per Source, Make e Deliver. Se, ad esempio, l'azienda, per una particolare famiglia di prodotto realizza la produzione esclusivamente a fronte di ordine di vendita, sarà necessario dettagliare il processo di primo livello Make con un secondo livello "Make to Order" con ciò che ne deriva in ambito di approvvigionamento e spedizione. I processi di Livello 3 sono fasi di processo che vengono eseguite in una certa sequenza al fine di pianificare le attività della supply chain, i materiali di partenza, realizzare prodotti, consegnare beni e servizi e gestire i resi dei prodotti. In realtà, per essere propriamente operativi, occorrerebbe a volte giungere ad un ulteriore livello di specificità dei processi (livelli 4 e 5) la cui configurazione è lasciata alla libertà di ciascuna azienda, in quanto di dettaglio e quindi specifici. Nella figura sottostante (Figura 30) viene mostrato il concatenamento gerarchico dei diversi livelli del modello SCOR e la loro esplosione fino al Livello 3.



**Figura 24** Concatenazione livelli modello SCOR (Lovecchio, 2013)

La codifica del processo varia a seconda del livello. I processi di Livello 1 sono rappresentati da una lettera maiuscola preceduta dalla lettera s (questa s minuscola sta per SCOR), abbiamo dunque: sP per Plan, sS per Source, sM per Make, sD per Deliver e sR per Return. I processi di Livello 2 aggiungono un numero in base al tipo di gestione del prodotto analizzato ad esempio si avrà sD 1 per Deliver Stocked Products. I processi di Livello 3 aggiungono un punto seguito da un numero univoco in base alla singola attività definita dal modello SCOR. Ad esempio, l'attività di Test che è una delle varie attività che si hanno in un processo Make to Order sarà definita sM 2.3. Nel corso della seguente trattazione si farà riferimento ad una versione del Modello SCOR precedente per cui saranno omesse le s in minuscolo che stanno per SCOR, ciò anche per non appesantire troppo la mappatura in termini di codifica.

## 1.9.2 Indicatori

Gli indicatori di prestazioni presenti nel modello fanno riferimento a cinque aspetti o come vengono definiti dal modello a cinque attributi (affidabilità, reattività, flessibilità del servizio, costo, tempo di ritorno del capitale investito) e vengono utilizzati per stabilire le prestazioni della supply chain in esame. Questi sono:

1. Reliability (Indice di affidabilità) ovvero la capacità di eseguire i compiti come previsto. L'affidabilità si concentra sulla prevedibilità dell'esito di un processo. Tra gli indicatori dell'affidabilità troviamo la percentuale di consegne avvenute in tempo e nella giusta qualità e quantità.
2. Responsiveness (Indice di reattività) intesa come la velocità con cui vengono eseguiti i compiti. La velocità con cui una supply chain fornisce i prodotti al cliente. Tra le metriche di analisi vi è il tempo ciclo inteso come il tempo intercorrente tra l'emissione dell'ordine e la data di consegna a destinazione.
3. Agility (Indice di flessibilità) ovvero capacità di rispondere alle influenze esterne ed ai cambiamenti di mercato per ottenere o mantenere un vantaggio competitivo. I parametri di agilità dello SCOR includono la flessibilità e l'adattabilità.
4. Cost (Indice di costo) ovvero il costo di gestione dei processi della supply chain. Sono inclusi il costo del lavoro, i costi dei materiali, i costi di gestione e di trasporto. Un tipico parametro di costo è il costo del venduto (o Cost of Goods Sold COGS).
5. Asset Management Efficiency (Indice patrimoniale) che misura la capacità di utilizzare i beni in modo efficiente. Le strategie di gestione delle risorse in una catena di fornitura includono la riduzione dell'inventario e le scelte di in-sourcing o outsourcing. Le metriche includono l'utilizzo della capacità produttiva e il valore dei magazzini.

Affidabilità, Reattività e Agilità sono considerati orientati al cliente mentre l'efficienza nella gestione dei costi e del capitale sono orientati all'interno dell'azienda. Ad ogni attributo, ed a seconda del livello di dettaglio del processo, sono attribuiti uno o più indicatori di performance (o metriche come vengono definite dal modello). Ad esempio, per il livello 1, lo SCOR definisce le metriche riportate in figura (Figura 31).

Performance Attribute	Level-1 Strategic Metric
Reliability	• Perfect Order Fulfillment (RL.1.1)
Responsiveness	• Order Fulfillment Cycle Time (RS.1.1)
Agility	• Upside Supply Chain Flexibility (AG.1.1) • Upside Supply Chain Adaptability (AG.1.2) • Downside Supply Chain Adaptability (AG.1.3) • Overall Value At Risk (AG.1.4)
Cost	• Total Cost to Serve (CO.1.001)
Asset Management Efficiency	• Cash-to-Cash Cycle Time (AM.1.1) • Return on Supply Chain Fixed Assets (AM.1.2) • Return on Working Capital (AM.1.3)

**Figura 25** Metriche di Livello 1 per i diversi Attributi definiti dallo SCOR (Fonte: APICS, 2017)

Le metriche o indicatori di performance del modello SCOR sono organizzati in una struttura gerarchica che rispetta i tre livelli precedentemente definiti per i processi. Il rapporto tra questi livelli è diagnostico ovvero le metriche di livello 2 servono come valutazione per le metriche di livello 1. Questo significa che guardando le prestazioni del livello 2 si è in grado di spiegare le lacune o i miglioramenti delle prestazioni del livello 1. Questo tipo di analisi delle prestazioni di una catena di approvvigionamento è denominato root-cause. Analogamente, le metriche di livello 3 servono come valutazione per le metriche di livello 2. La codifica delle metriche è stata introdotta nello SCOR 9.0 per garantire che le imprese possano adottare gli indicatori senza la necessità di rinominare quelli da loro già utilizzati. La codifica inizia con gli attributi di prestazione: Reliability - RL, Responsiveness - RS, Agility - AG, Cost - CO, and Asset Management - AM. Ogni metrica inizia con questo codice di due lettere, seguito da un numero per indicarne il livello, seguito da un identificatore unico. Per esempio, Perfect Order Fulfillment è definito come RL. 1.1 per una metrica di livello 1 all'interno dell'attributo Reliability. Dato che il modello fornisce per ogni livello gerarchico specifici indicatori per il processo in analisi, ciò garantisce la possibilità di entrare nel dettaglio delle performance delle singole attività. L'adozione di indicatori

condivisi con lo stesso significato ed algoritmo di calcolo permette e facilita il confronto con i competitors e con soluzioni alternative di configurazione della catena logistica. In questo modo l'azienda può stabilire quali sono le aree su cui andare a lavorare per migliorare le performance rispetto alle altre aziende oppure può comprendere qual è la configurazione più appropriata alla strategia di business seguita.

### **1.9.3 Best Practice**

La sezione sulle pratiche migliori da adottare fornisce una raccolta di Best Practice che sono state riconosciute dalle aziende che collaborano allo sviluppo del modello nel corso del tempo. Una pratica è un modo unico per configurare un processo o un insieme di processi. L'unicità può essere determinata dall'automazione del processo, da una tecnologia applicata al processo, da competenze speciali applicate al processo, da una sequenza unica per l'esecuzione del processo o da un metodo unico per la distribuzione e la connessione dei processi tra le organizzazioni. Lo SCOR riconosce che all'interno di ogni organizzazione esistono diversi tipi di Best Practice ovvero:

- Pratiche emergenti
- Best Practice
- Pratiche standard
- Pratiche in declino

Lo SCOR riconosce che la qualifica di una pratica può variare a seconda del settore e dell'area geografica in cui opera l'azienda. Per alcuni settori una pratica può essere standard, mentre la stessa pratica può essere considerata una pratica emergente o Best Practice in un altro settore. La classificazione SCOR delle pratiche è stata stabilita sulla base dei contributi di professionisti ed esperti provenienti da una vasta gamma di settori industriali. Tutte le pratiche SCOR sono state mappate in una o più classificazioni; queste aiutano a identificare le pratiche per area d'intervento, ad esempio inventory management o introduzione di nuovi prodotti.

#### 1.9.4 Persone

La sezione People dello SCOR è stata introdotta nello SCOR 10 e fornisce uno standard per descrivere le competenze necessarie per svolgere compiti e gestire i processi; queste competenze sono generalmente specifiche della supply chain ma possono essere applicabili anche in contesti esterni ad essa. Le competenze sono descritte da una definizione standard e sono associate ad altri aspetti: Aptitudes (Competenze), Experiences (Esperienze), Trainings (Formazione) and Competency level (Livello di Capacità). La codifica all'interno della sezione Persone fa sì che tutti gli elementi individuati dal modello inizino con la lettera H maiuscola seguita da una lettera maiuscola che rappresenta l'elemento: S per le Skills, A per le Aptitudes, E per le Experiences e T per il Trainings. Questi sono seguiti da un punto e da un numero; per esempio HS. 0010 è il codice per le Basic Finance Skills

In questo studio, il modello SCOR è utilizzato per mappare l'attuale configurazione della catena logistica volta alla produzione dell'assieme in esame con tecniche produttive tradizionali. Si analizzeranno nel dettaglio le attività necessarie alla creazione ed alla distribuzione del supporto portalampada, nonché si cercherà di individuare gli attori principali che operano all'interno di tale catena. Tramite le metriche definite dal modello si cercherà poi di individuare qualitativamente e dove possibile quantitativamente le performance della supply chain analizzata. Una volta fatto questo si definirà una possibile configurazione to-be della supply chain in cui viene adottata l'additive manufacturing come tecnica produttiva. Si mapperà dunque la nuova catena logistica per confrontarla a quella precedente e se ne identificheranno le principali metriche di performance per evidenziare possibili vantaggi e svantaggi dal punto di vista logistico dell'adozione delle tecniche additive.

## ***2 CASO DI STUDIO PORTALAMPADE: SUPPLY CHAIN TRADIZIONALE***

In questo capitolo verrà presentata, mappata e analizzata la catena di fornitura dei portalampada attualmente maggiormente in uso nella pratica industriale attuale. Per far ciò si farà riferimento al modello SCOR per l'individuazione delle attività che avvengono abitualmente e per gli indicatori di prestazione da analizzare.

### ***2.1 IL CASO DI STUDIO***

#### ***2.1.1 Individuazione del caso di studio***

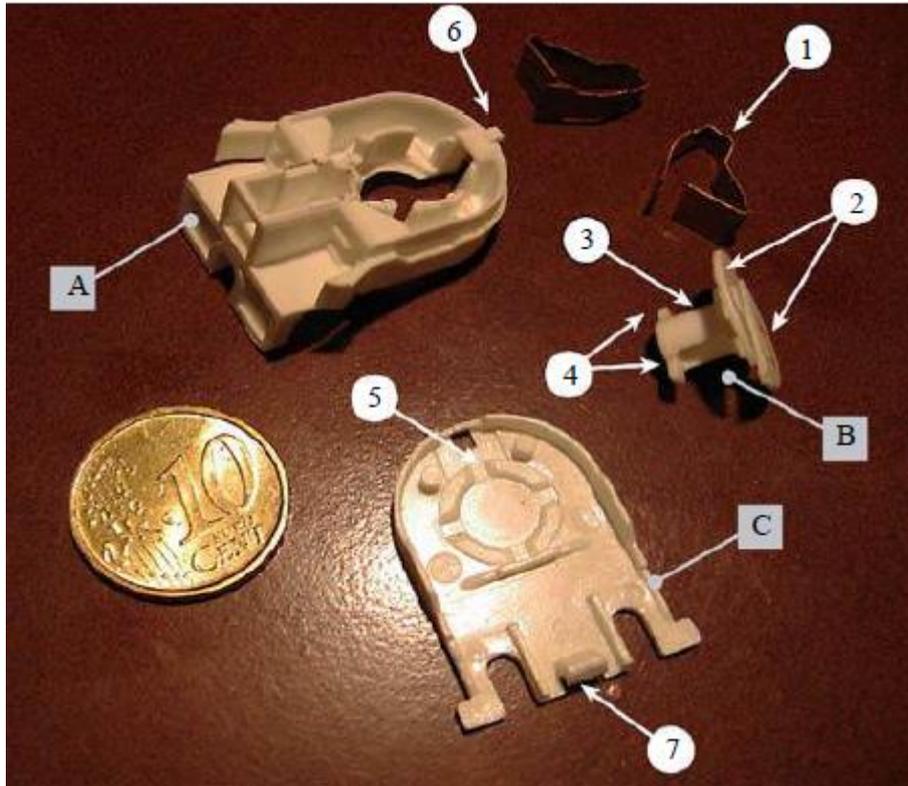
Al fine di individuare un possibile caso di studio che rientrasse nella definizione di assieme polimerico è stata effettuata un'attenta ricerca della letteratura presente per individuare esempi utili alla trattazione. Un assieme è un apparato composto da più componenti che ne garantiscono il corretto funzionamento, questi vengono prodotti singolarmente e poi montati, o assemblati, insieme per realizzare il prodotto finito. È stato dunque necessario individuare un dispositivo composto in materiale polimerico che fosse formato da più componenti diverse; questo poi doveva essere ridefinito nel design al fine di sfruttare le capacità dell'additive manufacturing, in particolar modo nella realizzazione dell'oggetto in un unico componente. Dalle ricerche effettuate molte di queste non entravano nel dettaglio della presentazione del caso di studio ma si soffermavano sui vantaggi qualitativi dell'additive manufacturing. Altre invece pur presentando possibili design volti a ridurre il numero di componenti dell'assieme analizzato non presentavano con chiarezza la sostenibilità produttiva e le possibili applicazioni del nuovo oggetto. Lo studio di Atzeni ed altri ricercatori (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) presenta invece un'attenta definizione di quelle che sono le caratteristiche dell'assieme prima e dopo la sua rivisitazione per adattarlo alle tecniche di produzione additiva. Gli autori individuano in un attacco per lampada fluorescente il loro caso di studio e dimostrano che, per medi volumi produttivi, l'additive manufacturing può competere con le tecniche tradizionali di produzione. L'oggetto in questione rientra nella definizione di assieme in quanto è formato da più componenti che vengono successivamente assemblati per realizzare il prodotto finito. Il caso appare interessante anche data la semplicità dell'oggetto in questione, molti studi infatti si concentrano sull'utilizzo dell'additive manufacturing per oggetti ad alto valore aggiunto. Appare interessante per questo analizzare come le nuove tecniche produttive si adattano alla

produzione di oggetti “di serie” e soprattutto qual è il loro impatto sugli aspetti logistici della catena di fornitura in questione. L’invito finale dei ricercatori era quello di allargare l’analisi agli impatti sulla supply chain in modo tale da dimostrare come la nuova tecnologia risulti ancora più competitiva se vengono presi in considerazione anche questi aspetti. Dato l’interesse che lo studio ha suscitato nel mondo scientifico e data la compatibilità dell’oggetto da loro analizzato con la definizione di assieme è stato deciso di approfondire gli aspetti legati alla distribuzione e produzione di portalampade per lampade fluorescenti.

### ***2.1.2 Il Portalampada***

L’attacco per lampada fluorescente è un dispositivo utilizzato per condurre l’elettricità ad una lampada fluorescente e per sostenere la lampada nel suo alloggiamento. Il prodotto comprende quattro parti: la base isolante (A), la piastra rotante (B), il coperchio (C) e i contatti elettrici sagomati (1) (Figura 23). La custodia è composta dalla base isolante e dal coperchio ed è realizzata in Policarbonato (PC). Il Policarbonato, date le sue proprietà di isolante elettrico e di termoresistenza, viene utilizzato principalmente per applicazioni elettriche ed elettroniche al fine di garantire la sicurezza dei dispositivi e il rispetto delle norme in tale ambito di applicazione. La piastra rotante della presa è invece realizzata in Polibutilene tereftalato (PBT) per isolare i contatti elettrici realizzati in rame o in materiale metallico rivestito di rame. La presenza di sostanze chimiche nell’ambiente di installazione può creare seri problemi al materiale plastico dei portalampade. In generale i portalampade in policarbonato sono installati in ambienti con presenza di sostanze chimiche (es. idrocarburi alogenati, fenili eteri, oli, acidi grassi vegetali e animali, etc.) possono verificarsi problemi di infragilimento e rotture. I portalampade in PBT (versione a richiesta) possono rappresentare una valida alternativa a quelli standard in policarbonato, quando devono essere installati in ambienti con presenza di sostanze chimiche. Il PBT, infatti, è caratterizzato da un’eccellente resistenza a diverse tipologie di sostanze chimiche grazie anche ad una temperatura massima di funzionamento (140°C) superiore a quella del Policarbonato (110°C). I raggi UV emessi dalle lampade fluorescenti possono modificare, con il passare del tempo, l’aspetto estetico (es. cambio di colore) e le caratteristiche meccaniche (es. infragilimento, rotture) di ganci o accessori plastici a diretto contatto con le lampade stesse. Pertanto, è di fondamentale importanza che il costruttore di apparecchi di illuminazione mantenga, nelle vicinanze di ganci o accessori plastici a diretto contatto con le lampade

fluorescenti (es. ferma lampada), la temperatura più bassa possibile. La temperatura massima raccomandata è 80 °C.



*Figura 26 Portalampada originale (Fonte: Atzeni et al., 2010)*

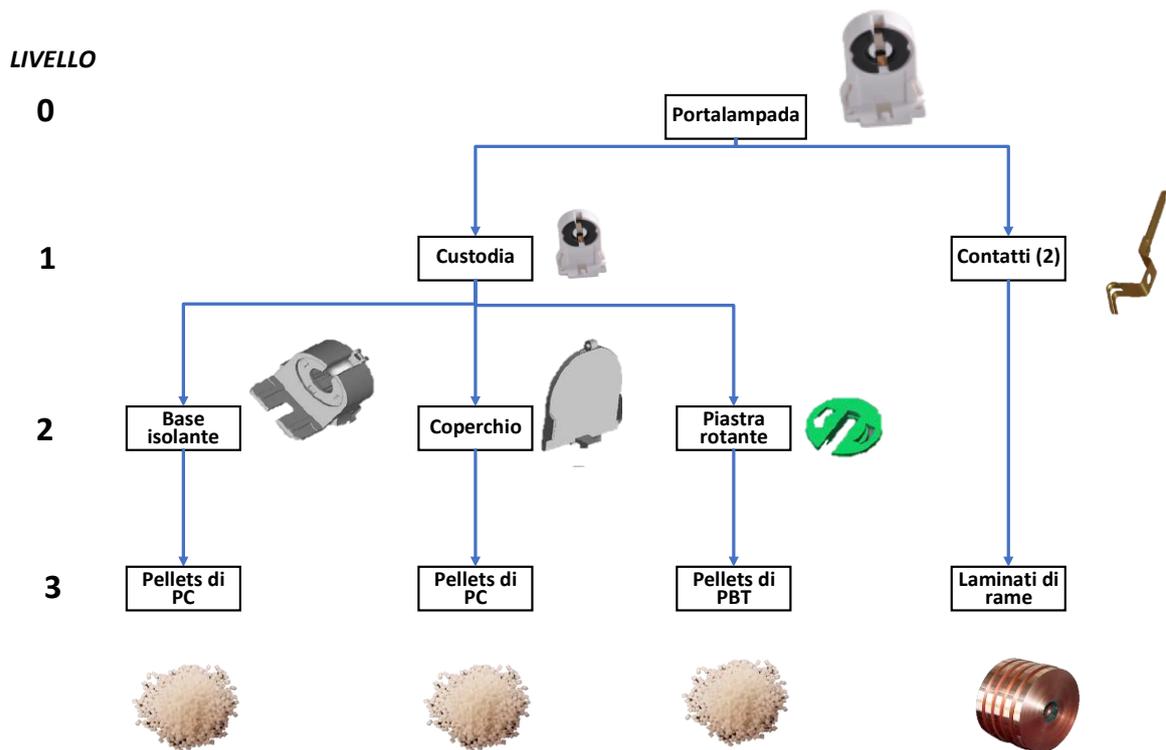
I due contatti vengono collocati nella base isolante prima del montaggio degli altri tre componenti. La piastra rotante è composta da due metà semicircolari (2) che sono collegate da un aggancio ad U (3). Due piccole borchie sulla base della piastra rotante consentono di fissarla all'interno della base isolante. Una volta posizionata, la piastra può ruotare di 90 gradi per raggiungere la posizione operativa che garantisce la trasmissione della corrente e per semplificare la procedura di sostituzione della lampada fluorescente. Due perni (4) nella parte inferiore della piastra permettono di mantenere la stessa in posizione operativa in quanto si abbinano ad apposite guide (5) sul lato interno del coperchio. La chiusura del coperchio è garantita da un gancio (6) sulla parte superiore della base isolante e da un sistema di aggancio a scatto a sbalzo (7) sul lato opposto. I contatti (1) possono essere derivati o non derivati a seconda dell'uso necessario in fase di installazione. Se i contatti sono derivati, sono costituiti da un unico pezzo di rame mentre se non derivati sono necessari due contatti di rame per realizzare il portalampada. In questo caso di studio prendiamo in considerazione il portalampada non derivato che è costituito da due diversi contatti in rame. Esistono diversi

tipi di portalampade in base al tipo ed alla dimensione delle lampade fluorescenti che devono ospitare, ciò nonostante il principio di funzionamento e costruzione è del tutto simile in tutti i casi, cambiano solo le dimensioni dei portalampada stessi. La particolare forma di questi oggetti nasce dall'esigenza di fissarli nel luogo di utilizzo e dalla necessità di adattarsi alle spine bi-pin utilizzate nei tubi fluorescenti (Figura 24).



*Figura 27 Esempio di tubo fluorescente con attacco bi-pin*

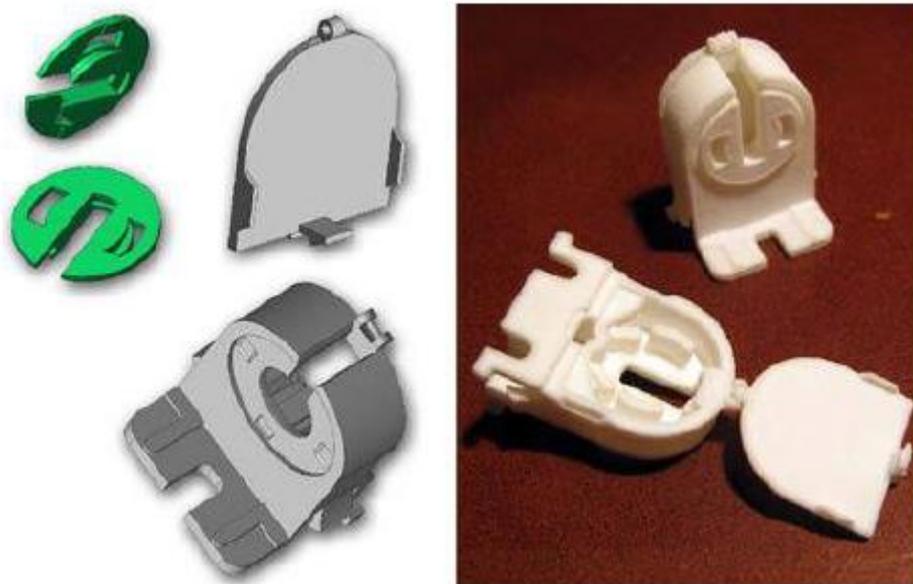
Al fine di comprendere meglio come è composto l'insieme in analisi, viene presentata al lettore una distinta base (Figura 25) di quelli che sono i componenti necessari per realizzare il portalampada.



*Figura 28 Distinta base del Portalampada prodotto con tecniche tradizionali*

Il portalampage in analisi viene oggi prodotto esclusivamente secondo tecniche tradizionali che vedono l'utilizzo di complessi e costosi macchinari. I tre componenti della custodia sono prodotti tramite stampaggio a iniezione utilizzando pellet di plastica per alimentare la macchina. I pellet vengono portati a fusione e tramite una tramoggia vengono iniettati in uno stampo appositamente realizzato per il design del prodotto finito. Vengono poi espulsi dallo stampo e trasportati alla successiva fase dall'operatore addetto. I contatti elettrici sono realizzati mediante stampaggio a freddo a partire da laminati di rame tramite presse e stampi appositamente realizzati per rispettare le specifiche di progetto. A causa dell'economie di scala produttive e della manodopera necessaria per l'assemblaggio del prodotto finale, i portalampage sono prodotte principalmente in Asia e in particolare in Cina. Il design di questo assieme è stato rivisto nello studio (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) con tecniche di design volte a sfruttare appieno le capacità della produzione mediante additive manufacturing (Figura 26); queste tecniche prendono il nome di Design For Rapid Manufacturing (DFRM). Con il nuovo design il portalampage può essere prodotto in un unico oggetto finito con le stesse dimensioni e caratteristiche di quello tradizionale senza però la necessità di assemblare le diverse componenti della custodia (Figura 28). La nuova

custodia necessita ancora della possibilità di aprirsi per il montaggio dei contatti elettrici e per la manutenzione in fase di utilizzo, ma in questo caso la copertura è collegata alla base per mezzo di una cerniera e non è più ad incastro. La piastra rotante è integrata nella base isolante ed è dotata di una scanalatura circolare che la fissa nella giusta posizione, ma ne permette anche la corretta rotazione. La funzione dei perni è sostituita da due borchie poste sul lato interno della piastra rotante, mentre le sedi corrispondenti si trovano all'interno della base isolante. In questo modo la presa è più compatta e resistente. Il coperchio è stato ridotto nella sua estensione verticale: solo la parte superiore della base isolante, contenente l'alloggiamento per i contatti elettrici, viene tenuta aperta. La chiusura a scatto è stata spostata al bordo inferiore perché la parte inferiore del coperchio originale è stata integrata nella base isolante. Sono state mantenute le borchie laterali sulla copertura per assicurare la corretta chiusura. Per quanto riguarda il collegamento tra base e coperchio è stata scelta una cerniera per consentire l'apertura e chiusura del portalampada.



**Figura 29** Portalampada riprogettato con tecniche DFRM (Fonte: Atzeni et al.,2010)

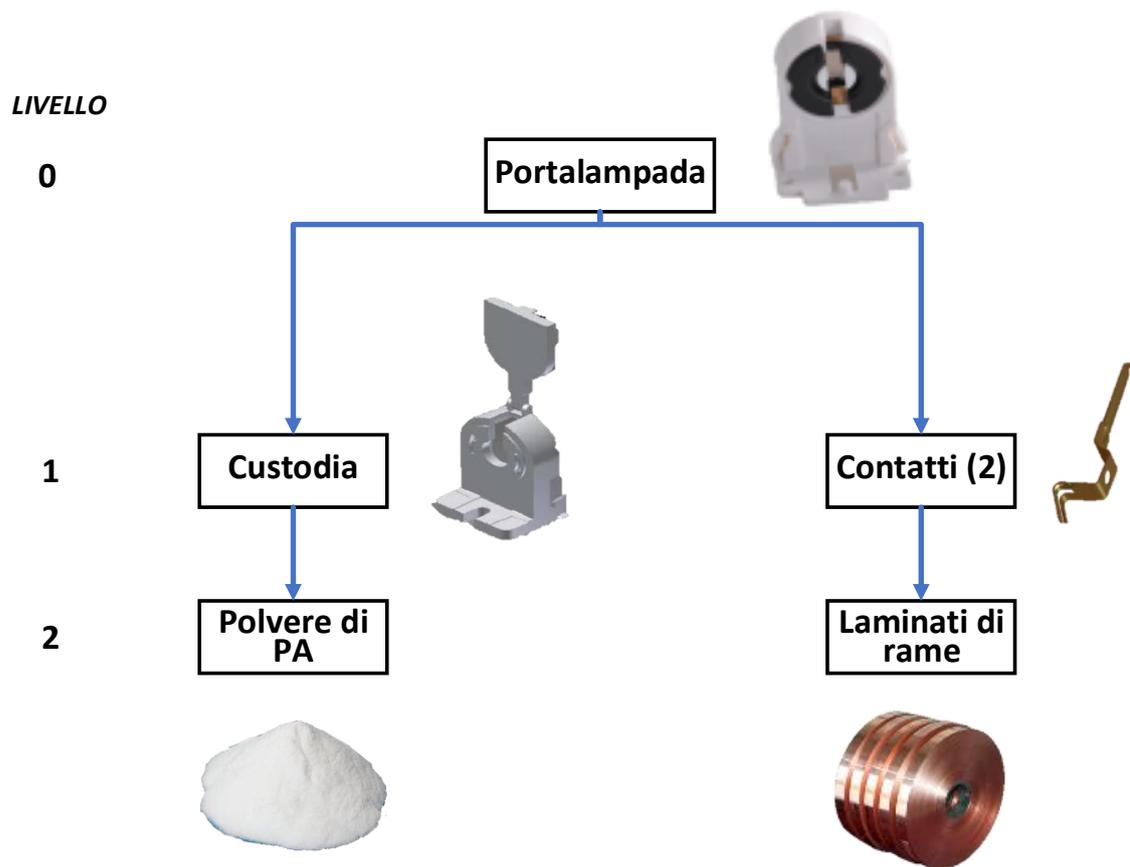
Per la produzione dell'assieme tramite additive manufacturing gli autori dello studio (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) hanno selezionato la tecnica di sinterizzazione laser selettiva (SLS) dato il suo equilibrio tra costo e precisione del processo. Due macchine sono state analizzate nella stima dei costi di produzione, la EOS P390 e la EOS P730; la prima è risultata più conveniente dal punto di vista economico per il caso di studio selezionato. Data la normativa vigente, l'oggetto è costituito da Poliammide ignifugo (PA 2210 FR) per

ritardare la propagazione delle fiamme dovute al surriscaldamento e rispettare così le norme di sicurezza previste per i dispositivi di questo tipo. Il PA 2210 FR è una poliammide fornito sotto forma di polvere dall'azienda EOS alla quale vengono aggiunti ritardanti di fiamma ed è privo di alogeni. Dal confronto tra i costi di produzione tramite tecniche tradizionali (stampaggio a iniezione) e tramite additive manufacturing (SLS), gli autori evidenziano una quantità produttiva (Break Even Point BEP) per cui le tecniche additive risultano più vantaggiose rispetto a quelle tradizionali. Si possono produrre fino a 87000 portalampade tramite stampa 3D avendo un vantaggio economico produttivo rispetto alle tecniche tradizionali; per volumi superiori lo stampaggio a iniezione risulta più vantaggioso. Lo studio però si concentra solo sugli aspetti produttivi senza considerare quelli logistici che potrebbero influenzare positivamente nella scelta dell'adozione di tecniche additive. In questo elaborato verrà considerato come cambia il BEP individuato dal momento che molte voci di costo relative alla produzione tramite stampa 3D sono cambiate nel corso degli anni. Un nuovo studio (Tiwari, Pande, Agrawal, & Bobade, 2015) ha migliorato ulteriormente il design del portalampada utilizzando l'approccio Value Engineering (VE) per ottimizzare il prodotto finito senza compromettere la funzionalità, con conseguente risparmio di materiali e costi (Figura 27). Questo approccio misura il valore di un prodotto tramite il rapporto tra le sue funzionalità e il suo costo, per aumentare il valore di un prodotto si può agire o aumentandone le funzionalità o riducendone i costi di produzione. In questo caso gli autori hanno ridotto i costi di produzione creando un design che richiedesse l'impiego di meno materia prima possibile; garantendo però l'integrità e la robustezza del prodotto. L'assieme riprogettato è anche esso fabbricato mediante un processo SLS e con lo stesso materiale PA 2210 FR. La massa totale del portalampada rivisto risulta di 3,06 g a fronte dei 9 g dello stesso oggetto ottenuto tramite stampaggio a iniezione. Lo studio prosegue con un'analisi dei costi di produzione che risultano ridotti grazie alla riprogettazione dell'assieme, si passa dal costo di 1.19 \$ al pezzo stimato dallo studio di Atzeni (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) al costo di 1.15 \$ al pezzo.



**Figura 30** Portalampada riprogettato con tecniche VE (Fonte: Sunil Kumar Tiwari et al.,2015)

Con il nuovo design la distinta base è ridotta ed anche le operazioni di montaggio sono ridotte a causa della produzione di un pezzo unico tramite additive manufacturing. L'unica operazione di montaggio ancora necessaria consiste nell'inserimento dei contatti elettrici nella custodia e nella chiusura della custodia stessa. Gli autori dello studio stimano che il tempo necessario per le operazioni di assemblaggio con il nuovo design sia pari ad un terzo di quello necessario per l'assemblaggio del portalampada prodotto con tecniche tradizionali (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010).



*Figura 31 Distinta base del Portalampada prodotto tramite additive manufacturing*

L'obiettivo di questo lavoro è quello di analizzare l'impatto dell'additive manufacturing sulla supply chain destinata alla produzione dell'assieme in materiale polimerico individuato dal supporto portalampade analizzato nello studio precedente (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010). L'analisi ed il confronto verranno effettuati utilizzando il modello Supply Chain Operations Reference (SCOR); ciò al fine di individuare la configurazione AS-IS della catena logistica in esame e di confrontarla con una possibile configurazione TO-BE che veda l'impiego di tecniche additive per la produzione.

## **2.2 PRESENTAZIONE**

I portalampade per lampade fluorescenti sono prodotti principalmente in Cina ed in particolare nella regione del Guangdong; le grandi aziende specializzate nella produzione e commercializzazione di apparecchiature elettriche spesso si avvalgono di produttori asiatici per la realizzazione dei portalampada. Questo al fine di sfruttare le economie di scala, la disponibilità di materie prime e i bassi salari presenti in Cina; spesso però tralasciando le possibili complicazioni della produzione offshore per concentrarsi esclusivamente sui costi di produzione. Infatti, anche la produzione offshore comporta dei costi che spesso sono sottovalutati dalle imprese che fanno affidamento su fornitori esteri, secondo uno studio (Platts & Song, 2010) le imprese stimano che questi costi siano pari al 25% del prezzo del prodotto acquistato quando in realtà sono ben superiori e si aggirano intorno al 50%. Molti autori hanno provato ad individuare le possibili fonti di costo che nascono quando si affida la produzione a fornitori in paesi in via di sviluppo. Alcuni ricerche (Holweg, Reichhart, & Hong, 2011) individuano tre tipologie di costi che nascono quando ci si affida al global sourcing: costi statici, costi dinamici e costi nascosti. I costi statici sono i più evidenti ed ovvi, e generalmente, non vengono trascurati dalle imprese ma spesso vengono sopravvalutati in termini di impatto e importanza. Tra questi troviamo:

- Prezzo di acquisto
- Costo di trasporto
- Costi doganali e assicurativi
- Costi dei controlli qualità
- Costi di gestione e ricerca dei fornitori

I costi dinamici invece vengono così definiti perché legati alla variabilità della domanda ed alle procedure volte a rispondere alle fluttuazioni del mercato. Tra questi costi vi sono:

- Costi dovuti all'aumento delle scorte in transito e delle scorte di sicurezza
- Costi di obsolescenza dovuti ai maggiori lead time
- Costi di stock-out e mancata vendita in caso di rotture di stock
- Costi di spedizione espressa (ad esempio per via aerea) per sopperire a rotture di stock

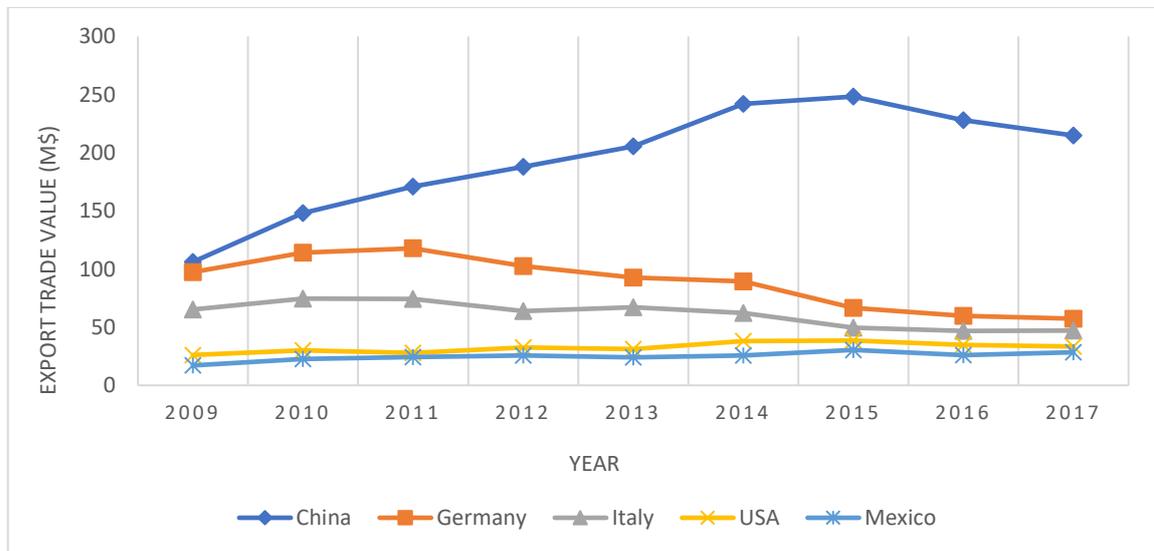
Non bisogna sottovalutare che il dover prevedere la domanda per intervalli di fornitura maggiori aumenta l'incorrettezza delle previsioni stesse facendo crescere così la probabilità che i costi sopra citati si presentino. L'ultima tipologia di costi individuati dagli autori, i costi

nascosti, spesso sono completamente trascurati dalle aziende, forse anche per la difficoltà nella stima degli stessi, ma possono avere un grande impatto. Tra i costi nascosti vi sono:

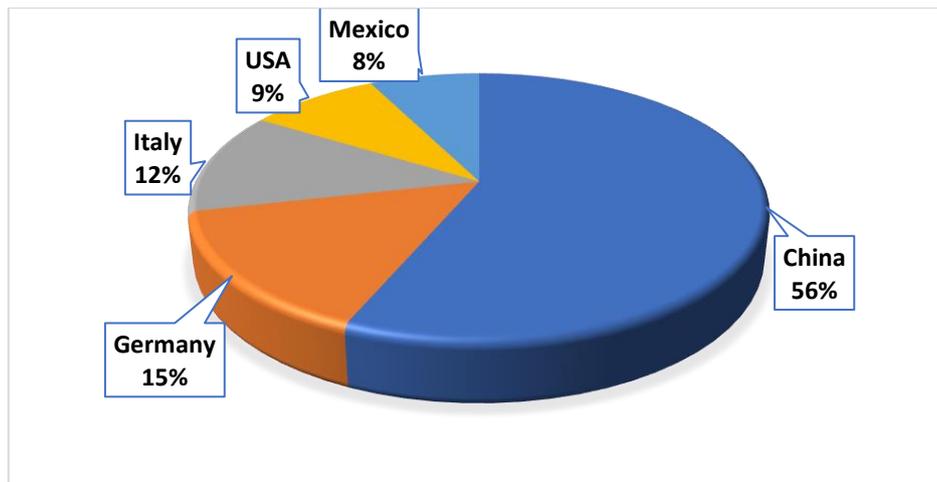
- Costi legati all'aumento dei salari nei paesi in via di sviluppo
- Costi legati alle fluttuazioni dei tassi di cambio
- Costi legati alle variazioni dei costi di trasporto
- Costi generali legati alla gestione dei rapporti con un fornitore internazionale (tempo, spese di trasferta ecc.)
- Rischi legati all'instabilità politica ed economica della Paese in cui operano i fornitori
- Rischi legati alla perdita della proprietà intellettuale sul bene prodotto

Nel corso della trattazione si daranno delle indicazioni sulla rilevanza e sull'impatto di tali costi nel caso di studio analizzato.

Le figure sottostanti (Figura 32 e Figura 33) mostrano come la Cina sia leader per esportazioni dei portalampada in esame; questa stacca di molto le altre nazioni in termini di produzione. I dati per tali analisi provengono dal United Nations International Trade Statistics Database.



**Figura 32** Trend di esportazione di portalampade con voltaggio inferiore a 1000V (Fonte: UN Comtrade Database)



**Figura 33** Quote di mercato per le esportazioni di portalampade nell'anno 2017 (Fonte: UN Comtrade Database)

I fornitori cinesi fungono da Original Equipment Manufacture (OEM) in quanto possono produrre l'articolo in questione con tutte le specifiche richieste dalle grandi aziende occidentali, offrendo anche imballaggio ed etichettatura su misura [2]. Le imprese che fanno richiesta di questo tipo di servizi produttivi si trovano principalmente in Europa, Stati Uniti e Sud America e puntano ad offrire prodotti a prezzi competitivi. Gli appaltatori occidentali possono anche scegliere tra una serie di prodotti già presenti nel catalogo degli OEM e già pronti ad essere commercializzati in quanto presentano le relative certificazioni di sicurezza in base al paese in cui verranno commercializzati [3]. Gli OEM cinesi a loro volta possono contare su molti subfornitori per trovare i componenti necessari per assemblare i prodotti offerti (Figura 35). Le tipologie di fornitura offshore sono molto varie e vanno da fornitori completamente integrati specializzati nella fabbricazione di alcune tipologie di prodotti [4], a fornitori che agiscono come assemblatori acquistando componenti da altri fornitori più piccoli e specializzati [5]. I primi riescono a produrre internamente tutte le componenti necessarie alla realizzazione del prodotto finito, pertanto hanno in loro possesso una serie di macchinari e competenze diverse per offrire una vasta gamma di prodotti. I secondi invece non producono tutti i componenti necessari a realizzare il prodotto finito ma fanno affidamento sulla manodopera locale per assemblare i pezzi prodotti da altri fornitori; questa flessibilità permette loro di realizzare un range di prodotti maggiore. La produzione offshore è favorita anche dalla facilità ed economicità di reperire materie prime, la Cina è infatti il maggior produttore di materie plastiche e uno dei maggiori produttori di rame e per questo motivo può fornire materie prime a basso costo. La crescita dei salari dei lavoratori cinesi

negli ultimi anni ha ridotto la possibilità avvantaggiarsi dalla manodopera a basso costo, riducendo così alcuni dei benefici economici che una volta erano possibili producendo in Cina. Gli OEM richiedono quantità minime di riordino molto elevate a fronte di sconti sul prezzo unitario di acquisto; dati i costi di trasporto da sostenere, non risulta infatti conveniente acquistare piccoli lotti di prodotto. Ciò può causare difficoltà nella pianificazione degli ordini e inefficienze logistiche legate al fatto di non riordinare la quantità ottimale necessaria ma di ordinare più del necessario. Questa politica di approvvigionamento non ottimale può far lievitare i livelli delle scorte all'interno della catena logistica e può complicare il processo di gestione della fornitura del prodotto verso il cliente finale. Infatti, una volta assemblato, il prodotto viene poi spedito in grandi lotti verso l'Europa o il Nord America con lunghi tempi di consegna che possono andare dai 30 ai 50 giorni a causa del trasporto via nave ed alle procedure doganali. Una volta importato, spetta alla “casa madre” immagazzinare e distribuire il prodotto attraverso i suoi canali. In generale, per la tipologia di prodotto in analisi, le grandi aziende occidentali si affidano a centri di distribuzione regionali per centralizzare le spedizioni che verranno poi dirette verso i grossisti specializzati ed infine verso punti vendita sul territorio (Figura 35). Per raggiungere il cliente ci sono diversi canali, i principali sono affidarsi ad aziende della grande distribuzione organizzata o a grossisti che riforniscono i negozi specializzati nella vendita di apparecchiature elettriche. Nel presente studio viene analizzata una possibile supply chain per portalampade che ha come centro di produzione la Cina in cui un produttore/assemblatore locale provvede alla realizzazione dell'insieme in oggetto secondo le specifiche richieste dalla “casa madre” occidentale. Il fornitore asiatico a sua volta si affida a subfornitori per trovare i componenti necessari per l'assemblaggio del prodotto. In questo caso si assume che ci siano due fornitori, uno per i componenti plastici della custodia e uno per i contatti elettrici. Ciò è stato fatto sia in base ad alcune informazioni ottenute tramite siti specializzati nella ricerca di fornitori asiatici come [made-in-china.com](http://made-in-china.com), [globalsources.com](http://globalsources.com) o [aliexpress.com](http://aliexpress.com). Sia grazie ad alcune domande (Figura 34) inoltrate a diversi produttori individuati in rete per avere indicazioni sulla catena logistica. Le aziende contattate in questo caso sono le seguenti:

- Zhejiang Hairui Electronic Technology Co., Ltd.
- Zhanda Lighting Electric Co., Ltd
- Minqing Vidar Electronic Appliance Co., Ltd.
- KWAY Engineering., Ltd

- Feilon Electronics Co., Ltd
- Shenzhen OX Lighting Tech. Co., Ltd
- Fuzhou Faithreach Ceramics & Electronic Co., Ltd.
- Fujian Minqing Haohong Porcelain Electronic Co., Ltd
- Shenzhen Meisbo Technology Co., Ltd
- BJB GmbH & Co. KG
- Lorraine Lighting & Irrigation, LLC
- Foshan Shunde Aozhong Lighting Co., Ltd
- James Industrial Development Co., Ltd

Dear Sir or Madam,

My name is Marco and I am an Italian master's degree student who is conducting a survey on the production of fluorescent lamp holders (for example T8 G13 lamp holder). I am writing to enquire about how your company makes this kind of products. I would be glad if you will answer to these my simple questions:

- 1) Do you manufacture fluorescent lamp holders or do you buy them? If you manufacture them do you produce all the components (electrical contacts, case) or do you buy them from external suppliers and then you just assemble the final product?
- 2) Fluorescent lamp holders are assembled manually or automatically?
- 3) Do you offer customized labelling?
- 4) Do you manufacture/sell this kind of item to renowned western companies?

Thanking you in advance for your collaboration I wish you a good day.

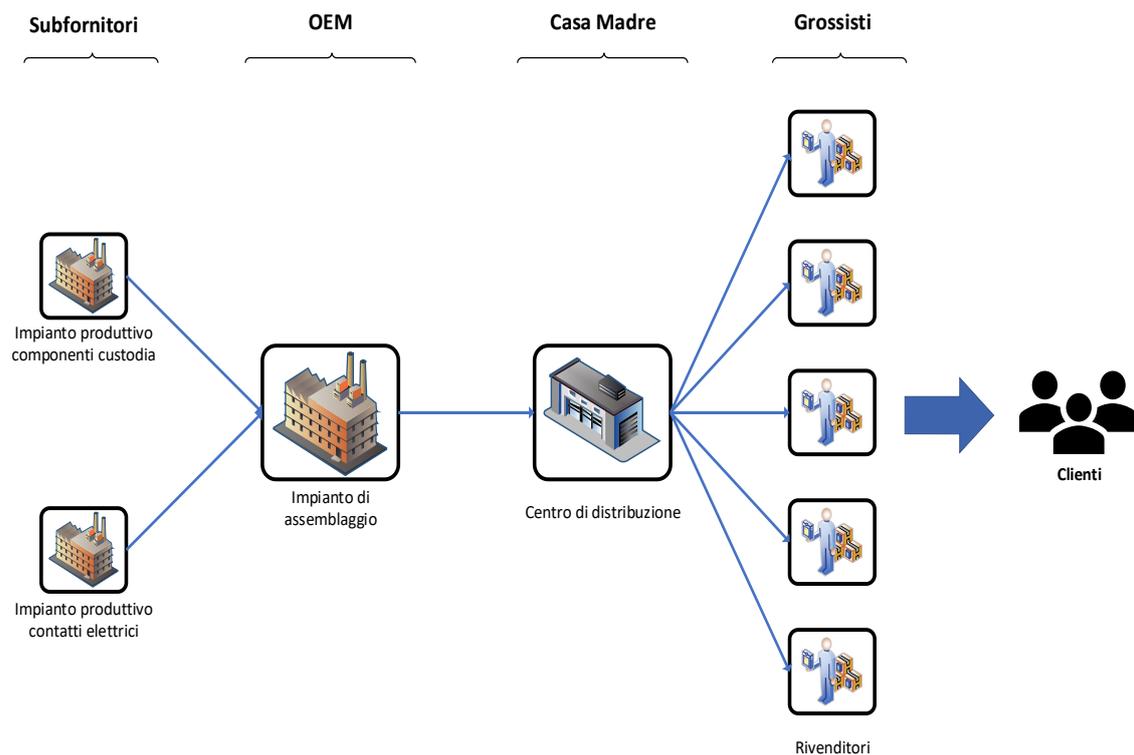
Sincerely,

Marco

*Figura 34 Domande effettuate ai produttori di portalampada asiatici*

Di tutte le aziende contattate l'unica a fornire indicazioni è stata la Foshan Shunde Aozhong Lighting Co., Ltd affermando che assembla manualmente i portalampada acquistando i componenti da altre aziende. Questa azienda inoltre offre servizi di personalizzazione del confezionamento secondo le esigenze del cliente ma al momento non ha ancora partnership

con clienti occidentali. I subfornitori sono aziende di piccole dimensioni e specializzate nella realizzazione di componenti per apparecchiature elettriche, per cui possono trarre vantaggio dalle economie di scala e di scopo condividendo la capacità produttiva delle loro macchine tra più clienti. Il range di prodotti realizzati da queste aziende è limitato ed è legato alle apparecchiature disponibili ed alla specializzazione degli operatori. Gli input di questi processi sono le materie prime, i pellet di plastica (PC e PTB) e i laminati di rame, e gli stampi necessari per realizzare i diversi componenti del supporto portalampada. Di solito questi fornitori si trovano nelle aree più centrali della Cina, da lì i componenti vengono poi spediti all' OEM che provvederà all'assemblaggio, all'imballaggio e all'etichettatura secondo le linee guida dell'azienda occidentale. Gli OEM sono situati in prossimità delle aree commerciali e si avvalgono della manodopera locale per comporre una vasta serie di oggetti elettrici da inviare ai clienti occidentali. Una volta assemblato il prodotto viene riposto in confezioni destinate alla vendita che possono contenere un numero di pezzi variabile dai 2 ai 10 e che sono etichettate secondo le richieste della "casa madre"; questo poi vengono raggruppate e preparate per le spedizioni via nave. Di solito le spedizioni di questo tipo partono dal porto di Shenzhen, nella regione del Guangdong, in quanto la maggior parte dei produttori di componenti elettrici della Cina si trova proprio in questa zona geografica. Il porto di Shenzhen nel delta del Fiume delle Perle è composto da diverse grandi strutture portuali (ad esempio Yantian, Chiwan, Shekou) che agiscono come entità distinte all'interno delle loro operazioni e che sono al servizio di diverse zone dell'entroterra. Da lì, le spedizioni raggiungono i principali porti europei o americani per essere poi smistate verso i centri di distribuzione delle aziende occidentali dove saranno immagazzinate in attesa di soddisfare la domanda dei clienti finali. Nel caso in cui le spedizioni siano dirette in Europa si farà riferimento al porto di Rotterdam, nel caso di spedizioni verso il Nord America si farà riferimento al porto di Long Beach per la costa Est ed al porto di New York per la costa Ovest, mentre per spedizioni dirette in Sud America si farà riferimento al porto di Santos (Brasile) per la costa Ovest ed al porto di Balboa (Panama) per la costa Est. I canali di distribuzione per raggiungere i clienti finali possono essere diversi, passando dalla grande distribuzione fino ad arrivare all'e-commerce. In questo studio si analizza lo scenario in cui la casa madre, servendosi di operatori logistici terzi, rifornisce grossisti specializzati nella distribuzione di materiale elettrico i quali a loro volta riforniscono i negozi specializzati.

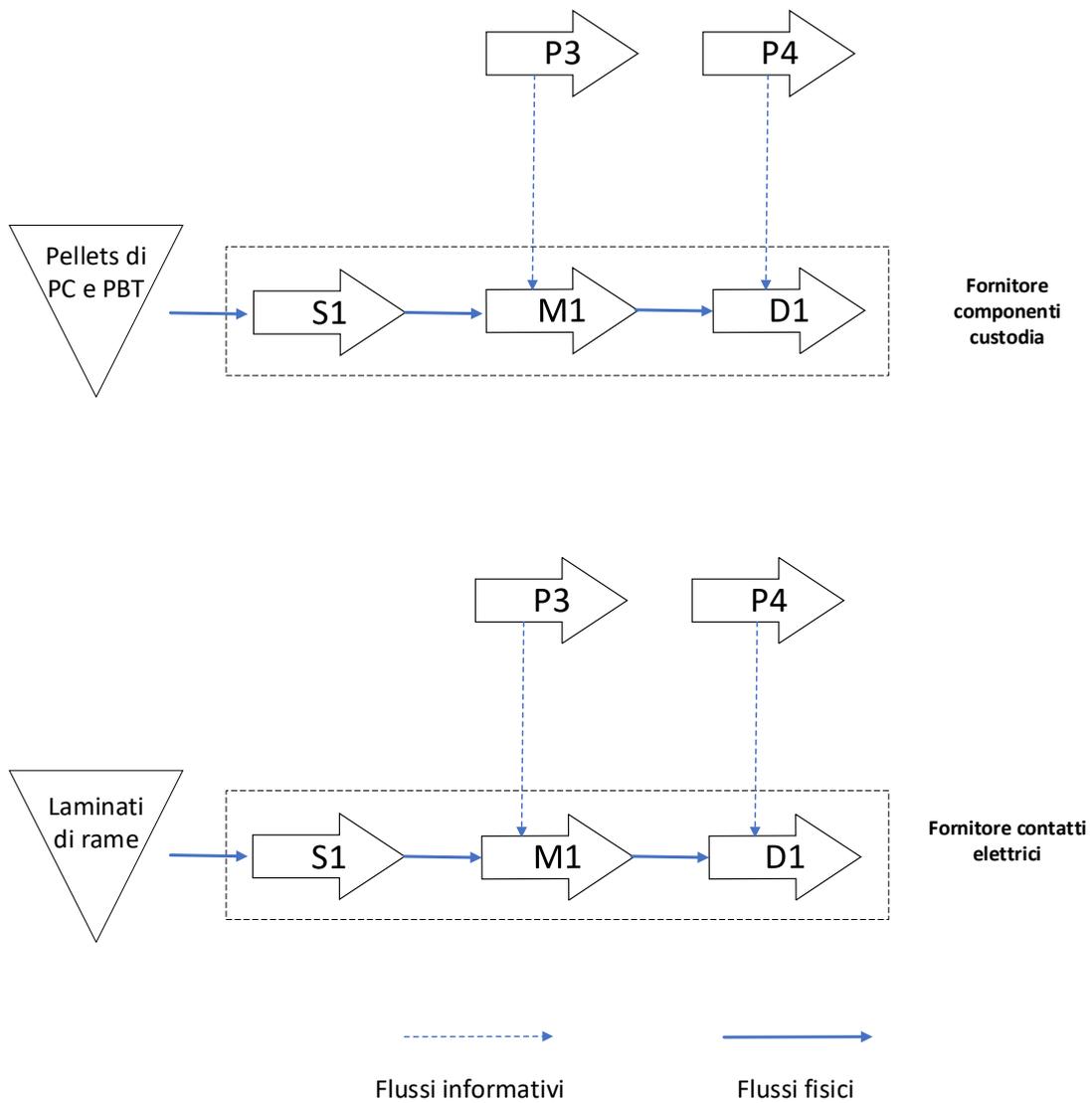


*Figura 35 Supply chain AS-IS per la produzione e distribuzione di portalampade per lampade fluorescenti*

Segue ora l'analisi in dettaglio dei diversi livelli della supply chain in questione, identificando per ognuno di essi il contributo fornito dall'utilizzo del modello SCOR come strumento di analisi. Verrà in fine redatta una mappatura dei vari processi che vengono eseguiti nella catena logistica nel rispetto della classificazione dei processi fornita dal modello. La mappatura si concentrerà in particolar modo sui primi tre livelli della catena (Subfornitori, OEM e Casa madre) in quanto sono questi i livelli che subiscono il più grande impatto nel momento in cui vengono adottate tecniche produttive additive.

### **2.3 SUBFORNITORI**

I subfornitori sono generalmente piccole e medie imprese specializzate nella fabbricazione di un numero limitato di prodotti. La natura specifica degli investimenti necessari per l'acquisto di attrezzature rende necessario sfruttare al meglio gli impianti di produzione. Nel caso specifico, sono stati supposti due subfornitori, uno per i contatti elettrici e l'altro per i componenti plastici del portalampada. I subfornitori sono aziende specializzate nella realizzazione di una serie di prodotti specifici; ad esempio il fornitore dei contatti elettrici realizzerà una vasta gamma di tipi di contatti elettrici di diverso materiale e disporrà di una serie di macchinari per realizzare tali prodotti [6]. I contatti elettrici sono realizzati a partire da laminati di rame che subiscono una serie di processi di taglio e formatura a freddo. È ragionevole supporre che vi sia un fornitore che a sua volta produce i laminati a partire dalla materia prima, ma ciò non rientra nell'ambito di analisi del presente caso. I componenti plastici sono invece prodotti mediante stampaggio ad iniezione per cui sono necessari macchinari e stampi realizzati per le specifiche di progettazione richieste dall'OEM, se questo non è presente nel catalogo dei prodotti già offerti dal fornitore cinese [7]. Per la realizzazione della custodia i pellet di materiale polimerico vengono estrusi e iniettati negli stampi per creare i componenti finiti. Le attività di pianificazione a questo livello sono molto approssimative e si limitano maggiormente all'approvvigionamento delle materie prime e alla pianificazione delle spedizioni all'OEM; inoltre queste sono finalizzate all'ottenimento del massimo utilizzo possibile delle apparecchiature. Anche per i resi non esiste una vera e propria politica di gestione, ma in caso di difetti viene effettuata una nuova spedizione per sostituire componenti che non soddisfano i requisiti specifici. L'approvvigionamento di materie prime avviene in grandi quantità per poter usufruire di sconti sui prezzi unitari senza porre il problema dei livelli di stock raggiunti. Lo stesso vale per la produzione, si segue una logica push per produrre il più possibile e poi accumulare i componenti finiti a magazzino. Le logiche produttive infatti non seguono gli ordini dei clienti ma hanno come obiettivo quello di sfruttare al massimo le capacità degli impianti. La rappresentazione grafica delle diverse attività svolte dai subfornitori viene realizzata partendo dalle attività standard riconosciute dal modello SCOR (Figura 36). Partendo dal Livello 2 si individuano poi le attività più rilevanti dei singoli processi di approvvigionamento, produzione, spedizione, pianificazione e gestione dei resi.



**Figura 36** Mappa SCOR di Livello 2 dei Subfornitori

### 2.3.1 Plan

La principali attività di pianificazione riguardano la pianificazione delle attività produttive e la pianificazione delle consegne ai clienti. Queste vengono rappresentate a Livello 2 con i due processi *Plan Make* P3 e *Plan Delivery* P4. La pianificazione delle attività produttive riguarda principalmente l’elaborazione dei piani in base alla disponibilità delle risorse intese come manodopera e macchinari. Come già anticipato questi piani non vengono elaborati in base agli ordini dei clienti ma sono guidati dall’obiettivo di massimizzare l’utilizzo delle risorse disponibili. Queste attività vengono svolte in modo molto semplice ed informale, non seguono le procedure adottate da aziende strutturate e non si avvalgono di supporti

informatici [8]. Questa fase viene modellata dall'attività SCOR di Livello 3 P3.4 *Establish Production Plans*. La pianificazione delle consegne ai clienti invece viene eseguita con più attenzione in modo tale da garantire un livello di servizio elevato. In questa fase si parte analizzando quelle che sono le richieste dei clienti, si valutano poi le risorse disponibili, ovvero la disponibilità di corrieri di trasporto, e si organizzano i piani di consegna ai clienti. La prima parte di questa fase viene definita dalle attività P4.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Delivery Requirements* e P4.2 *Identify, Assess, and Aggregate Delivery Resources*. Segue poi la redazione effettiva dei piani di consegna modellata dall'attività P4.4 *Establish Delivery Plans*.

### **2.3.2 Source**

I due subfornitori individuati gestiscono gli approvvigionamenti dai rispettivi fornitori secondo la modalità di gestione, riconosciuta dal modello SCOR, *Source Stocked Product* che viene rinominata come S1. Il modello individua questo insieme che raggruppa le attività riguardanti l'approvvigionamento, la consegna, la ricezione e il trasferimento di materie prime, sottoinsiemi, prodotti e servizi. Entrando più nel dettaglio dei processi SOURCE dei subfornitori vengono identificate due attività principali che possono riassumere l'intero processo di approvvigionamento. La prima attività riguarda la programmazione delle consegne delle spedizioni di materie prime; i subfornitori si accorderanno con i rispettivi fornitori sulle politiche di gestione delle consegne delle materie prime (pellets, laminati di rame, confezioni per imballaggi ecc.). Questa attività viene codificata tramite il modello SCOR con l'attività S1.1 *Schedule Product Delivers* che modella la pianificazione e la gestione dell'esecuzione delle singole consegne di prodotto rispetto al contratto di fornitura. I requisiti per le consegne dei prodotti sono determinati sulla base del piano di approvvigionamento dettagliato. La seconda attività fondamentale nella fase Source è il ricevimento delle materie prime; questa attività viene mappata dal modello come S1.2 *Receive Product* e ingloba tutti i processi necessari alla ricezione del prodotto nel rispetto dei requisiti di fornitura. In questa fase si verifica la corrispondenza del carico con l'ordine effettuato, si verificano le condizioni di trasporto e si avviano le procedure di scarico della merce. Una volta ricevuta, la merce viene verificata dal punto di vista qualitativo per garantirne il rispetto dei requisiti richiesti; avviene dunque l'attività S1.3 *Verify Product*. Segue poi l'attività di trasporto verso il luogo di stoccaggio della merce, questa viene effettuata tramite l'utilizzo di carrelli elevatori e viene definita tramite l'attività S1.4

*Transfer Product.* Una volta eseguite tutte le operazioni di ricevimento e verificata la qualità della merce si può procedere al pagamento del fornitore, questo può avvenire secondo diversi termini in base al rapporto tra le parti. In ogni caso si ha un'attività S1.5 *Authorize Supplier Payment.*

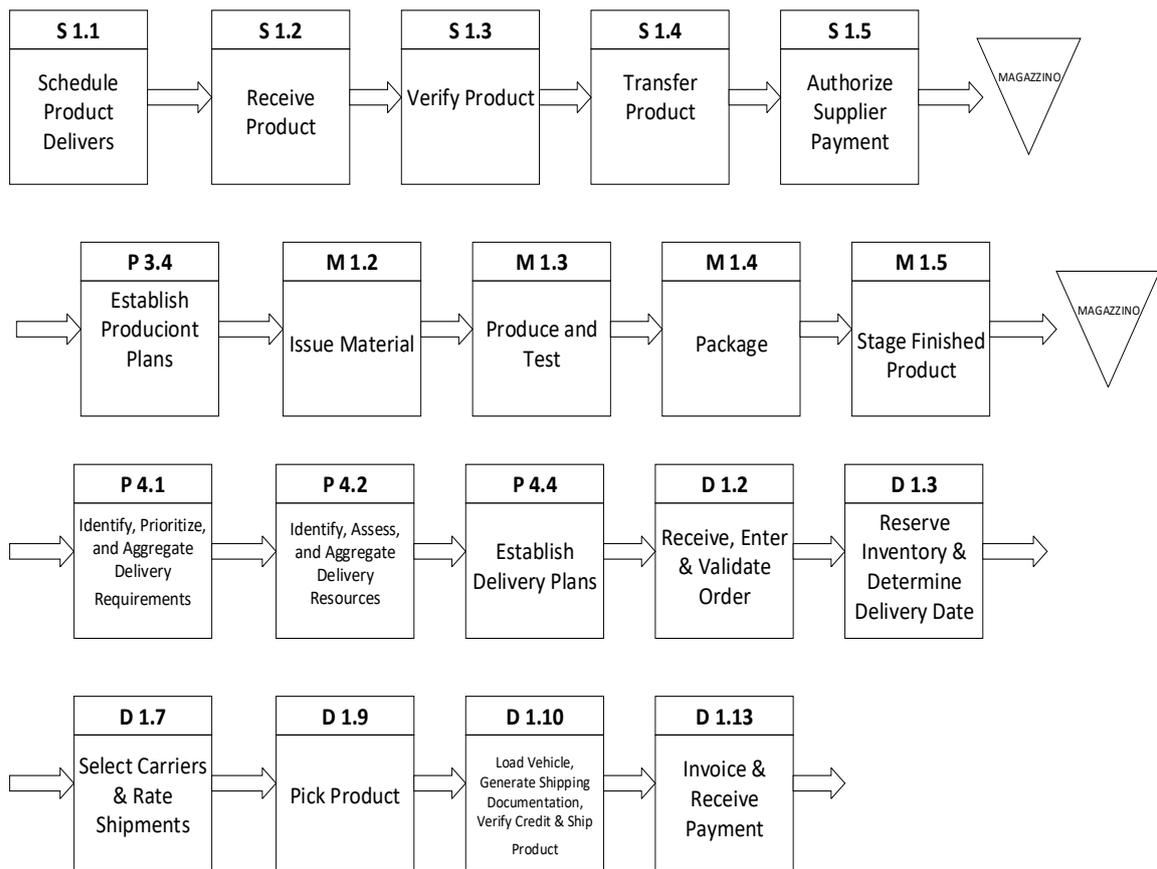
### **2.3.3 Make**

Le attività produttive dei due fornitori seguono entrambe una logica *make to stock* per questo è stato scelto di mapparle con il macro-processo SCOR di livello 2 *Make-to-Stock* codificato con la sigla M1. I prodotti *make to stock* vengono realizzati precedentemente alla ricezione di un ordine cliente; essi infatti vengono prodotti in base a delle previsioni di domanda più o meno certe. L'ambiente produttivo dei due subfornitori in esame segue bene quanto sopra detto, la produzione dei componenti avviene prima che vi sia un'effettiva richiesta dell'OEM; le attività di previsione e pianificazione della produzione invece sono piuttosto limitate. Scendendo al livello inferiore di descrizione possiamo individuare alcune attività del modello SCOR che vanno a formare quello che è il processo produttivo M1 *Make-to-Stock*. La prima attività che si incontra è quella che viene codificata come M1.2 *Issue Material* e riguarda essenzialmente la selezione e la movimentazione delle materie prime dal luogo di stoccaggio ad uno specifico punto di utilizzo. L'attività successiva è quella di M1.3 *Produce and Test* che ingloba tutte le fasi produttive volte a trasformare le materie prime in componenti finiti. Per il fornitore dei contatti elettrici si fa riferimento alle attività di formatura e taglio a freddo dei laminati di rame al fine di creare il prodotto finito; mentre per il fornitore dei componenti plastici si fa riferimento allo stampaggio a iniezione degli stessi. Le attività di test, data la semplicità dei prodotti, si limitano al controllo visivo da parte degli operatori in linea ed alla realizzazione di alcuni semplici test volti a verificare le proprietà meccaniche e chimiche dei componenti stampati. Tra questi troviamo le prove distruttive volte ad analizzare la resistenza dei componenti e le prove di infiammabilità volte a misurare il punto di fiamma degli stessi. Una volta realizzati, i prodotti vengono confezionati per lo stoccaggio e il trasporto. In genere vengono utilizzati grandi scatoloni in cui i diversi componenti, divisi per tipologia, vengono disposti in grande quantità ed alla rinfusa [9]. Questa attività viene mappata con l'attività M1.4 *Package*. Le unità di carico così formate raggiungono il luogo di stoccaggio in attesa di essere spedite al cliente finale, questa fase viene modellata con il processo M1.5 *Stage Finished Product*.

### 2.3.4 Deliver

Il processo di spedizione dei componenti all'OEM avviene a seguito di un ordine dello stesso e secondo il framework fornito dal modello SCOR può essere modellato a Livello 2 con un processo D1 *Deliver Stocked Product*. Entrando più nel dettaglio delle singole attività, ovvero passando al Livello 3 di descrizione, il primo processo, che può essere preceduto da una fase di sondaggio e di negoziazione, vede la ricezione e la validazione dell'ordine proveniente dall'OEM. Gli ordini possono essere ricevuti tramite telefono, fax o via mail. Questo processo viene identificato con il process element SCOR D1.2 Receive, *Enter & Validate Order*. Una volta registrato l'ordine una parte delle giacenze (disponibili o programmate) viene identificata e riservata per la specifica richiesta del cliente; in questa fase viene anche identificata la data di consegna programmata. Questa attività viene mappata con il processo D1.3 *Reserve Inventory & Determine Delivery Date* e include anche le azioni di preparazione degli ordini alla spedizione con cui i cartoni vengono disposti sui bancali. Per le spedizioni agli OEM, i Subfornitori si affidano spesso a corrieri locali per cui c'è bisogno di un'attività che vada a rappresentare la scelta e la valutazione degli stessi; questo viene modellato dal processo D1.7 *Select Carriers & Rate Shipments*. Al momento della spedizione vera è propria la merce viene prelevata dal magazzino tramite il processo D1.9 *Pick Product* e viene poi caricata sui camion addetti al trasporto con il processo D1.10 *Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit & Ship Product*. Questa fase include anche la generazione dei documenti di trasporto necessari e l'effettivo trasporto verso l'OEM. Questo viene notificato dell'avvenuta spedizione e può procedere al pagamento secondo i termini concordati con i Subfornitori; quest'ultima fase viene rappresentata dal processo D1.13 *Invoice & Receive Payment*.

La figura sottostante (Figura 37) rappresenta le attività svolte al livello dei Subfornitori.



*Figura 37 Mappa dei Process Element SCOR per il livello dei Subfornitori*

### **2.3.5 Performance Subfornitori**

In questo paragrafo verranno illustrate le metriche di performance individuate dal Modello SCOR per le attività che sono state utilizzate per definire la mappatura del livello dei Subfornitori. Dove possibile saranno forniti dati quantitativi per individuare le prestazioni di questo stadio della catena logistica. Dove invece non è stato possibile individuare dati numerici, e data la specificità del caso di studio ciò capita non di rado, si cerca di fornire al lettore un indicazione qualitativa di quelle che possono essere le prestazioni in base all'analisi dei dati online di aziende simili.

#### **Plan**

Per le attività di pianificazione individuate in fase di mappatura i principali indicatori individuati dal Modello SCOR riguardano l'aderenza delle attività svolte ai piani previsti. Per il Process Element P3.4 si fa riferimento essenzialmente all'attributo di Affidabilità che ha come metrica il rispetto dei piani di produzione sviluppati. Dato lo scarso sviluppo di

politiche e sistemi informatici volti a monitorare la programmazione e l'avanzamento delle attività produttive si può supporre che l'adempienza ai piani previsti sia influenzata dagli eventi che possono comportare riprogrammazioni inattese. Anche per le attività di pianificazione delle spedizioni (P4.1 - P4.2 - P4.4) si ha come attributo fondamentale l'Affidabilità. Le metriche principali individuate dal modello sono l'accuratezza delle previsioni di domanda, il fill rate inteso come la frazione di domanda del cliente che può essere soddisfatta attraverso le scorte immediatamente disponibili ed infine le performance di spedizione in merito alla data di consegna stimata. Dato lo scarso utilizzo di sistemi gestionali integrati le previsioni di domanda sono limitate o assenti per cui la dove vi siano delle previsioni queste possono risultare imprecise o fuorvianti. Il fill rate d'altro canto è massimo dato che i subfornitori producono secondo una logica Push per massimizzare l'utilizzo delle risorse [10]. L'adesione alla data di consegna stimata dipende essenzialmente dalla rapidità di preparazione dell'ordine e dalla scelta delle spedizioniiere in quanto la merce viene semplicemente prelevata dal magazzino e spedita.

### ***Source***

Per le attività di approvvigionamento si parte dall'individuazione degli attributi e delle metriche per il Livello 2 del Modello SCOR definito come S1. Gli attributi di performance individuati per questo tipo di processo sono qui elencati secondo quanto riportato dal Modello.

- Reattività: Tempo totale di approvvigionamento
- Flessibilità: Tempi e costi relativi all'accelerazione dei processi di approvvigionamento, consegna, ricezione e trasferimento.
- Costo: Costi di acquisizione del prodotto

Nel caso in esame i tempi di approvvigionamento sono rapidi, in pochi giorni in base alla localizzazione del fornitore si riesce ad ottenere le materie prime necessarie. Data la non deperibilità delle materie prime ed il loro basso costo si preferisce adottare politiche di riordino di grandi lotti a intervalli di tempo che possono durare più mesi in base al consumo della materie. Data la grande disponibilità di materie prime in Cina, la scelta dei fornitori è semplificata ed è facile ottenere prezzi e condizioni vantaggiose. I prezzi di acquisto dei fogli laminati di rame variano tra i 5 e i 10 \$/kg e le quantità di riordino prevedono l'acquisto di diverse centinaia di bobine che possono essere protette da legno o cartone e trasportate su pallet [11]. Il prezzo dei pellets di PC e PBT si aggira intorno ai 2 \$ al kg e le quantità di

riordino prevedono ordini di grande volume. I granulati vengono confezionati in sacchi da 25 kg e trasportati su pallet [12].

Entrando nel dettaglio delle singole attività di Livello 3 individuate in fase di mappatura si presentano per ognuna di queste i principali indicatori di performance forniti dal Modello, segue poi l'individuazione del livello di tali performance per il caso in esame.

### ***S1.1 Schedule Product Delivers***

I principali attributi di performance, con le relative metriche, individuati a partire dal Modello SCOR per questa attività sono:

- Affidabilità: % di programmi generati nei tempi stabiliti del fornitore
- Reattività: Tempo medio di rilascio delle modifiche
- Flessibilità: Tempo medio in giorni per la modifica della pianificazione
- Costo: Costi di gestione e pianificazione in % del costo di acquisto del prodotto

Non si può avere una stima di queste performance anche perché non vi è una grande pianificazione delle consegne data la natura delle materie prime, che non deperiscono, ed alla politica di riordino che prevede grandi lotto di riordino e brevi lead time di consegna. Si può supporre ragionevolmente che vi sia una politica di gestione delle scorte “a vista” e qualora vi sia un calo del livello delle materie prime oltre una certa soglia prestabilita si provvede ad emettere un ordine al fornitore che in breve tempo si farà carico della consegna [13].

### ***S1.2 Receive Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di ricevimento
- Costo: Costi di ricevimento merce in % del costo di acquisto del prodotto

Il tempo di ricevimento della merce è rapido in quanto le materie prime giungono pallettizzate e possono essere movimentate facilmente con carrelli elevatori. Non vi è dunque la necessità di destinare operatori esclusivamente per queste attività ma quelli addetti alla produzione possono farsene carico qualora necessario. Ciò fa sì che i costi di ricevimento

merce siano una minima parte dei costi di acquisto del prodotto e possano essere del tutto trascurati. Data la natura delle materie prime utilizzate è difficile pensare che queste subiscano danni in fase di trasporto per cui si può ragionevolmente supporre che gran parte degli ordini sia ricevuta senza danni. La completezza degli ordini in termini di materiale ordinato e documenti di trasporto dipende esclusivamente dalle aziende fornitrici ma ciò non rientra nell'ambito di questa analisi.

### ***S1.3 Verify Product.***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di verifica
- Flessibilità: % ricezioni senza controllo qualità
- Costo: Costi di verifica o merce in % del costo di acquisto del prodotto

L'affidabilità dipende esclusivamente dalla scelta dei fornitori e la scelta degli stessi è nella maggior parte dei casi guidata dal prezzo di acquisto delle materie prime, dalla loro qualità e dalla vicinanza agli impianti produttivi in modo da risparmiare sui costi di trasporto. Come anticipato precedentemente, data la natura delle materie prime acquistate, è presumibile che gli ordini sia ricevuti senza danni e che nella maggior parte dei casi non si proceda ad un effettivo controllo della qualità della merce in ingresso. È preferibile infatti affidarsi a fornitori certificati che siano in grado di garantire la qualità dei loro prodotti in modo da ridurre i controlli da effettuare sulla merce in ingresso [14]. Per i pellets di materiale polimerico possono essere eseguiti dei controlli tramite spettroscopia infrarossa per verificare l'effettiva natura del materiale acquistato o può essere misurato il contenuto d'acqua all'interno degli stessi. Mentre per i laminati di rame è possibile effettuare una serie di test volti a misurare le proprietà meccaniche e di conducibilità elettrica del materiale acquistato. I tempi di verifica sono rapidi e dipendono dalla numerosità dei test da effettuare, generalmente i subfornitori non hanno a disposizione molte apparecchiature per testare la merce in ingresso per cui in pochi minuti si verifica la qualità. Anche i costi di verifica della merce dipendono dalla numerosità dei test da effettuare e dalle apparecchiature e operatori richiesti per queste operazioni.

### ***S1.4 Transfer Product.***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini movimentati senza danni, % ordini movimentati completi, % ordini movimentati in tempo
- Reattività: Tempo di movimentazione
- Costo: Costi di movimentazione merce in % del costo di acquisto del prodotto

I tempi di movimentazione dei pallet che trasportano le materie prime necessarie sono rapidi grazie all'adozione di sistemi di movimentazione come carrelli elevatori o transpallet. I costi di queste operazioni sono legati soprattutto alle apparecchiature utilizzate ma sono eseguiti data la mancanza di personale addetto esclusivamente a queste operazioni. L'affidabilità delle movimentazioni è elevata in quanto il materiale trasportato non presenta particolari criticità dal punto di vista della sicurezza.

### ***S1.5 Authorize Supplier Payment***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % fatture processate senza errori
- Costo: Costo per fattura

Per quel che riguarda i costi di fatturazione questi possono essere rilevanti a seconda del sistema di fatturazione utilizzato dall'impresa. In Cina, le fatture (o “Fapiao” in cinese) sono più che una semplice ricevuta ordinaria (Xing & Whalley, 2014). Al contrario rispetto ad altri paesi, dove le fatture sono solitamente usate semplicemente per registrare una transazione, in Cina sono anche il modo in cui il governo monitora le tasse dovute su ogni transazione. L'emissione delle fatture deve avvenire tramite il Golden Tax System (GTS), il sistema di amministrazione fiscale digitalizzato per l'IVA utilizzato in tutta la Cina e gestito direttamente dal governo. Tutte le fatture devono avere un numero univoco che può essere emesso solo dal GTS. Il sistema, sviluppato da un progetto avviato negli anni '90, ha raggiunto la fase III che prevede la digitalizzazione e la trasmissione via internet delle informazioni. Molte aziende però utilizzano ancora il metodo di fatturazione manuale che richiede molto lavoro d'ufficio in quanto vi è la necessità di preparare le singole fatture secondo le direttive fiscali. Il GTS si basa su due terminali: uno che appartiene alle autorità fiscali e uno presente in azienda. Quando avviene una transazione, l'azienda emette una

fattura per l'acquirente ed attraverso il GTS, una copia di questa fattura viene inviata all'amministrazione fiscale. I funzionari autorizzati si assicurano che ci sia corrispondenza tra le fatture in entrata e quelle in uscita a livello di IVA e in caso affermativo queste vengono convalidate e associate a un numero univoco. Il sistema infatti è stato progettato con funzionalità anticontraffazione e di controllo fiscale. Le Fapiao possono essere divise in due principali categorie: fatture generali e fatture IVA speciali; senza entrare troppo nelle differenze tra le due è importante sottolineare che la seconda è utile al fine di ottenere deduzioni fiscali mentre la prima no, per questo motivo necessita di una serie di informazioni aggiuntive rispetto a quella generale. Data l'informatizzazione del sistema di fatturazione è presumibile che la percentuale di errori nel processamento dei documenti contabili sia minima.

### *Make*

Per le attività produttive si parte individuando le metriche e gli attributi definiti dal Modello SCOR per il Livello 2. Nel caso in esame si è deciso di identificare le attività con un una logica Make-to-Stock facendo riferimento al processo M1 individuato dal Modello. I principali indicatori di performance indicati dal modello SCOR per attività produttive di questo tipo sono:

- Reattività: Tempo totale di produzione, tempo di attrezzaggio
- Flessibilità: Tempo di ripianificazione, tempo di attrezzaggio
- Costo: Valore aggiunto, costo di produzione orario, costo unitario, costi indiretti, perdite produttive
- Assets: Utilizzo capacità produttiva, ritorno sul capitale

I tempi di produzione sono rapidi, sia per i componenti prodotti tramite stampaggio a iniezione sia per i contatti prodotti con presse ad alta velocità. I tempi ciclo per lo stampaggio a iniezione sono di pochi secondi, 20 riprendendo le analisi di Atzeni (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010); in questo tempo, a seconda del numero di cavità presenti nello stampo si possono produrre dai 2 ai 16 componenti. Per i contatti in rame il tempo ciclo è ancora più rapido infatti un punzonatore ad alta velocità può realizzare anche 12000 pezzi all'ora [15]. Data la necessità di utilizzare appositi stampi per la creazione dei componenti necessari i tempi di attrezzaggio sono considerevoli e ciò va a ridurre la flessibilità del processo produttivo; questi possono arrivare anche a più di 3 ore (Kara & Kayis, 2007) a seconda delle attrezzature utilizzate. Questa mancanza di flessibilità si traduce in grandi lotti

di produzione volti a massimizzare l'utilizzo della capacità produttiva che in questo caso è elevata. Così facendo si creano grandi quantità di prodotto finito che vengono immagazzinate nell'attesa di essere spedite ai diversi OEM [16]. Per contrastare questa limitazione possono essere sviluppate più linee produttive per rispondere contemporaneamente alle diverse esigenze dei clienti. I costi indiretti sono rilevanti dato che i macchinari, ed in particolar modo gli stampi, hanno un prezzo elevato e ciò contribuisce a far sì che la capacità produttiva sia sfruttata al massimo. I costi diretti invece sono limitati alla manodopera, alla materia prima utilizzata ed alle fonti di energia richieste (corrente, aria compressa, acqua ecc.). Questi sono meno rilevanti rispetto a quelli indiretti ed hanno un impatto minore sui costi finali di produzione. L'utilizzo dei sistemi di produzione tradizionali incentiva la produzione di grandi quantità di prodotto al fine di ripartire i costi indiretti su più unità di prodotto finito riducendo così i costi unitari produttivi dello stesso. Per questo motivo i subfornitori spingono al massimo la produzione al fine di ridurre i costi unitari di produzione che nel caso di grandi produzioni si attestano intorno ai pochi centesimi di dollaro. Il valore aggiunto in questo livello della catena è elevato in quanto vi è la trasformazione delle materie prime in componenti finiti. Il modello SCOR individua a questo livello una serie di best practice che possono migliorare il processo prodotto al fine di renderlo più snello ed efficiente, tra queste vi è l'utilizzo di celle produttive e l'adozione di politiche volte a consentire lo scambio di informazioni in rete. Tutto ciò però è molto lontano dall'essere applicato dalle aziende subfornitrici che al massimo individuano delle linee produttive per prodotto in modo da garantire una minima specializzazione delle attività di lavoro [17].

### ***M1.2 Issue Material***

Per questa attività vengono individuati i seguenti indicatori di performance con le relative metriche:

- Affidabilità: Accuratezza livello magazzino, numero di out of stock
- Costo: Obsolescenza magazzino, tempo di giacenza medio

I Subfornitori spesso non utilizzano sistemi di gestione delle scorte tramite sistemi informativi e codici a barre ma si limitano a gestire "a vista" le stesse. Così facendo, l'accuratezza del livello di magazzino è limitata. Per le materie prime in ingresso però la gestione è semplificata dato il numero ridotto delle stesse e il loro grado di obsolescenza praticamente assente; ciò consente di limitare i rischi di stock out dovuti ad una non

accuratezza dei livelli di magazzino. Date le grandi quantità di riordino per sfruttare vantaggi sul prezzo di acquisto delle materie prime, i tempi di giacenza medi delle stesse possono essere lunghi. Per i prodotti finiti invece, data la produzione di più Stock Keeping Unit (SKU) la gestione risulta critica e può portare a rotture di stock qualora non sia eseguita con particolare attenzione. Dato anche in questo caso l'assenza di obsolescenza dei componenti, questi possono essere tenuti a magazzino per molto tempo; ciò fa sì che i Subfornitori aumenti le giacenze al fine di ridurre il rischio di stock out e di aumentare il tempo di risposta nei confronti delle richieste degli OEM [9]. A seconda del grado di sviluppo delle aziende possono essere adottate delle best practice come l'utilizzo di algoritmi per minimizzare i livelli di scorta o la redazione di specifici report al fine di mantenere lo storico dei dati del magazzino.

### ***M1.3 Produce and Test***

Gli indicatori di performance individuati, con relative metriche, per questa attività sono:

- Affidabilità: Tasso di scarti, guasti di processo
- Reattività: Tempo ciclo, tempo di riattrezzaggio
- Costo: Valore aggiunto, produttività
- Assets: Utilizzo capacità produttiva, ROI

Alcuni di questi indicatori sono già stati analizzati precedentemente per cui si fa riferimento ai paragrafi precedenti per l'analisi del tempo ciclo, del tempo di riattrezzaggio, del valore aggiunto, della produttività e dell'utilizzo della capacità produttiva. Data la ripetibilità dei processi produttivi e la forma relativamente semplice degli oggetti da realizzare, il livello di scarti prodotti è in linea con i livelli medi standard che si attestano intorno al 5%. Per i componenti della custodia i prodotti difettosi possono essere riutilizzati come materia prima di processo mentre per nella realizzazione dei contatti vanno eliminati. I guasti di processo possono essere frequenti dato che molti subfornitori hanno a disposizione macchinari datati e non seguono piani di manutenzione preventiva; questo può portare interruzioni della produzione che si ripercuotono negativamente sui tempi produttivi [18]. I Subfornitori che hanno a disposizione macchinari a controllo numerico sono semplificati nell'individuare possibili criticità di processo e malfunzionamenti alle apparecchiature; ciò consente loro di aumentare l'affidabilità produttiva [19].

### ***M1.4 Package.***

La seguente attività ha come indicatori e metriche di valutazione principali:

- Reattività: Tempo di confezionamento
- Costo: Costo di confezionamento, scarti di materiale

Data la modalità di confezionamento i tempi sono limitati e spesso gli scatoloni stessi sono disposti a fine linea e raccolgono direttamente i componenti [19]. Qualora il cliente lo richieda possono essere previste diverse modalità di confezionamento [20] come in buste di plastica che contengono un determinato numero di componenti della custodia o, per i contatti elettrici, in appositi blister (Figura 38). Questo però richiede delle successive operazione che aumentano i costi dei componenti stessi per questo e per la necessità del successivo assemblaggio, si preferisce il trasporto di grandi quantità alla rinfusa in scatole. Un operatore si incarica di sostituire il cartone una volta pieno e di trasferirlo manualmente o con un carrello manuale al luogo di stoccaggio, segnando sul cartone stesso la natura del prodotto contenutovi. Le confezioni sono prevalentemente realizzate in cartone ondulato che ha un costo di pochi centesimi di dollaro a confezione e gli scarti nell'utilizzo del materiale per il confezionamento sono minimi.



***Figura 38*** Confezionamento su misura [21]

### ***M1.5 Stage Finished Product***

Gli indicatori di performance e le metriche principali individuate sono:

- Affidabilità: Tempo di stoccaggio
- Costo: Costo di giacenza

Il tempo di stoccaggio varia in base al tipo di componente ed alla sua richiesta di mercato ma come anticipato in genere i subfornitori hanno a disposizione grandi quantità di scorte che possono restare immagazzinate per molto tempo data la non deperibilità dei componenti stessi. Data la non obsolescenza, la non deperibilità e la dimensione ridotta dei componenti che permette di occupare poco spazio in magazzino, i costi di giacenza sono minimi. Le aziende subfornitrici si presume non controllino questi indicatori e non abbiano misura di quelli che sono i costi di giacenza ma secondo alcuni studi questi, di norma, si aggirano intorno al 10% del costo totale del prodotto (Tompkins & Tompkins, 2018).

### ***Deliver***

Le attività di spedizione dei componenti, dai Subfornitori all'OEM, per realizzare il porta lampada viene rappresentata con il processo SCOR di Livello 2 D1 *Deliver Stocked Product*. Le indicazioni riguardo gli indicatori di performance fornite dal Modello portano ad individuare le seguenti metriche:

- Affidabilità: Percentuale di soddisfacimento della domanda
- Reattività: Tempo di spedizione stimato ed effettivo
- Costo: Costo di gestione delle spedizioni
- Assets: Copertura in giorni del magazzino prodotti finiti

L'affidabilità dei subfornitori è elevata e possono garantire agli OEM una vasta gamma di componenti a catalogo e pronti alla consegna; qualora non vi sia disponibilità di un determinato prodotto questo può essere realizzato in tempi brevi [22]. I tempi di spedizione sono generalmente rapidi data la vicinanza geografica tra i subfornitori e gli OEM e fanno affidamento sui corrieri locali che trasportano su gomma i prodotti. Il costo di gestione delle spedizioni può diventare rilevante qualora un subfornitore si trovi ad interfacciarsi con più OEM.

### ***D1.2 Receive, Enter & Validate Order***

Le principali metriche di questa attività riguardano:

- Reattività: Tempo di registrazione ordine
- Costo: Costo di registrazione ordine

La rapidità e il costo con cui gli ordini vengono elaborati e registrati non è facilmente misurabile ma la mancanza di sistemi integrati di scambio degli ordini tra Subfornitori e OEM non facilita le operazioni. Nonostante questo, l'attività non è critica né dal punto di vista dei tempi né dal punto di vista dei costi. L'applicazione di alcune Best Practice individuate dallo SCOR come la condivisione delle informazioni sullo stato real time degli ordini consentirebbe una gestione migliore degli stessi.

### ***D1.3 Reserve Inventory & Determine Delivery Date***

Questa attività ha come attributi e metriche di performance principali:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata

Data l'elevata disponibilità a magazzino i tempi di consegna dipendono quasi esclusivamente dai tempi di preparazione della merce e dal corriere e sono facilmente prevedibili; qualora invece il prodotto non sia presente a magazzino i lead time vanno valutati caso per caso tenendo conto dei tempi produttivi e della programmazione della produzione; in ogni caso non si supera la settimana per la produzione e la consegna. I subfornitori hanno raggiunto col tempo un grado di affidabilità elevata e possono garantire l'approvvigionamento dei componenti secondo le richieste degli OEM.

### ***D1.7 Select Carriers & Rate Shipments***

L'attività ha come metrica principale:

- Costo: Costi di trasporto

I corrieri non vengono determinati per ogni spedizione ma ci si affida allo stesso corriere con cui sono state accordate delle specifiche politiche di gestione dei trasporti che possono vedere l'adozione di quote per distanza e per peso. Dato l'affidamento a corrieri terzi molte delle attività di monitoraggio sono limitate alla definizione dei contratti di trasporto con gli stessi. Il costo medio di trasporto su gomma in Cina è di circa a 1 \$/km (Agenbroad,

Mullaney, & Wang, 2016) mentre i tempi di trasporto dipendono dalla distanza tra i Subfornitori e gli OEM ma data la loro vicinanza è difficile che il trasporto richieda più di 1 o 2 giorni lavorativi.

### ***D1.9 Pick Product***

Per questa attività vengono considerate le seguenti metriche:

- Affidabilità: Fill rate
- Reattività: Tempo di picking

Come detto precedentemente il Fill rate è elevato proprio a causa della gestione Push della produzione mentre il tempo di picking è anch'esso elevato in quanto le unità di carico sono già state precedentemente pallettizzate e gli ordini preparati per essere caricati sui mezzi di trasporto [23].

### ***D1.10 Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit & Ship Product.***

Vengono individuati i seguenti attributi di performance con relative metriche:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata, Perfect Order Fulfillment (POF)

La prima metrica è stata analizzata precedentemente mentre per POF si intende la percentuale di ordini consegnati completamente, senza difetti e nei tempi stabiliti. L'affidabilità dei Subfornitori è elevata così come quella dei corrieri di spedizione per cui il livello di questo indicatore può essere considerato elevato. Per rendere i processi ancora più affidabili possono essere adottate una serie di Best Practice suggerite dal Modello come l'utilizzo di strumenti informatici integrati che consentono l'invio automatico delle informazioni di spedizione al destinatario e di strumenti di tracking delle stesse.

### ***D1.13 Invoice & Receive Payment.***

Per questo processo si identificano le seguenti metriche principali:

- Reattività: Tempo medio di incasso
- Costo: Costo di fatturazione

Non avendo a disposizione informazioni sul tempo medio di incasso nello specifico caso in esame, si farà riferimento a studi che guardano l'intero mercato cinese. Secondo uno studio effettuato nel 2017 (Atradius, 2017) il tempo medio di incasso (o Days Sales Outstanding

DSO) della Cina si è attestato a 33 giorni ed in media il 42,7% delle vendite ai clienti interni è stato effettuato a credito. Secondo le aziende intervistate il 95% percento dei pagamenti è stato effettuato in ritardo dai clienti ed in media, il 44,6% del valore totale delle fatture è risultato insoluto alla scadenza. Le ragioni che hanno portato a tale situazione sul mercato interno sono individuate principalmente nell'insufficiente disponibilità di fondi da parte delle imprese locali e nell'inefficienza del sistema bancario.

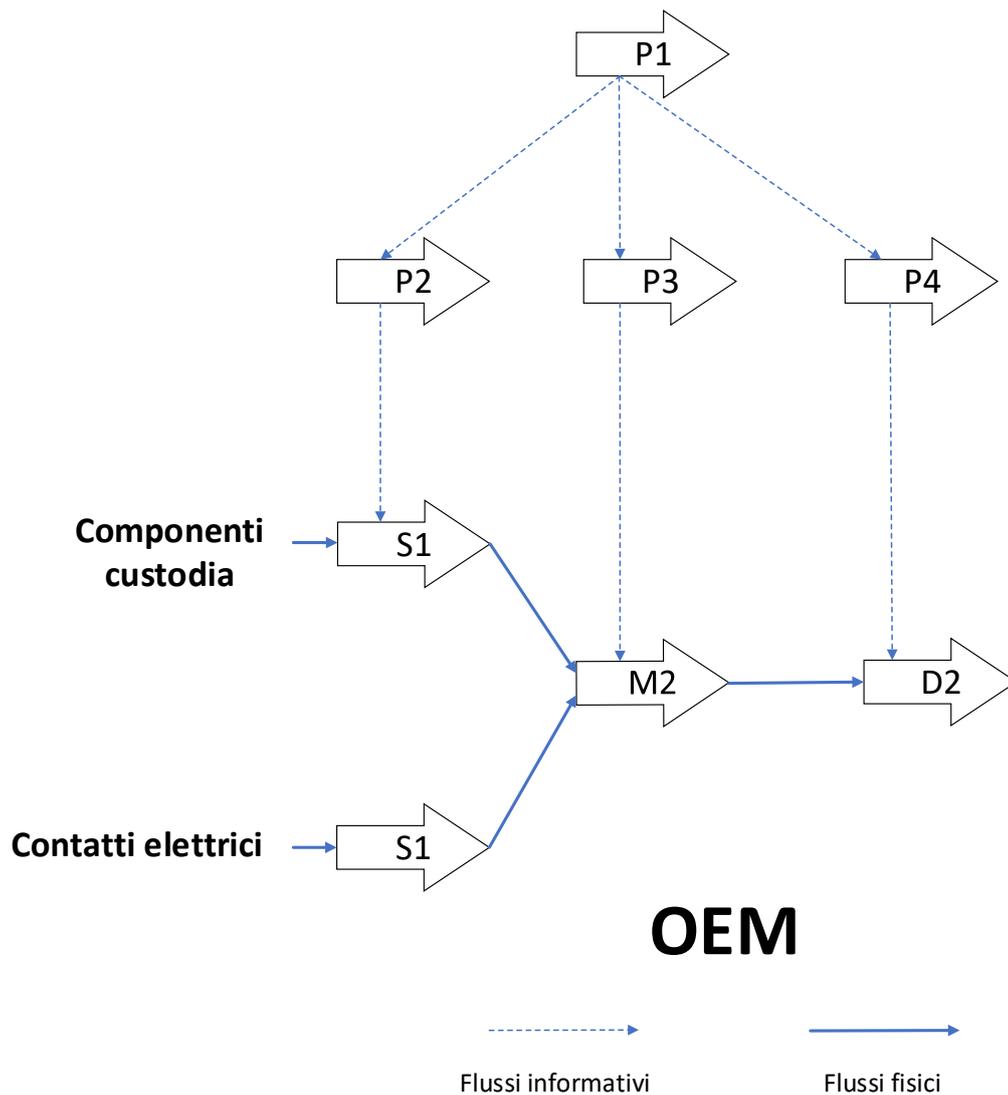
#### ***2.4 ORIGINAL EQUIPEMENT MANUFACTURER (OEM)***

L'azienda che si relaziona con i clienti esteri agisce principalmente da assemblatore e da spedizioniere in quanto offre un vasto ventaglio di prodotti finiti e si occupa delle pratiche di spedizione e di esportazione verso i paesi occidentali [24]. Questa impresa, per produrre internamente la vasta gamma di prodotti che offre ai propri clienti, dovrebbe disporre di una serie di macchinari specializzati nella realizzazione dei singoli prodotti. Ciò non risulterebbe vantaggioso dal punto di vista economico, per questo l'OEM acquista i componenti dei vari prodotti da subfornitori specializzati e si limita ad assemblarli e confezionarli secondo le richieste dei clienti finali. In genere, queste imprese operano in territori vicini ai porti marittimi e utilizzano la manodopera locale per l'assemblaggio finale dei prodotti (Figura 39).



***Figura 39*** Linea di assemblaggio del prodotto finito [25]

Il panel di prodotti offerti è molto ampio ma rientra sempre nell'ambito di specializzazione dell'azienda, in questo caso il fornitore sarà un'azienda concentrata nella produzione di apparecchiature elettriche di vario tipo tra cui proprio i portalampade per lampade fluorescenti [26]. Queste aziende sono più strutturate e operano in contesti industriali sviluppati come quello del Guangdong. Trattando con molti clienti e con un gran numero di fornitori sono necessarie attività di pianificazione e controllo ben integrate al fine di rispondere rapidamente alle richieste del mercato. Le politiche di relazione e gestione dei fornitori sono più sviluppate e, per lo stesso tipo di componenti, possono esserci più fornitori per ridurre il rischio di possibili problemi di qualità e di affidabilità degli stessi. I prodotti finali vengono assemblati in modo continuo, alternando la produzione degli stessi a seconda delle esigenze del mercato. L'appaltatore inoltre testa e certifica i prodotti per i mercati in cui saranno commercializzati e prepara l'imballaggio e le etichette secondo le specifiche richieste dal cliente occidentale [27]. Le spedizioni ai clienti richiedono un'attenta pianificazione e preparazione dei documenti di trasporto data la presenza di spedizioni internazionali che devono affrontare rigorose procedure doganali. Viene presentata di seguito la mappatura a Livello 2 (Figura 40) delle attività eseguite dall'OEM. Come si evince dalla figura in questo caso le attività di Make e Deliver seguono una logica make to order in quando gli assemblatori si basano sugli ordini dei clienti per pianificare e avviare la produzione. Mentre l'attività di approvvigionamento avviene in base a previsioni sulla possibile domanda finale in modo tale da avere sempre a disposizione componenti pronti per l'assemblaggio riducendo così il lead time che va dalla ricezione di un ordine all'effettiva spedizione dello stesso. Come anticipato le attività di pianificazione sono più strutturate anche a livello di pianificazione degli approvvigionamenti dei componenti dai vari fornitori (*Plan Source P2*) ed anche come pianificazione dell'intera supply chain (*Plan Supply Chain P1*). Tutto ciò per garantire un servizio di qualità e lead time di consegna accettabile ai clienti occidentali.



*Figura 40 Mappatura SCOR di Livello 1 dell'OEM*

Nell'analisi dei singoli processi dell'OEM verranno ripetute alcune delle attività presentate nel paragrafo precedente per gli assemblatori; in questo caso ci si limiterà a dare delle indicazioni sulle performance dell'OEM secondo le metriche individuate nel modello SCOR ma senza ripresentare le stesse.

#### **2.4.1 Plan**

È possibile individuare delle macro-attività di Livello 2 che aiutano a comprendere i maggiori processi svolti in questo livello della catena. È fondamentale in primo luogo un'attenta pianificazione dell'intero livello logistico a partire dalla selezione dei fornitori fino alla scelta dei corrieri che si occuperanno della consegna ai clienti occidentali. Per

pianificare la catena logistica nel suo insieme si fa riferimento al processo *Plan Supply Chain* P1 che riguarda una serie di sotto attività volte allo sviluppo ed alla definizione dei piani d'azione volti a soddisfare i fabbisogni della catena. Qui rientrano tutte le attività volte a identificare i requisiti (P1.1 *Identify, Prioritize and Aggregate Supply Chain Requirements*) e le risorse disponibili (P1.2 *Identify, Prioritize and Aggregate Supply Chain Resources*) nel livello della catena per creare poi dei piani volti ad equilibrarne tutte le fasi (P1.3 *Balance Supply-Chain Resources with Supply-Chain Requirements* e P1.4 *Establish and Communicate Supply Chain Plans*). Le attività di pianificazione degli approvvigionamenti riguardano essenzialmente lo sviluppo e la definizione di linee d'azione, valide per determinati periodi di tempo, che hanno come fine la fornitura di componenti al fine di soddisfare le esigenze produttive. Queste rientrano nel processo di Livello 2 *Plan Source* P2 che parte con l'identificazione di quelle che sono le possibili fonti di domanda di un determinato prodotto (P2.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Product Requirements*) e con l'individuazione delle risorse materiali, e non, utilizzate per aggiungere valore al prodotto (P2.2 *Identify, Assess, and Aggregate Product Resources*). Segue poi un'attività di bilanciamento che porta a definire una serie di piani volti ad appropriarsi delle risorse necessarie per rispondere alle necessità produttive (P2.4 *Establish Sourcing Plans*). La pianificazione delle attività produttive P3 *Plan Make* riguarda principalmente l'elaborazione dei piani in base alle richieste dei clienti ed alle risorse disponibili in termini di manodopera e di componenti necessari per realizzare i prodotti finiti. Anche in questo caso si parte dall'identificare i requisiti produttivi (P3.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Production Requirements*) e le risorse produttive disponibili (P3.2 *Identify, Assess, and Aggregate Production Resources*) per poi bilanciarli e ottenere il piano produttivo (P3.4 *Establish Production Plans*). La pianificazione delle consegne ai clienti P4 *Plan Deliver* gioca un ruolo importante in quando si ha a che fare con consegne intercontinentali ed è fondamentale garantire un livello di servizio elevato al cliente finale. In questa fase si parte analizzando quelle che sono le richieste dei clienti, si valutano poi le risorse disponibili, ovvero la disponibilità di corrieri di trasporto, e si organizzano i piani di consegna ai clienti. La prima parte di questa fase viene definita dalle attività P4.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Delivery Requirements* e P4.2 *Identify, Assess, and Aggregate Delivery Resources*. Segue poi la redazione effettiva dei piani di consegna modellata dall'attività P4.4 *Establish Delivery Plans*.

### **2.4.2 Source**

Una volta individuato un fornitore a cui affidare l'attività produttiva, il processo di approvvigionamento può essere visto con un rifornirsi di prodotti a stock ovvero un processo SCOR di Livello 2 S1 *Source Stocked Product*. Questa fase può essere preceduta da una di studio e analisi delle possibili fonti di fornitura, nonché da uno sviluppo prodotto coadiuvato dall'OEM e dal subfornitore. La prima attività che si incontra riguarda la programmazione delle consegne dei diversi componenti in modo tale da averne sempre a disposizione per garantire la produzione. Questo processo viene individuato nel Process Element SCOR S1.1 *Schedule Product Deliveries*. All'attività di programmazione delle consegne segue quella di ricezione vera e propria delle stesse, questa viene rappresentata con la fase di *Receive Product* S1.2. Una volta ricevuta, la consegna viene verificata dal punto di vista della documentazione e della qualità nella fase *Verify Product* S1.3. Al termine dei controlli la merce in ingresso viene poi trasferita nelle apposite aree di stoccaggio nella fase *Transfer Product* S1.4. Una volta eseguite tutte le operazioni di ricevimento e verificata la qualità della merce si può procedere al pagamento del fornitore, questo può avvenire secondo diversi termini in base al rapporto tra le parti. In ogni caso si ha un'attività S1.5 *Authorize Supplier Payment*.

### **2.4.3 Make**

Le attività produttive seguono, anche a questo livello della catena, una logica Make to Order. Gli OEM basano le attività produttive sugli ordini ricevuti dai clienti; nonostante questo una quantità sufficiente di prodotto finito viene mantenuta a magazzino in modo tale da rispondere più velocemente alle richieste. L'intero processo produttivo viene rappresentato a Livello 2 con il modulo SCOR M2 *Make-to-Order*. Entrando più nel dettaglio delle diverse attività individuate dal modello SCOR, la prima che si incontra è la programmazione delle attività produttive ovvero M2.1 *Schedule Production Activities*. Questa pianificazione riguarda il sequenziamento dei diversi prodotti da assemblare sulle varie linee in modo da andare incontro alle richieste dei mercati. Partendo dalla distinta base di ogni prodotto si pianificano i fabbisogni dei componenti necessari e si crea un piano produttivo settimanale. Una volta avviata la produzione è necessario rifornire le linee produttive con i componenti necessari, questo fa parte del Process Element M2.2 *Issue Sourced/In-Process Product* che riguarda tutte le fasi di movimentazione fisica delle merci al fine di garantire l'assemblaggio dei prodotti finiti. Quando si hanno a disposizione tutti i componenti per realizzare il

prodotto finito si passa alla fase di assemblaggio vera e propria che viene modellata con l'attività M2.3 *Produce and Test*. Le attività di test a questo livello si limitano al verificare che tutti i componenti funzioni in modo corretto (ad esempio che il piatto rotante effettivamente ruoti di 90 gradi) e che sia garantito il passaggio della corrente tramite i contatti elettrici. È possibile effettuare poi una serie di test a campione per verificare la qualità della produzione; tra questi vi sono:

- Test d'impatto tramite un pendolo volto a verificare la resistenza all'impatto della custodia in Policarbonato;
- Test di resistenza alla forza assiale applicata dalla lampada una volta montata per verificare la non deformazione degli attacchi alla pressione;
- Test di resistenza al calore per verificare la resistenza e la non deformabilità del portalamпада alla temperatura di funzionamento;
- Test di infiammabilità per verificare la resistenza alla combustione del portalamпада (Figura 41);



**Figura 41** Apparecchiatura usata per i test di infiammabilità [28].

Questi test sono spesso anche necessari per ottenere le certificazioni di sicurezza per commercializzare i portalampada nei paesi di destinazione. A seconda del paese di destinazione le normative possono essere più o meno stringenti; in ogni caso gli OEM cinesi offrono prodotti già certificati per la maggior parte dei paesi occidentali. Una volta che il portalampada per lampade fluorescenti è assemblato e funzionante si può passare alla successiva fase di confezionamento, ovvero la fase *M2.4 Package*. In questa fase i prodotti finiti vengono confezionati secondo le specifiche della casa madre in modo da avere etichette conformi con i regolamenti del paese in cui la merce verrà commercializzata. La realizzazione delle confezioni stampate può essere affidata a fornitori esterni specializzati [29] [30] oppure eseguita in house. Dopo essere stati confezionati, i portalampada vengono riposti nel magazzino prodotti finiti pronti in attesa di essere spediti ai clienti occidentali. Il processo *M2.5 Stage Finished Product* definisce l'attività di movimentazione e stoccaggio dei prodotti finiti.

#### ***2.4.4 Deliver***

Dato che gran parte della produzione avviene a seguito di ordini dei clienti, si è deciso di mappare le attività di spedizione con un processo *D2 Deliver Make-to-Order Product*. Molti OEM si fanno carico della gestione e della preparazione degli ordini per le procedure doganali e di spedizione; queste poi verranno affidate ad un corriere terzo che si incaricherà di effettuare materialmente i trasporti via terra e via mare. Entrando più nel dettaglio delle singole attività di spedizione tutto parte dalla ricezione e validazione di un ordine del cliente. Questa fase può essere preceduta da una serie di contrattazioni nonché da una fase di studio dei campioni di prodotto finito o da visite agli stabilimenti dell'OEM al fine di verificarne le capacità in termini di qualità e di rispetto delle normative vigenti. La fase di ricevimento ordini è definita dal Process Element *D 2.2 Receive, Configure, Enter & Validate Order* in cui è fondamentale riuscire a definire in maniera chiara e misurabile tutti i parametri del contratto di fornitura su cui l'OEM sarà valutato e retribuito. Una volta ricevuto l'ordine si avvia il processo di pianificazione delle attività produttive che consente di allocare parte della capacità produttiva al soddisfacimento dell'ordine e consente anche di fornire una pianificazione delle consegne alla casa madre. Questo processo viene rappresentato dal *D 2.3 Reserve Resources & Determine Delivery Date* in cui sarà fondamentale il rispetto degli impegni presi con i clienti finali. In genere gli OEM fanno riferimento a una serie di corrieri per le loro spedizioni, questo per venire incontro alle diverse esigenze dei clienti e rispettarne

i termini. Ad esempio, alcuni clienti potrebbero necessitare di spedizioni rapide di piccoli lotti via aereo oppure altri potrebbero richiedere quantità inferiori all'intero container. Per questo motivo è necessario di volta in volta selezionare i corrieri e le modalità di trasporto che più si addicono alle esigenze del cliente. Questa attività viene rappresentata dal processo D 2.7 *Select Carriers & Rate Shipments* ed ha come obiettivo quella di identificare la soluzione più vantaggiosa in termini economici. Gli OEM hanno acquisito grande esperienza nella gestione delle spedizioni e possono vantare contatti con tutte le più grandi compagnie mercantili nonché con i piccoli spedizionieri locali. In genere le case madri effettuano ordini di grande quantità che vengono spediti via nave in container completamente pieni FCL (Full Container Load) in cui possono essere centralizzate le spedizioni di più prodotti finiti forniti dallo stesso OEM. Qualora invece le quantità ordinate siano ridotte si può ricorrere al trasporto via aereo o al trasporto via nave ma in container condivisi LCL (Less than Container Load). Per il trasporto via aereo, questo può essere affidato a corrieri tipo DHL, FedEx, EMS, UPS, TNT e vede come aeroporti di partenza principali quello di Canton-Baiyun, quello di Shenzhen-Bao'an o quello di Hong Kong. Questo tipo di corrieri in genere effettuano un trasporto "porta a porta" fino alla destinazione prevista dal cliente finale; è possibile anche affidarsi a spedizionieri che utilizzano gli aerei di linea per i trasporti. Al momento della spedizione vera e propria le unità di carico di prodotto finito dovranno essere prelevate dal magazzino e caricate manualmente (processo D2.8 *Pick Staged Product*) o tramite l'ausilio di carrelli elevatori. A seconda della modalità di spedizione scelta la merce verrà caricata direttamente nei container oppure verrà caricata su camion che la trasporteranno in direzione del magazzino del corriere. Questa fase viene rappresentata dal Process Element D 2.9 *Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit, & Ship Product* e prevede la generazione di diversi documenti e la stipulazione di diversi termini di trasporto a seconda che questo venga effettuato via mare o via aerea. Parallelo al processo di spedizione viene eseguita parte del processo di fatturazione e pagamento degli ordini identificato come *Invoice & Receive Payment* D 2.12. Una volta "in mare" OEM e casa madre non possono fare altro che limitarsi a tracciare la spedizione tramite le indicazioni fornite dal corriere selezionato per il trasporto. Una volta giunto al porto aeroporto di destinazione e a secondo dagli Incoterms stabiliti, spetterà all'OEM qualsiasi attività successiva che verrà analizzata nel dettaglio nel prossimo paragrafo. La figura sottostante (Figura 42) rappresenta la sequenza di processi svolti in questo livello della catena.

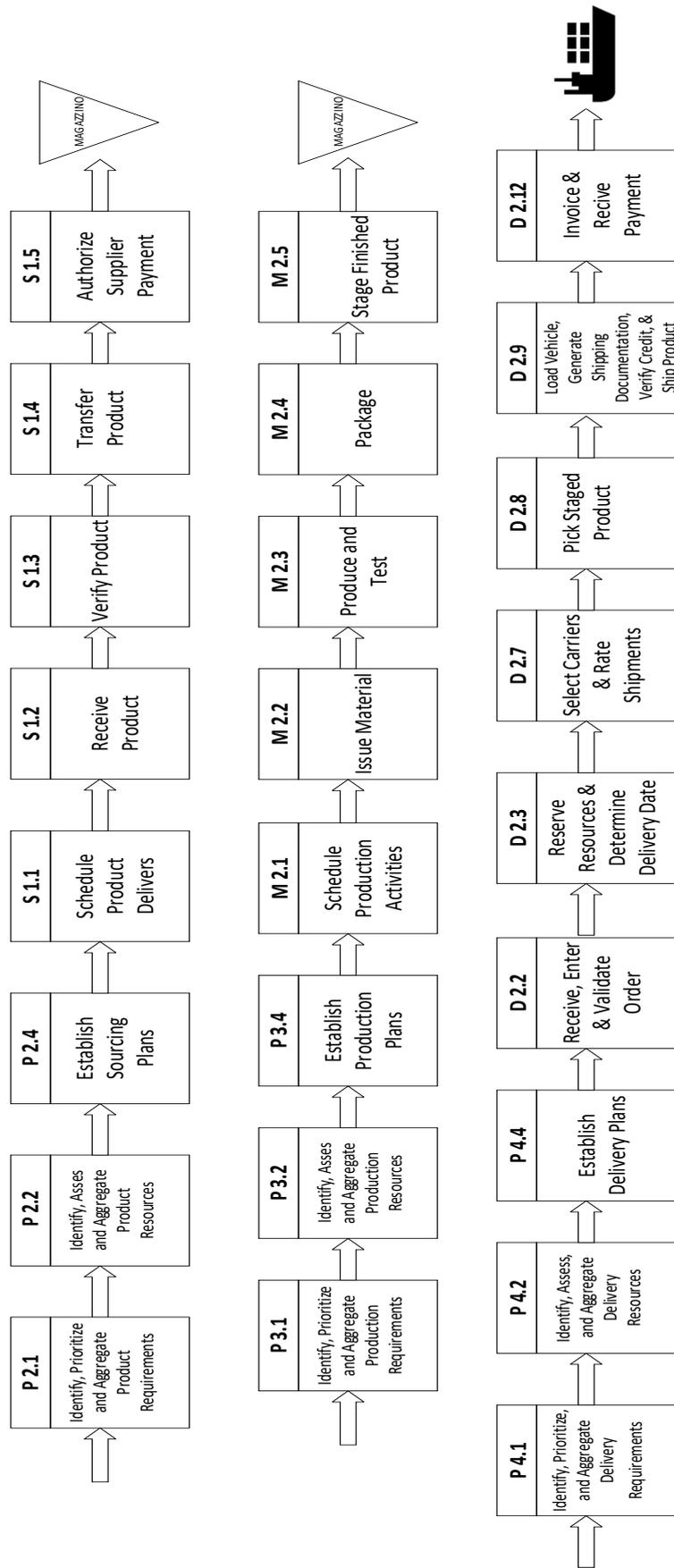


Figura 42 Mappa dei Process Element SCOR per i livello dell'OEM

## ***2.4.5 Performance OEM***

### ***Plan***

Per le attività di tipo PLAN le metriche e gli attributi di performance vengono individuati e presentati per il Livello 2 e non per il Livello 3 per non appesantire troppo la mappatura ed in quanto la definizione degli stessi per il livello inferiore risulterebbe troppo imprecisa.

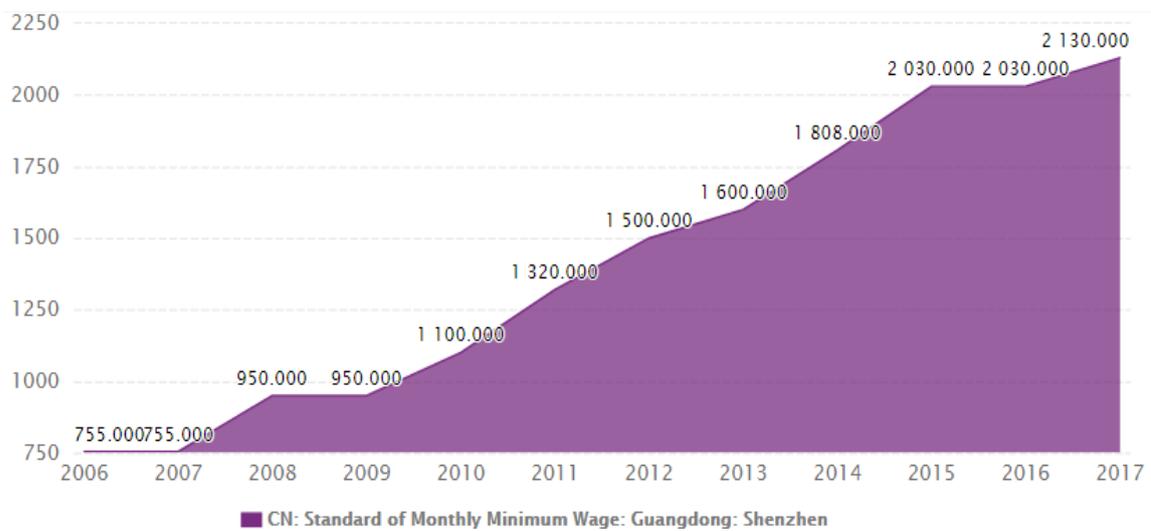
### ***P1 Plan Supply Chain***

Gli indicatori principali di performance con le rispettive metriche riguardano:

- Affidabilità: Accuratezza delle previsioni di domanda, accuratezza dei tempi di consegna al cliente
- Reattività: Tempo di approvvigionamento e produzione
- Flessibilità: Tempo di ripianificazione
- Costo: Costo manodopera
- Assets: Utilizzo capacità, cash-to-cash cycle time

Oggi i fornitori Cinesi hanno raggiunto un grado di affidabilità elevato sia per quanto riguarda la qualità produttiva che per quanto riguarda i lead time di consegna; ciò soprattutto in un settore come quello delle apparecchiature elettriche in cui la Cina è protagonista a livello mondiale. È ragionevole pensare che la domanda di dispositivi portalampada, nonostante la crescita costante, sia di facile previsione. Inoltre, l'aggiudicarsi grandi contratti di fornitura dalle grandi aziende occidentali aiuta a stabilizzare la produzione. Il rispetto dei tempi di consegna offerti e le modalità di trasporto dipendono specialmente dall'esportatore selezionato; in base alla destinazione prevista dalla casa madre vi sono diversi lead time di consegna. I tempi di approvvigionamento e di produzione sono relativamente brevi ma ciò che risulta difficile è la gestione dell'ampio parco fornitori. Assicurarsi della qualità di ogni singolo fornitore e gestire i rapporti con ognuno di questi sono un'attività fondamentale per garantire il rispetto delle caratteristiche richieste dalla casa madre. Il costo della manodopera, a seguito delle riforme del governo cinese, ha visto una crescita rapida negli ultimi anni (Security Ministry of Human Resources and Social Security, 2018) (Figura 43); questa crescita ha reso sempre meno conveniente spostare la produzione di oggetti che richiedono elevata manodopera in questa Nazione. Oggi, per gli investitori in entrata, l'interesse crescente è quello di trarre vantaggio da un mercato interno in rapida crescita, piuttosto che

da un bacino di lavoro a basso costo. Questa tendenza all'aumento dei salari sembra destinata a continuare, anche se il ritmo è diminuito negli ultimi anni. L'economia continua a crescere, i prezzi continuano ad aumentare e le competenze e l'istruzione continuano a migliorare. Le differenze urbane e regionali sono significative, ma queste possono diminuire, un importante obiettivo attuale del governo cinese è la riduzione della povertà rurale. Tra le politiche adottate vi è l'istituzione di un salario minimo che viene stabilito in maniera autonoma delle regioni cinese ed è stato più volte rivisto e aumentato. Si riporta un esempio di salario minimo attuale per la regione del Guangdong, è evidente la crescita avvenuta negli ultimi anni e che ha ridotto la disponibilità di manodopera a buon mercato.



**Figura 43** Crescita del salario minimo nella regione del Guangdong (Fonte: CEIC Data)

Per questa e per altre ragioni si cerca di ottimizzare l'utilizzo della manodopera al fine di massimizzarne la produttività dato che costituisce il principale strumento produttivo degli OEM. Infatti, le apparecchiature utilizzate sono limitate a semplici strumenti utili nella linea di assemblaggio [31].

### ***P2 Plan Source***

Gli indicatori principali individuate riguardano:

- Affidabilità: Consegne fornitore in tempo, Fill rate del fornitore
- Reattività: Tempo ciclo fornitura
- Flessibilità: Flessibilità fornitura

Il Fill rate dei fornitori è elevato in quando questi dispongono di quantità elevate di scorte dei componenti [32], inoltre qualora sia necessario la produzione degli stessi richiederebbe pochi giorni lavorativi. La puntualità delle consegne è elevata data l'affidabilità dei trasporti via gomma in Cina e data anche la vicinanza geografica tra i subfornitori e l'OEM. Il tempo ciclo di fornitura pe componenti disponibili presso il fornitore è ridotto a 3-4 giorni lavorativi mentre nel caso sia necessario produrre i componenti richiesti il lead time può aumentare fino a una settimana. Qualora invece vi sia la necessità di sviluppare nuovi componenti ad hoc per l'applicazione richiesta dal cliente occidentale la flessibilità è ridotta in quanto vi è la necessità di realizzare gli utensili necessari per produrre i componenti su misura. Vi sarà infatti una fase di studio, progettazione e realizzazione degli stampi utilizzati nei processi di stampaggio che può richiedere più settimane a seconda della complessità delle forme dei componenti richiesta [33].

### ***P3 Plan Make***

Per questo processo di pianificazione vengono individuate le seguenti metriche:

- Affidabilità: Rispetto dei piani produttivi previsti
- Flessibilità: Tempo ciclo di produzione

È difficile avere indicazione riguardo l'aderenza ai piani produttivi ma, data la semplicità delle operazioni richieste e la grande quantità di manodopera disponibile, è presumibile con non vi siano particolari difficoltà a rispettare i paini produttivi anche in condizioni di elevata variabilità. Il tempo ciclo di produzione è limitato alle operazioni di assemblaggio ovvero all'inserimento dei contatti elettrici nella base isolante ed alla chiusura della stessa con l'inserimento della presa rotante. Queste operazioni richiedono all'incirca 9 secondi.

### ***P4 Plan Deliver***

In questo caso si individuano le seguenti metriche:

- Affidabilità: Accuratezza delle previsioni di domanda, accuratezza dei tempi di consegna al cliente, Fill Rate
- Costo: Costo totale di spedizione

Dell'accuratezza delle previsioni di domanda si è già parlato precedentemente. L'accuratezza dei tempi di consegna al cliente è anche essa elevata, oggi vi sono una serie di soluzioni che consentono di andare incontro alle esigenze di ogni cliente. Indipendentemente dalla localizzazione geografica del cliente è possibile stimare in maniera molto precisa quelli che saranno i tempi di consegna necessari, spetterà poi a chi effettua materialmente i trasporti fare in modo che tali tempi siano rispettati. Dato che a questo livello della catena la produzione è avviata solo in seguito all'ordine di un cliente, il Fill Rate è inferiore rispetto al livello dei subfornitori. Nonostante questo, è ragionevole pensare che gli OEM dispongano di alcune scorte di sicurezza di prodotto finito per far fronte ad eventuali richieste urgenti dei clienti [32]. Il costo totale di spedizione dipende da una serie di fattori come la quantità spedita, il metodo di spedizione scelto e la destinazione di consegna della merce. Per avere indicazioni su tale indicatore di performance si rimanda il lettore al paragrafo in cui verranno presentati i diversi metodi di spedizione.

### ***Source***

Per le attività di approvvigionamento si parte dall'individuazione degli attributi e delle metriche per il Livello 2 del Modello SCOR definito come S1. Gli attributi di performance individuati per questo tipo di processo sono qui elencati secondo quanto riportato dal Modello:

- Reattività: Tempo ciclo fornitura
- Flessibilità: Tempi e costi relativi all'accelerazione dei processi di approvvigionamento, consegna, ricezione e trasferimento.
- Costo: Costi di acquisizione del prodotto

La reattività come già anticipato è elevata in quanto il tempo di ciclo di fornitura è rapido e nella regione del Guangdong sono presenti molti subfornitori specializzati nella realizzazione di componenti per apparecchiature elettriche. La flessibilità invece è limitata

dai lead time necessari per lo sviluppo di una nuova linea di prodotto; la scelta del fornitore, la produzione degli stampi per lo stampaggio fanno sì che la creazione di prodotti su misura per l'esigenza della casa madre richieda tempo. Il costo di acquisizione dei componenti è variabile in base alle quantità acquistate; ad esempio per i contatti elettrici i prezzi seguono questo andamento [34]:

- Per ordini da 1 a 999 pezzi                      1 \$/pz
- Per ordini da 1000 a 9999 pezzi                0.07 \$/pz
- Per ordini da 10000 a 99999 pezzi            0.05 \$/pz
- Per ordini maggiori di 100000 pezzi        0.01 \$/pz

Per i componenti plastici del portalampada il costo di produzione dipende dai volumi raggiunti, interpolando i dati dell'analisi dello studio precedente (Atzeni et al.,2010) e ricercando ulteriori informazioni tra i produttori l'andamento dei costi per i 3 componenti necessari è:

- Per ordini da 1 a 99.999 pezzi                1.15 \$/pz
- Per ordini da 100.000 a 499.000 pezzi       0.39 \$/pz
- Per ordini da 500.000 a 999.999 pezzi       0.27 \$/pz
- Per ordini maggiori di 1.000.000 pezzi     0.20 \$/pz

Analizzando i dati del National Bureau of Statistics of China per il settore della produzione di oggetti in gomma e plastica, il ritorno sulle vendite medio del settore negli ultimi anni si aggira intorno al 7%. Questo è stato calcolato dal rapporto tra i profitti provenienti dalle vendite ("Revenue from Principal Business") e il margine operativo ("Operating Profits"). A questi si aggiunge un'indicazione forfettaria per il trasporto pari al 3% per cui il prezzo effettivo pagato dall'OEM per l'acquisto dei componenti sarà:

- Per ordini da 1 a 99.999 pezzi                1.27 \$/pz
- Per ordini da 100.000 a 499.000 pezzi       0.43 \$/pz
- Per ordini da 500.000 a 999.999 pezzi       0.30 \$/pz
- Per ordini maggiori di 1.000.000 pezzi     0.22 \$/pz

Entrando nel dettaglio delle singole attività di Livello 3 individuate in fase di mappatura si presentano per ognuna di queste i principali indicatori di performance forniti dal Modello, segue poi l'individuazione del livello di tali performance per il caso in esame.

### ***S1.1 Schedule Product Deliveries***

I principali attributi di performance, con le relative metriche, individuati a partire dal Modello SCOR per questa attività sono:

- Affidabilità: % di programmi generati nei tempi stabiliti del fornitore
- Reattività: Tempo medio di rilascio delle modifiche
- Flessibilità: Tempo medio in giorni per la modifica della pianificazione
- Costo: Costi di gestione e pianificazione in % del costo di acquisto del prodotto

A questo livello della catena, le attività di programmazione, come già anticipato, sono più strutturate e gli OEM hanno interesse nel tenere traccia delle performance dei diversi fornitori. Di conseguenza vi è anche una crescita dei costi di gestione e pianificazione delle consegne in quanto dovrà esserci parte del personale che si occupa delle relazioni con i fornitori. Non avendo indicazioni precise in merito a tali indicatori non si è potuto entrare nel dettaglio della loro quantificazione,

### ***S1.2 Receive Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di ricevimento
- Costo: Costi di ricevimento merce in % del costo di acquisto del prodotto

Il monitoraggio, la scelta e lo sviluppo delle relazioni con i subfornitori fa sì che la loro affidabilità sia elevata; anche il grado tecnologico dei componenti facilita il raggiungimento di tali performance. I tempi di ricevimento merci sono velocizzati dalla pallettizzazione degli ordini e dall'utilizzo di carrelli elevatori per la movimentazione delle pedane verso il magazzino. È ragionevole ipotizzare che in poche ore l'ordine ricevuto sia stato immagazzinato correttamente. Dato l'ampio numero di componenti trattati è ragionevole pensare che vi sia del personale e delle risorse dedicate a tali operazioni; ciò fa sì che i costi di ricevimento merce aumentino rispetto al livello precedente della catena.

### ***S1.3 Verify Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di verifica
- Flessibilità: % ricezioni senza controllo qualità
- Costo: Costi di verifica o merce in % del costo di acquisto del prodotto

L'affidabilità, come già detto è elevata mentre i tempi di verifica degli ordini dipendono dal numero di campioni da prelevare, e dal numero di test da effettuare su questi ultimi. Per la merce in ingresso è possibile effettuare una serie di test volti a misurare la resistenza dei componenti plastici alla combustione, la resistenza meccanica dei componenti plastici, la conduttività dei componenti elettrici ed altri test volti a verificare la bontà dei materiali utilizzati dai subfornitori. Può succedere a volte che gli ordini in ingresso non subiscano controlli qualità, ciò può accadere per subfornitori le cui prestazioni si sono dimostrate soddisfacenti per un periodo di tempo prolungato. Si attua in questo modo una politica Skip Lot volta a ridurre i tempi di ricevimento e verifica della merce in ingresso. Anche i costi di verifica della merce dipendono dalla numerosità dei test da effettuare e dalle apparecchiature e operatori richiesti per queste operazioni. È presumibile pensare che questi abbiano un'incidenza minima sui costi di gestione degli ordini e che possano per questo essere trascurati.

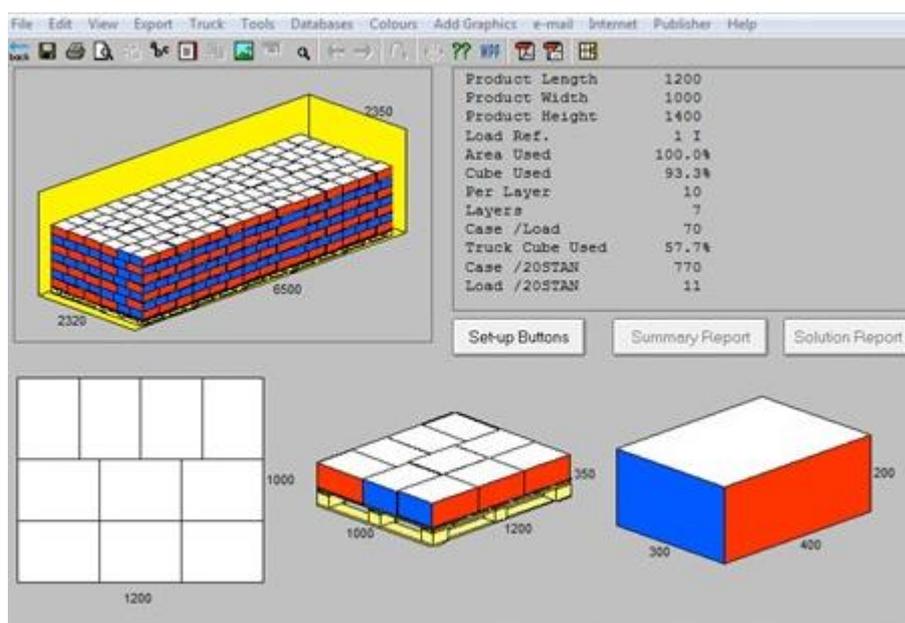
### ***S1.4 Transfer Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini movimentati senza danni, % ordini movimentati completi, % ordini movimentati in tempo
- Reattività: Tempo di movimentazione
- Costo: Costi di movimentazione merce in % del costo di acquisto del prodotto

Le movimentazioni della merce in ingresso avvengono tramite carrelli elevatori, transpallet e personale specializzato addetto a queste operazioni. L'affidabilità di tali operazioni è elevata anche a causa della robustezza e dell'infrangibilità dei componenti in ingresso. I tempi sono ridotti e legati soprattutto alla quantità di merce che deve essere movimentata. Data la ridotta dimensione dei componenti necessari ad assemblare i portalampana, grandi

quantità di merce occupano relativamente poco volume [32]; per questo diverse migliaia di unità possono occupare pochi metri quadri di spazio. Generalmente i componenti vengono disposti alla rinfusa all'interno di cartoni corrugati che vengono posizionati su pallets per il trasporto. Supponendo che le scatole di cartone contenenti i componenti siano di dimensioni 30 x 40 x 20 cm queste possono essere disposte su pallet di dimensione 1000 x 1200 cm (standard americano utilizzato anche in Cina) in modo da formare livelli da 10 scatole ciascuno. I livelli che possono essere impilati in questo modo sono 7 per un totale di 70 scatole per pedana (Figura 44).



*Figura 44* Disposizione delle scatole sul pallet [Fonte: software Cape Pack]

In un cartone delle dimensioni sopra citate possono essere disposti all'incirca 900 basi isolanti, 4000 piastre rotanti, 4000 coperchi e 30000 contatti elettrici; per cui per ogni pallet mono referenza saranno presenti:

- 63.000 pz/pallet per le basi isolanti
- 280.000 pz/pallet per le piastre rotanti
- 280.000 pz/pallet per i coperchi
- 2.100.000 pz/pallet per i contatti elettrici

Dunque, è facile supporre che le movimentazioni siano rapide data l'entità delle quantità in gioco che non crea problemi di sovra utilizzo delle risorse.

### ***S1.5 Authorize Supplier Payment***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % fatture processate senza errori
- Costo: Costo per fattura

Dato il sistema nazionale di fatturazione Golden Tax System i costi possono essere rilevanti a seconda se si utilizza il sistema manuale o il sistema informatizzato. L'affidabilità dei processi è elevata dati gli standard imposti dal governo sulle procedure di compilazione e trasmissione delle fatture stesse.

### ***Make***

Per le attività di produzione viene individuata una logica Make to Order, ciò porta a definire i processi a Livello 2 con l'elemento SCOR M2 *Make-to-Order* che ha come attributi principali di performance:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna
- Reattività: Tempo cambio produzione
- Flessibilità: Tempo di ripianificazione
- Costo: Costo unitario di produzione, Costi indiretti, Costi operativi impianto, Salario medio operatori, Attività a valore aggiunto
- Assets: Utilizzo capacità produttiva

Il rispetto della data di consegna è un requisito ormai fondamentale richiesto agli OEM cinesi per cui è necessario che questi rispettino i vincoli stabiliti con i clienti. Data la prevalenza del lavoro manuale di assemblaggio dei diversi componenti, la flessibilità è elevata e non vi sono particolari difficoltà nel riprogrammare la produzione praticamente senza tempi di attrezzaggio [31]. L'unico vincolo presente in fase di riprogrammazione è la disponibilità di capacità inutilizzata e la disponibilità di componenti da assemblare. Anche i tempi produttivi sono rapidi e si aggirano intorno ai 10 secondi per prodotto finito. Ciò sottolinea quanto i tempi a valore aggiunto siano brevi mentre sono rilevanti i tempi a non a valore aggiunto che si perdono nella movimentazione e nello stoccaggio dei prodotti a livello di tutta la catena logistica. I costi indiretti sono moderati data la scarsità di apparecchiature necessarie all'assemblaggio per cui i costi più rilevanti in questa fase sono quelli legati alla manodopera impiegata per realizzare e confezionare il prodotto finito. Il salario minimo della

regione del Guangdong è di circa 2 dollari l'ora, supponendo uno stipendio di poco superiore al minimo statale si può affermare che il salario medio di un operatore di linea sia di circa 2.5 \$/ora (Ceglowski & Golub, 2007). Considerando che le tasse sullo stipendio pagate dall'impresa che sono circa il 40% (Boquen, 2019), il costo orario della manodopera medio è di circa 3.5 \$/ora. Ne deriva che il costo di assemblaggio del singolo portalamпада è di circa 0.01 \$. Vi è a questo livello una ricerca, seppur non elevata, di snellire le operazioni adottando alcuni principi della Lean Production. Nelle linee di assemblaggio più sviluppate possono esserci delle vere e proprie celle di assemblaggio con approvvigionamento dei diversi componenti che segue una logica Kanban.

### ***M2.1 Schedule Production Activities***

Per questa attività si identificano le seguenti metriche:

- Affidabilità: % ordini programmati secondo le richieste dei clienti
- Flessibilità: Intervallo di ripianificazione
- Assets: Utilizzo capacità produttiva

Le performance a questo livello riguardano soprattutto il rispetto dei piani stabiliti e l'utilizzo della capacità a disposizione. L'utilizzo della forza lavoro viene massimizzato in fase di programmazione l'affidabilità degli ordini è elevata. L'intervallo di ripianificazione supposto è settimanale.

### ***M2.2 Issue Sourced/In-Process Product***

A questo livello si identificano i seguenti indicatori di performance:

- Affidabilità: Accuratezza livelli magazzino
- Costo: Obsolescenza inventario, Copertura in giorni del magazzino
- Assets: Tempo Cash-to-cash

Fondamentale a questo livello è garantire l'accuratezza del livello di magazzino al fine di limitare la possibilità di eventuali stock out. Data la mancanza di procedure di gestione tramite Barcode e strumenti informatici si cerca di limitare la possibilità di stock out aumentando il livello di scorte dei componenti. Questo è favorito anche dalla non obsolescenza dei componenti per apparecchiature elettriche trattati dagli OEM. Una volta individuata la produzione da eseguire i componenti necessari vengono selezionati e prelevati manualmente dal magazzino e posti nelle linee produttive. A seconda dello sviluppo delle

linee produttive degli OEM, i componenti possono essere direttamente riversati sui piani di lavoro o possono andare a rifornire delle cassette a bordo linea [31]. A seconda della domanda la copertura in giorni del magazzino può essere più o meno elevata. Dato che i fornitori vengono pagati con un certo ritardo mentre i clienti, nella maggior parte dei casi, devono effettuare il pagamento nel momento in cui la merce viene spedita il tempo Cash-to-cash è ridotto e spesso a favore dell'OEM.

### ***M2.3 Produce and Test***

Le principali metriche per questa attività sono:

- Affidabilità: Tasso di scarti, guasti di processo
- Reattività: Tempo ciclo, tempo di riattrezzaggio
- Costo: Valore aggiunto, produttività
- Assets: Utilizzo capacità produttiva, ROI

Dato che il processo produttivo si limita all'assemblaggio dei componenti questo è altamente affidabile e presenta un tasso di scarti e guasti estremamente ridotto, alcune aziende affermano di produrre con tassi di difettosità inferiore al 1%. La capacità produttiva delle maggiori aziende produttrici si aggira tra i 100.000 e i 2.000.000 pezzi al mese a seconda del loro grado di integrazione, ovvero della disponibilità di produrre i componenti, e del loro livello di personale [35]. Gli altri indicatori sono stati precedentemente presentati per cui si rimanda il lettore al paragrafo dedicato.

### ***M2.4. Package***

Rilevanti per questa attività sono le metriche di:

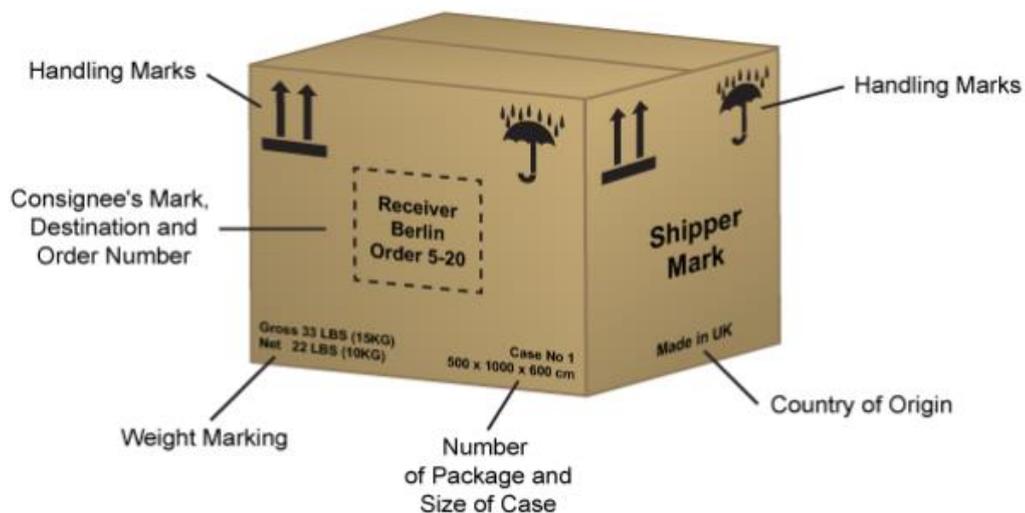
- Reattività: Tempo di confezionamento
- Costo: Costo di confezionamento, scarti di materiale

A seconda delle necessità dei clienti sono possibili diverse configurazioni del packaging, queste sostanzialmente sono di 3 tipi. Il primo tipo, il più semplice, prevede che i portalampana vengano disposti alla rinfusa in grandi scatoloni che saranno utilizzati per le spedizioni. Il prodotto finito può essere raccolto in buste di plastica in modo da evitare che questo si muova troppo durante il trasporto andando a danneggiare il cartone stesso [36]. In questo caso spetterà poi ai clienti etichettare e confezionare gli oggetti secondo le loro esigenze. Secondo questa configurazione una scatola standard 30 x 40 x 20 cm può contenere

fino a 800 portalampada e peserà all'incirca 12 kg. Gli scatoloni, nel rispetto delle normative di trasporto internazionale, dovranno indicare:

- Codice prodotto e/o codice ordine
- Destinatario
- Descrizione del prodotto
- Quantità
- Peso netto
- Peso lordo
- Dimensioni
- Numero cartone (esempio 1/100; 2/100...)
- Paese di origine
- Luogo di destinazione con rispettivo identificativo (porto / aeroporto)
- Simboli di movimentazione
- Codice a barre (qualora richiesto dal cliente)

Queste indicazioni possono essere stampate direttamente sui cartoni oppure possono essere applicate tramite apposite etichette (Figura 45).



**Figura 45** Esempio di etichettatura (Fonte: [www.freightfilter.com](http://www.freightfilter.com))

Il secondo tipo di confezionamento prevede la disposizione di più portalampada, dai 10 ai 20 a seconda delle esigenze dei clienti, in scatole destinate alla vendita [27]. Queste scatole sono realizzate secondo le specifiche dei clienti e possono essere prodotte in house o come

accade nella maggior parte dei casi, la loro produzione viene affidata a fornitori esterni. Il prezzo delle confezioni è moderato, si aggira intorno ai 5 o 10 centesimi di dollaro in base a le illustrazioni necessarie [30]. Le specifiche sulla realizzazione delle confezioni destinate alla vendita, incluse le indicazioni sui codici a barre da stampare, vengono definite dalla casa madre e sono vincolanti e fondamentali per la qualità finale. Incongruenze nelle specifiche richieste possono portare a rifiuti di interi lotti con i conseguenti problemi di reso e di gestione. Queste unità destinate alla vendita conterranno tutte le indicazioni necessarie a far sì che il prodotto sia conforme alle normative in vigore nel paese in cui verrà venduto. Queste confezioni verranno poi riposte in cartoni più grandi per la spedizione le cui indicazioni sono del tutto analoghe a quelle sopra riportate nel caso di confezionamento alla rinfusa. In questo caso, supponendo delle confezioni destinate alla vendita da 20 unità con misura 10 x 10 x 10 cm, in uno scatolone di 30 x 40 x 20 cm verranno contenuti all'incirca 480 portalampade con un peso di 10 kg. L'ultimo sistema di confezionamento, che verrà adottato per il calcolo dei costi di confezionamento, prevede l'utilizzo di blister in materiale plastico in cui vengono posizionati 2 portalampada (Figura 46); a completare l'involucro vi è un cartoncino che viene realizzato secondo il design scelto dai clienti. I componenti necessari a questo tipo di confezionamento sono spesso realizzati su misura da aziende specializzate in quanto vi è la necessità di realizzare stampi appositi per la termoformatura dei blister in PVC e per la stampa e il taglio dei cartoncini [29]. Questi vengono poi spediti all'OEM che si farà carico solo dell'effettiva chiusura degli stessi; questo processo di saldatura dei blister può essere effettuato manualmente dagli operatori o automaticamente tramite apposite, e costose, apparecchiature [37]. Il costo per acquistare gli elementi necessari a realizzare questo tipo di confezionamento si aggira tra i 0.05 e i 0.10 \$ a seconda delle design richiesto [29]; a questo vanno aggiunti i costi relativi alla spedizione ed al processo di chiusura degli imballi stessi. I blister vengono poi posizionati in cartoni più grandi per le spedizioni. Un cartone da 30 x 40 x 20 cm, dal costo di 0,5 \$, conterrà 100 blister per un peso complessivo di circa 8 kg.



*Figura 46 Confezionamento in blister (Fonte: General Electric)*

A seconda della modalità di confezionamento scelta, i tempi del processo saranno differenti; questi sono stati ripresi da studi riguardanti il processo di confezionamento manuale (Lee & Lye, 2003). Il primo tipo di confezionamento può avvenire direttamente nella linea produttiva rendendo in questo modo le operazioni rapide. In questo caso i prodotti, man mano che vengono assemblati, vengono riposti nelle buste di plastica che saranno poi posizionate all'interno delle scatole corrugate. Il tempo per la chiusura della busta di plastica (10 s), il posizionamento della stessa nel cartone (4.35 s) e la chiusura del cartone stesso (7.76 s) può essere approssimato a circa 22 secondi a scatolone che corrisponde a un costo diretto di 0,021 \$/scatola che diventa irrisorio per il singolo portalampada. Nel caso invece di scatole da pochi pezzi realizzate secondo le specifiche dei clienti il processo cambia poco; è ragionevole pensare che queste piccole scatole sia disposte a bordo linea pronte a ricevere il prodotto appena assemblato. Mentre se il prodotto è già presente a stock si procederà a prelevarlo e a confezionarlo nelle apposite scatole. Il tempo per riporre i portalampada nelle confezioni e chiuderle (10 s a scatola per un totale di 24 scatole), il posizionamento delle stesse nel cartone (4.35 s a scatola per un totale di 24 scatole) e la chiusura del cartone che le contiene (7.76 s) può essere approssimato a circa 352 secondi a scatolone che corrisponde a un costo diretto di circa 0,342 \$/scatola che anche in questo caso va ad impattare marginalmente sul singolo portalampada. Infatti, considerato sia il costo della manodopera che il costo degli imballaggi si ottiene un Costo di confezionamento inferiore ad 1 centesimo

di dollaro per portalampada. Nell'ultimo caso invece è necessario utilizzare un apposito macchinario per la chiusura dei blister; esistono diversi tipi di apparecchiature per questo tipo di confezionamento: macchinari automatici che chiudono in parallelo più confezioni e macchinari manuali che chiudono una o più confezioni contemporaneamente. In ogni caso i blister vanno posizionati nell'apposita sede (2 s), poi vengono posizionati i portalampada (5 s) ed infine viene posizionato il cartoncino (2 s). Il tempo per la saldatura dei blister varia dagli 1 ai 10 secondi, considerando un tempo medio di 5 s a questo va aggiunto il tempo di rimozione degli stessi dal macchinario (4 s). Le confezioni chiuse correttamente vengono posizionate nei cartoni corrugati (4 s a blister per un totale di 100 blister) che vengono opportunamente chiusi (7.76 s). Sommando i tempi delle singole operazioni si ha che si impiegano circa 2208 secondi pari a 37 minuti per completare un cartone pieno di 100 blister.

$$T_{\text{confezionamento}} = 2208 \text{ secondi}$$

$$C_{\text{manodopera}} = 3,5 \text{ \$/ora}$$

$$C_{\text{manodopera confezionamento}} = \frac{T_{\text{confezionamento}} \cdot C_{\text{manodopera}}}{\text{Numero pezzi per cartone}} = 0,011 \text{ \$/pz}$$

Considerando anche il costo dei blister e dei cartoni e ripartendoli sul singolo portalampada si ottiene:

$$C_{\text{blister}} = 0.05 \text{ \$/pz}$$

$$C_{\text{cartone}} = 0,003 \text{ \$/pz}$$

per cui il costo totale di confezionamento è pari a:

$$C_{\text{confezionamento}} = C_{\text{manodopera confezionamento}} + C_{\text{blister}} + C_{\text{cartone}} = 0,063 \text{ \$/pz}$$

Appare dunque evidente che il metodo alla rinfusa sia molto più economico rispetto alla realizzazione di un confezionamento su misura. Il vantaggio economico lascia però spazio alla necessità di realizzare in confezionamento in un momento successivo, ovvero sarà il cliente a farsi carico della realizzazione delle confezioni destinate alla vendita. La scelta del metodo da utilizzare non dipende solo dal fattore economico ma anche dal canale di vendita utilizzato e dalla possibilità che i clienti dispongano già di apparecchiature per realizzare le confezioni. I cartoni contenenti i blister, a parità di volume occupato, conterranno naturalmente meno portalampada; ciò andrà ad impattare negativamente sull'efficienza dei trasporti.

### ***M2.5 Stage Finished Product***

Per questa attività si individuano le seguenti metriche principali:

- Affidabilità: Tempo di stoccaggio
- Costo: Costo di giacenza

Il tempo di stoccaggio varia in base al tipo prodotto ed alla sua richiesta di mercato ma data la produzione Make to Order è presumibile che in media i prodotti finiti non stiano in magazzino per più di un mese. I costi di giacenza sono più elevati rispetto a quelli dei subfornitori in quanto vi è una vasta gamma di prodotti che aumentano la complessità della gestione delle procedure di magazzino. Anche i costi di mantenimento dei locali adibiti a magazzino aumentano data la localizzazione degli OEM in aree commerciali in cui i servizi e le rendite sono più elevate. Si può assumere anche in questo caso che il costo medio di giacenza sia quello standard e si aggiri intorno al 10% del costo del prodotto finito.

### ***Deliver***

#### ***D2 Deliver Make-to-Order Product***

Le attività che compongono la fase di spedizione dei portalampada verso i clienti finali vengono rappresentate dal processo SCOR *D2 Deliver Make-to-Order Product*. Le indicazioni riguardo gli indicatori di performance fornite dal modello portano ad individuare le seguenti metriche:

- Affidabilità: Rispetto delle date di consegna, correttezza degli ordini
- Reattività: Tempo di spedizione stimato ed effettivo
- Costo: Costo di gestione delle spedizioni
- Assets: Copertura in giorni del magazzino prodotti finiti

L'affidabilità del fornitore asiatico dipende essenzialmente dalla sua abilità nel gestire le diverse pratiche nella preparazione degli ordini e dal vettore su cui fa affidamento per le spedizioni. I clienti, specialmente quelli occidentali, selezionano con scrupolo i fornitori più affidabili e la Cina nel corso degli anni mette a disposizione sempre più aziende produttive in grado di rispettare le più stringenti esigenze. Dato che molti OEM agiscono anche da spedizionieri avranno una parte del personale che si occupa esclusivamente delle relazioni con i clienti e con i diversi vettori [38]; ciò fa lievitare i costi di gestione delle spedizioni. Molto dipende anche dai termini pattuiti con il cliente infatti vi sono diverse modalità di

spedizione internazionale che spostano la responsabilità dal fornitore/spedizioniere al cliente finale. Queste modalità vengono definite dagli Incoterms che forniscono una serie di termini utilizzati nel campo delle importazioni ed esportazioni, validi in tutto il mondo, che definiscono in maniera univoca e senza possibilità di errore ogni diritto e dovere competente ai vari soggetti giuridici coinvolti in una operazione di trasferimento di beni da una nazione ad un'altra. I termini Incoterms sono stati ratificati dall'International Chamber of Commerce (ICC) e la terminologia usata, con l'ultima revisione del 2010, viene distinta per trasporti marittimi e fluviali e per trasporti generali. Tale revisione è nota con il nome di "Incoterms 2010" e prevede 11 diverse clausole di cui solo 4 sono utilizzabili per il trasporto marittimo (FAS - Free Alongside Ship, FOB - Free On Board, CFR - Cost and Freight, CIF - Cost, Insurance and Freight) (International Chamber of Commerce (ICC), 2010). Una nuova versione di questo documento verrà presentata nel 2020 e prevedrà una serie di aggiornamenti. Le clausole attuali sono organizzate in quattro gruppi:

1. *Gruppo E* (derivato da ex, cioè partenza)
  - EXW: Ex Works
  
2. *Gruppo F* (derivato da free, cioè trasporto non pagato):
  - FCA: Free Carrier
  - FAS: Free Alongside Ship
  - FOB: Free On Board
  
3. *Gruppo C* (derivato da cost, cioè trasporto pagato in partenza):
  - CFR: Cost and Freight
  - CIF: Cost, Insurance and Freight
  - CPT: Carriage Paid To
  - CIP: Carriage and Insurance Paid to
  
4. *Gruppo D* (derivato da destination, cioè arrivo):
  - DAT: Delivery At Terminal
  - DAP: Delivery At Place
  - DDP: Delivered Duty Paid

Verranno brevemente presentate al lettore le singole clausole nel dettaglio in modo da fornirgli un quadro più chiaro su quelli che sono le diverse obbligazioni per le parti coinvolte in un trasporto internazionale.

### EXW (Ex Works o Franco Fabbrica)

In questa clausola il venditore adempie l'obbligo di consegna col mettere la merce a disposizione del compratore nei propri locali (quali ad esempio stabilimento, fabbrica, deposito etc.) o in altro luogo convenuto. Salvo diverso accordo da inserire con patto esplicito fra le parti, il venditore non è tenuto né a sdoganare la merce per l'esportazione né a caricarla sul mezzo di trasporto fornito dal compratore. Il compratore deve quindi sopportare tutte le spese e i rischi per portare la merce dai locali del venditore alla località di destinazione desiderata. Questo Incoterms comporta per il venditore il minimo livello di obblighi e li scarica quasi completamente sul compratore. La merce acquistata secondo questa clausola ha il costo minore tra tutte le possibili, ciò nonostante è necessario che il compratore abbia un'esperienza ed una organizzazione tale che riesca ad ottemperare a tutti gli obblighi che ha da espletare. Per questo motivo viene generalmente adottata da grandi aziende che hanno personale incaricato nel gestire le spedizioni dalla Cina o da aziende che hanno anni esperienza nel campo.

### FCA (Free Carrier o Franco Spedizionario)

In questo termine il venditore è vincolato a preparare i beni alla data concordata, provvedendo alla fornitura della documentazione adatta per l'esportazione, alla consegna presso il magazzino dello spedizionario (o altro soggetto scelto dall'acquirente) e al pagamento dei costi relativi all'operazione doganale di esportazione. Se il compratore non ha indicato un punto preciso, il venditore è libero di scegliere il punto in cui il vettore dovrà prendere in consegna la merce. L'acquirente, da parte sua, organizzerà il trasporto da tale luogo e ne pagherà tutti i costi, prendendone anche tutti i rischi fino alla destinazione finale.

### FAS (Free Alongside Ship o Franco sottobordo)

In questa clausola il venditore adempie l'obbligo di consegna col mettere la merce sottobordo della nave sulla banchina o sui mezzi galleggianti nel porto di imbarco convenuto. A partire da quel momento tutte le spese ed i rischi di perdita o di danni alle merci devono essere sopportate dal compratore tra cui anche eventuali costi per la messa a bordo della nave. Nel termine FAS l'onere dello sdoganamento della merce all'esportazione è a carico del venditore e non sono previsti obblighi per quanto riguarda la stipulazione del contratto di assicurazione. Questa clausola può essere usata esclusivamente in caso di trasporto marittimo o per vie navigabili interne e la formulazione completa prevede l'indicazione del porto di imbarco (esempio FAS Shenzhen).

### FOB (Free On Board o Franco a bordo)

In questa clausola il venditore adempie l'obbligo di consegna mettendo la merce a bordo della nave designata dal compratore nel porto di imbarco convenuto. A partire da questo momento tutte le spese ed i rischi di perdita o danneggiamento della merce sono a carico del compratore. Il venditore deve provvedere alle spese per l'ottenimento di licenze e documentazioni per l'esportazione e a quelle per le operazioni doganali sempre di esportazione. Per quanto concerne la responsabilità della merce questa passa dal venditore al compratore al momento in cui la merce stessa supera fisicamente la verticale della murata della nave. Questo termine può essere utilizzato esclusivamente in caso di trasporto marittimo mentre nel caso di trasporto ferroviario, trasporto via strada o trasporto aereo il termine equivalente è Free Carrier (FCA). Anche la formulazione di questo termine è considerata completa con l'indicazione del porto di imbarco (esempio FOB Shenzhen).

### CFR (Cost and Freight o Costo e Nolo)

Questo termine stabilisce che a carico del venditore siano tutte le spese di trasporto fino a destinazione, nonché le spese per l'ottenimento di licenze e documentazioni per l'esportazione dalla nazione di origine e quelle per le operazioni doganali sempre di esportazione. Il rischio di perdita o di danni alla merce, come pure ogni spesa aggiuntiva dovuta per fatti accaduti dopo che la merce sia stata consegnata a bordo della nave, si trasferisce dal venditore al compratore dal momento in cui la merce è a bordo della nave nel porto di imbarco. Anche questo termine può essere usato solo nel caso di trasporto marittimo e la sua formulazione è considerata completa con l'indicazione del porto di destinazione (CFR Rotterdam).

### CIF (Cost Insurance and Freight o Costo, Assicurazione e Nolo)

In questo termine il venditore ha gli stessi obblighi previsti dal termine CFR con la sola aggiunta dell'obbligo di stipulare e pagare i costi di un'assicurazione marittima (con copertura minima) contro i rischi di perdita o di danni alla merce durante il trasporto. Anche questa clausola è utilizzabile esclusivamente in caso di trasporto marittimo e la sua formulazione è considerata completa con l'indicazione del porto di destinazione (CFR Rotterdam).

### CPT (Carriage paid to o Trasporto pagato fino a)

Questa clausola è valida per ogni tipo di trasporto e stabilisce che a carico del venditore siano tutte le spese di trasporto fino ad un punto di arrivo specificato, nonché le spese per l'ottenimento di licenze e documentazioni per l'esportazione dalla nazione di origine e quelle per le operazioni doganali sempre di esportazione. Anche i costi da sostenere per l'attraversamento di altre nazioni fino al punto di arrivo sono a carico dello speditore. Il rischio di perdita o di danni alla merce ed anche ogni spesa addizionale per fatti accaduti alla merce dopo che questa è stata consegnata al vettore deve essere sopportato dal compratore. Nel termine CPT lo sdoganamento della merce all'esportazione è a carico del venditore e la formulazione è considerata completa con l'indicazione di una località specifica di destinazione (CPT Berlino).

### CIP (Carriage and Insurance paid to o Trasporto e Assicurazione pagati fino a)

In questa clausola il venditore ha gli stessi obblighi previsti dal termine CPT con l'onere in più di dover fornire un'assicurazione contro il rischio del compratore di perdita o di danni alla merce durante il trasporto. Il venditore quindi stipula, a sue spese, un contratto di assicurazione che prevede soltanto una copertura assicurativa minima. Il termine CIP può essere usato per tutte le tipologie di trasporto e anche in questo caso, la formulazione prevede l'indicazione di una località specifica di destinazione (CPT Berlino).

### DAT (Delivered at Terminal o Reso al terminal)

In questo termine il venditore effettua la consegna mettendo la merce scaricata dal mezzo di trasporto a disposizione del compratore al terminal di destinazione concordato. Il "terminal", che deve essere esplicitamente indicato, può essere un qualsiasi luogo coperto o scoperto come la banchina del porto, un magazzino, un'area di stoccaggio dei container, un terminal stradale, ferroviario o aereo. Il venditore sopporta tutti i rischi connessi al trasporto fino al luogo di destinazione convenuto. Il venditore deve sdoganare la merce all'esportazione, ma non all'importazione. Questo termine può essere usato per tutte le modalità di trasporto.

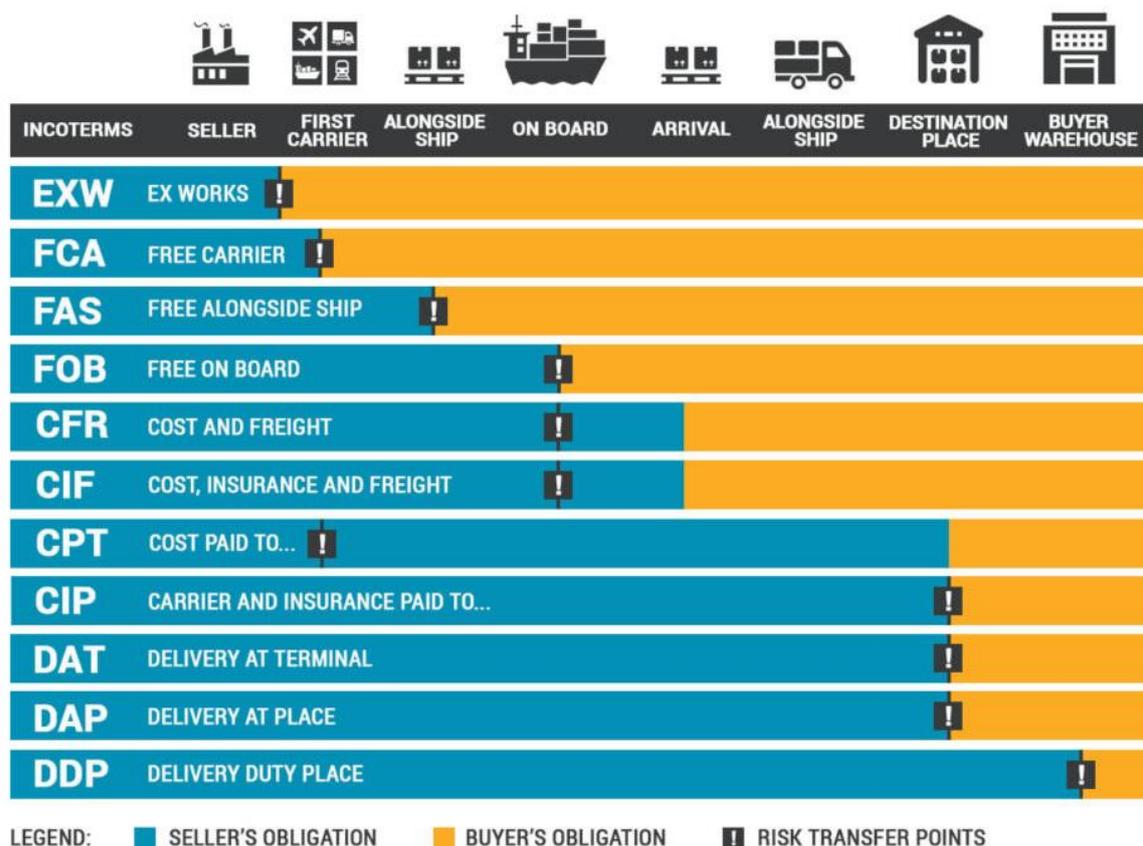
### DAP (Delivered at Place o Reso al luogo di destinazione)

In questa clausola il venditore effettua la consegna quando mette la merce a disposizione del compratore a bordo del mezzo che ha trasportato la merce al luogo di destinazione convenuto. Il venditore sopporta tutti i rischi connessi al trasporto fino al luogo di destinazione convenuto compresi i costi per l'attraversamento di eventuali nazioni, nonché

le spese per l'ottenimento di licenze e documentazioni per l'esportazione dalla nazione di origine e quelle per le operazioni doganali sempre di esportazione. Anche in questo caso però il venditore non si fa carico dell'importazione della merce che resta a carico del compratore. Questo termine viene usualmente utilizzato per tutti i tipi di trasporto.

### DDP (Delivered Duty Paid o Reso Sdoganato)

In questo termine il venditore adempie l'obbligo di consegna col mettere a disposizione la merce, già sdoganata all'importazione, a bordo del mezzo che ha trasportato la merce al luogo di destinazione convenuto. Viene solitamente pattuita la clausola che l'Imposta sul Valore Aggiunto (IVA) resta a carico dell'acquirente mentre i dazi ed eventuali altre tasse sono a carico del venditore. Questo termine può essere usato per tutti i modi di trasporto e la sua formulazione è considerata completa con l'indicazione di una località specifica. Mentre col termine EXW il venditore assume il livello minimo di obblighi, col DDP li assume al livello massimo (Figura 47).



*Figura 47 Schema riassuntivo Incoterms 2010 (Fonte: www.fbabee.com)*

Il termine di trasporto utilizzato in questo caso di studio dipenderà sia dalle richieste dello specifico cliente e sia dalla modalità di trasporto selezionata. Ad esempio, per i trasporti via nave o via aereo vengono solitamente utilizzate le clausole EXW, FOB e CIF mentre per il trasporto aereo espresso in genere si effettua un trasporto porta a porta. È chiaro a questo punto che il costo di gestione delle spedizioni a carico dell'OEM dipenderà dal termine Incoterms pattuito con il cliente; più questo sposta la responsabilità delle procedure a carico dell'OEM stesso e più il costo sarà elevato. I termini classici utilizzati in questo settore fanno sì che le responsabilità siano ripartite circa a metà tra le due figure contraenti. Gli OEM in genere dispongono di personale dedicato alla gestione delle spedizioni ed ai rapporti con i clienti e spesso possono contrarre accordi con i vettori per ottenere tariffe vantaggiose [38]. Il rispetto delle date di consegna dipende da una serie di fattori che spesso esulano dalla responsabilità dell'OEM, in ogni caso è lecito affermare che qualora si scelga l'aereo come mezzo per effettuare le spedizioni, queste siano senza dubbio meno soggette a ritardi.

### ***D2.2 Receive, Configure, Enter & Validate Order***

Le metriche che si identificano per l'attività di ricezione degli ordini sono:

- Reattività: Tempo di registrazione ordine
- Costo: Costo di registrazione ordine

I tempi di registrazione di un ordine dipendono molto dalle fasi di contrattazione e di definizione delle specifiche di fornitura con il cliente. La realizzazione di prodotti su misura per il cliente fa sì che i tempi si allunghino e che possano passare anche mesi prima che l'ordine sia correttamente registrato e la produzione sia avviata. Tra i costi di registrazione possono rientrare tutti quelli legati ad attività che prevedono la comunicazione con il cliente per definire le caratteristiche del contratto, le attività volte a definire i fornitori e il prezzo del portalampana finito. Strumenti informatici volti all'inserimento e gestione degli ordini sono ormai ampiamente utilizzati dalle aziende asiatiche più sviluppate e semplificano l'intero processo [39].

### ***D2.3 Reserve Resources & Determine Delivery Date***

Questa attività ha come attributi e metriche di performance principali:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata
- Assets: Utilizzo capacità produttiva

I riferimenti in merito all'utilizzo della capacità produttiva sono stati forniti nel paragrafo dedicato alle attività produttive dell'OEM. Il rispetto della data di consegna stimata, oltre che dai fattori legati ai trasporti, dipende anche dai fattori produttivi e dal periodo in cui viene effettuato l'ordine. Esiste infatti una certa stagionalità nella domanda di questo tipo di apparecchiature per cui in determinati periodi l'OEM non potrebbe essere in grado di garantire la consegna entro i termini stabiliti dalla casa madre.

### ***D2.7 Select Carriers & Rate Shipments***

L'attività ha come metrica principale:

- Costo: Costi di trasporto

La scelta del metodo di trasporto dipende essenzialmente dalle quantità ordinate e dai tempi di consegna richiesti; generalmente la casa madre effettua grandi ordini per sfruttare le economie di scala sui costi di trasporto dato che questi possono impattare in maniera rilevante sul costo finale dei portalampada. Le principali tipologie di trasporto dai paesi asiatici verso l'occidente vengono effettuati tramite nave o l'aereo. Quest'ultimo però, dati i volumi in gioco e il costo del trasporto, viene utilizzato solo in casi eccezionali e comunque per piccoli ordini; mentre nella maggior parte dei casi il trasporto avviene via mare dato il basso costo e la possibilità di spedire grandi volumi. Per questo genere di movimentazioni si fa generalmente riferimento a grandi porti e a grandi compagnie di navigazione. Nel caso in esame ad esempio il porto di Shenzhen è il punto di partenza della spedizione, la casa madre può affidarsi ad uno spedizioniere per semplificare le procedure portuali e doganali. Le spedizioni sono di tipo Full Container Load (FCL) ovvero l'intero carico viene stivato in un container in cui non sono presenti altre spedizioni; questo tipo differisce dal Less than Container Load (LCL) in cui più ordini diversi vengono consolidati e raggruppati in un unico contenitore. Dato il volume del prodotto finito si opta per l'utilizzo di container da 20 piedi, questo ha dimensioni interne standard pari 5895 mm di lunghezza, 2350 mm di larghezza e 2392 mm di altezza. Il volume interno è di circa 33 metri cubi mentre la tara varia dai 2050

ai 2650 kg [40]; per le spedizioni dalla Cina in genere non si eccede mai il carico massimo di 20 tonnellate. Le proprietà del contenitore può essere del vettore “Carrier Own Container” (COC) oppure del mittente “Shipper Owned Container” (SOC); la prima modalità si adatta meglio su rotte trafficate per cui il vettore mette a disposizione un gran numero di container mentre la seconda è quasi obbligatoria se si decide di effettuare spedizioni su rotte secondarie. In questo caso si adopererà la prima tipologia per cui l’assemblatore si farà carico di prelevare il container, di caricarlo con la merce e di trasportarlo alla banchina del porto di partenza. Le rotte individuate per l’Europa e per il Nord America sono servite dai maggiori vettori mondiali, tra questi vi sono A.P. Moller-Maersk, Mediterranean Shipping Company S.A e il gruppo China Ocean Shipping (Group) Company (COSCO). Per questo vi è una grande disponibilità di partenze e rotte a disposizione di chi vuole effettuare spedizioni dalla Cina verso l’occidente. Il costo di spedizione di un container non è mai fisso ma dipende da molti fattori come la capacità di carico disponibile, la domanda, le quotazioni del petrolio, la stagionalità e la congestione dei porti. Ad esempio, ci sono congestioni in prossimità del Capodanno cinese che ha luogo in gennaio e ci sono picchi di domanda nel periodo tra luglio e settembre a causa di alcune festività come Halloween e Natale. Le principali voci di costo da prendere in considerazione sono:

- Trasporto verso il porto di partenza
- Dichiarazione doganale di esportazione
- Commissioni portuali di partenza
- Costo del trasporto via nave
- Assicurazione
- Commissioni portuali di destinazione
- Sdoganamento all’importazione
- Dazi e imposte doganali
- Trasporto dal porto di destinazione

La ripartizione di alcune di queste voci dipende dai termini di vendita stabiliti, ad esempio nel caso di Incoterms Free On Board (o FOB) all’acquirente spetteranno le spese dal momento in cui la nave raggiunge il porto di destinazione. Il costo medio del solo trasporto via nave si aggira intorno ai 1300\$ per un container da 20 piedi sulla rotta Shenzhen-Rotterdam fino a una media di 1800\$ per un container da 20 piedi sulla rotta Shenzhen-Long Beach (Upply, 2019). A questo va aggiunta l’assicurazione del carico che dipende dal valore dello stesso e dalla compagnia di assicurazione scelta, i costi portuali che possono essere

rilevanti e impattare più del 20-30% sul costo del trasporto. Queste vengono considerate pari a circa 400 \$. Ci sono poi, per il prodotto in questione dei dazi di importazione, questi sono normati e possono essere facilmente reperiti grazie al sistema di codificazione che prevede l'attribuzione di un codice ad ogni tipo di merce. Il sistema armonizzato (in inglese Harmonized System, HS) è il sistema internazionale standardizzato per la classificazione di ogni tipologia di merce. Il sistema è gestito dalla World Customs Organization (WCO) e consente di identificare univocamente e rapidamente le merci movimentate; ad oggi è utilizzato da oltre 200 Paesi del mondo e classifica il 98% delle merci oggetto di scambi internazionali. Il codice HS per l'oggetto di studio, ovvero per i portalampada è 85366190 (U.S. International Trade Commission (USITC), 2019) per questi oggetti provenienti dalla Cina vi è un dazio pari al 2,7% del valore della merce negli USA e un dazio pari al 2,3% del valore della merce in Europa (Agenzia delle Dogane e dei Monopoli, 2019). Il valore di un container di 20 piedi contenente 154.000 portalampada è di circa 61.600 \$ calcolato come:

$$V_{\text{container}} = P_{\text{FOB}} \cdot \text{Numero portalampada in un container} = 61.600 \text{ \$/container}$$

Considerando un dazio pari al 2,7% del valore della merce si ottiene:

$$C_{\text{dazi}} = V_{\text{container}} \cdot 2,7\% = 1.663 \text{ \$/container}$$

In Europa poi va aggiunta l'imposta sul valore aggiunto che differisce per ogni nazione, mentre negli Stati Uniti ciò non accade. L'assicurazione in genere si calcolano come percentuale variabile sul valore del container, le tariffe standard si aggirano intorno al 0,15% del valore [41]. Per cui il costo dell'assicurazione sarà:

$$C_{\text{assicurazione}} = V_{\text{container}} \cdot 0,15\% = 92 \text{ \$/container}$$

Considerando globalmente tutte le voci di costo, il costo di trasporto di un container da 20 piedi FOB dalla Cina fino alla destinazione scelta dalla casa madre, ipotizzata negli USA, ha un costo pari a:

$$C_{\text{spedizione}} = C_{\text{trasporto}} + C_{\text{assicurazione}} + C_{\text{dazi}} + C_{\text{portuali}} = 3.956 \text{ \$/container}$$

Che ripartito sul singolo portalampada è pari a circa 0,03 \$/pz.

## ***D2.8 Pick Staged Product***

Per questa attività vengono considerate le seguenti metriche:

- Affidabilità: On Time In Full (OTIF)
- Reattività: Completamento produzione in tempo per le spedizioni

Queste fasi riguardano il caricamento e la preparazione del contenitore per la spedizione via mare. In genere esistono due modalità di caricamento di un container (Figura 48): a collettame o caricando il carico su pedane. La prima permette di sfruttare al massimo il volume di carico disponibile ma scarifica la movimentazione delle merci in fase di carico e scarico, la seconda invece permette una movimentazione più rapida e sicura ma non permette di sfruttare al massimo il volume di carico disponibile. È presumibile che la casa madre preferisca il carico su pedane per facilitare le operazioni di movimentazione nel centro di distribuzione in modo tale che le unità di carico siano compatibili con quelle già presenti nel magazzino. Considerando gli schemi di confezionamento precedentemente espliciti e ipotizzando l'utilizzo di pedane di tipo americano ovvero di dimensioni 1000x1200 mm si ha che per ogni pedana vengano caricate 70 scatole 40x30x20 cm. Nel contenitore da 20 piedi possono essere caricate 11 pedane per un totale di 770 scatole, a seconda che i portalampada siano confezionati in blister o in cartoni si ha che un container avrà al suo interno circa 154.000 portalampada nel primo caso e 369.600 portalampada nel secondo caso. Per quel che riguarda l'affidabilità di tali processi questa è elevata mentre la reattività è garantita dalla flessibilità della manodopera ma si può andare incontro a ritardi specialmente in periodi con picchi di domanda.



***Figura 48*** Container palletizzato (a sinistra) e container a collettame (a destra) [42]

## ***D2.9 Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit, & Ship Product***

Vengono individuati i seguenti attributi di performance con relative metriche:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata, Perfect Order Fulfillment (POF)

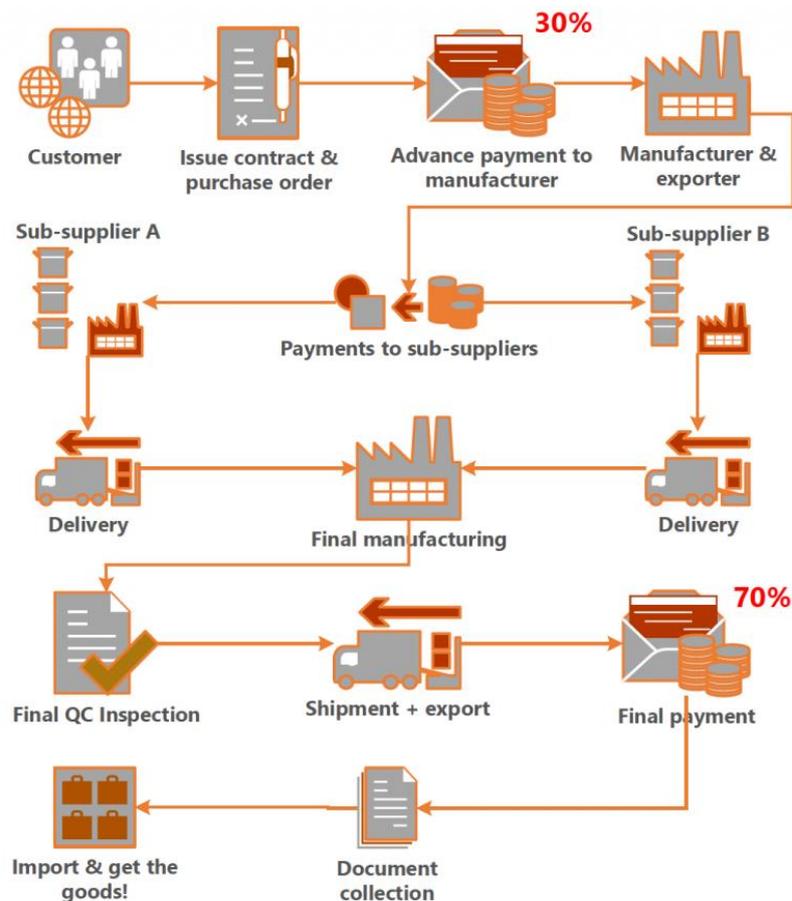
Importanti in questa fase sono il rispetto dei termini previsti, la minimizzazione dei costi e la preparazione dei documenti necessari alle procedure di trasporto e alle successive di importazione. Uno dei documenti principali da preparare in questa fase è la polizza di carico (o bill of lading); tale documento è necessario al vettore di trasporto e dovrà specificare la compagnia di trasporto, la compagnia di esportazione, la compagnia dell'importatore, la tipologia della merce, il volume della merce e l'Incoterms utilizzato. Altri documenti necessari per le procedure doganali di importazione sono la fattura commerciale (o "commercial invoice") e la distinta del contenuto (o "packing list"). La prima dovrà specificare il valore del carico, la tipologia delle merci, il nome della compagnia e dell'importatore mentre la seconda dovrà specificare il volume, la tipologia e la quantità del prodotto che si sta importando. A seconda della nazione di importazione può essere necessario un certificato di origine del prodotto che ne attesti la provenienza in modo da determinare il valore di eventuali dazi o la presenza di eventuali embarghi. Data la criticità di questa documentazione è importante affidarsi ad OEM con comprovata esperienza da esportatore, qualora ciò non sia possibile spetta alla casa madre occuparsi delle procedure di esportazione magari affidandosi ad agenzie specializzate. Il rispetto data di consegna stimata non sempre è garantito poiché dipende da una serie di fattori che esulano dalle responsabilità sia dell'OEM e sia della casa madre; maltempo, scioperi, procedure doganali ed altri fattori possono causare ritardi anche rilevanti che minano l'affidabilità del trasporto. Per quel che riguarda il POF è difficile pensare che possano essere commessi gravi errori nel momento della preparazione dell'ordine per cui è ragionevole ipotizzare che tale indicatore abbia performance elevate.

## ***D2.12 Invoice & Receive Payment***

Per questo processo si identificano le seguenti metriche principali:

- Reattività: Tempo di consegna
- Costo: Costo di fatturazione
- Assets: Tempo medio di incasso

Dato che le case madri si affidano generalmente a OEM riconosciuti ed affidabili non ci si pone il problema di eventuali frodi e truffe che sono più probabili quando piccole aziende occidentali si affidano a piccole aziende asiatiche. I termini in genere prevedono un acconto del 30%, versato prima dell'avvio della produzione, ed un saldo al termine versato in concomitanza dell'emissione della polizza di carico che verrà utilizzate per lo sdoganamento della merce al porto di destinazione (Figura 49). Per i pagamenti si preferisce il bonifico bancario (o “telegraphic transfer” [T/T]) [43]; in ogni caso i termini e le modalità di pagamento possono subire variazioni in base ai singoli contratti stipulati tra OEM e casa madre. È possibile anche affidarsi ad istituti bancari che in cambio di una commissione fanno da garanti affinché la procedura di scambio del denaro avvenga in sicurezza e nei termini previsti. In questa fase è importante lo scambio di informazioni rapido e la comunicazione tra le parti al fine di evitare spiacevoli incomprensioni e disservizi. Possono essere previste anche delle ispezioni della casa madre prima della spedizione dell'ordine; ciò permette di individuare sul nascere eventuali problemi di qualità e conformità in modo da intraprendere rapidamente le dovute misure correttive.

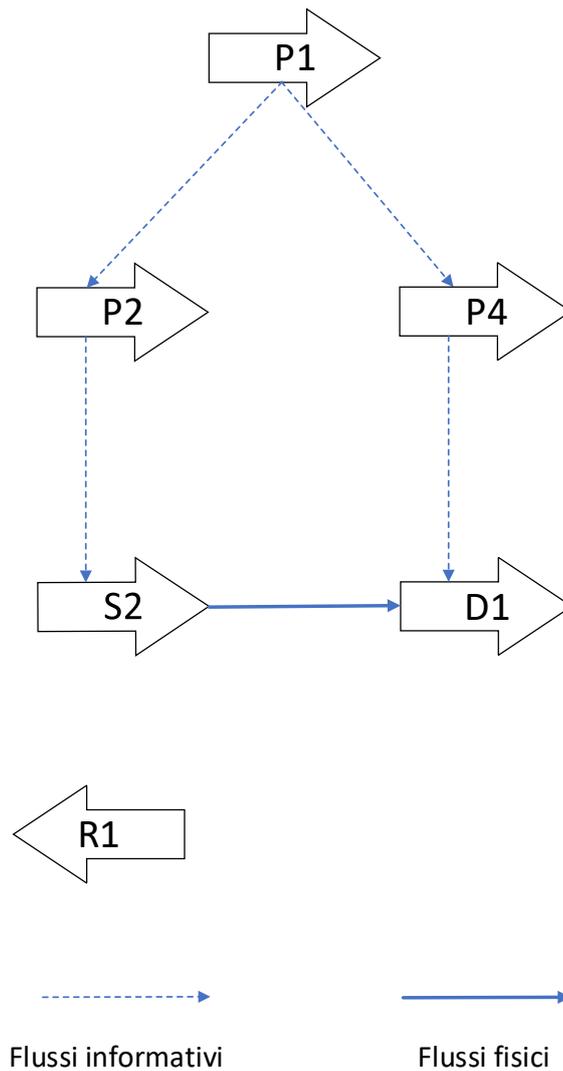


*Figura 49 Schema dei termini di pagamento (Fonte: [www.qualityinspection.org](http://www.qualityinspection.org))*

## 2.5 CASA MADRE

La casa madre è un'azienda che produce e distribuisce apparecchiature elettriche per uso civile. Per alcune apparecchiature di uso comune è pratica diffusa fare affidamento su fornitori esterni dando in outsourcing la produzione ad aziende cinesi OEM. Ciò è particolarmente vero se si fa riferimento al settore delle apparecchiature elettriche ad uso domestico. Grandi aziende come General Electric e Philips hanno da anni consolidato il rapporto con fornitori cinesi per una serie di prodotti tra cui lampade a LED e portalamпада [44][45]; ed in alcuni casi sono state effettuate delle vere e proprie acquisizioni in modo da integrare i fornitori nella supply chain [46]. Altre aziende, come Leviton, hanno aperto stabilimenti Cina e mantenuto le linee di assemblaggio negli Stati Uniti al fine di preservare il “made in USA” [47]. Etlin-Daniels è un ulteriore esempio di azienda localizzata in Canada che si rifornisce di portalamпада già etichettati direttamente da fornitori cinesi [48] [49]. Analizzando i dati di import per queste aziende sul sito Panjiva.com, si nota come queste

ricevano di frequente spedizioni da produttori di materiale elettrico localizzati in Cina [50] [51]. Anche i portalampada della nota azienda Hubbell Wiring Device-Kellems [52] sono prodotti in Cina [53] facendo affidamento sia su impianti di produzione propri e sia su più fornitori esterni. Numerosi sono dunque gli esempi da cui è possibile trarre indicazioni per mappare questo livello della supply chain AS-IS e numerosi sono gli esempi a cui la qui indicata “casa madre” può fare riferimento. Il processo di selezione e monitoraggio dei fornitori è critico e influisce sulla qualità del prodotto. Una volta individuato un possibile fornitore, viene valutata la sua capacità di produrre il prodotto richiesto e vengono concordate con esso tutte le condizioni di fornitura. I legami che legano la casa madre ai fornitori asiatici possono essere di lungo periodo o legati al singolo ordine di fornitura. Una volta che il container con l’ordine è giunto nel porto di destinazione, spetterà alla casa madre completare le procedure doganali e provvedere al trasporto del container presso il suo centro di distribuzione; generalmente infatti le spedizioni vengono consolidate in grandi centri di distribuzione che coprono vaste aree di mercato. Da qui poi, in base al canale di distribuzione scelto, i portalampada raggiungono i clienti finali tramite una serie di figure che esulano dall’analisi del presente elaborato. I diversi canali prevedono tra gli altri una rete di grossisti e distributori che si occupa di rifornire negozi specializzati nella vendita di articoli elettrici [54] oppure la vendita diretta ad aziende della grande distribuzione organizzata [55] [56]. Per il prodotto in questione non vi è alcuna fase produttiva ma lo stesso, una volta ricevuto, può essere direttamente distribuito in quanto confezionato secondo tutte le specifiche richieste che lo rendono idoneo alla vendita nei diversi canali di distribuzione. In alcuni casi potrebbero essere necessarie operazioni di ricomposizione delle unità di carico di pallets mono referenza per formare pallets poli referenza destinati a valle della catena logistica. Ci sarà inoltre un attento controllo di qualità per verificare che i requisiti specificati a contratto siano stati rispettati. Dati i lunghi tempi di approvvigionamento, è essenziale pianificare attentamente le spedizioni per evitare stock out senza eccedere nei livelli di scorte presenti nella filiera. Anche le spedizioni verso i punti di consumo devono essere attentamente pianificate per mantenere stabile l'intera supply chain, che a sua volta deve essere progettata e controllata per garantire elevato il livello di servizio offerto al cliente.



**Figura 50** Mappatura SCOR di Livello 1 della Casa madre

Analizzando la mappatura a Livello 1 (Figura 50) effettuata tramite lo standard SCOR si può evincere, come già anticipato, che non vi sono attività produttive; per l'assieme in esame infatti la casa madre si limiterà a distribuire e commercializzare sotto il proprio marchio il prodotto finito. Rilevanti sono dunque i processi relativi all'approvvigionamento ed alla distribuzione del prodotto con le relative fasi di programmazione e pianificazione. Data l'importanza e la complicazione annessa alla gestione dei resi dovuta principalmente alla distanza del fornitore, si è deciso di modellare il processo di gestione delle spedizioni verso il fornitore cinese tramite l'attività *SR1 Return Defective Product*.

### **2.5.1 Plan**

Le attività di pianificazione partono da un'attenta e periodica verifica delle risorse disponibili al fine di rispondere ai fabbisogni del mercato seguendo dei precisi e dettagliati piani d'azione stabiliti dalla strategia aziendale. Questo insieme di attività viene identificato tramite la codifica SCOR nel processo di Livello 2 *P1 Plan Supply Chain*, in questa fase rientrano anche scelte strategiche che portano a scegliere il Buy piuttosto che il Make dei portalampana in analisi. Si parte dall'identificazione dei requisiti della supply chain (*P1.1 Identify, Prioritize and Aggregate Supply Chain Requirements*) e dall'analisi delle risorse disponibili (*P1.2 Identify, Prioritize and Aggregate Supply Chain Resources*); questi due elementi poi vengono bilanciati nella definizione dei piani di azione della casa madre per ottimizzare il servizio al cliente (*P1.4 Establish and Communicate Supply Chain Plans*). Molta importanza assume, a questo livello della catena, la pianificazione delle attività di approvvigionamento; le relazioni con i fornitori asiatici infatti necessitano di attento studio e valutazione da parte della casa madre. L'insieme di questi processi vengono rappresentati a Livello 2 da *P2 Plan Source* che nella sua definizione al Livello 3 presenta una prima attività di analisi di quelli che sono i requisiti del prodotto più rilevanti (*P2.1 Identify, Prioritize, and Aggregate Product Requirements*). Segue poi l'individuazione delle risorse necessarie alla creazione del prodotto e del valore legato a questo ultimo (*P2.2 Identify, Assess, and Aggregate Product Resources*). Infine, si cerca di definire quelle che sono le azioni volte ad ottenere i requisiti prodotto individuati tramite le risorse disponibili (*P2.4 Establish Sourcing Plans*). La pianificazione dei processi di consegna a valle per raggiungere i punti di domanda, *P4 Plan Deliver*, riguarda più nel dettaglio l'identificazione dei requisiti di consegna dei clienti (*P4.1 Identify, Prioritize, and Aggregate Delivery Requirements*) e l'analisi delle risorse, fisiche e non, disponibili (*P4.2 Identify, Assess, and Aggregate Delivery Resources*). Segue poi la scelta dei canali di distribuzione più adeguati alle esigenze del mercato e la definizione di linee guida per raggiungere le prestazioni attese (*P4.4 Establish Delivery Plans*).

### 2.5.2 Source

Dato che le attività produttive vengono eseguite esclusivamente dal produttore cinese, la casa madre deve focalizzare la sua attenzione in primo luogo nella scelta della giusta fonte di approvvigionamento e in secondo luogo nel monitoraggio costante del fornitore in modo tale che i termini stabiliti vengano rispettati nel tempo. L'attività *S2 Source Make-to-Order Product* ingloba le diverse fasi necessarie a far sì che il prodotto sia disponibile presso il centro distributivo della casa madre. Poiché l'Incoterms di trasporto ipotizzato è il franco a bordo le attività dell'ultima figura rilevante della catena riguardano l'importazione e il trasporto dal porto di destinazione al centro di stoccaggio. In questa fase è importante che le fasi di importazione vengano svolte rapidamente e correttamente in modo che non avvengano improfficue perdite di tempo che ritarderebbero il trasporto e la commercializzazione del prodotto. La casa madre, per far sì che tutto proceda in modo corretto, deve avere a disposizione tutta la documentazione necessaria per le pratiche doganali; questa viene fornita dall'OEM cinese in seguito al pagamento del saldo. È importante che non vi siano discrepanze tra quanto riportato e quanto effettivamente trasportato per non incorrere in sanzioni e ulteriori controlli che potrebbero tenere fermo il container in banchina. La scelta di un fornitore che abbia anche esperienza da importatore è vincente, ciò nonostante le procedure doganali aggiungono complessità e costi all'intero processo di approvvigionamento. Le pianificazioni delle consegne viene effettuate preventivamente in accordo con l'OEM ed in base alla domanda ed ai livelli di prodotto disponibili, questa attività rientra nel Process Element *S2.1 Schedule Product Deliveries*. Una volta che la merce è giunta nel porto di destinazione avviene la fase di ricezione del prodotto *S2.2 Receive Product*. Infatti, una volta che il container è giunto nel porto di destinazione la casa madre dovrà recarsi lì per caricare e trasportare il contenitore; a seconda dei termini stabiliti i trasporti nel Paese di destinazione possono essere a carico del ricevente (Merchant Hualage) o del vettore (Carrier Haulage). In entrambi i casi si ha un determinato numero di giorni per effettuare il ritiro, il trasporto ed il reso del contenitore per non andare incontro a costi di detenzione e di controstallia; per questo motivo queste fasi sono molto delicate e vanno monitorare con attenzione per non far crescere i costi relativi al trasporto. Se la destinazione finale della merce, in questo caso il centro di distribuzione, non è troppo lontano dal porto il container viene trasportato a destinazione e scaricato per poi tornare al terminal portuale ed essere riconsegnato al vettore. Se invece la destinazione è lontana si può prevedere di scaricare il contenitore presso un magazzino intermedio di terzi da cui poi

andare a ritirare la merce. Una volta che l'ordine è giunto a destinazione è possibile effettuare i dovuti test al fine di stabilire la qualità della fornitura, ciò è rappresentato dal processo *S2.3 Verify Product*. Eventuali imprecisioni sul numero dei colli o gravi danneggiamenti del carico vengono già verificati quando la merce, ancora contenuta nel container, viene ritirata. Successivamente possono essere effettuate delle prove per verificare l'adesione delle caratteristiche dei portalampana a quelle richieste dalla casa madre. Dopo aver verificato la qualità della merce in ingresso questa può essere trasferita e immagazzinata all'interno del centro di distribuzione con gli altri item commercializzati dalla casa madre. La movimentazione delle merci e il loro corretto posizionamento nelle giuste celle di stoccaggio rientrano nel Process Element *S2.4 Transfer Product*. Segue poi il pagamento del fornitore asiatico *S2.5 Authorize Supplier Payment*.

### **2.5.3 Return**

Qualora a seguito del controllo di qualità emergano delle difettosità gravi, il lotto può essere rifiutato; ciò fa nascere l'esigenza di avviare una serie di azioni volte a sostituire gli elementi non conformi. A seconda delle politiche della casa madre possono esserci diverse modalità per gestire questo inconveniente. In questa analisi ipotizziamo che a seguito del rifiuto di un lotto diventi necessario effettuare un ordine di sostituzione al fine di rimpiazzare i prodotti difettosi che verranno eliminati. Questo deve essere effettuato il più rapidamente possibile per cui diventa necessario l'avvio di una serie di procedure volte a preparare rapidamente la nuova spedizione ed alla restituzione di quella difettosa. I costi a cui va incontro la casa madre in una situazione del genere possono essere rilevanti e sono proporzionali al tempo impiegato dalla merce sostitutiva a raggiungere il centro di distribuzione. Possono generarsi in questa fase pericolosi stock out e cali del servizio al cliente che sono difficili da quantificare economicamente ma che possono essere rilevanti. Inoltre, potrebbero nascere dei contenziosi con i fornitori asiatici in base ai vincoli contrattuali stabiliti che causerebbero ulteriori rallentamenti ed ulteriori spese per l'azienda. Poiché la gestione dei resi è complicata si tende spesso a verificare in loco la produzione inviando dei tecnici a verificare gli impianti produttivi dei fornitori e la qualità dei loro prodotti per evitare successivi problemi; ciò può essere anche affidato ad aziende di consulenza esterne [57]. In questo elaborato non si entrerà nello specifico delle singole attività di reso ma queste verranno rappresentate dalla Process Category del modello SCOR *R1 Return Defective Product*.

#### 2.5.4 *Deliver*

Le attività di distribuzione a monte vengono rappresentate tramite un'attività di Livello 1 *DI Deliver Stocked Product* in quanto questa avviene non a seguito dell'effettiva domanda dei clienti ma secondo previsioni di tale domanda. I canali di distribuzione della casa madre possono essere molteplici, questa potrebbe commercializzare il prodotto tramite la grande distribuzione organizzata, potrebbe utilizzare il canale dell'e-commerce, potrebbe rivendere i prodotti in store di proprietà o infine, potrebbe, tramite grossisti specializzati, rifornire negozi privati concentrati nella vendita di apparecchiature elettriche. È proprio quest'ultimo scenario quello che verrà preso in considerazione nel seguente studio, le varie fasi ed i vari testimoni a valle della casa madre però non saranno approfonditi nel dettaglio in quanto non influiscono particolarmente nei processi a monte. Una volta che i portalampada sono disponibili in presso il centro di distribuzione, le varie fasi di distribuzione stessa a valle di questo, hanno poca influenza sui processi di fornitura della supply chain a monte, per questo motivo esulano da questa trattazione. La casa madre rifornisce grandi grossisti specializzati nella distribuzione di prodotti elettrici di ogni genere e di qualsiasi marca disponibile [58] [59]. Tra la casa madre e il grossista vi sono degli accordi che stabiliscono le politiche di riordino e i termini della partnership tra le due aziende, queste possono andare dal semplice acquisto da parte del grossista, a soluzioni di Vendor Managed Inventory (VMI) fino a soluzioni completamente integrate. Per semplicità di trattazione verrà considerato il caso in cui la casa madre venda direttamente al grossista grandi quantità di prodotto. La prima attività che si incontra è dunque la ricezione di un ordine da parte del grossista *DI.2 Receive, Enter & Validate Order*. Le politiche di riordino stabilite possono guardare alle quantità disponibili nei livelli a valle e dunque di tipo a “punto fisso di riordino” oppure possono avere un intervallo di riordino stabilito ovvero a “periodo fisso di riordino”. Una volta inserito correttamente a sistema l'ordine si provvede ad assegnare parte della merce a disponibile all'ordine; questa attività viene mappata con il Process Element *DI.3 Reserve Inventory & Determine Delivery Date*. L'adozione di software di gestione del magazzino integrati permette lo scambio istantaneo delle informazioni relative alla merce da destinare al singolo ordine in modo tale da ottimizzare questa attività. Dato che la casa madre può rifornire più grossisti in più regioni geografiche diverse diventa utile ed economicamente vantaggioso avviare delle procedure volte a consolidare gli ordini al fine di raggrupparli in modo da ridurre i costi di trasporto. Questa attività rientra nel Process Element *DI.4 Consolidate Orders*. Una volta consolidati gli ordini vengono stabilite le rotte di consegna e

scelti i corrieri che si faranno carico del trasporto (*D1.7 Select Carriers & Rate Shipments*). La merce infine può essere fisicamente prelevata dai centri di stoccaggio (*D1.9 Pick Product*) e disposta sui mezzi di trasporto. In questa fase vengono anche generati i documenti necessari (*D1.10 Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit & Ship Product*). Il processo di spedizione termina con la consegna dei portalampada ai grossisti e con il pagamento da parte degli stessi (*D1.13 Invoice & Receive Payment*).

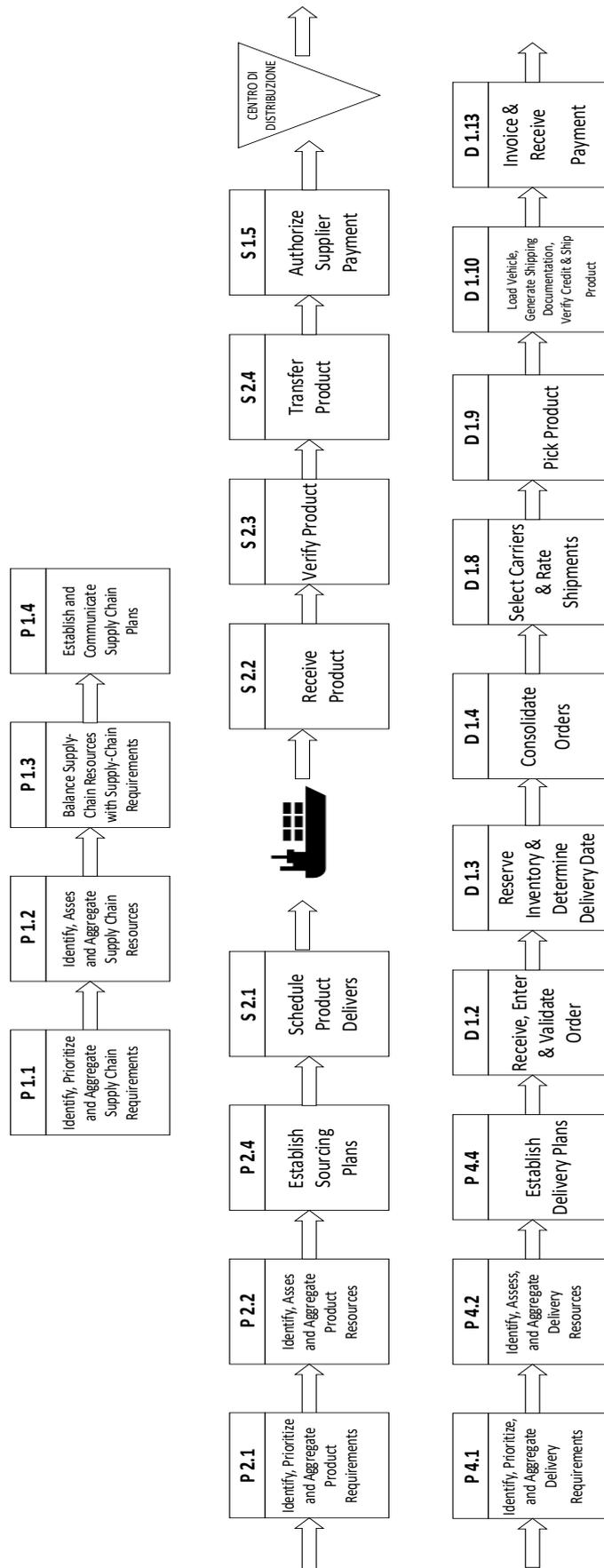


Figura 51 Mappa dei Process Element SCOR per i livello della Casa madre

### ***2.5.5 Performance casa madre***

In seguito, verranno illustrate le principali metriche di performance individuate dal Modello SCOR per le attività che sono state utilizzate per definire la mappatura precedente (Figura 51). Saranno, dove necessario, approfondite le singole attività precedentemente individuate attraverso i Process Element forniti dal modello utilizzato.

#### ***Plan***

Solo ed esclusivamente per le attività di tipo Plan le metriche e gli attributi di performance vengono individuati e presentati per il Livello 2 e non per il Livello 3 per non appesantire troppo la mappatura ed in quanto la definizione degli stessi per il livello inferiore risulterebbe troppo imprecisa.

#### ***P1 Plan Supply Chain***

Gli indicatori principali di performance con le rispettive metriche riguardano:

- Affidabilità: Accuratezza delle previsioni di domanda, accuratezza dei tempi di consegna al cliente
- Reattività: Tempo di approvvigionamento
- Flessibilità: Tempo di ripianificazione
- Costo: Costo manodopera
- Assets: Utilizzo capacità, cash-to-cash cycle time

La pianificazione della catena logistica attuata dalla casa madre riguarda anche i livelli a monte, infatti sarà in questo momento che si prenderanno le decisioni sul dove e sul come si procederà alla fornitura dei portalampada. Decisioni di make or buy o di localizzazione dei livelli vengono eseguiti in questo momento in base alle performance desiderate degli attributi selezionati. Scegliendo di rifornirsi nel Far East, senza dubbio la reattività non sarà la performance migliore infatti in questo scenario i tempi di approvvigionamento sono particolarmente lunghi e dipendono anche da una serie di fattori che non sono sotto il diretto controllo della casa madre. Considerando le varie fasi trattate precedentemente saranno necessari dai 40 ai 60 giorni per ricevere un ordine dal momento in cui questo viene effettuato e ciò senza contare eventuali ritardi dovuti a condizioni meteorologiche o imprevisti doganali. Il dover prevedere la domanda per periodi di tempo maggiori genera imprecisioni nelle previsioni stesse e comporta inoltre il rischio di andare in rottura di stock

o di esagerare con le quantità immagazzinate a scorta. Per questo motivo anche l'affidabilità della supply chain è un aspetto critico che va tenuto sotto controllo; le più moderne tecniche di previsione adottate nei software specializzati aiutano a far sì che non vi siano particolari discrepanze. La lunghezza della catena fa sì che anche il cash-to-cash cycle time sia elevato esponendo così la casa madre a possibili criticità riguardanti la gestione delle risorse finanziarie liquide. La flessibilità in questo caso è molto limitata e dove è possibile è molto dispendiosa, una volta effettuato un ordine non si ha molto potere per rivedere le quantità o le modalità scelte. È possibile effettuare un ulteriore ordine urgente che verrà spedito in modalità espressa tramite aereo ma comunque raggiungerà la casa madre con un certo ritardo e ad un costo maggiore. In questa configurazione infatti l'azienda rinuncia a buona parte della reattiva e della flessibilità per avere un guadagno su quelli che sono i costi di acquisto del prodotto. Un parametro di questi costi che generalmente vien preso in considerazione dalle aziende è il costo di manodopera che nei paesi asiatici è ritenuto inferiore. Possono generarsi anche dei sovra utilizzi di risorse dovuti sia alla sovrapproduzione e sia ai lunghi lead time di fornitura; l'azienda infatti potrebbe dotarsi di quantità stoccate in eccedenza con conseguente utilizzo di spazio e risorse per la movimentazione superiori a quelle ottimali. Ciò fa nascere anche dei costi nascosti legati all'immobilizzazione eccessiva di capitale che spesso vengono sottovalutati dalle aziende.

### ***P2 Plan Source***

Gli indicatori principali individuati per questo processo riguardano:

- Affidabilità: Consegne fornitore in tempo, Fill rate del fornitore
- Reattività: Tempo ciclo fornitura
- Flessibilità: Flessibilità fornitura

Nella pianificazione delle fonti di approvvigionamento della supply chain AS IS, un ruolo fondamentale lo ha la scelta del fornitore asiatico. Questa può avvenire anche a seguito di mesi di valutazione tra quelli che sono i soggetti disponibili sul mercato, spesso è necessario anche recarsi sul luogo per verificare l'effettiva capacità del fornitore selezionato. La scelta si baserà, oltre che sull'effettiva qualità nella realizzazione dei portalampada, anche sul loro costo e sulla capacità del fornitore di essere un soggetto affidabile per garantire i livelli qualità e di fornitura stabiliti in fase di contratto. Le procedure adottate dalla casa madre per valutare e monitorare il fornitore possono essere molto metodiche e adottare sistemi standardizzati al fine di avere un metro di giudizio equilibrato [3]. L'affidabilità riveste un

ruolo fondamentale, in generale i fornitori hanno buoni standard da questo punto di vista e sono in grado di rispettare i tempi di consegna stabiliti. Essi inoltre hanno un fill rate elevato dovuto alla grande quantità di manodopera disponibile per cui possono rispondere in tempi brevi anche a richieste di grandi ordini. Il tempo ciclo di fornitura invece è elevato dovuto prevalentemente alla distanza fisica che separa l'OEM e la casa madre, ciò riduce la reattività nel rispondere a variazioni nella domanda. La flessibilità inoltre è un aspetto critico dell'intero processo di approvvigionamento, se non si hanno particolari problemi nell'ottenere una buona qualità del prodotto finito, potrebbero esserci problemi nella gestione di richieste straordinarie.

#### ***P4 Plan Deliver***

In questo caso si individuano le seguenti metriche:

- Affidabilità: Accuratezza delle previsioni di domanda, accuratezza dei tempi di consegna al cliente, Fill Rate
- Costo: Costo totale di spedizione

L'attività di pianificazione delle consegne riguarda prevalentemente il bilanciamento e la programmazione dei processi a valle volti a movimentare la merce al fine di renderla disponibile per il cliente. A questo livello la pianificazione riguarda la determinazione dei livelli di servizio che si vogliono offrire al cliente, i tempi e le quantità di riordino necessarie per mantenere questi livelli. Rientrano inoltre in questa fase attività più operative come la gestione dei rapporti con i corrieri addetti alle consegne. Non occupandosi direttamente della distribuzione del prodotto è importante anche monitorare i livelli a valle del centro distributivo affinché siano in grado anche essi di rispettare i livelli di servizio stabiliti. Il rapporto con i distributori diventa fondamentale per garantire che la merce sia sempre disponibile per il cliente. L'accuratezza delle previsioni di domanda dipende anche dal grado di integrazione tra i grossisti e la casa madre nonché dallo scambio di informazioni riguardanti i consumi che avviene tra queste due figure. L'avere a disposizione informazioni sulla domanda effettiva dei punti finali aiuta a ridurre l'effetto Bullwhip, questi dati però non sono sempre disponibili e qualora lo siano non è detto che i vari attori della catena abbiano interesse nel renderli disponibili. Per queste ragioni e per quelle espresse nei paragrafi precedenti è difficile ottenere un grado di accuratezza elevato per cui spesso si tenderà e ordinare più del necessario saturando così livelli di stoccaggio della supply chain. Per quel che riguarda l'accuratezza dei tempi di consegna al cliente, in questo caso i grossisti,

si può affermare che è elevata. La casa madre, tramite un serie di corrieri e trasportatori è in grado di raggiungere in breve tempo i suoi clienti; ciò fa sì che non vi siano ritardi se non in casi eccezionali dovuti a fattori esterni non prevedibili. Il fill rate è elevato dal momento che sono elevate le quantità che si decide di stoccare nel centro di distribuzione al fine di rifornire i livelli a valle. I costi di spedizione sono quelli standard e dipenderanno essenzialmente dalla distanza dei clienti e dal peso dei colli inviati. Ad esempio, in Europa questi costi sono mediamente intorno ai 2,25 \$/km (Persyn, Díaz-Lanchas, & Barbero, 2019) mentre negli Stati Uniti sono mediamente intorno ai 1,821 \$/miglia (Institute American Transportation Research, 2019); per cui più lontani saranno i grossisti e maggiori saranno i costi di distribuzione.

### **Source**

Per le attività di Source si parte individuando gli attributi e le metriche per il Livello 2 del modello SCOR definito in questo caso come *S2 Source Make-to-Order Product*. Per questo tipo di processo si individuano:

- Reattività: Tempo ciclo fornitura
- Flessibilità: Tempi e costi relativi all'accelerazione dei processi di approvvigionamento, consegna, ricezione e trasferimento.
- Costo: Costi di acquisizione del prodotto

Come detto in precedenza il tempo ciclo di fornitura dei portalampada è elevato e supera i 40 giorni a causa della distanza fisica tra fornitori e azienda. Il solo lead time di trasporto, che dipende dal porto di consegna selezionato, varia in base al porto di destinazione selezionato. Secondo i corrieri marittimi più accreditati sono necessari dai 20 ai 30 giorni per raggiungere gli Stati Uniti, dai 25 ai 30 giorni per raggiungere l'Europa [60]. I lead time variano anche a seconda della stagione, delle condizioni meteo e del porto di destinazione. Le attività di scarico della nave e le procedure di sdoganamento possono richiedere fino a due settimane prima che il container possa essere prelevato e trasportato. Dopo che le merci vengono scaricate e accettate alla dogana avviene il pagamento delle spese portuali, delle imposte nazionali e di eventuali dazi doganali. Il trasporto dal porto al centro di distribuzione richiede pochi giorni (1 o 2) a seconda di dove è localizzato quest'ultimo; le operazioni vengono generalmente affidate a corrieri terzi che possono essere individuate dalla casa madre o direttamente dall'agente portuale che ha seguito l'importazione dei beni. Per quel che riguarda la flessibilità questa è limitata e i costi legati all'accelerazione dei processi sono

rilevanti in quanto è necessario fare ricorso a capacità produttive e a metodi di spedizione straordinari. I costi di acquisizione e spedizione del prodotto possono anche raddoppiare se si fa ricorso ad ordini urgenti che richiedono l'adozione del trasporto per via aerea. I costi di acquisizione del prodotto dipendono anche dalle quantità acquistate dalla casa madre e dai criteri contrattuali stabiliti in fase di negoziazione. Considerando i costi di produzione precedentemente analizzati ed aggiungendo a questi i costi di trasporto ed il margine del fornitore asiatico si ha un costo di acquisizione di circa 0.45 \$ per portalamпада confezionato in blister e considerando come quantità di riordino il container da 20 piedi. Questo è stato calcolato considerando il costo dei contatti in rame pari a 0,01 \$ per singolo componente, ovvero considerando una produzione superiore ai 100.000 pezzi. Il costo dei componenti della custodia invece fa riferimento ad una produzione tra i 500.000 e i 999.999 pezzi e si attesta intorno ai 0,30 \$/pz.

$$C_{\text{contatti}} = 0,02 \text{ \$/pz}$$

$$C_{\text{custodia}} = 0,30 \text{ \$/pz}$$

Il costo di trasporto dei componenti dai subfornitori all'OEM è stato trascurato poiché dipende dalle modalità di riordino adottate e dalle quantità in gioco; per cui l'OEM acquista i componenti necessari al costo di 0,32 \$ per portalamпада. Il costo di assemblaggio, presentato precedentemente è stato calcolato come prodotto tra il costo orario della manodopera e il tempo di assemblaggio necessario a realizzare un portalamпада.

$$T_{\text{assemblaggio}} = 9 \text{ secondi}$$

$$C_{\text{manodopera}} = 3,5 \text{ \$/ora}$$

$$C_{\text{assemblaggio}} = T_{\text{assemblaggio}} \cdot C_{\text{manodopera}} = 0,01 \text{ \$/pz}$$

Una volta assemblato, il portalamпада va confezionato secondo le specifiche richieste dalla casa madre; in questo caso si è ipotizzato che il prodotto venga confezionato in blister. Il costo di confezionamento è stato calcolato precedentemente ed è pari a 0,063 \$/pz. Sommando le singole voci di costo di ha una di stima dei costi sostenuti dall'OEM per realizzare il prodotto secondo le specifiche della casa madre.

$$C_{\text{OEM}} = C_{\text{contatti}} + C_{\text{custodia}} + C_{\text{assemblaggio}} + C_{\text{confezionamento}} = 0,394 \text{ \$/pz}$$

Al costo produttivo va aggiunto il margine dell'OEM che è stato ipotizzato, secondo un'analisi del settore produttivo, pari al 7%.

$$M_{OEM} = 0,07 \cdot C_{OEM} = 0,0276 \text{ \$/pz}$$

Per ottenere una stima del prezzo FOB del singolo portalampada vanno anche aggiunti i costi di trasporto del container al porto di partenza, questi si aggirano intorno ai 350 \$ [61] a seconda della distanza da percorrere. Ripartendo tali costi sul singolo portalampada si ha:

$$C_{\text{trasporto al porto}} = \frac{350 \text{ \$/container}}{154000 \text{ pz/container}} = 0,002 \text{ \$/pz}$$

Sommando le singole voci di costo si ottiene il prezzo FOB che l'OEM applicherà alla casa madre.

$$P_{\text{FOB}} = C_{OEM} + M_{OEM} + C_{\text{trasporto al porto}} \simeq 0,4 \text{ \$/pz}$$

Per ottenere il costo di acquisizione finale bisogna aggiungere il costo del trasporto via nave presso il porto di destinazione e il costo di trasporto fino al centro di distribuzione. Il costo del trasporto via nave è stato precedente calcolato ed è pari a circa 0,03 \$/pz a questo vanno aggiunti i costi di spedizione del container verso il magazzino della casa madre. Ipotizzando che il centro di distribuzione si trovi in Missouri [62] e che il porto di destinazione sia quello di Long Beach si ha una distanza (D) di circa 1700 miglia.

$$C_{\text{trasporto al magazzino}} = C_{\text{medio trasporto}} \cdot D = 3096 \text{ \$/container} = 0,02 \text{ \$/pz}$$

Sommando le due voci dei costi di trasporto al prezzo FOB si otterrà una stima del costo di acquisizione sostenuto dalla casa madre.

$$C_{\text{acquisizione}} = P_{\text{FOB}} + C_{\text{spedizione}} + C_{\text{trasporto al magazzino}} = 0,45 \text{ \$/pz}$$

Vengono in seguito analizzate le singole attività di Livello 3 individuate in fase di mappatura e per ognuna di queste, vengono descritti i principali indicatori di performance forniti dal Modello, segue poi l'individuazione del livello di tali performance per il caso in esame.

### ***S2.1 Schedule Product Deliveries***

I principali attributi di performance, con le relative metriche, individuati a partire dal Modello SCOR per questa attività sono:

- Affidabilità: % di programmi generati nei tempi stabiliti del fornitore
- Reattività: Tempo medio di rilascio delle modifiche
- Flessibilità: Tempo medio in giorni per la modifica della pianificazione
- Costo: Costi di gestione e pianificazione in % del costo di acquisto del prodotto

La pianificazione degli approvvigionamenti dei portalampada è una delle attività principali per il corretto funzionamento dell'intera supply chain. Decidere quando effettuare un ordine, la sua entità e programmare tutte le fasi della spedizione sono attività critiche per far sì che la merce sia effettivamente disponibile presso il cliente. È ragionevole dunque pensare che questa fase richieda un tempo consistente agli obiettivi fissati dalla casa madre, inoltre saranno necessarie una serie di risorse e capacità per gestire il rapporto con i fornitori. Ciò fa lievitare i costi di gestione in quanto parte del personale sarà destinato al garantire rapporti corretti e proficui con i diversi fornitori. Per quel che riguarda le performance di affidabilità, reattività e flessibilità non si può avere un'indicazione quantitativa ma si può presumere che queste migliorino con l'aumentare delle risorse che vi sono destinate. Più personale e un migliore sistema informatico possono consentire di ridurre il tempo medio di modifica della pianificazione nonché di aumentare l'affidabilità della pianificazione stessa.

### ***S2.2 Receive Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di ricevimento
- Costo: Costi di ricevimento merce in % del costo di acquisto del prodotto

La scelta corretta del fornitore asiatico e il suo continuo monitoraggio, anche tramite audit presso gli impianti di produzione, avranno una grande influenza sull'affidabilità. Anche la pianificazione e la scelta dei metodi di trasporto consentiranno di ridurre la probabilità che un ordine giunga a destinazione danneggiato. Per evitare che la merce venga danneggiata possono essere prese una serie di misure volte a far sì che i pallet all'interno del container non si muovano; ad esempio possono essere utilizzate delle cinghie per impedire spostamenti o dei sacchi d'aria gonfiabili per evitare urti (Figura 52).



**Figura 52** *Carico messo in sicurezza (destra) e carico non in sicurezza (sinistra) (Fonte: [www.totalpack.in](http://www.totalpack.in))*

La completezza degli ordini e dei documenti è determinata in fase di spedizione dall'OEM, la scelta di aziende affidabili e con comprovata esperienza nel settore consente di ridurre il rischio di frodi o errori. La % ordini ricevuti in tempo dipende da molti fattori, senza debbo però oggi i vettori marittimi hanno raggiunto un grado di affidabilità molto elevato per cui è ragionevole pensare che questa percentuale sia elevata [63]. Nonostante questo, i ritardi possono essere molto costosi e possono creare delle situazione in cui può essere difficile rispondere in maniera rapida alle richieste di mercato con conseguenti disservizi e costi. Se il tempo di ricevimento prende in considerazione anche le procedure di sdoganamento e di ritiro della merce dalla banchina del porto di destinazione, questo può superare le due settimane. Se invece ci si limita a considerare il tempo per scaricare il container e posizionare la merce nella zona di ricevimento del centro di distribuzione della casa madre, questo è di gran lunga inferiore e si riduce a poche ore. Infatti, la scelta di pallettizzare il carico consente di risparmiare tempo nelle fasi di movimentazione ed inoltre rende le unità di carico compatibili con i sistemi di immagazzinamento già presenti. Se la merce fosse stata caricata a collettame sarebbe stato necessario un tempo molto maggiore per lo scarico e la successiva movimentazione delle scatole. In questo momento è possibile applicare anche dei codici a barre per la gestione interna dalle unità di carico, consentendo al sistema informatico di registrare l'avvenuto ricevimento della merce. Il costo di ricevimento, se si considerano solo le risorse utilizzate per gli spostamenti in fase di accettazione presso il centro di distribuzione, è trascurabile. Le altre voci di costo relative alle fasi di sdoganamento e trasporto invece sono state inglobate nei costi di trasporto analizzati in precedenza.

### ***S2.3 Verify Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni
- Reattività: Tempo di verifica
- Flessibilità: % ricezioni senza controllo qualità
- Costo: Costi di verifica in % del costo di acquisto del prodotto

La verifica della merce in ingresso può prevedere una serie di test da effettuare su un campione di portalampada al fine di verificare la qualità del lotto ordinato sia in termini di prodotto che in termini di confezionamento. Per la commercializzazione dei portalampada è infatti necessario che le confezioni riportino correttamente gli attestati di certificazione e le indicazioni di sicurezza. Questa verifica può essere effettuata molto semplicemente tramite un'ispezione dei blister destinati alla vendita. Per verificare la qualità dei materiali utilizzati dai fornitori è possibile effettuare una serie di test che sono già stati presentati al lettore nei paragrafi precedenti. Tra i test più rilevanti troviamo quello di infiammabilità e quello di resistenza alla forza assiale applicata dalla lampada che mirano ad analizzare l'effettiva capacità del prodotto di resistere nel corso della sua vita utile. Le prestazioni in termini di affidabilità, se i danni vengono intesi come difetti di fabbricazione, sono mediamente elevate in quanto sia la natura dell'oggetto e sia la specializzazione dei fornitori cinesi nella realizzazione di apparecchiature di largo consumo consentono di ottenere una qualità soddisfacente. Il tempo di verifica dipende dalla numerosità dei test che si vanno ad effettuare e dalla numerosità del campione scelto (che a sua volta dipende da una serie di fattori tra cui il livello di confidenza scelto), in ogni caso sono necessarie poche ore per controllare un container in ingresso. Qualora la casa madre lo preveda è possibile che vengano adottate delle politiche di "skip lot" che premiano i fornitori virtuosi e non prevedono controlli per la merce proveniente da questi. Nonostante questo, è difficile pensare che la merce non venga controllata, sia poiché le quantità ordinate sono rilevanti e sia perché gli oggetti richiedono delle specifiche stringenti in termini di sicurezza; per questo la % ricezioni senza controllo qualità è minima. I costi di verifica dipendono dal numero di test effettuati e dal numero di lotti controllati, poiché questi richiedono apparecchiature da laboratorio e personale dedicato avranno un impatto sui costi di ricevimento ma dato la numerosità della merce in ingresso l'impatto sul singolo portalampada sarà pressoché trascurabile.

## ***S2.4 Transfer Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini movimentati senza danni, % ordini movimentati completi, % ordini movimentati in tempo
- Reattività: Tempo di movimentazione
- Costo: Costi di movimentazione merce in % del costo di acquisto del prodotto

L'attività di trasferimento prevede lo spostamento delle pedane dalla zona di ricevimento alla zona di stoccaggio. Le 11 pedane che compongono un ordine in arrivo dovranno essere movimentate tramite carrello elevatore e stoccate in scaffalature. L'affidabilità di queste operazioni all'interno del centro di distribuzione della casa madre è ragionevolmente elevata [62]. L'unica problematica è legata al tempo, se le risorse sono occupate nello smistamento di altri ordini può capitare che la merce rimanga più tempo del previsto nella zona di ricevimento. Data la numerosità e l'utilizzo di pallet per la composizione delle unità di carico il tempo di movimentazione è minimo e si riduce a meno di un'ora. Importante è avere traccia di quelli che sono i movimenti della merce all'interno del magazzino e di dove effettivamente viene depositata la merce. L'utilizzo di codici a barre applicati alle unità di carico aiuta gli operatori nelle fasi di movimentazione e consente al sistema, tramite lettori scanner, di registrare la posizione della merce all'interno del magazzino. I costi di queste operazioni, dato il numero di pedane in gioco, è irrilevante su quello che è il costo del portalampada.

## ***S2.5 Authorize Supplier Payment***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % fatture processate senza errori
- Costo: Costo per fattura

Il pagamento del fornitore avviene, come già visto in precedenza, in due tranche per cui una volta che la merce è stata spedita bisogna effettuare il saldo del 70% del prezzo di acquisto. L'affidabilità dei fornitori asiatici è elevata da questo punto di vista ma bisogna comunque fare attenzione nella definizione di queste procedure in fase contrattuale al fine di evitare errori che potrebbero bloccare il carico e interrompere la catena di fornitura. Il costo

gestionale di tali processi può essere importante dal momento che si tratta di pagamenti internazionali soggetti anche a fluttuazioni del tasso di cambio.

### ***Deliver***

I portalampada restano stoccati in magazzino fin quando questi non saranno necessari a soddisfare un ordine dei clienti a valle, in questo caso prevalentemente grossisti specializzati nella vendita di apparecchiature elettriche o grande distribuzione organizzata. Dato che il processo di fornitura a valle viene gestito in base a previsioni di domanda partendo da uno stock consistente di prodotto finito, si è deciso di modellare tali fasi con un'attività di Livello 1 *DI Deliver Stocked Product*. Le criticità di gestione e le risorse in termini di spazio e personale addetto alla movimentazione sono moltiplicate se si considera che esistono diverse tipologie di portalampada a seconda delle dimensioni e del tipo di lampada che essi ospitano [64]. La durata del lasso di tempo che intercorre tra il momento in cui la merce entra nel centro di distribuzione e il momento in cui viene prelevata per essere spedita dipende principalmente dai livelli di domanda che possono seguire da una certa stagionalità e dai livelli di magazzino. La domanda per questo tipo di prodotti è legata ad altri settori, principalmente quello dell'edilizia, nel caso dei portalampada in questione la domanda però è inferiore ad altre apparecchiature per cui si può parlare di una categoria di prodotto di tipo B. I livelli di magazzino, essenzialmente a causa dei lunghi lead time di fornitura, sono elevati per rispondere a variazioni e picchi di richiesta del mercato. Ciò comporta che il prodotto possa restare nel centro di distribuzione per molto tempo prima che venga spedito, anche per mesi. In genere i soggetti con cui si relaziona la casa madre ordinano quantità medio-elevate per rispondere alle esigenze dei loro punti vendita; gli ordini però non si limitano ai portalampada ma spaziano su tutta la gamma di apparecchiature offerte. Per questo motivo, qualora sia necessario, possono essere composte delle unità di carico miste per rispondere alle esigenze dei clienti, per cui diventa necessario la decomposizione delle unità di carico presenti in magazzino e che sulle confezioni in cartone siano presenti dei codici a barre per la gestione informatica dei processi di picking [62]. Le indicazioni riguardo gli indicatori di performance fornite dal modello portano ad individuare le seguenti metriche per il Livello 2:

- Affidabilità: Fill Rate
- Reattività: Tempo di spedizione stimato ed effettivo
- Costo: Costo di gestione delle spedizioni

- Assets: Copertura in giorni del magazzino prodotti finiti

Il fill rate deve essere elevato per garantire al cliente un livello di servizio elevato e per far sì che la merce sia sempre disponibile; per fare questo la casa madre potrebbe applicare delle politiche di riordino subottimali che generano un sovra stock al fine di avere sempre portalampada per il mercato. La reattività verso i livelli a valle è elevata se la merce è disponibile; la preparazione degli ordini e la loro spedizione verso i clienti deve avvenire il più rapidamente possibile. I tempi di spedizione dal momento che l'ordine è stato registrato a sistema possono essere anche inferiori alle 48 ore a seconda del tipo di ordine e dalla localizzazione geografica del cliente [65]. I costi di gestione di questi processi diventano rilevanti dal momento che saranno necessarie una serie di risorse fisiche e informatiche per consentire ai processi di funzionare al meglio. La gestione e il funzionamento di un centro di distribuzione hanno una serie di costi legati all'affitto dei locali stessi, al personale, ai sistemi di stoccaggio e movimentazione che crescono al crescere della tipologia di prodotti da gestire e della loro numerosità. Il costo di giacenza medio considerato in questo elaborato è pari al 10% del costo di acquisto del prodotto. Da considerare è anche la quantità di capitale immobilizzato in scorte, che per una giacenza media pari a metà della quantità di riordino è pari a circa 30.000 \$ al mese. A questo vanno aggiunti gli effettivi costi di gestione delle spedizioni che diventano rilevanti dal momento in cui la casa madre dovrà relazionarsi con una moltitudine di figure per cui sarà necessario adibire delle funzioni aziendali apposite alla gestione di queste relazioni. Come già anticipato gli assets rivestono un ruolo importante in questi processi e se si considera la copertura in giorni del magazzino prodotti finiti questa può essere rilevante.

### ***D1.2 Receive, Enter & Validate Order***

Le metriche che si identificano per l'attività di ricezione degli ordini sono:

- Reattività: Tempo di registrazione ordine
- Costo: Costo di registrazione ordine

La reattività nella registrazione e nella gestione di un ordine in ingresso è elevata, il tempo di questi processi infatti può essere minimo se si adottano sistemi informatici che consentono la registrazione telematica degli ordini e la successiva trasmissione degli stessi agli operatori in magazzino. Queste pratiche sono ormai ampiamente adottate nel settore, l'utilizzo di sistemi di Electronic Data Interchange (EDI) e listini virtuali consentono ai grossisti di

effettuare ordini rapidamente e senza necessariamente l'intervento di un operatore della casa madre [66]. Qualora poi vengano adottate politiche di condivisione delle informazioni tra i due livelli della catene si potrebbero ottenere prestazioni migliori nella gestione dei processi di servizio al cliente, riducendo lo stock a valle nella filiera ed aumentando la prontezza nel rispondere alle esigenze dei clienti. I costi legati a tali fasi possono essere, in valore assoluto, importanti soprattutto se vengono adottati i sistemi precedentemente illustrati. In ogni caso il loro impatto sul singolo portalampada è minimo e difficilmente quantificabile senza avere a disposizione i dati dalla casa madre.

### ***D1.3 Reserve Inventory & Determine Delivery Date***

Questa attività ha come attributi e metriche di performance principali:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata

Con l'adozione di sistemi di gestione del magazzino, questi attributi possono essere elaborati autonomamente dal software in base a parametri inseriti dalla casa madre. In base alle quantità disponibili, al tipo di ordine ed alle risorse a disposizione per la preparazione degli ordini, verranno riservate delle quantità in magazzino e verrà determinata una data di consegna [65]. Tutto questo rende l'affidabilità elevata e l'azienda può rispondere alle esigenze dei grossisti, qualora vi siano dei ritardi nella preparazione degli ordini il tempo di attesa sarà ridotto e ciò non genererà particolari disservizi.

### ***D1.4 Consolidate Orders***

L'attività ha come metrica principale:

- Costo: Costo di trasporto

Gli ordini provenienti da diversi clienti possono essere consolidati in un unico mezzo di trasporto per ridurre quelli che sono i costi legati a tale attività. Questo compito può anche esulare dalla responsabilità della casa madre nel caso in cui essa faccia affidamento su corrieri esterni che si faranno carico di prelevare e gestire le spedizioni in cambio di un compenso. Data la numerosità e la capillarità dei clienti, questo scenario è il più plausibile. A seconda dei volumi dei colli da trasportare verrà utilizzato il mezzo di trasporto più adeguato tra furgone o autotreno. Il corriere al momento del cut off giornaliero si recherà presso il centro di distribuzione e preleverà la merce, poi tramite i propri canali di distribuzione farà sì che essa giunga a destinazione nei tempi stabiliti. Il costo del trasporto

su gomma è stato già presentato in precedenza e dipende dalla distanza percorsa per più lontani saranno i grossisti e maggiori saranno i costi di distribuzione.

### ***D1.7 Select Carriers & Rate Shipments***

L'attività ha come metrica principale:

- Costo: Costi di trasporto

La selezione delle figure a cui affidare i trasporti verso i grossisti dipende da una serie di performance che la casa madre ha come obiettivo. In genere la relazione tra queste due figure non viene ridiscussa per ogni spedizione ma si basa su rapporti di lungo periodo che sono stabiliti dopo lunghe contrattazioni. Per questo motivo si suppone che i termini di trasporto siano stabiliti a priori e che non vi sia una selezione dei corrieri per ogni spedizione. In alcuni casi è anche possibile che debba essere il cliente a farsi carico di gestire la spedizione secondo il termine FOB già presentato [67].

### ***D1.9 Pick Product***

Per questa attività vengono considerate le seguenti metriche:

- Affidabilità: Fill rate
- Reattività: Tempo di picking

Il picking vero è proprio della merce avviene manualmente da parte degli operatori che, spostandosi nel magazzino, recuperano la merce al fine di completare l'ordine del cliente. Le precise modalità in cui avviene questo processo possono essere molto varie per cui in questo elaborato si farà riferimento al caso generale in cui l'operatore prenda i cartoni di portalampada dai pallet posti nelle scaffalature e li riponga su altri pallet vuoti per formare l'ordine del cliente [62]. Data la creazione di unità di carico multi-referenza possono essere necessarie delle successive operazioni di avvolgimento in plastica (Figura 53) delle stesse al fine di evitare danneggiamenti nelle fasi successive.



*Figura 53 Pallet rivestito di film plastico (Fonte: [www.uspackagingandwrapping.com](http://www.uspackagingandwrapping.com))*

Nella preparazione degli ordini, gli operatori si lasciano guidare dai terminali dotati di scanner dei codici a barre che sono collegati al sistema gestionale. Nel momento che le unità di carico sono pronte alla spedizione possono essere applicati sulle stesse le informazioni necessarie alla tracciabilità ed alla spedizione. Del fill rate si è parlato in precedenza mentre per quel che riguarda i tempo di picking questo dipende dalla metodologie adottate e da come queste sono ottimizzate. In ogni caso dato che i grossisti possono effettuare ordini con diverse tipologie di prodotto queste fasi richiedono molto tempo e possono diventare critiche per rispettare i tempi di consegna promessi

#### ***D1.10 Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit & Ship Product***

Vengono individuati i seguenti attributi di performance con relative metriche:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata, Perfect Order Fulfillment (POF)

Raggiunta l'ora in cui il corriere si reca presso il centro di distribuzione per caricare gli ordini pronti alla spedizione, avviene il caricamento fisico dei veicoli. Questa operazione è rapida dato l'utilizzo di pedane che possono essere movimentate velocemente tramite carrelli elevatori [62]. Vengono inoltre forniti al trasportatore tutti i documenti necessari alla spedizione. L'affidabilità, come già detto, è elevata in termini di tempo mentre potrebbero esserci delle criticità nella correttezza degli ordini in termini di numerosità e di prodotto a causa dalla molteplicità di tipologie trattate dalla casa madre e ordinate dai grossisti. Queste

criticità sono ridotte tramite l'utilizzo di scanner e tramite l'adozione di procedure di verifica in fase di prelazione come ad esempio il doppio check del codice a barra della merce in scarico e il peso delle unità di carico.

### ***D1.13 Invoice & Receive Payment.***

Per questo processo si identificano le seguenti metriche principali:

- Reattività: Tempo medio di incasso
- Costo: Costo di fatturazione

Una volta che la merce è stata spedita e giunge presso il cliente, la casa madre fatturerà l'ordine e resterà in attesa del pagamento dello stesso [67]. Oggi i sistemi di fatturazione sono prevalentemente on-line e consentono di ridurre il tempo di trasmissione di tali documenti nonché consentono di aumentarne la correttezza riducendo la probabilità di errori in fase di compilazione. Secondo Atradius (Atradius N.V., 2019) azienda che effettua studi nel settore dell'assicurazione dei crediti commerciali e del recupero crediti sia in Europa che in America i termini commerciali prevedono pagamenti a circa 30 giorni. A questi però va aggiunto il ritardo nel pagamento che può far aumentare il tempo medio di incasso portandolo ad oltre 40-50 giorni. Lunghi tempi d'incasso delle fatture influiscono negativamente sulla liquidità della casa madre, aumentando il rischio di credito commerciale. Il costo di fatturazione è minimo e irrilevante su quello che è il costo del singolo portalampada.

Nella figura sottostante (Figura 54) viene fornita al lettore una sintesi della mappatura della supply chain analizzata secondo il Livello 1 dei processi del modello SCOR.

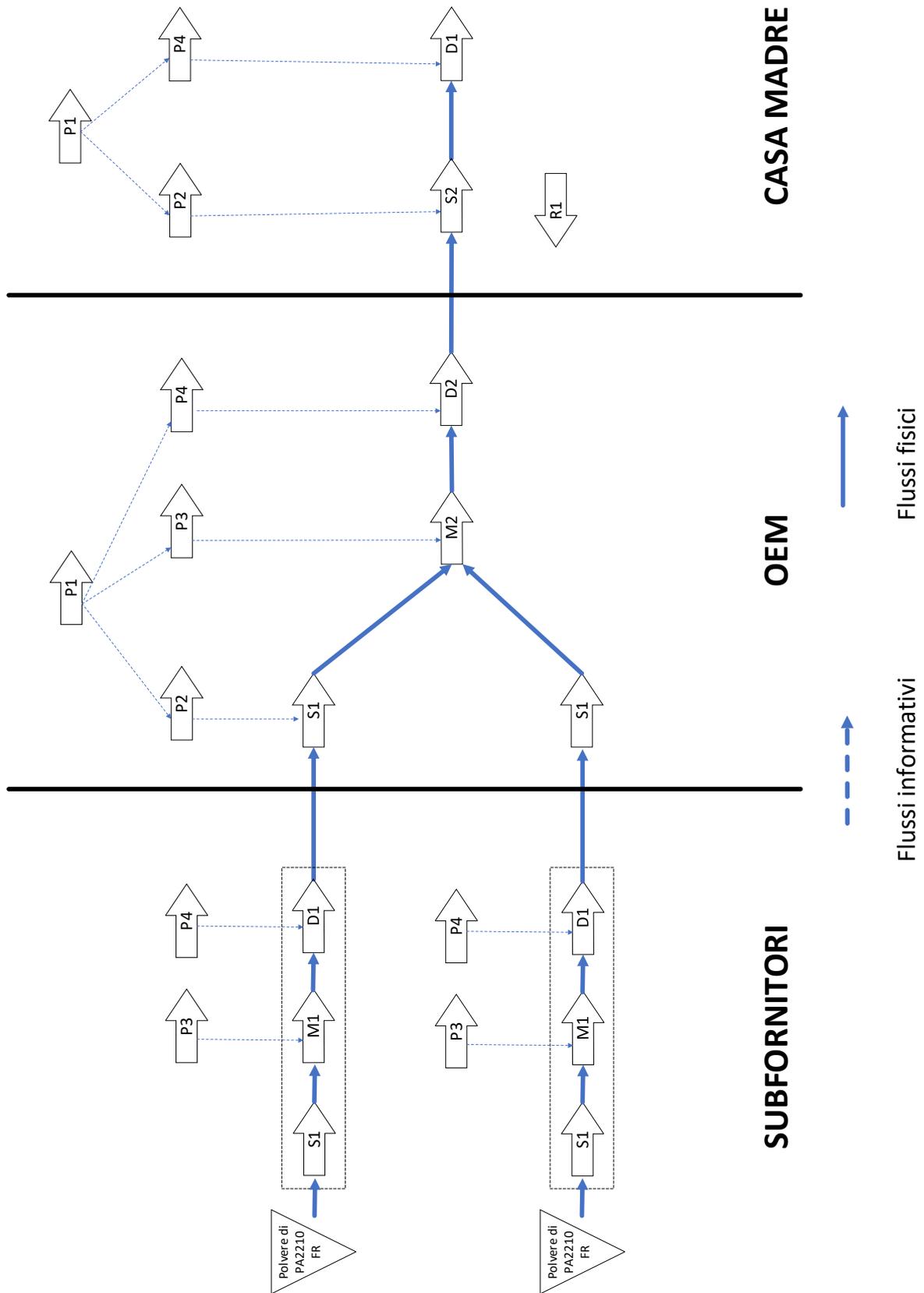


Figura 54 Sintesi supply chain AS IS

### ***3 CASO DI STUDIO PORTALAMPADE: SUPPLY CHAIN BASATA SU ADDITIVE MANUFACTURING***

In questo capitolo verrà presentata, mappata e analizzata la catena di fornitura dei portalampada in cui si ipotizza l'utilizzo dell'additive manufacturing per la realizzazione degli stessi. Per far ciò si farà riferimento al modello SCOR per l'individuazione delle attività che avvengono abitualmente e per gli indicatori di prestazione da analizzare.

#### ***3.1 PRESENTAZIONE***

In questo capitolo verrà analizzata una possibile configurazione di catena logistica volta alla produzione dei portalampada tramite additive manufacturing. Esistono una moltitudine di portalampada a seconda della lampada fluorescente che devono ospitare ed a seconda del tipo di attacco della lampada (Figura 55).

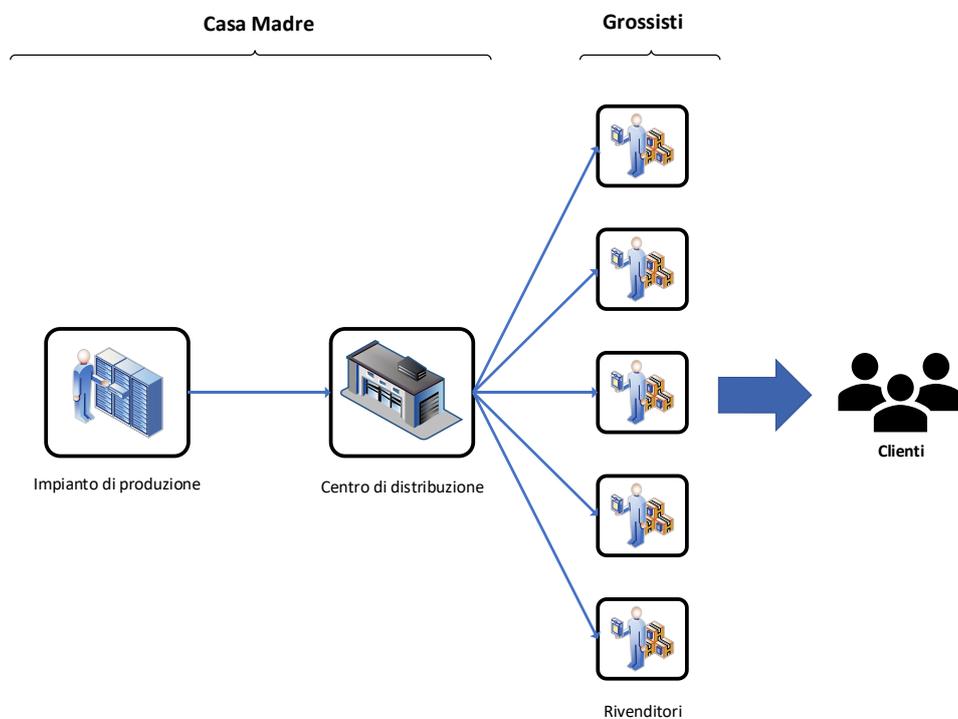


*Figura 55 Diversi tipi di portalampada (Fonte: [www.lampholder.net](http://www.lampholder.net))*

Nonostante alcuni componenti come la piastra rotante possono essere condivisi tra più modelli di portalampada, nella maggior parte dei casi ogni prodotto richiede dei componenti specifici. Questi, per essere realizzati tramite le tecniche produttive tradizionali, richiedono

una serie di stampi specifici. Ad esempio, per i componenti della custodia saranno necessari, per ogni portalampada, almeno tre stampi diversi per realizzarne i componenti in materiale plastico. In più sarà necessario un apposito stampo per il taglio dei contatti in rame. Ciò, moltiplicato per le diverse tipologie di portalampada, fa sì che il costo degli stampi e delle apparecchiature necessarie per lo stampaggio ad iniezione e per il taglio della lamiera diventino rilevanti. La tecnologia additiva invece dà la massima flessibilità nella realizzazione di oggetti con forme diverse e complesse nello stesso istante di produzione. Diversi tipi di portalampada potrebbero essere realizzati contemporaneamente e senza andare incontro ai costi delle tecniche tradizionali. Si eviterebbe così la necessità di disporre di uno o più macchinari per lo stampaggio a iniezione e di disporre di una serie di stampi per realizzare i componenti stessi. Al momento non si dispone di una tecnologia affermata che permetta di produrre direttamente tramite additive manufacturing i contatti in rame ma è necessario utilizzare tecniche di fusione a cera persa in cui il modello viene stampato in 3D. Gli scienziati stanno studiando soluzioni che vedono l'utilizzo della tecnica di Selective Laser Melting (SLM) per la realizzazione di oggetti in questo materiale (Tran et al., 2019). L'utilizzo di laser per la stampa di molti metalli è una tecnica ormai affermata, per il rame però questo processo presenta delle sfide particolari infatti a causa delle proprietà di conducibilità del materiale i fasci elettronici del laser utilizzati per fondere le polveri non vengono assorbiti ma riflessi. Per risolvere questo problema gli studiosi hanno sviluppato un diverso tipo di raggio laser, un cosiddetto "laser verde" (Heußen & Meiners, 2017), il cui calore è meglio assorbito dal rame, permettendo così al materiale di fondere più facilmente. Anche lo sviluppo di polveri di leghe di rame che si adattano alla stampa 3D è necessario, i più grandi player del settore stanno provando a realizzare materiali che ben si adattano a questo tipo di applicazioni. Nonostante gli studi siano ancora in corso alcune aziende offrono la realizzazione di piccole serie di prodotti in rame, ciò però si limita ad applicazioni altamente tecnologiche [68]. Tutto questo non toglie che con i progressi tecnologici futuri sia anche possibile produrre questi componenti tramite additive manufacturing magari anche contemporaneamente alla produzione dei componenti polimerici in modo da evitare così ogni operazione di montaggio. Nel corso di questa trattazione si ipotizza che i contatti in rame vengano prodotti in house tramite tecniche tradizionali. La produzione in house dei componenti della custodia tramite additive manufacturing genererebbe la flessibilità di poter produrre contemporaneamente diverse tipologie di prodotti finiti, creando così una serie di vantaggi, non solo produttivi ma anche logistici e ambientali che saranno analizzati nel corso di questo capitolo. Sfruttando questi vantaggi, i produttori occidentali potrebbero trovare

positivo riportare la produzione di questi componenti all'interno delle loro aziende senza più fare affidamento sui produttori asiatici. O ancora, i produttori asiatici stessi potrebbero sfruttare i vantaggi della nuova tecnologia per rendere le fasi produttive più semplici e flessibili. Come mostrato in alcuni studi (Li, Jia, Cheng, & Hu, 2017) (Holmström & Gutowski, Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities?, 2017), uno dei più grandi impatti della stampa 3D è quello di andare a ridurre i livelli della catena di fornitura permettendo così di raggiungere grandi risparmi sui costi di trasporto e di stoccaggio dei prodotti. In questo elaborato si andrà ad approfondire una possibile soluzione che vede l'utilizzo dell'additive manufacturing per riportare la produzione dei portalampada onshore; si analizzerà la nuova catena logistica e se ne mostrano vantaggi e possibili criticità. Il grande produttore occidentale, che prima affidava in outsourcing la produzione di questo tipo di prodotti, ora si farà carico della realizzazione dei portalampada (Figura 56) rendendo così non più necessari i livelli produttivi presenti in Cina. Un'altra possibile implementazione di questa tecnologia ne vede l'adozione da parte dei subfornitori dei componenti o direttamente dall'assemblatore asiatico; queste soluzioni però non saranno analizzate nel corso di questo elaborato.



**Figura 56** Supply chain TO-BE per la produzione e distribuzione di portalampade per lampade fluorescenti

### ***3.1.1 Riportare la produzione “in casa”***

Il trend di riportare la produzione “vicino” ai punti di consumo, ovvero il cosiddetto reshoring della produzione ha avuto negli ultimi anni una brusca impennata. Esistono molte definizioni che provano a spiegare questo tipo di azioni, ed esistono anche diversi termini, spesso usati in maniera equivalente, che definiscono questo fenomeno come backshoring o reshoring. Si utilizza il termine homeshoring per sottolineare il fatto che la produzione ritorna nel paese di origine e non si sposta in un altro paese in via di sviluppo (Tate, 2014). In ogni caso tutte le definizioni mettono l’accento sulla decisione di localizzazione che riguarda le attività produttive e ne modifica una precedente decisione di offshoring riportone le attività nel paese di origine. Alcuni studi (Fratocchi, Di Mauro, Barbieri, Nassimbeni, & Zanoni, 2014) sottolineano la volontarietà di questa decisione che viene guidata dalla strategia aziendale e non da accadimenti contingenti. Altri studi (Fel & Griette, 2017) riportano che più della metà delle aziende che avevano spostato la produzione in Cina, negli ultimi anni hanno deciso di riportare la produzione più vicina (specialmente nelle aree dell’Est Europa) o addirittura reintegrare le attività all’interno dell’azienda. Il motivo principale che gli autori individuano in questo fenomeno è il cambiamento dei termini commerciali e finanziari che fanno sì che non sia più redditizio produrre offshore. L’aumento dei salari e la caduta del tasso di cambio dell’euro rispetto al dollaro sono alcune delle ragioni più rilevanti. A queste si aggiungono una serie di motivazioni tecnologiche e logistiche come l’aumento dei tempi di approvvigionamento che genera un aumento delle scorte necessarie per far fronte alle fluttuazioni della domanda. Oppure i costi di transazione elevati ed il bisogno di rendere l’intera catena logistica più rapida e flessibile per far fronte alle richieste dei clienti. L’impiego della tecnologia additiva consentirebbe, oltre che realizzare il prototipo senza la necessità di assemblarne i componenti, anche di automatizzare il processo produttivo. Le tecniche tradizionali richiedono l’intervento degli operatori per l’attrezzaggio, il monitoraggio e la manutenzione dei macchinari. La produzione tramite additive manufacturing non necessita della supervisione degli operatori se non nel momento in cui la camera di stampaggio deve essere svuotata o riempita. L’eliminazione della produzione in Cina consentirebbe di incentivare i clienti all’acquisto del prodotto; infatti una ricerca (Grappi, Romani, & Bagozzi, 2018) ha dimostrato che i consumatori potrebbero essere più propensi all’acquisto di un prodotto se fossero al corrente delle iniziative di reshoring dell’azienda che lo produce. Sparisce così l’effetto “Made in China” che potrebbe consentire di recuperare nuove fette di mercato che magari potrebbero essere perse a causa

di una maggiorazione dei costi di realizzazione del portalampada tramite additive manufacturing. Questo effetto è particolarmente rilevante in un settore come quello delle apparecchiature elettriche in cui il livello di affidabilità del produttore è rilevante nella scelta di acquisto di un prodotto. Le aziende potrebbero concentrare il focus sulla sostenibilità ambientale della nuova tecnologia produttiva, numerosi sono infatti gli studi (Huang et al., Environmental and Economic Implications of Distributed Additive Manufacturing: The Case of Injection Mold Tooling, 2017) (Chen et al., 2015) (Ghadge, Karantoni, Chaudhuri, & Srinivasan, 2018) che affermano che il reshoring e l'additive manufacturing sono fonte di riduzione dei livelli di impatto ambientale in termini di emissioni inquinanti e consumo di risorse. Negli anni una serie di governi, come ad esempio quello americano e quello europeo, hanno adottato una serie di politiche volte a incentivare il ritorno delle attività produttive nei propri confini; ciò potrebbe ulteriormente spostare l'ago della bilancia a favore del reshoring (Needham, 2014) (Annushkina, 2017) (Burrentine & Whelan, 2014). L' aumento della domanda di prodotti personalizzati su misura potrebbe investire anche il settore dei portalampada e le aziende potrebbe trovarsi di fronte a delle richieste dei clienti che non sarebbero economiche da realizzare tramite lo stampaggio a iniezione. L'additive manufacturing permetterebbe di superare questo problema e consentirebbe alle imprese di realizzare piccole serie di portalampada su misura secondo le specifiche del singolo cliente. Il mercato della stampa 3D vede come protagonisti i Paesi occidentali ed in particolar modo gli USA e la l'Europa sia per quel che riguarda gli investimenti e i brevetti nel campo e sia per quel che riguarda il numero di aziende i il volume d'affari del settore (Holst, 2019) (Steenhuis, Fang, & Ulusemre, 2018) [69]. Questo spinge ulteriormente a far sì che la produzione ritorni onshore, in quanto anche le abilità tecniche necessarie sono più reperibili nelle aree sopracitate. Nonostante questo, la Cina ha compreso i rischi intrinseci in questa tecnologia che possono permettere il diffondersi del fenomeno di riportare la produzione nei paesi occidentali ed è corsa ai ripari con una serie di piani di intervento statali per favorire la crescita dell'additive manufacturing all'interno del Paese. Ciò può portare, in pochi anni, alla nascita di un nuovo leader nel settore della stampa 3D. Inoltre, secondo gli esperti, le aziende che continuano a preferire la produzione nei paesi asiatici (con particolar riferimento alla Cina) non lo fanno più per vantaggi economici nei costi produttivi, infatti secondo uno studio del The Boston Consulting Group (Sirkin, Rose, & Choraria, 2017) questi, per gli USA, si sarebbero ridotti dal 14% del 2004 al 1% del 2016. Le regioni che spingono alcune aziende a produrre in Cina sono legate alla volontà di sfruttare un enorme mercato in che negli ultimi anni sta vivendo un boom dei consumi e dalla richiesta di prodotti e servizi.

L'organizzazione Reshoring Initiative, che ha il compito di monitorare il fenomeno del reshoring negli USA, in un suo report (Reshoring Initiative 2018 Data Report, 2018) evidenzia quelli che sono i maggiori settori coinvolti nel fenomeno. Tra questi, al terzo posto con il 10 % del numero totale di imprese (Figura 57) che sono tornate a produrre in America, vi è quello delle apparecchiature elettriche (Electrical Equipment, Appliances & Components) che include tra le altre cose la produzione dei portalampada in esame. Infatti, i prodotti a basso e medio livello tecnologico sono quelli che hanno subito maggiormente il ritorno della produzione onshore con più del 65% rispetto ai prodotti ad alto contenuto tecnologico che si attestano al 35%. Inoltre, sempre secondo questa organizzazione, la prevalenza del fenomeno ha visto come protagonista la Cina con il 59% delle aziende che si sono spostate da questa nazione agli USA. Tra le motivazioni che spingono a riportare la produzione negli Stati Uniti le imprese citano maggiormente gli incentivi governativi e la vicinanza al mercato/consumatore. Mentre i fattori negativi della produzione offshore più citati sono la qualità e i costi di spedizione. Altre informazioni provenienti dal gruppo di ricerca del fondo europeo European Reshoring Monitor (European Reshoring Monitor, 2019) mostrano come il driver principale del ritorno delle attività produttive sia legato prevalentemente ai costi logistici, ai costi del lavoro ed al cosiddetto "Total cost of ownership". Ovvero al costo globale di un bene definito prendendo in considerazione non soltanto gli aspetti diretti (materiali di produzione e spese di trasporto), ma anche tutti quelli indiretti e spesso nascosti, legati ad esempio alla "non qualità" delle produzioni delocalizzate.

Exhibit 4		By Industry, Reshoring + FDI, 2010-2018			
Rank	Industry	Jobs	NAICS code	Companies	Industry %
1	Transportation Equipment	243,766	336	772	32
2	Computer & Electronic Products	87,484	334	416	12
3	Electrical Equipment, Appliances & Components	76,409	335	375	10
4	Chemicals	75,799	325	409	10
5	Plastic & Rubber Products	41,452	326	351	5
6	Apparel & Textiles	38,623	313, 314, 315, 316	560	5
7	Wood & Paper Products	38,330	321, 322	116	5
8	Machinery	27,842	333	269	4
9	Fabricated Metal Products	25,427	332	365	3
10	Medical Equipment & Supplies	22,374	33911	124	3
11	Primary Metal Products	19,365	331	113	3
12	Food & Beverage	14,897	311, 312	132	2
13	Furniture and Related Products	11,104	337	169	1
14	Nonmetallic Mineral Products	10,336	327	90	1
15	Miscellaneous	8,030	339	97	1
16	Hobbies (subset of Miscellaneous)	7,042	33992, 33993	229	1
17	Castings/Foundries - Subset of Primary Metal Products	4,359	3315	54	1
18	Energy, Petroleum & Coal Products	2,445	324	19	<1

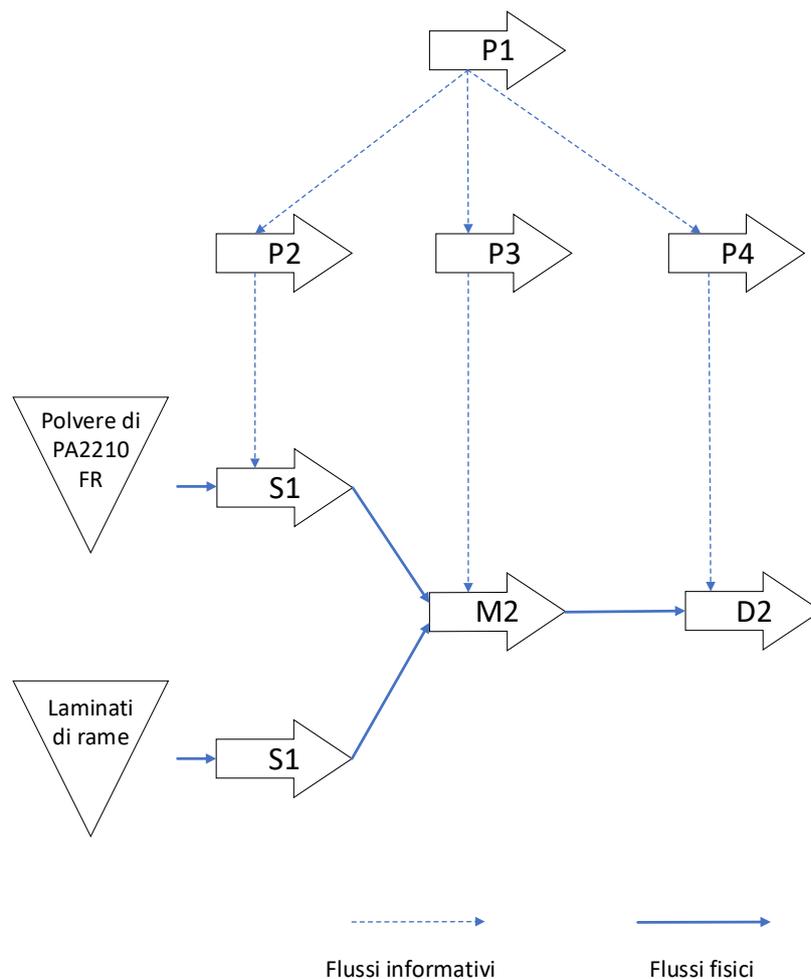
*Figura 57 Imprese che hanno fatto reshoring per settore produttivo (Fonte: Reshoring Initiative 2018 Data Report)*

Si analizza ora nel dettaglio la soluzione che riporta la produzione onshore nel sito produttivo della casa madre in modo da evitare di far ricorso ai fornitori asiatici. L'analisi verrà effettuata anche in questo caso facendo riferimento al Modello SCOR. Come nella mappatura AS IS i livelli a valle della casa madre non saranno approfonditi in quanto non subiscono modifiche rilevanti a seconda della tecnologia produttiva adottata. Il livello dei grossisti verrà analizzato per mostrare i cambiamenti derivanti dall'additive manufacturing a livello di prezzo di acquisto, qualità del prodotto e livello di servizio garantito dal fornitore.

### **3.2 Impianto di Produzione**

Dal momento che le attività produttive vengono riprese in carico dalla casa madre queste vengono svolte all'interno dell'impianto produttivo della stessa. Come anticipato nella mappatura AS-IS questo tipo di aziende possono trovare economicamente vantaggioso fare affidamento su fornitori asiatici per alcune tipologie di prodotto come ad esempio i portalampada in questione. Ciò non toglie che queste imprese producano in-house alcune serie di prodotti, questo sia per ragioni economiche e sia per ragioni legate al controllo della proprietà intellettuale o a ragioni logistiche [62]. L'impianto produttivo dunque ospiterà già

delle linee volte alla realizzazione di una serie di prodotti tramite tecniche tradizionali; l'adozione dell'additive manufacturing richiederà però l'adeguamento e la realizzazione di apposite aree da destinare a tale scopo. Non sarà quindi necessario realizzare da zero l'intero processo di trasformazione delle materie prime in prodotto finito e i servizi ausiliari alla produzione come i reparti acquisti o di test dei prodotti sono già presenti in quanto utilizzati per le altre linee di prodotti. Sarà invece necessario instaurare relazioni con nuovi fornitori per avere accesso ai macchinari necessari ed alle materie prime utilizzate nella stampa 3D. Competenze specifiche saranno richieste per far sì che la produzione avvenga con successo rispettando i requisiti imposti sia dal mercato che dall'azienda stessa. Data la presenza di un centro di distribuzione e data la possibilità di produrre piccoli lotti tramite additive manufacturing si presuppone che le attività produttive seguano una logica Make to Order (M2) (Figura 58). Ovvero la produzione viene avviata per ristabilire un determinato livello di scorte di sicurezza all'interno del magazzino centrale, questo viene rilevato dal centro produttivo con un "ordine cliente" da evadere nel più breve tempo possibile.



**Figura 58** Mappatura SCOR di Livello 1 dell'Impianto Produttivo

Per realizzare i portalampana tramite additive manufacturing saranno necessarie delle materie prime specifiche in base sia alla tecnologia di stampa 3D utilizzata e sia in base al fornitore delle stampanti selezionato. Molte apparecchiature infatti richiedono l'utilizzo di materie prime (in particolar modo polveri per la tecnologia SLS) fornite dalla stessa azienda che realizza la stampante. Questo riduce la possibilità di creare una vera e propria concorrenza tra più fornitori e vincola l'azienda ad una relazione di lungo periodo con gli stessi. Lo studio di Atzeni (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) valutava la convenienza economica nell'utilizzare la tecnologia di Sinterizzazione Laser Selettiva (o Selective Laser Sintering SLS) ed in particolar modo analizzava positivamente l'utilizzo di una stampante EOS P390. Questo dispositivo è realizzato dalla EOS GmbH (Electro-Optical Systems), azienda tedesca con sede a Krailling a Monaco di Baviera. Questa azienda è specializzata nella realizzazione di attrezzature, materiali e soluzioni nel campo della tecnologia SLS; ad oggi è uno dei leader del settore ed ha contribuito in modo significativo allo sviluppo ed alla diffusione di tale tecnologia [70]. Il modello di stampante preso in analisi dagli studi precedenti è ormai fuori produzione ed è stato sostituito da un nuovo modello equivalente in termini di dimensioni ma più avanzato, ovvero l'EOS P 396 (Figura 59).



**Figura 59** EOS 396 (Fonte: EOS GmbH)

Questo modello è il terzo, ed ultimo in ordine cronologico, sviluppo dell'EOS P390. Il produttore promette prestazioni migliori in termini di consumo energetico e di velocità di produzione. Il consumo energetico è pressoché simile e si aggira intorno ai 2kW nominali, ciò che cambia invece è la potenza del laser che passa da 50 a 70 W di potenza, mentre la velocità di produzione passa dai 35 mm/h ai 48 mm/h con un incremento delle prestazioni del 27%. Aumenta anche la richiesta di aria compressa che passa da un minimo di 6 m<sup>3</sup>/h ad un minimo di 10 m<sup>3</sup>/h, resta invece invariato il peso che si attesta intorno ai 1060 Kg [71]. Come tutti i modelli della casa tedesca, anche questo non è “open source” ma funziona esclusivamente con i polimeri in polvere forniti dalla EOS stessa per cui il fornitore dell'attrezzature sarà anche il fornitore delle materie prime necessarie alla produzione. Il costo dell'ultimo modello è di circa 400.000\$ per la versione di macchinario che prevede l'unpack manuale dei prodotti e il setting di parametri specifici per il materiale PA2210 FR. A questo vanno aggiunti i costi per i sistemi di post e pre-processing delle parti e delle polveri che contribuiscono a far lievitare ulteriormente il costo. Parte di questi sistemi verrà presentata successivamente quando si analizzeranno più nel dettaglio i processi produttivi tramite tecnologia additiva. Nonostante le dimensioni della camera di lavoro siano sostanzialmente invariate (340 x 340 x 600 mm), il grado di rifinitura dei singoli livelli è nettamente migliorato passando da 150 a 120 micron per il grado di risoluzione “basso” e da 100 a 60 micron per il grado di risoluzione “alto” [71]. La soluzione che prevede l'acquisto diretto da parte della casa madre delle apparecchiature necessarie alla realizzazione dei portalampana tramite additive manufacturing non è però l'unica possibile. Questa infatti presenterebbe un investimento capitale iniziale elevato necessario per avviare la produzione; per ridurre tale investimento iniziale è possibile optare per il noleggio (o per il leasing) delle apparecchiature. Il fornitore dei macchinari offre il noleggio a lungo termine delle proprie apparecchiature [72], ciò consentirebbe di ridurre l'investimento iniziale in modo tale da aumentare la profittabilità dello stesso. Il noleggio inoltre offre una maggiore flessibilità sia nel caso in cui si voglia aumentare la produzione sia nel caso in cui si decida di terminare la stessa. Inoltre, a seconda della legislazione fiscale in cui opera la casa madre, è possibile ottenere vantaggi dato che il canone di noleggio è completamente deducibile. Un ulteriore vantaggio è il rendere visibili tutti i costi della nuova tecnologia e agglomerarli in un canone di noleggio, mentre un acquisto diretto fa sì che sia più difficile tener traccia, e ribaltare sul prodotto, tutti i costi indiretti delle apparecchiature. Il noleggio inoltre non vincola la compagnia all'utilizzo di una determinata tecnologia e di una determinata stampante; in un mondo in rapida evoluzione come quello dell'additive manufacturing è possibile che un

apparecchio diventi obsoleto in pochi anni per cui il noleggio aiuta a ridurre questo rischio. La maggior parte degli studi scientifici che confronta sistemi produttivi tradizionali a sistemi di stampa 3D prende solo in considerazione l'opzione di acquisto delle apparecchiature e non quella del noleggio. La materia prima per realizzare i portalampana è il PA 2210 FR ovvero uno speciale tipo di poliammide 12 (PA12) a cui vengono aggiunti degli agenti chimici ritardanti di fiamma [73]. Questi, in caso di incendio, formano una "crosta" carboniosa sulla superficie della parte, isolando la plastica sottostante e limitando fisicamente l'incontro tra l'ossigeno e il polimero combustibile situato al di sotto di essa, sottraendo quindi reagente alla reazione di combustione. Ciò rende questo materiale adatto alle applicazioni aeronautiche ed elettriche che prevedono stringenti restrizioni per quel che riguarda la sicurezza in materia di incendi. Il fornitore infatti certifica le sue polveri oltre che per le proprietà meccaniche anche per il grado di esigenza e per il rilascio di sostanze pericolose in fase di combustione. Gli standard internazionali a cui l'azienda tedesca fa riferimento per testare i suoi materiali sono la Joint Aviation Authorities (standard JAR 25) per quel che riguarda gli standard aeronautici in materia di tossicità e la Underwriters Laboratories (standard UL 94) per quel che riguarda il grado di estinguenza delle materie plastiche. Inoltre, questo materiale risulta conforme al regolamento federale sull'aviazione degli Stati Uniti 25.853 e all'interno delle linee guida del metodo di prova Airbus Industries (AITM) [73]. Questo particolare poliammide viene fornito come polvere in contenitori in plastica da 20 kg, il costo del materiale è di 70\$/kg per cui un contenitore ha il costo di circa 1400 \$.

### **3.2.1 Plan**

Le attività di pianificazione individuate al Livello 2 di specificazione fanno riferimento all'organizzazione degli approvvigionamenti, delle attività produttive, delle spedizioni e della catena logistica stessa. La definizione e la pianificazione di quest'ultimo livello risulta fondamentale per la buona riuscita di tutte le operazioni; è necessario dunque effettuare anticipatamente un'analisi globale identificata dal processo *Plan Supply Chain P1*. In questa fase, che viene svolta sia preliminarmente e sia periodicamente durante tutte le attività svolte nell'Impianto produttivo, si identificano in primo luogo i requisiti logistici necessari (P1.1 *Identify, Prioritize and Aggregate Supply Chain Requirements*). Poi vengono analizzate le risorse disponibili (P1.2 *Identify, Prioritize and Aggregate Supply Chain Resources*) per poter creare così un bilanciamento utile a favorire il corretto funzionamento di tutte le attività

all'interno della catena fasi (P1.3 *Balance Supply-Chain Resources with Supply-Chain Requirements* e P1.4 *Establish and Communicate Supply Chain Plans*). Necessarie sono anche le attività di pianificazione degli approvvigionamenti per far sì che vi sia sempre un bilanciamento tra la necessità produttive in base alle previsioni di domanda e le risorse necessarie a soddisfare questa domanda. Queste attività rientrano nel processo di Livello 2 *Plan Source* P2 che parte con l'identificazione di quelli che sono i requisiti di un determinato prodotto (P2.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Product Requirements*) e con l'individuazione delle risorse materiali, e non, necessarie alla realizzazione dello stesso (P2.2 *Identify, Assess, and Aggregate Product Resources*). Questa fase è molto importante in quanto si valutano tecnologie di additive manufacturing alternative e fornitori di macchinari di stampa 3D diversi. Nel caso della realizzazione dei portalampada, le necessità di rispettare le normative in campo di sicurezza porta alla scelta obbligata di utilizzare un materiale polimerico che presenta un ritardante di fiamma. Non sono molti i produttori di stampanti 3D che offrono questo tipo di servizi per cui la scelta è quasi obbligata verso la EOS GmbH, limitando così anche la possibile concorrenza che potrebbe portare alla riduzione dei costi di acquisto dei macchinari stessi. Inoltre, gli studi precedenti presentano la soluzione offerta da questa azienda come la più redditizia dal punto di vista dei costi produttivi per cui si è deciso di proseguire su questa linea simulando l'adozione di macchinari di questa azienda. Segue poi la redazione di accurati piani di approvvigionamento (P2.4 *Establish Sourcing Plans*) che garantiscano il costante bilanciamento tra ciò che è necessario e ciò che è presente all'interno dell'Impianto produttivo. Fondamentale a questo livello risulta la pianificazione delle attività produttive P3 *Plan Make* sia perché in questo livello si realizza effettivamente il portalampada e sia perché l'adozione della nuova tecnologia di produzione fa sì che cambino le azioni necessarie. Si parte individuando i fabbisogni produttivi (P3.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Production Requirements*) in relazione alla domanda del centro di distribuzione e si prosegue analizzando le risorse produttive disponibili (P3.2 *Identify, Assess, and Aggregate Production Resources*) che in questo caso faranno riferimento alla tecnologia di produzione additiva. Si stabiliscono poi, anche grazie ad elaborati programmi gestionali, i piani produttivi per soddisfare a pieno i requisiti produttivo (P3.4 *Establish Production Plans*). La pianificazione delle consegne verso il centro di distribuzione P4 *Plan Deliver* è necessaria per garantire che i portalampada sia sempre disponibili per il mercato garantendo così un elevato livello di servizio al cliente. In questa fase si parte analizzando gli ordini emessi dal centro di distribuzione, si valutano poi le risorse disponibili, ovvero la disponibilità di corrieri di trasporto, e si organizzano i piani di consegna secondo l'intervallo

temporale stabilito. La prima parte di questa fase viene definita dalle attività P4.1 *Identify, Prioritize, and Aggregate Delivery Requirements* e P4.2 *Identify, Assess, and Aggregate Delivery Resources*. Segue poi la redazione effettiva dei piani di consegna modellata dall'attività P4.4 *Establish Delivery Plans*.

### **3.2.2 Source**

Per la produzione dei portalamпада tramite additive manufacturing sono essenzialmente necessari due tipi di materie prime, uno o più macchinari additive e le competenze utili a far sì che la produzione con la nuova tecnologia avvenga correttamente. L'approvvigionamento delle materie prime avviene secondo una logica S1 *Source Stocked Product* dato che gli acquisti vengono fatti a lotti per essere immagazzinati nell'attesa di essere utilizzati nelle fasi successive. Il processo di acquisto e definizione degli impianti produttivi invece segue più una logica S2 *Source Make-to-Order Product* in quanto il fornitore personalizza il macchinario EOS P396 secondo le esigenze del cliente e ne ottimizza i parametri secondo il materiale utilizzato per la produzione [72]. Dato che questa attività, come anche l'assunzione di risorse con know-how specifico per l'additive manufacturing, si presume avvengano una sola volta in fase di definizione e pianificazione del nuovo layout produttivo; nel corso di questa analisi verranno analizzate brevemente nei seguenti paragrafi. Mentre ci si concentrerà prevalentemente sull'acquisto delle materie prime in quanto è un'azione ripetuta e non sporadica. La scelta del fornitore del PA2210 FR è obbligata alla EOS data l'incompatibilità del macchinario con qualsiasi altra polvere che non sia prodotta da questo fornitore [74]; mentre per i laminati di rame vi è una certa concorrenza ed è possibile acquistare sia da fornitori locali che da fornitori asiatici. Una volta individuati i fornitori vi è l'attività di programmazione delle consegne (S1.1 *Schedule Product Deliveries*) che fa sì che le consegne avvengano in modo efficiente. Segue poi la ricezione vera e propria delle materie prime con il Process Element S1.2 *Receive Product*. Dopo che la merce è ricevuta viene verificata (S1.3 *Verify Product*) e poi trasferita nei punti di stoccaggio (S1.4 *Transfer Product*). Solo dopo che tutte queste operazioni sono state eseguite correttamente si può procedere al pagamento del fornitore in base ai termini contrattuali stabiliti (S1.5 *Authorize Supplier Payment*).

### **3.2.3 Make**

La produzione dei portalampada segue una logica Make to Order in quanto fa riferimento agli ordini di rifornimento del centro di distribuzione a valle. La flessibilità di riuscire a produrre seguendo gli ordini a valle viene garantita dall'adozione della stampa 3D in quanto facilita la realizzazione di piccoli lotti in breve tempo, senza la necessità di lunghi e costosi tempi di riattrezzaggio dei macchinari. Inoltre, lo spostare la produzione più vicina ai punti di consumo riduce i lead time di trasporto e consente dunque di ridurre i lotti di produzione per uniformarli alle richieste a valle. Per questo l'intero processo produttivo dei portalampada viene rappresentato a Livello 2 con il modulo SCOR M2 *Make-to-Order*. Le attività che si incontrano all'interno di questo modulo sono in primo luogo la programmazione delle fasi produttive (M2.1 *Schedule Production Activities*) che possono essere guidate dai software aziendali utilizzati. Segue poi il rifornimento fisico delle aree produttive con i materiale necessari alla realizzazione dei prodotto finito; questa fase viene modellata dal Process Element M2.2 *Issue Sourced/In-Process Product*. Nel momento in cui tutto il necessario è a disposizione degli operatori si può avviare la vera e propria produzione a cui seguiranno eventuali test sulla qualità del prodotto realizzato (M2.3 *Produce and Test*). I portalampada vengono poi confezionati a seconda delle esigenze del mercato nella fase M2.4 *Package* e immagazzinati temporaneamente (M2.5 *Stage Finished Product*) in attesa di essere spediti al centro di distribuzione da cui saranno smistati verso i punti di consumo.

### **3.2.4 Deliver**

La spedizione degli ordini verso il centro di distribuzione avviene non appena la produzione degli stessi si è conclusa per cui si è deciso di modellare questa attività con il processo SCOR D2 *Make-to-Order Product*. Le spedizioni vere e proprie possono essere realizzate o con mezzi propri della casa madre oppure facendo affidamento a corrieri terzi. Il trasporto, date le brevi distanze in gioco, avviene via terra tramite l'utilizzo di furgoni o camion a seconda delle quantità da spedire e della politica di consolidamento delle spedizioni con altri tipi di prodotti. Si parte dalla ricezione dell'ordine del centro di distribuzione (D2.2 *Receive, Configure, Enter & Validate Order*) che avviene telematicamente tramite i software gestionali adottati dall'azienda [66]. Ricevuto l'ordine si procede all'attribuzione delle risorse necessarie al trasporto secondo disponibilità ed alla determinazione della data di consegna con il processo SCOR D2.3 *Reserve Resources & Determine Delivery Date*. A questo punto, ed a seconda delle esigenze, si può procedere alla consolidazione degli ordini (D2.4

*Consolidate Orders*) in modo tale da ottimizzare l'utilizzo dei mezzi di trasporto adottati di volta in volta. Si presuppone che le spedizioni vengano effettuate con mezzi propri della casa madre, per cui non risultano necessarie le attività volte alla selezione dei corrieri di spedizione ma una volta consolidati gli ordini si può procedere direttamente alla spedizione fisica degli stessi. I carichi vengono dunque prelevati dai punti di stoccaggio e caricati sui mezzi adibiti al trasporto (D2.8 *Pick Staged Product* e D2.9 *Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit, & Ship Product*) in concomitanza con la preparazione dei documenti necessari. Non risulta neanche necessario il processo di fatturazione e pagamento ma ci si limiterà a tenere traccia dei trasporti effettuati e dei costi in cui si è incorso per effettuare gli stessi. La figura sottostante (Figura 60) sintetizza i processi svolti al livello dell'impianto di produzione.

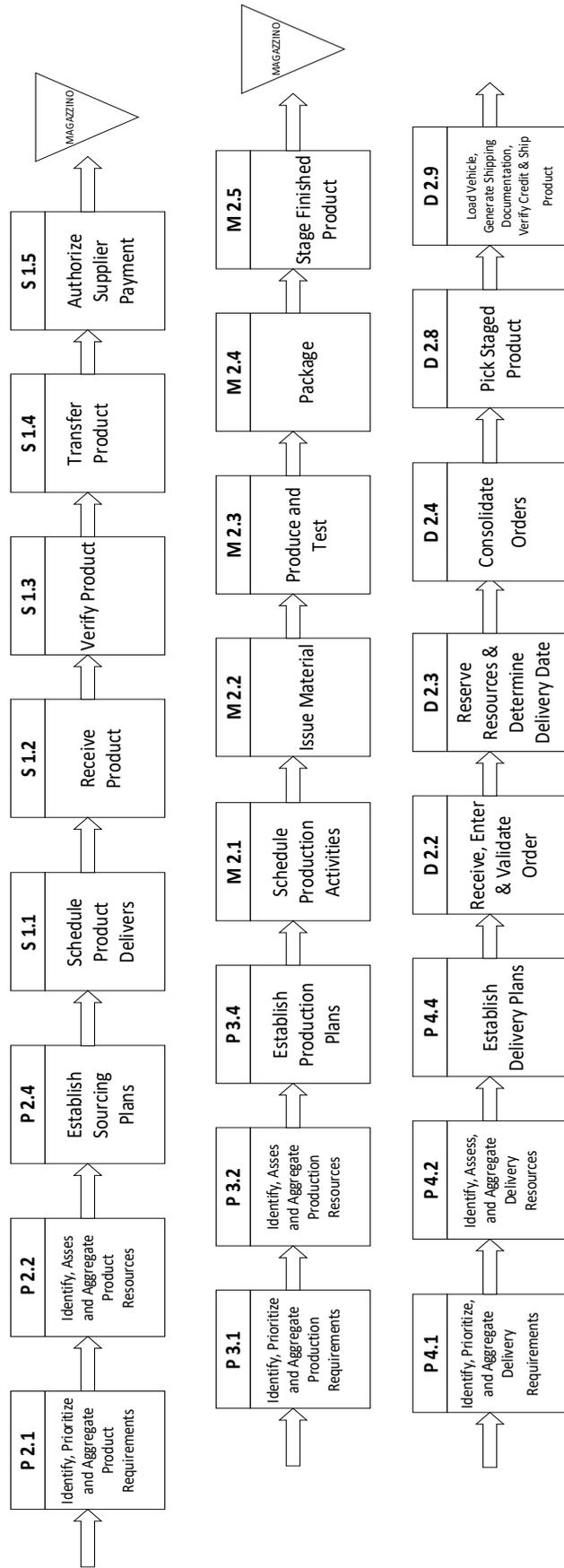


Figura 60 Mappa dei Process Element SCOR per il livello dell'Impianto produttivo.

### ***3.2.5 Performance impianto produttivo***

In questo paragrafo verranno illustrate le metriche di performance individuate dal Modello SCOR per le attività che sono state utilizzate per definire la mappatura del livello dell'impianto produttivo. Dove possibile saranno forniti dati quantitativi per individuare le prestazioni di questo stadio della catena logistica. Dove invece non è stato possibile individuare dati numerici, e data la specificità del caso di studio ciò è alquanto frequente, si cerca di fornire al lettore un'indicazione qualitativa di quelle che possono essere le prestazioni. Saranno inoltre approfondite le singole attività precedentemente individuate attraverso i Process Element forniti dal modello utilizzato.

#### ***Plan***

Anche in questo caso per le attività di tipo Plan le metriche e gli attributi di performance vengono individuati e presentati per il Livello 2 e non per il Livello 3 per non appesantire troppo la mappatura ed in quanto la definizione degli stessi per il livello inferiore risulterebbe troppo imprecisa.

#### ***P1 Plan Supply Chain***

Gli indicatori principali di performance con le rispettive metriche riguardano:

- Affidabilità: Accuratezza delle previsioni di domanda, accuratezza dei tempi di consegna al cliente
- Reattività: Tempo di approvvigionamento e produzione
- Flessibilità: Tempo di ripianificazione
- Costo: Costo manodopera
- Assets: Utilizzo capacità, cash-to-cash cycle time

L'utilizzo della stampa 3D, affiancato al reshoring delle attività, porta alla riduzione del lead time tra il punto di consumo e il punto di produzione; ciò fa sì che l'accuratezza delle previsioni di domanda migliori. Infatti, il dover prevedere la domanda per periodi di tempo maggiori genera imprecisioni nelle previsioni stesse e comporta inoltre il rischio di andare in rottura di stock o di esagerare con le quantità immagazzinate a scorta. La riduzione della distanza fisica tra clienti e impianto aiuta anche nel rispettare i tempi di consegna ai clienti, i trasporti avvengono via terra e il centro di distribuzione si trova nella arco di qualche centinaio di chilometri dal luogo in cui avviene la produzione. I tempi di

approvvigionamento dipendono dalla localizzazione dell'impianto di produzione e dai fornitori scelti. Il fornitore, nonostante sia un'azienda tedesca, presenta filiali in tutta Europa e in tutta America (Figura 61); questo però non garantisce una copertura capillare di tutto il territorio. Sono coperte in particolar modo l'Europa sudorientale e l'America orientale e questo deve essere preso in considerazione nel momento in cui si valuta la scelta di adottare l'additive manufacturing per la produzione dei portalampada. A seconda della distanza dal distributore delle polveri ed a seconda delle modalità di spedizione adottate, le quantità di PA2210 FR riordinate di volta in volta potrebbero crescere o decrescere. Anche per l'acquisto delle stampanti si può far riferimento a distributori presenti in tutte le nazioni occidentali, questi offrono anche il supporto e la formazione necessaria all'utilizzo delle apparecchiature stesse [72].



*Figura 61 Distributori EOS in Europa e America (Fonte: EOS GmbH)*

I tempi di produzione tramite additive manufacturing, secondo lo studio di Atzeni (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010), sono di 87.5 ore, più 3 ore di set up e post processamento, per un lotto di 2520 portalampada. Questo infatti rappresenta il numero massimo di portalampada che possono essere realizzati contemporaneamente all'interno della camera di produzione della EOS P390. Considerando l'incremento di prestazioni del nuovo macchinario (più veloce del 27% secondo quanto riportato dalla casa costruttrice) sono necessarie circa 64 ore, più 3 ore di set up e post processamento, per realizzare lo stesso numero di prodotti finiti. Per produrre le stesse quantità di portalampada con le tecniche

tradizionali, considerando la necessità di realizzare i 3 componenti e di effettuare altrettanti cambi di stampo, sarebbero necessarie più di 16 ore. Queste sono calcolate a partire dallo studio di Atzeni che considera un tempo ciclo per lo stampaggio a iniezione di circa 20 secondi a cui vanno aggiunti altri 5 secondi per il taglio del materiale in eccesso ( $T_{\text{ciclo}} = 25$  secondi). Si è ipotizzato, anche facendo riferimento ai produttori analizzati [31], uno stampo a 4 cavità per cui per realizzare 2520 componenti sono necessari 630 cicli di stampaggio a iniezione.

$$N_{\text{cicli di stampaggio}} = \frac{N_{\text{pezzi da produrre}}}{N_{\text{cavità}}} = 630 \text{ cicli}$$

Moltiplicando il numero di cicli di stampaggio necessari per il tempo di un singolo ciclo si ottiene:

$$T_{\text{produzione}} = T_{\text{ciclo}} \cdot N_{\text{cicli di stampaggio}} = 4,3 \text{ ore}$$

Per cui per realizzare uno dei tre componenti del portalampada saranno necessarie più di quattro ore. Questo processo va ripetuto per tutti e tre i pezzi che vanno a formare un prodotto finito e deve essere intramezzato da altrettanti cambi di stampo. Il tempo necessario al cambio dello stampo dipende da una serie di fattori tra cui anche il grado di automazione dei processi che in questo caso è stato supposto basso. Per questo si ipotizza un tempo di circa un'ora ( $T_{\text{cambio stampo}} = 1 \text{ ora}$ ). Sommando i tempi di produzione dei singoli componenti ed aggiungendo i rispettivi tempi necessari allo switch della produzione si ottiene un tempo superiore alle 16 ore. Questo senza contare che le attività di produzione e assemblaggio avvengono su due livelli produttivi differenti per cui vi è la necessità di trasportare le diverse componenti. Sebbene i tempi di produzione attivi siano maggiori con la nuova tecnologia, i vantaggi maggiori della stampa 3D però si hanno nella riduzione dei tempi passivi, ovvero nella riduzione del tempo in cui il prodotto rimane immagazzinato o nel tempo in cui impiega nei trasporti. I tempi di ripianificazione sono brevi perché l'additive manufacturing aumenta la flessibilità (Eyers, Potter, Gosling, & Naim, 2018) produttiva in quanto finché la produzione non è avviata si possono sempre cambiare le quantità del lotto da produrre. Anche a produzione avviata, se la capacità non è satura, è possibile aumentare o ridurla a seconda delle esigenze cancellando o aggiungendo livelli da stampare. Poiché la produzione subisce il reshoring, ovvero si sposta dalla Cina a un paese occidentale, il costo della manodopera cresce. Inoltre, saranno richiesti operatori (progettisti, tecnici, manutentori) specializzati e formati all'utilizzo degli strumenti di stampa 3D a cui naturalmente verrà corrisposta una contribuzione più elevata data la loro esperienza. È anche vero che una volta

avviata la produzione l'operatore può dedicarsi ad altre attività in quanto non vi è la necessità, come nello stampaggio ad iniezione, di supervisionare costantemente la produzione. La sinterizzazione laser selettiva può avvenire anche di notte a fabbrica chiusa. Gli studi precedenti (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) inoltre mostrano che il costo dell'operatore, tra i diversi costi di produzione analizzati, è il meno rilevante rispetto a quelli dei macchinari e del loro ammortamento. Producendo secondo una logica Make to Order non vi è la necessità di utilizzare al massimo la capacità produttiva disponibile ma questa invece verrà adeguata di volta in volta per seguire l'andamento della domanda. Riducendosi i tempi che intercorrono tra la produzione e la vendita, come già detto precedentemente, si ridurrà anche il cash-to-cash cycle time a vantaggio della liquidità disponibile dall'azienda.

### ***P2 Plan Source***

Gli indicatori principali individuati per questo processo riguardano:

- Affidabilità: Consegne fornitore in tempo, Fill rate del fornitore
- Reattività: Tempo ciclo fornitura
- Flessibilità: Flessibilità fornitura

Il fornitore, grazie alle sue filiali ed ai suoi 67 centri di distribuzione [72], può consegnare in breve tempo in ogni parte dell'Europa e dell'America utilizzando prevalentemente trasporto su gomma. Questo permette alle consegne di essere altamente affidabili anche date le distanze in gioco che non risultano eccessive. Lo stesso si può dire del fornitore dei laminati di rame, infatti dal momento che la produzione è tornata onshore non sarà complicato trovare dei fornitori vicini per questo tipo di prodotti [75]. Il fill rate del fornitore delle polveri è alto dato che l'azienda scelta è una multinazionale sviluppata che ha a disposizione grandi quantità di materie prime per i propri clienti. Anche per i laminati di rame è ragionevole supporre che il fill rate del fornitore sia elevato in quanto si tratta di prodotti elementari che vengono realizzati in grande quantità per sfruttare le economie di scala in fase di produzione. Per queste ragioni, ed a seconda della localizzazione dell'impianto produttivo, è stimabile un tempo ciclo di fornitura di 3-6 giorni lavorativi per entrambi i tipi di materie prime utilizzate. La flessibilità di fornitura per le polveri di PA2210 FR è garantita data anche la modularità dei contenitori da 20 kg utilizzati, mentre per i laminati di rame, che sono forniti in grandi bobine, la flessibilità nel poter variare i parametri di fornitura in termini di quantità e tempi può ridursi.

### ***P3 Plan Make***

Per questo processo di pianificazione vengono individuate le seguenti metriche:

- Affidabilità: Rispetto dei piani produttivi previsti
- Flessibilità: Tempo ciclo di produzione

Come già affermato in precedenza il Tempo ciclo di produzione è di 64 ore (più 3 ore di set up e post processamento) per realizzare 2520 portalampada. L'additive manufacturing per la realizzazione di oggetti in materiale polimerico è ormai una tecnologia sviluppata e i dispositivi usati riescono a garantire, con una certa affidabilità, prestazioni costanti nel tempo. Per questo motivo è facile intuire che il rispetto dei piani produttivi previsti non può essere favorito dalla stampa 3D grazie ai tempi ciclo produzione pressoché costanti che facilitano la pianificazione della produzione. Il poter utilizzare tempi morti per la produzione (come ad esempio la notte o le pause) riduce il tempo necessario alla produzione di un lotto. Inoltre, sofisticati sistemi di gestione, che integrano le apparecchiature con i software gestionali presenti in azienda, permettono di pianificare al meglio le attività produttive. Possono esserci delle criticità nel momento in cui vi siano dei guasti o degli errori nella produzione, questi infatti porterebbero al totale o parziale rifiuto del lotto con un conseguente significativo ritardo nella produzione. Per garantire sempre al massimo la prestazione delle sue apparecchiature, il fornitore delle stampanti 3D offre servizi di assistenza e manutenzione ai suoi clienti, questi hanno un costo annuale tra i 20.000\$ e i 25.000\$ a seconda dei servizi inclusi nel pacchetto [76].

### ***P4 Plan Deliver***

In questo caso si individuano le seguenti metriche:

- Affidabilità: Accuratezza delle previsioni di domanda, accuratezza dei tempi di consegna al cliente, Fill Rate
- Costo: Costo totale di spedizione

Dell'accuratezza delle previsioni di domanda si è parlato in precedenza nel paragrafo dedicato alla pianificazione della supply chain. Per quel che riguarda l'accuratezza dei tempi di consegna al cliente, in questo caso il centro di distribuzione, si può affermare che è elevata. La casa madre, tramite un sistema di trasporti proprio, si fa carico delle consegne al centro di distribuzione; ciò garantisce la massima flessibilità e fa sì che non vi siano ritardi se non

in casi eccezionali dovuti a guasti o malfunzionamenti. La localizzazione dell'impianto in prossimità del centro di distribuzione aiuta a ridurre i lead time di trasporto, aumentando di conseguenza l'accuratezza dei tempi di consegna previsti [62]. Poiché la produzione segue una logica Make to Order, il fill rate si riduce notevolmente in questo livello della catena e può raggiungere potenzialmente il livello 0 se non si dispone di scorte per sopperire ed eventuali fluttuazioni improvvise della domanda. Questa politica appare molto rischiosa in quanto eventuali imprevisti che possano bloccare la produzione causerebbero enormi disservizi lungo tutta la filiera; per questo è ragionevole supporre che sebbene si produca MTO si disponga comunque di una certa quantità di riserva di prodotti finiti per compensare eventuali inconvenienti. Per quel che riguarda il costo totale di spedizione questo verrà presentato nelle sue singole voci nei paragrafi successivi

### *Source*

Per le attività di Source si parte individuando gli attributi e le metriche per il Livello 2 del modello SCOR definito in questo caso come Source Stocked Product S1. Per questo tipo di processo si individuano:

- Reattività: Tempo ciclo fornitura
- Flessibilità: Tempi e costi relativi all'accelerazione dei processi di approvvigionamento, consegna, ricezione e trasferimento.
- Costo: Costi di acquisizione del prodotto

La reattività nella fornitura delle materie prime, come già accennato precedentemente, è elevata a causa dei tempi ciclo brevi dovuta alla vicinanza dei fornitori ed alla semplicità delle merci richieste. Il processo di acquisto dei macchinari di stampa 3D merita una menzione a parte, infatti questo più richiede tempi molti lunghi sia a causa delle fasi di studio e progettazione e sia a causa delle fasi di trasporto e installazione. Queste fasi, oltre a richiedere tempo, sono anche costose per la casa madre; il fornitore infatti addebita al cliente i costi di trasporto, che possono diventare anche molto esosi qualora vi sia la necessità di effettuare lunghi viaggi. I costi di installazione che includono oltre alla stessa anche un training base degli operatori ed una manutenzione per 6 mesi si aggirano intorno ai 42.000\$ [76]. Nelle fasi di approvvigionamento è presente una certa flessibilità ma questa è limitata alla disponibilità dei fornitori, non è difficile supporre che vi siano dei costi, più o meno elevati, nel caso si richieda di velocizzare o modificare il processo di fornitura. I costi di acquisizione delle polveri e dei macchinari EOS sono stati presentati in precedenza, mentre

per quel che riguarda il costo dei laminati di rame questo si aggira dai 6 ai 10 \$ al kg a seconda della qualità del materiale scelto [75]. Per questo materiale la concorrenza dei paesi in via di sviluppo, come Cina e India, è elevata ma date le quantità di acquisto in gioco che non sono elevate e data anche la politica di reshoring adottata si ipotizza che i laminati di rame vengano acquistati da un fornitore locale [75].

Vengono ora presentate le singole attività di Livello 3 individuate in fase di mappatura si presentano per ognuna di queste i principali indicatori di performance forniti dal Modello, segue poi l'individuazione del livello di tali performance per il caso in esame.

### ***S1.1 Schedule Product Deliveries***

I principali attributi di performance, con le relative metriche, individuati a partire dal Modello SCOR per questa attività sono:

- Affidabilità: % di programmi generati nei tempi stabiliti del fornitore
- Reattività: Tempo medio di rilascio delle modifiche
- Flessibilità: Tempo medio in giorni per la modifica della pianificazione
- Costo: Costi di gestione e pianificazione in % del costo di acquisto del prodotto

La programmazione delle consegne è fondamentale per garantire il corretto apporto di materie prime alle attività produttive ed anche per non sovraccaricare le risorse adibite al ricevimento merci. La casa madre avvierà una serie di procedure standard per la relazione con i suoi fornitori, in modo tale che l'intero processo avvenga il più linearmente possibile [67]. Tutte queste metriche dovranno essere monitorate per valutare le performance dei fornitori in modo tale da individuare rapidamente eventuali disservizi e difformità. In questa fase di modellazione non si può avere una misura quantitativa di quelle che sono le performance in questa attività, si può invece supporre che i costi di pianificazione siano una percentuale rilevante dei costi di acquisto del prodotto. La casa madre infatti avrà delle risorse dedicata alla gestione dei rapporti con i fornitori, sia in termini di capitale umane sia in termini di software dedicati [62].

## ***S1.2 Receive Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di ricevimento
- Costo: Costi di ricevimento merce in % del costo di acquisto del prodotto

L'affidabilità dei fornitori, in virtù anche del rigido sistema di controllo delle prestazioni degli stessi, è elevata. Si presume che la quasi totalità degli ordini giungerà in tempo, completa e con i documenti corretti. La natura delle materie prime e il loro confezionamento riducono al minimo le probabilità di danneggiamento. Le bobine di rame vengono pallettizzate e protette dagli urti da packaging appositi (Figura 62), mentre le polveri di PA2210 FR sono trasportate in contenitori in plastica da 20 kg (Figura 63). Il ricevimento delle merci è favorito dalla pallettizzazione delle stesse che consente l'utilizzo di carrelli elevatori per la movimentazione delle pedane in ingresso verso l'area di stoccaggio. A seconda delle quantità ordinate, che possono variare magari per sfruttare offerte o calo dei prezzi delle materie prime, il tempo di ricevimento varia. Ciò nonostante è ragionevole ipotizzare che tutte le procedure siano svolte in poche ore. I costi di ricevimento impattano, anche se non in maniera rilevante, in quanto vi sono delle risorse umane e materiali dedicate.



***Figura 62*** Esempio di packaging dei laminati (Fonte: [www.esmhampshire.com](http://www.esmhampshire.com))



*Figura 63* Contenitore utilizzato per la movimentazione delle polveri di PA2210 FR (Fonte: EOS GmbH)

### ***S1.3 Verify Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini ricevuti senza danni, % ordini ricevuti completi, % ordini ricevuti in tempo, % ordini ricevuti con i documenti di trasporto corretti
- Reattività: Tempo di verifica
- Flessibilità: % ricezioni senza controllo qualità
- Costo: Costi di verifica in % del costo di acquisto del prodotto

Dell'affidabilità si è parlato nel paragrafo precedente. Il tempo di verifica della merce in ingresso dipende dal numero test che vengono effettuati per valutare la bontà dei materiali. Sui laminati di rame è possibile effettuare una serie di prove [77], le principali sono qui elencate:

- controlli dimensionali per verificare il rispetto delle specifiche richieste al fornitore principalmente in termini di spessore e larghezza
- analisi chimica sulla purezza del materiale tramite spettrometro
- test di durezza sulle bobine per rilevare eventuali imperfezioni della stessa, variazioni di durezza e avvolgimenti disomogenei, evitando così problemi nelle operazioni di stampa e trasformazione

- test liquidi penetranti per evidenziare e localizzare discontinuità superficiali, quali cricche, porosità, ripiegature su un campione di laminato di rame
- test volti a misurare la conducibilità elettrica del materiale acquistato
- prove meccaniche per verificare l'adempimento alle specifiche richieste in termini di proprietà meccaniche

Il fornitore assicura che ogni lotto delle sue polveri inviato ai clienti viene testato in termini di caratteristiche chimiche, distribuzione uniforme delle dimensioni dei grani ed altre caratteristiche specifiche in base alle esigenze produttive del cliente. Ogni lotto viene accompagnato da un documento (mill test) che certifica la natura delle polveri e mostra al cliente i test effettuati e i risultati degli stessi [72]. Nonostante questo, la qualità delle polveri ha un grande impatto sulla qualità dei prodotti finiti, per questo motivo la casa madre può avere interesse nell'effettuare ulteriori controlli a campione per testare in particolar modo la morfologia delle particelle che deve essere il più uniformemente sferica possibile. Questo per far sì che i vari livelli durante la fase di stampa aderiscano al meglio; inoltre queste devono essere il più piccole possibile in base ai parametri richiesti in modo da non compromettere la densità di stampa. L'utilizzo di materiali molto fini però genera problemi in termini di sicurezza che verranno affrontati più avanti nella trattazione. Molto importante è anche l'umidità presente nelle polveri infatti il tenore in acqua gioca un ruolo di fondamentale importanza nelle caratteristiche meccaniche e dimensionali del prodotto finito. Il poliammide utilizzato deve essere assolutamente privo di umidità per cui è fondamentale andare a misurare questa caratteristica nelle polveri in ingresso. A seconda delle performance dei fornitori è possibile applicare delle politiche volte a non effettuare controlli merce in ingresso (politiche Skip Lot); da questo dipende la % ricezioni senza controllo qualità. Soprattutto per quel che riguarda le polveri di PA2210 FR, dato che si tratta di un sistema "chiuso" in cui il produttore del macchinario si occupa anche della fornitura del materiale, si può presupporre che vi sia minore necessità di un controllo assiduo. I costi di verifica dipendono dal numero di test effettuati e dal numero di lotti controllati, poiché questi richiedono apparecchiature da laboratorio e personale dedicato avranno un impatto piuttosto rilevante sui costi di ricevimento.

### ***S1.4 Transfer Product***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % ordini movimentati senza danni, % ordini movimentati completi, % ordini movimentati in tempo
- Reattività: Tempo di movimentazione
- Costo: Costi di movimentazione merce in % del costo di acquisto del prodotto

La reattività nel ricevimento merce dipende dalle risorse dedicate e dalle quantità per ordine da gestire, in ogni caso dato l'utilizzo di carrelli elevatori e di merce su pallet è ragionevole supporre che i tempi di movimentazione siano esigui e comunque in linea con i tempi medi di una qualsiasi azienda dello stesso tipo. Il PA2210 FR è atossico ma infiammabile per cui saranno necessarie delle disposizioni apposite per lo stoccaggio secondo i termini vigenti in materia di sicurezza antincendio. I fumi prodotti in caso di incendio non sono pericolosi in quanto il materiale deve rispettare le normative aeronautiche ed elettriche precedentemente esplicitate [73]. I costi di movimentazione, nonostante le risorse utilizzate, sono poco influenti sul totale del costo di acquisto del prodotto.

### ***S1.5 Authorize Supplier Payment***

I principali attributi di performance, con relative metriche, di questa attività sono:

- Affidabilità: % fatture processate senza errori
- Costo: Costo per fattura

L'utilizzo di sistemi di fatturazione elettronica [66], obbligatori ormai nella maggior parte dei paesi europei, e di trasmissione dei dati on-line nel caso degli Stati Uniti in cui vige un sistema di tassazione differente, consente di ridurre notevolmente la probabilità di errori, che qualora presenti, possono essere rapidamente corretti. I costi di questi sistemi, dato il volume di affari ed anche i vantaggi che la digitalizzazione comporta, sono trascurabili.

## ***Make***

Per le attività di produzione viene individuata una logica Make to Order in quanto uno dei principali vantaggi dell'additive manufacturing è quello di riuscire a ridurre l'arco di tempo che va dalla produzione alla commercializzazione del prodotto in modo tale da riuscire a produrre on-demand seguendo l'andamento della domanda. Questo porta a definire i processi a Livello 2 con l'elemento SCOR M2 *Make-to-Order* che ha come attributi principali di performance:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna
- Reattività: Tempo cambio produzione
- Flessibilità: Tempo di ripianificazione
- Costo: Costo unitario di produzione, Costi indiretti, Costi operativi impianto, Salario medio operatori, Attività a valore aggiunto
- Assets: Utilizzo capacità produttiva

L'affidabilità della stampa 3D è cresciuta notevolmente negli ultimi anni, i processi sono garantiti sia dal punto di vista della qualità che dal punto di vista dei tempi produttivi. Il fornitore inoltre fornisce al cliente specifici setup del macchinario in base alle richieste dello stesso [72], questo contribuisce a far sì che le fasi di produzione avvengano senza problemi e dunque si possa andare più facilmente incontro al rispetto della data di consegna. La produzione additiva consente la massima reattività produttiva, il non utilizzare stampi rende il flusso produttivo più snello data l'assenza di tempi di cambio degli stampi o di attrezzamento macchina. Il tempo di cambio produzione è praticamente pari a zero e si limita alle sole fasi di scaricamento del lotto appena prodotto e caricamento delle polveri per un nuovo lotto che verranno analizzate più nel dettaglio nei paragrafi successivi. Come affermato più volte la flessibilità è molto superiore rispetto ai metodi tradizionali di produzione, è possibile ripianificare la produzione in breve tempo per adattarla alla domanda. Questo può avvenire istantaneamente intervenendo sui livelli di stampa, qualora vi sia ancora capacità inutilizzata, aggiungendo o eliminando livelli di prodotto finito da realizzare. Secondo lo studio di Tiwari (Tiwari, Pande, Agrawal, & Bobade, 2015) sarebbe possibile ottenere un costo unitario di produzione, per la custodia del portalampada prodotta tramite additive manufacturing, di 1.05 € (pari a 1.16\$). Questo studio però non considera le prestazioni e i prezzi dei nuovi materiali e macchinari disponibili sul mercato. Riprendendo alcune voci di costo e adattandone altre secondo il mercato attuale si è effettuato un

adeguamento degli studi precedenti per ottenere il costo unitario di produzione secondo lo stato dell'arte attuale (Tabella 5). Il costo del macchinario di stampa ( $C_{\text{macchinario}}$ ) è stato ottenuto tramite la richiesta di un preventivo ad un distributore locale. La vita utile del macchinario ( $VU_{\text{macchinario}}$ ) è stata ripresa dagli studi precedenti ed è pari a 5 anni (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010). Tramite questa è stato possibile calcolare l'ammortamento lineare annuale ( $AA_{\text{macchinario}}$ ) come rapporto tra il costo del macchinario e la vita utile dello stesso.

$$AA_{\text{macchinario}} = \frac{C_{\text{macchinario}}}{AA_{\text{macchinario}}} = \frac{500000 \$}{5 \text{ anni}} = 80.000 \$/\text{anno}$$

Le ore macchina sono le ore di effettivo funzionamento della stampante, anche questo sono state riprese dallo studio precedente e fanno riferimento ad un utilizzo di circa il 60% del tempo disponibile in un anno. Per cui le ore macchina ( $O_{\text{macchina}}$ ) saranno pari a 5000 ore/anno. Il costo orario del macchinario ( $CO_{\text{macchinario}}$ ) è dato dal rapporto tra l'ammortamento annuo e le ore macchine annue.

$$CO_{\text{macchinario}} = \frac{AA_{\text{macchinario}}}{O_{\text{macchina}}} = \frac{80.000 \$/\text{anno}}{5000 \text{ ore/anno}} = 16 \$/\text{ora}$$

Del calcolo del nuovo tempo di produzione ( $T_{\text{produzione AM}}$ ) si è parlato precedentemente. Anche il tempo di produzione è stato adeguato alla velocità di produzione del nuovo macchinario mentre il numero di pezzi per lotto ( $N_{\text{lotto}}$ ) è rimasto lo stesso dato che non sono variate le misure della camera di produzione. Il costo del macchinario per lotto ( $CL_{\text{macchinario}}$ ) è dato dal prodotto del tempo necessario a produrre il lotto per il costo orario del macchinario.

$$CL_{\text{macchinario}} = T_{\text{produzione AM}} \cdot CO_{\text{macchinario}} = 64 \text{ ore/lotto} \cdot 16 \$/\text{ora} = 1.024 \$/\text{lotto}$$

Se questo viene poi diviso per la numerosità del lotto si ottiene il costo unitario del macchinario per singolo pezzo prodotto ( $CU_{\text{macchinario}}$ ).

$$CU_{\text{macchinario}} = \frac{CL_{\text{macchinario}}}{N_{\text{lotto}}} = \frac{1.024 \$/\text{lotto}}{2520 \text{ pz/lotto}} = 0.41 \$/\text{pz}$$

Il costo dell'operatore per lotto ( $CL_{\text{manodopera}}$ ) è dato dal prodotto del salario orario ( $CO_{\text{manodopera}}$ ) per il tempo necessario per eseguire le operazioni manuali che in questo caso sono quelle di setup ( $T_{\text{setup}}$ ).

$$CL_{\text{manodopera}} = CO_{\text{manodopera}} \cdot T_{\text{setup}} = 16 \$/\text{ora} \cdot 3 \text{ ore/lotto} = 47 \$/\text{lotto}$$

Se questo viene poi diviso per la numerosità del lotto ( $N_{\text{lotto}}$ ) si ottiene il costo dell'operatore unitario per singolo pezzo prodotto ( $CU_{\text{manodopera}}$ ).

$$CU_{\text{manodopera}} = \frac{CL_{\text{manodopera}}}{N_{\text{lotto}}} = \frac{47 \$/\text{lotto}}{2520 \text{ pz}/\text{lotto}} = 0,018 \$/\text{pz}$$

La massa del nuovo materiale per lotto è pari al volume dei pezzi appena prodotti più il 50% della massa delle polveri contenute nella camera di produzione in quanto gli autori dello studio precedente hanno considerato un tasso di riutilizzo delle stesse pari al 50%. Il costo del materiale per lotto ( $CL_{\text{materiale}}$ ) è dato dal prodotto del costo per kg delle polveri ( $C_{\text{materiale}}$ ) per la masse del nuovo materiale per lotto ( $M_{\text{materiale}}$ )

$$CL_{\text{materiale}} = C_{\text{materiale}} \cdot M_{\text{materiale}} = 70 \$/\text{kg} \cdot 17 \text{ kg} = 1.175 \$/\text{lotto}$$

Se questo viene poi diviso per la numerosità del lotto si ottiene il costo del materiale per singolo pezzo prodotto ( $CU_{\text{materiale}}$ ).

$$CU_{\text{materiale}} = \frac{CL_{\text{materiale}}}{N_{\text{lotto}}} = \frac{1.175 \$/\text{lotto}}{2520 \text{ pz}/\text{lotto}} = 0,47 \$/\text{pz}$$

Sommando le varie voci di costo unitario si ottiene dunque un costo di produzione del case ( $C_{\text{case}}$ ) del portalampada pari a 0.89\$.

$$C_{\text{case}} = CU_{\text{macchinario}} + CU_{\text{manodopera}} + CU_{\text{materiale}} = 0,41 \$/\text{pz} + 0,018 \$/\text{pz} + 0,47 \$/\text{pz} = 0,89 \$/\text{pz}$$

Per ottenere il costo finale di realizzazione del portalampada vanno ancora aggiunti i costi di realizzazione dei contatti di rate ( $C_{\text{contatti}}$ ), i costi di assemblaggio ( $C_{\text{assemblaggio}}$ ) ed i costi di confezionamento ( $C_{\text{confezionamento}}$ ). Il calcolo e la stima di queste voci di costo verranno presentati nei paragrafi successivi ma in questo paragrafo verrà calcolato il costo totale di produzione nel caso TO BE ( $C_{\text{produzione TO BE}}$ ).

$$C_{\text{produzione TO BE}} = C_{\text{case}} + C_{\text{contatti}} + C_{\text{assemblaggio}} + C_{\text{confezionamento}} = 0,89 \$/\text{pz} + 0,02 \$/\text{pz} + 0,01 \$/\text{pz} + 0,10 \$/\text{pz} = 1,03 \$/\text{pz}$$

<i>Voci di costo</i>	<i>Nome</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Atzeni et al. 2010</i>	<i>TO BE</i>
Costo macchinario EOS	C <sub>macchinario</sub>	\$	554.285	400.000
Vita utile macchinario	VU <sub>macchinario</sub>	anni	5	5
Ammortamento	AA <sub>macchinario</sub>	\$/anno	110.857	80.000
Ore macchina	O <sub>macchina</sub>	ore/anno	5000	5000
Costo orario macchinario	CO <sub>macchinario</sub>	\$/ora	22	16
Tempo produzione lotto	T <sub>produzione AM</sub>	ore	88	64
Costo macchinario per lotto	CL <sub>macchinario</sub>	\$	1.940	1.024
Pezzi per lotto	N <sub>lotto</sub>	pz	2520	2520
<b>Costo macchinario per pezzo</b>	<b>CU<sub>macchinario</sub></b>	<b>\$/pz</b>	<b>0,77</b>	<b>0,41</b>
Costo operatore orario	CO <sub>manodopera</sub>	\$/ora	16	16
Tempo set up + post processi	T <sub>setup</sub>	ora	3	3
Costo operatore per lotto	CL <sub>manodopera</sub>	\$/lotto	47	47
<b>Costo operatore per pz</b>	<b>CU<sub>manodopera</sub></b>	<b>\$/pz</b>	<b>0,018</b>	<b>0,018</b>
Costo materiale	C <sub>materiale</sub>	\$/kg	60	70
Massa nuovo materiale per lotto	M <sub>materiale</sub>	kg	17	17
Costo materiale per lotto	CL <sub>materiale</sub>	\$/lotto	1.004	1.175
<b>Costo materiale per pz</b>	<b>CU<sub>materiale</sub></b>	<b>\$/pz</b>	<b>0,40</b>	<b>0,47</b>
<b><i>Totale custodia</i></b>	<b>C<sub>case</sub></b>	<b>\$/pz</b>	<b>1,19</b>	<b>0,89</b>
Costo contatti	C <sub>contatti</sub>	\$/pz		0,02
Costo assemblaggio	C <sub>assemblaggio</sub>	\$/pz		0,01
Costo confezionamento	C <sub>confezionamento</sub>	\$/pz		0,10
<b><i>COSTO PRODUZIONE TOTALE</i></b>	<b><i>C<sub>produzione</sub></i></b>	<b><i>\$/pz</i></b>		<b><i>1,03</i></b>

*Tabella 5 Calcolo costi di produzione*

I costi indiretti sono altamente rilevanti e impattano per circa il 58.7% (0.77\$/pz) dei costi di produzione secondo le analisi precedenti (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) e per il 46% (0,41 \$/pz) dei costi di produzione secondo le nuove analisi effettuate. La riduzione dell'impatto di questi costi è dovuta alla diminuzione del prezzo di acquisto del macchinario di stampa 3D. I costi operativi dell'impianto non sono stati presi in considerazione negli studi precedenti, ma considerando il consumo elettrico dichiarato dalla EOS di 2kW e le ore 5000 ore di utilizzo annue si ha un consumo di 10000kWh annui. Con un costo medio dell'elettricità in Europa pari a 0.25\$ per kWh si ha 2.500\$ all'anno di energia elettrica. Questo costo non è rilevante ai fini della trattazione in quanto nel caso di utilizzo di macchinari tradizionali è stato trascurato. Rilevante è invece il costo diretto del materiale, questo impatta per il 30.4% (0.4\$/pz) dei costi di produzione secondo le analisi precedenti (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) e per il 52% (0.47\$/pz) dei costi di produzione secondo le nuove analisi effettuate. Ciò è dovuto alla crescita rilevata del prezzo del PA2210 FR, questa crescita può essere determinata dalla crescita della domanda per questo tipo di materiale data la sua notevole applicazione in campo aeronautico ed elettrico. Il salario medio degli operatori preso come riferimento nell'analisi è lo stesso ipotizzato negli studi precedenti (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010), ovvero un salario pari a 15.51 \$/ora. Come anticipato nel corso dei paragrafi precedenti, l'utilizzo dell'additive manufacturing permette di ridurre quelle che sono le attività non a valore aggiunto nel corso dell'intera supply chain. Il reshoring permette di ridurre i tempi di trasporto e i tempi di stoccaggio che si interponevano tra la produzione dei portalamпада e la loro vendita al cliente finale. La stampa 3D aumenta i tempi a valore aggiunto in quanto aumenta il tempo effettivo di produzione ma riduce le attività di montaggio dei portalamпада in quanto questi vengono realizzati in un unico componente. La produzione Make to Order fa sì che non vi sia sovrapproduzione di prodotti che vanno a riempire i magazzini in attesa di raggiungere il centro di distribuzione. L'utilizzo della capacità produttiva è regolato dall'andamento della domanda, data però la crescita del tempo di produzione è presumibile che il macchinario venga adeguatamente sfruttato per consentire la realizzazione di un numero adeguato di portalamпада. Nel complesso la capacità produttiva complessiva è ridotta rispetto a quella dello stampaggio a iniezione (nel caso dell'utilizzo di una sola EOS P396 è possibile produrre fino a circa 29000 portalamпада al mese), ma la casa madre dovrà produrre i portalamпада per rispondere alla sua domanda mentre i fornitori cinesi producono portalamпада per rispondere alla domanda di più imprese. Qualora sia necessario aumentare la produzione è sempre possibile acquistare ulteriori stampanti 3D.

### ***M2.1 Schedule Production Activities***

Per questa attività si identificano le seguenti metriche:

- Affidabilità: % ordini programmati secondo le richieste dei clienti
- Flessibilità: Intervallo di ripianificazione
- Assets: Utilizzo capacità produttiva

Dato che la politica scelta per programmare la produzione segue la domanda la % ordini programmati secondo le richieste dei clienti è elevata infatti la quasi totalità degli ordini verrà eseguita per rispondere a richieste del mercato e non per aumentare i livelli di giacenza. L'intervallo di ripianificazione della produzione più ragionevole è la settimana, questo appare un buon compromesso tra la possibilità di seguire puntualmente la domanda e i vincoli produttivi e di pianificazione. Dell'utilizzo della capacità produttiva si è parlato nel paragrafo precedente.

### ***M2.2 Issue Sourced/In-Process Product***

A questo livello si identificano i seguenti indicatori di performance:

- Affidabilità: Accuratezza livelli magazzino
- Costo: Obsolescenza inventario, Copertura in giorni del magazzino
- Assets: Tempo Cash-to-cash

L'accuratezza dei livelli di magazzino è alta e garantita dall'utilizzo di procedure e strumenti volti ad aumentare questo indice di affidabilità. Barcode, software dedicati e inventari periodici consentono di tenere in costante osservazione i livelli di materie prime al fine di evitare dannosi stock out che fermerebbero la produzione [62]. L'obsolescenza dell'inventario è pressoché nulla a causa della natura delle materie prime che non deperiscono nel breve e medio termine se correttamente conservate al riparo dell'umidità. È ragionevole ipotizzare che la copertura del magazzino sia alta, il rame ha una quotazione variabile nel tempo [78] e la casa madre può sfruttare ribassi nel prezzo di questa materia prima e acquistarne grandi quantità. Le polveri di poliammide possono essere rifornite a intervalli regolari secondo gli accordi presi con il distributore e secondo la sua localizzazione rispetto il centro di distribuzione. Una localizzazione più vicina può favorire ordini ridotti ma più frequenti mentre una localizzazione più lontana genera ordini più grandi e meno frequenti. In ogni caso è sarebbe opportuno garantire almeno dalle 3 alle 4 settimane

produttive con le materie prime immagazzinate. Il tempo cash-to-cash si riduce come già spiegato precedentemente in quanto si riduce il tempo che intercorre tra la produzione e la vendita.

### ***M2.3 Produce and Test***

Le principali metriche per questa attività sono:

- Affidabilità: Tasso di scarti, guasti di processo
- Reattività: Tempo ciclo, tempo di riattrezzaggio
- Costo: Valore aggiunto, produttività
- Assets: Utilizzo capacità produttiva, ROI

L'affidabilità dei processi di additive manufacturing è cresciuta nel corso degli anni e continuerà a crescere nei prossimi anni seguendo gli sviluppi scientifici che verranno che si concentrano nell'individuare in-situ e correggere eventuali errori produttivi [79]. Resta di fatto che la possibilità che nascano dei difetti nei pezzi finiti è una criticità del processo di Sinterizzazione laser selettiva. Secondo uno studio su questo tema (Zhang, Li, & Bai, 2017) le più comuni tipologie di difetti sono di tre tipi: porosità sferiche, fori dovuti a fusione incompleta e crepe. Lo studio prosegue evidenziando che molti parametri di processo, come la potenza del laser, la velocità di scansione, lo spazio tra le particelle, lo spessore degli strati e la strategia di scansione, hanno un'influenza significativa sulla formazione dei difetti. La parametrizzazione della stampante fornita dal fornitore appositamente per l'applicazione utilizzata dall'azienda, in questo caso utilizzo di PA2210 FR per la produzione di portalampada, nonché l'assistenza della stessa azienda aiuta a ridurre la possibilità di realizzare prodotti che presentano difetti dovuti alla cattiva impostazione del processo [72]. Inoltre, l'apparato consente di monitorare in tempo reale ed anche da remoto, tramite il software integrato, i parametri di stampa scelti. Vi sono anche una serie di programmi che aiutano a ridurre la possibilità di difetti dovuti alla conversione del file CAD nel file di stampa destinato alla stampante [72]. Questo aiuta a ridurre il tasso di scarti che può essere paragonabile a quello dei processi tradizionali di stampaggio a iniezione. Di conseguenza anche i guasti di processo sono ridotti grazie al continuo monitoraggio dei parametri di stampa ed al supporto continuo dell'azienda produttrice [79]. Nonostante questo, dato che la tecnologia SLS è piuttosto "recente", è possibile aspettarsi alcune criticità soprattutto nei primi lotti produttivi al fine di ottimizzare tutti le impostazioni da utilizzare. Del tempo ciclo necessario alla realizzazione di un lotto di portalampade si è già parlato precedentemente, in

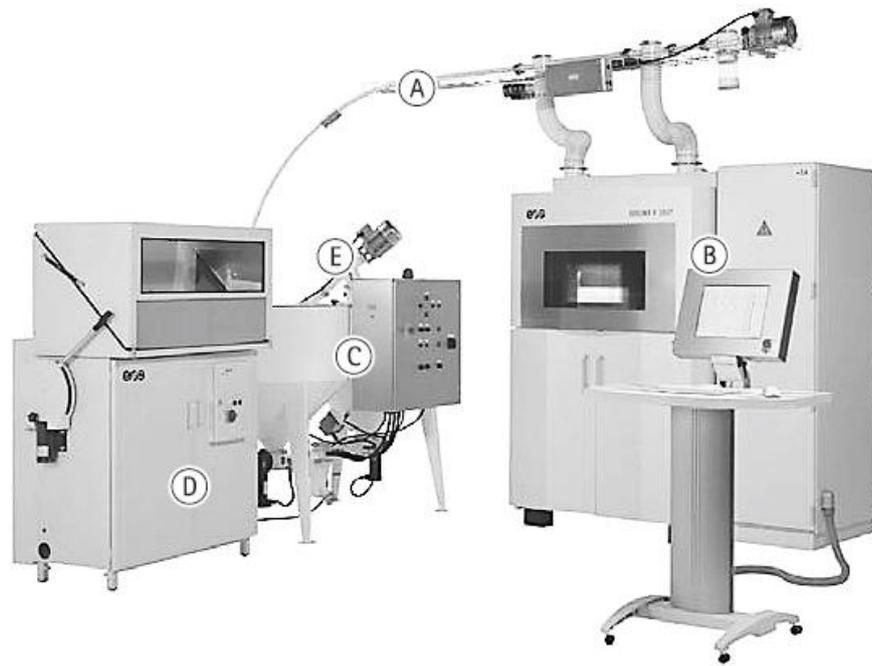
questo paragrafo si approfondiranno i tempi e le attrezzature di post processamento necessarie che impiegano un tempo di circa tre ore. Una prima operazione necessaria è la rimozione della camera di produzione, questa movimentazione avviene generalmente manualmente tramite dei carrelli appositamente ideati dalla dall'azienda fornitrice delle stampanti 3D (Figura 64).



**Figura 64** Carrello utilizzato per la movimentazione della camera di produzione (Fonte: EOS GmbH)

Una volta rimossa la camera di produzione e dopo aver atteso un certo tempo che questa si raffreddi, le polveri contenute in essa vanno depositate in un'apposita area utilizzata per rimozione delle polveri in eccesso (spesso tramite sistemi ad aria compressa) al fine di estrarre i portalamпада finiti [80]. A questo si aggiungono una serie di attività dovute alla movimentazione delle polveri ed al loro trattamento al fine del riutilizzo. Le polveri vengono infatti setacciate ed analizzate per garantirne la qualità e la possibilità di riutilizzarle in successivi lotti produttivi. Ulteriori processi come sabbiatura o rivestimento con vernici non sono necessari dato che i portalamпада non vengono installati in posizioni visibili dall'utente

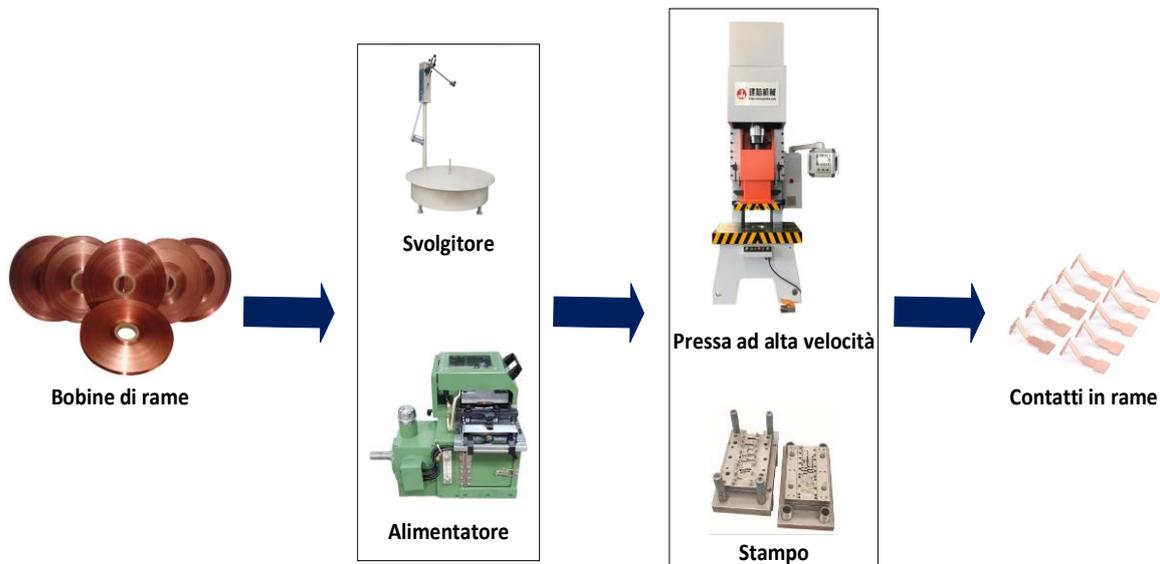
ma all'interno di plafoniere per cui ulteriori lavorazioni estetiche sono solo un costo. Laddove ciò diventi necessario è possibile rendere le superfici più lisce utilizzando macchinari di burattatura che consentono di trattare più pezzi contemporaneamente ad un costo ridotto data la semplicità della lavorazione stessa [81]. Le attività dei post processamenti sono facilitate e rese più veloci dall'utilizzo di appositi accessori per la movimentazione delle polveri e per l'unpack del lotto appena prodotto. Esistono diverse soluzioni modulari che consentono di eseguire le operazioni necessarie allo scarico del lotto ed al riutilizzo di parte delle polveri secondo le specifiche del costruttore [80]. Esistono accessori completamente manuali, utili per la movimentazioni di piccoli lotti, ed altri completamente automatici con sistemi pneumatici per la movimentazione delle polveri. Nel caso di studio in esame si suppone l'utilizzo di un sistema intermedio offerto dalle EOS che prende il nome di Integrated Process Chain Management (IPCM) (Figura 65). Questo sistema offre il refill automatico delle polveri, una stazione di unpacking ad aria compressa ed un sistema di setaccio delle polveri [80]. Utilizzando l'IPCM è possibile preparare un'ulteriore camera di produzione in modo da parallelizzare i processi e rendere ancora più rapidi i tempi di riattrezzaggio della stampante che si riducono così a pochi minuti per posizionare la nuova camera di produzione. Un altro vantaggio di questo sistema è la sua modularità, nel caso in cui la casa madre voglia ampliare la capacità produttiva installando un ulteriore stampante, è possibile adattare il sistema per servire più macchinari contemporaneamente [80].



- |   |                 |   |                               |
|---|-----------------|---|-------------------------------|
| A | Spiral conveyor | D | Unpacking and sieving station |
| B | Machine         | E | Recycled powder conveying     |
| C | Dosing station  |   |                               |

**Figura 65** Schema IPCM EOSINT P3 (Fonte: EOS GmbH)

La soluzione fornita è composta da una stazione di unpackaging del lotto, questa contiene al suo interno una sistema di setaccio delle polveri al fine di mantenerne le qualità per i successivi utilizzi. Le poveri da riutilizzare passano nella stazione di dosaggio in cui convergono sia le poveri nuove che le polveri usate al fine di creare il giusto mix per il successivo lotto produttivo. Un sistema a spirale permette di rifornire automaticamente la stampante 3D [80]. I contatti elettrici invece vengono realizzati come nella supply chain AS IS ovvero tramite punzonatrici ad alta velocità che tagliano e formano le bobine di laminati di rame (Figura 66).



*Figura 66 Schema impianto produzione contatti*

In questo caso i tempi di produzione sono molto brevi ed in poche ore è possibile produrre grandi quantità di tali componenti, i macchinari possono operare anche a 800 corse al minuto [82]. Per ogni tipo di portalamпада è necessario produrre gli appositi contatti opportunamente sagomati, per cui la casa madre può utilizzare lo stesso macchinario ma con stampo diverso per realizzare questo tipo di componenti. Ciò comporta tempi di riattrezzaggio maggiori ma comunque non eccessivi in quanto si tratta di un processo “a freddo” che non richiede particolari accortezze nel cambio dello stampo. Date le dimensioni del tipo di componente e la natura del processo produttivo è ragionevole che i contatti vengano prodotti a lotti e che vengano stoccati in attesa dell’assemblaggio. Il costo di produzione dei contatti in rame ( $C_{\text{contatti}}$ ) è ipotizzato pari al caso AS IS ovvero a 0,01 \$/pz. Una volta che le custodie sono state realizzate è possibile assemblare i portalamпада. Il processo è semplice e non richiede particolari attrezzature per cui la principale e unica fonte di costo considerata è il costo dell’operatore addetto che inserisce i contatti all’interno della custodia. L’utilizzo dell’additive manufacturing consente la produzione della custodia in un unico componente; questo è uno dei più grandi vantaggi, riconosciuti in letteratura, di questa tecnologia. Il poter consolidare più componenti in un unico oggetto finito consente di semplificare e velocizzare non solo le attività di assemblaggio ma anche l’intera gestione della catena produttiva e logistica data la riduzione degli elementi in gioco. Nel caso di studio i tempi di assemblaggio si riducono del 66% passando dai 9 ai 3 secondi (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010), in questo modo i costi di assemblaggio diventano confrontabili a

quelli che si hanno nella supply chain che vede l'utilizzo di fornitori asiatici che sono pari a circa 0.01 \$/pz (Tabella 6). Il costo di assemblaggio è stato calcolato come il prodotto tra il costo di manodopera orario e il tempo necessario ad assemblare il portalamпада (T<sub>assemblaggio TO BE</sub>).

$$CU_{\text{manodopera TO BE}} = CO_{\text{manodopera TO BE}} \cdot T_{\text{assemblaggio TO BE}} = 15,5 \text{ \$/ora} \cdot 3 \text{ secondi} = 0,01 \text{ \$/pz}$$

<i>Voci di costo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>AS IS</i>	<i>TO BE</i>
Costo manodopera orario	\$/ora	3,5	15,5
Tempo di assemblaggio	secondi	9	3
<b>Costo di assemblaggio</b>	<b>\$/pz</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

*Tabella 6 Confronto costi di assemblaggio*

In questa fase delle attività si ha il massimo valore aggiunto dato che avviene la vera e propria produzione dei portalamпада. Queste fasi sono le principali in un sistema produttivo che utilizza l'additive manufacturing in quanto sono ridotti i tempi e le attività non a valore aggiunto come trasporti, stoccaggi e movimentazioni interne. La produttività, in confronto allo stampaggio a iniezione è molto ridotta, la produttività della EOS P369 nel caso di studio è di poco superiore a 1kg/h [71] mentre secondo alcuni studi (Gutowski et al., 2009) i tassi per lo stampaggio a iniezione possono raggiungere i 100 kg/h, ben due ordini di grandezza superiori. Questi valori di molto inferiori possono essere compensati dal fatto che i processi produttivi tramite additive manufacturing possono prendere luogo anche in momenti in cui generalmente non si produrrebbe come la notte, le festività e i fine settimana. Inoltre, grazie alla stampa 3D è possibile produrre più tipologie di portalamпада contemporaneamente creando così un mix produttivo ottimale per rispondere alle esigenze del mercato ed aumentare così la produttività complessiva. Delle performance rispetto agli asset si è già parlato precedentemente, si può aggiungere che valutare la redditività di un investimento in additive manufacturing solo dal punto di vista economico è riduttivo. Nell'analisi dovrebbero rientrare una serie di fattori, spesso trascurati o posti in secondo piano, che riguardano la sostenibilità ambientale, la riduzione degli scarti, dei magazzini, dei trasporti e delle emissioni inquinanti. I test effettuati sui portalamпада, una volta realizzati e assemblati, sono del tutto simili a quelli della supply chain AS IS; questi vengono effettuati a campione ed hanno come obiettivo quello di assicurare la qualità della produzione. Particolare attenzione dovrà essere riservata alla custodia realizzata tramite stampa 3D per

garantirne in particolar modo le proprietà meccaniche e di utilizzo. Le prove servono anche per ottenere le relative certificazioni in termini di sicurezza elettrica in modo da assicurare la commerciabilità del prodotto finito.

#### ***M2.4 Package***

Rilevanti per questa attività sono le metriche di:

- Reattività: Tempo di confezionamento
- Costo: Costo di confezionamento, scarti di materiale

Dato che la produzione è destinata alla vendita è possibile confezionare direttamente i portalamпада negli imballaggi destinati ai clienti; questi sono dello stesso tipo di quelli presentati nel caso AS IS ovvero scatole dai 10 ai 20 portalamпада o blister da 2 portalamпада. La produzione materiale degli imballaggi (cartoni e blister) necessari verrà affidata ad una ditta esterna [83] che rifornirà la casa madre, quest'ultima si farà carico del confezionamento vero e proprio. Il design delle confezioni verrà specificato al momento in cui verranno stabiliti i termini di fornitura e dovrà integrare tutte le informazioni necessarie alla descrizione del prodotto. Il costo di queste confezioni si aggira intorno ai 10 centesimi di dollaro a seconda del design scelto e del tipo di materiale usato [84]; si ipotizza anche in questo caso l'imballaggio in blister. Il confezionamento avviene dopo che i portalamпада sono stati assemblati, i tempi di confezionamento sono del tutto analoghi a quelli del caso AS IS, ovvero a circa 352 secondi. I costi invece subiranno delle variazioni a causa del maggiore costo della manodopera e del costo del cartone che si aggira intorno a 1 \$ per scatola [85].

$$T_{\text{confezionamento}} = 2208 \text{ secondi}$$

$$C_{\text{manodopera}} = 15,5 \text{ \$/ora}$$

$$C_{\text{manodopera confezionamento}} = \frac{T_{\text{confezionamento}} \cdot C_{\text{manodopera}}}{\text{Numero pezzi per cartone}} = 0,048 \text{ \$/pz}$$

Considerando anche il costo dei blister e dei cartoni e ripartendoli sul singolo portalamпада si ottiene:

$$C_{\text{blister}} = 0.05 \text{ \$/pz}$$

$$C_{\text{cartone}} = 0,005 \text{ \$/pz}$$

per cui il costo totale di confezionamento è pari a:

$$C_{\text{confezionamento TO BE}} = C_{\text{manodopera confezionamento}} + C_{\text{blister}} + C_{\text{cartone}} = 0,10 \text{ \$/pz}$$

Il design rivisto dei portalamпада porta ad una riduzione di peso degli stessi da 9 a circa 3 grammi, questo influisce sul peso finale dei colli che si riduce a circa 5 kg per cartone. La riduzione del peso finale dei prodotti ottenuta tramite l'additive manufacturing porta a vantaggi in termini di costi di spedizione e di impatto ambientale infatti dei colli più leggeri fanno sì che le che vi sia un minor consumo di carburante dei mezzi utilizzati per i trasporti con conseguenti risparmi di costi e di emissioni nocive. Anche nel caso in cui i prodotti vengano confezionati in blister si farà affidamento su fornitori esterni che si occuperanno di realizzare gli imballaggi secondo il design e le specifiche scelte dalla casa madre. Questi poi verranno termosaldati tramite un apposito macchinario a disposizione dell'azienda. La maggiorazione del costo è dovuta principalmente al maggior costo della manodopera, ciò nonostante il seguente tipo di imballaggio è indispensabile per alcuni canali di vendita come la GDO (Grande Distribuzione Organizzata) e grazie alla possibilità di personalizzarne il design aiuta a catturare l'attenzione dei clienti.

### ***M2.5 Stage Finished Product***

Per questa attività si individuano le seguenti metriche principali:

- Affidabilità: Tempo di stoccaggio
- Costo: Costo di giacenza

Il tempo di stoccaggio all'interno dell'impianto di produzione è minimo in virtù anche del fatto che la produzione segue una logica Make to Order, è presumibile che gli ordini del centro di distribuzione, una volta prodotti e confezionati, vengano spediti il prima possibile. Per questo motivo il tempo di stoccaggio dei portalamпада non dovrebbe superare la settimana lavorativa in quanto questa è stata considerata come intervallo di riordino e di produzione. Il costo di giacenza è considerato uguale a quello del caso AS IS (10% del costo del prodotto finito) anche se è presumibile che date le minori quantità immagazzinate vi sia una riduzione di tali costi. Infatti, uno dei principali vantaggi dell'additive manufacturing è quello di produrre "on demand", ciò consente di ridurre gli stock di prodotto finito e di conseguenza di ridurre le singole voci che incorrono nel formare il costo di giacenza complessivo. Avere minori quantità in magazzino porta ad avere minori quantità di capitale immobilizzato, minori tasse, minore costi di movimentazione e gestione dei locali adibiti e

mino rischio di obsolescenza e deteriorazione delle merci. Nel caso dei produttori asiatici si hanno grandi quantità di prodotto finito a magazzino per rispondere ai lunghi lead time di trasporto che generano ordini numerosi. In questo caso invece la produzione può seguire più fedelmente la domanda, senza distorsioni dovute alla distanza od alla natura tecnologica del processo produttivo tradizionale che porta a grandi lotti di produzione.

## ***Deliver***

### ***D2 Deliver Make-to-Order Product***

Le diverse attività che hanno a che fare con la spedizione dei portalampada dall'impianto produttivo verso il centro di distribuzione vengono modellate dal processo SCOR *D2 Deliver Make-to-Order Product*; questa scelta è motivata dall'adozione della stessa politica per la produzione. Le indicazioni riguardo gli indicatori di performance fornite dal modello portano ad individuare le seguenti metriche per il Livello 2:

- Affidabilità: Rispetto delle date di consegna, correttezza degli ordini
- Reattività: Tempo di spedizione stimato ed effettivo
- Costo: Costo di gestione delle spedizioni
- Assets: Copertura in giorni del magazzino prodotti finiti

L'affidabilità del processo di spedizione intesa come rispetto delle date di consegna e correttezza degli ordini è molto elevata. I trasporti hanno poca influenza sul rispetto delle date stabilite in quanto questi sono brevi ed avvengono su gomma [62]. Molto influenti invece sono le attività produttive e le disponibilità a magazzino che potrebbero causare rotture di stock; mentre i trasporti, a meno di particolari imprevisti, non hanno un grande impatto sulla puntualità delle consegne. Anche la percentuale di correttezza degli ordini è elevata in quanto questi sono gestiti internamente dalla casa madre ed il processo di preparazione degli stessi non è complesso. Queste ed altre ragioni portano a supporre che il tempo di spedizione stimato in pratica coincida con quello effettivo e segua gli intervalli di riordino stabiliti dall'azienda che sono supposti settimanali. La reattività dunque dipende principalmente dalla distanza tra gli impianti e il centro di distribuzione che come anticipato non supera qualche centinaio di chilometri per cui i tempi di trasporto non superano la giornata lavorativa. I costi di gestione delle spedizioni sono tutti interni in quanto si è presupposto che queste vengano effettuate utilizzando asset a disposizione dell'azienda, per cui l'ammontare di tali costi dipende dalla quantità di risorse che la casa madre decide di

destinare a tali attività. Vi sarà sicuramente una funzione aziendale destinata a tali mansioni che richiederà personale e risorse computazionali e poi vi saranno sicuramente dei mezzi di trasporto e di movimentazione delle merci. Dunque, a questo livello tali spese possono diventare importanti qualora vi sia un eccesso di risorse attribuite a tali processi. Data la flessibilità offerta dalla stampa 3D si possono produrre i portalampada praticamente seguendo la domanda dei clienti, ciò come già detto aiuta a ridurre le quantità stoccate in magazzino. Per questo, ed anche per la riduzione dell'intervallo di riordino, la copertura in giorni del magazzino prodotti finiti è molto ridotta e si limita a coprire eventuali picchi di domanda inaspettati. Questi ultimi sono molto ridotti anche perché dato il minore intervallo tra il consumo e la produzione si possono effettuare delle previsioni di domanda molto più precise. Per cui è ragionevole supporre che la casa madre non disponga di quantità a magazzino che eccedono la domanda media di uno o due intervalli di riordino per ridurre i rischi di eventuali stock out. In ogni caso la tecnologia additiva consente di coprire rapidamente con la produzione eventuali picchi di domanda dato che questa può avvenire anche di notte o nei fine settimana. Si procede ora all'analisi delle singole attività di Livello 3 che compongono i processi Deliver.

### ***D 2.2 Receive, Configure, Enter & Validate Order***

Le metriche che si identificano per l'attività di ricezione degli ordini sono:

- Reattività: Tempo di registrazione ordine
- Costo: Costo di registrazione ordine

La reattività, intesa come tempo di registrazione ordine è massima nel caso in cui vengano utilizzati sistemi informativi EDI che consentono la trasmissione istantanea degli ordini [66]. Inoltre, nel caso in cui la casa madre abbia la visibilità delle quantità di portalampada a disposizione del centro di distribuzione potrebbero innescarsi ulteriori logiche di gestione degli ordini come ad esempio che sia la stessa casa madre a stabilire le quantità da produrre e spedire a valle. I sistemi produttivi che adottano l'additive manufacturing, in particolare quelli del fornitore scelto in questo caso di studio, sono connessi in rete e presentano una serie di programmi e servizi che consentono il controllo in remoto della produzione [79]. Per questo è possibile raggiungere uno schema di ricezione ordini ed avvio della creazione dei portalampada completamente automatico, le richieste del centro di distribuzione potrebbero essere processate direttamente dalla stampante 3D che, se già caricata della materia prima, potrebbe avviare autonomamente la produzione in qualsiasi momento. Questo è un ulteriore

vantaggio offerto da questa tecnologia che non necessita della supervisione in loco da parte di alcun operatore; ciò consentirebbe di ridurre ulteriormente i tempi che intercorrono tra la ricezione di un ordine e il soddisfacimento dello stesso. I costi dipendono dai sistemi utilizzati per la registrazione degli stessi e dal personale dedicato, nel caso di elevata automazione saranno sempre più rilevanti i costi degli impianti hardware e software rispetto a quelli degli addetti fisici alle operazioni.

### ***D 2.3 Reserve Resources & Determine Delivery Date***

Questa attività ha come attributi e metriche di performance principali:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata
- Assets: Utilizzo capacità produttiva

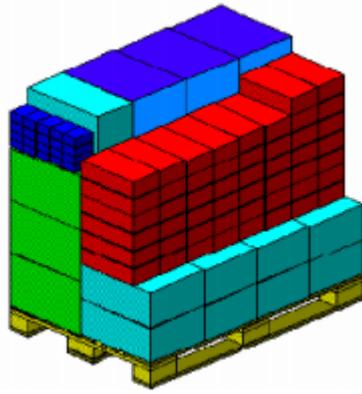
Come detto in precedenza l'attribuzione dei singoli ordini di produzione ai macchinari di stampa può avvenire anche in modo automatico; da quel momento poi sarà possibile stabilire con un'ottima precisione quelli che saranno i tempi necessari al completamento del lotto produttivo. Per questo e per le motivazioni espresse più su l'affidabilità del processo di consegna è elevato ed il rispetto delle date di consegna stimate è garantito salvo particolari imprevisti che esulano dalla normale programmazione. Dell'utilizzo della capacità produttiva si è ampiamente parlato nel paragrafo dedicato al processo Make.

### ***D 2.4 Consolidate Orders***

L'attività ha come metrica principale:

- Costo: Costo di distribuzione

Poiché le consegne avvengono tramite mezzi di proprietà della casa madre è ragionevole supporre che questa opti per la consolidazione degli ordini di più prodotti diversi al fine di ottimizzare l'utilizzo dei mezzi. Non solo i diversi tipi di portalampada, ma anche gli altri apparecchi elettrici realizzati dalla casa madre andranno a formare l'ordine di spedizione diretto al centro di distribuzione. A seconda dei volumi dei colli da trasportare verrà utilizzato il mezzo di trasporto più adeguato tra furgone o autotreno. Ciò fa sì che sia anche possibile formare dei pallet multi-referenza che trasportano più prodotti diversi (Figura 67).



*Figura 67 Esempio di pallet multi-referenza [86]*

Nei costi di distribuzione rientrano una serie di voci di costo che esulano dallo scopo di questa analisi, basti pensare ai costi sostenuti dalla casa madre per sviluppare i propri canali commerciali, al costo dei venditori ai costi per il marketing fino al costo della distribuzione fisica del prodotto. Di interesse sono solo quelli aspetti che vengono influenzati dall'adozione del nuovo sistema produttivo. Riducendosi i livelli della supply chain i costi di distribuzione a monte si riducono di conseguenza, mentre la catena distributiva a valle non risente particolarmente, in questo caso, dell'adozione dell'additive manufacturing. L'unica voce che può essere influenzata è quella legata alla distribuzione fisica del prodotto; come già detto la riduzione del peso dei portalamпада fa sì che si possano ottenere dei vantaggi sul consumo di carburante e sull'emissione di gas inquinanti.

### ***D2.8 Pick Staged Product***

Per questa attività vengono considerate le seguenti metriche:

- Affidabilità: On Time In Full (OTIF)
- Reattività: Completamento produzione in tempo per le spedizioni

Una volta prodotti, assemblati e confezionati i portalamпада restano in attesa di essere spediti nel magazzino prodotti finiti. Il giorno in cui avviene la spedizione fisica, gli operatori, si faranno carico di prelevare la merce per posizionarla sui mezzi. Queste operazioni possono avvenire tramite carrelli elevatori o tramite transpallet manuali a seconda dei volumi e del peso delle singole unità di carico [62]. L'indicatore On Time In Full (OTIF) ovvero la percentuale di ordini evasi nel rispetto dei tempi stabiliti e nel rispetto delle quantità ordinate è molto elevato. Il completamento della produzione in tempo per le

spedizioni dipende sostanzialmente dalle quantità richieste e dalle stampanti 3D a disposizione. Nonostante i tempi produttivi siano più elevati rispetto allo stampaggio a iniezione il prodotto è pronto per l'assemblaggio. Qualora la domanda lo necessiti è sempre possibile ampliare il parco macchine per aumentare i volumi produttivi e non incorrere in mancate vendite.

### ***D 2.9 Load Vehicle, Generate Shipping Documentation, Verify Credit, & Ship Product***

Vengono individuati i seguenti attributi di performance con relative metriche:

- Affidabilità: Rispetto data di consegna stimata, Perfect Order Fulfillment (POF)

Questa attività include il caricamento materiale dei mezzi di trasporto e la generazione dei documenti necessari al trasporto; molti di questi sono ormai redatti e trasmessi telematicamente al fine di semplificare le operazioni [66]. Non appena la merce è pronta sul camion questo può partire alla volta del centro di distribuzione. L'affidabilità di tali operazioni è elevata anche perché svolta internamente senza affidarsi a corrieri esterni. Il POF dipende anche dalla quantità di codici prodotto diversi gestiti dalla casa madre ed anche dalle risorse e dall'attenzione destinata alla preparazione degli ordini. Dato che comunque si tratta di un'azienda sviluppata si può supporre che vi sia una bassa probabilità di effettuare errori nell'allestimento di un ordine.

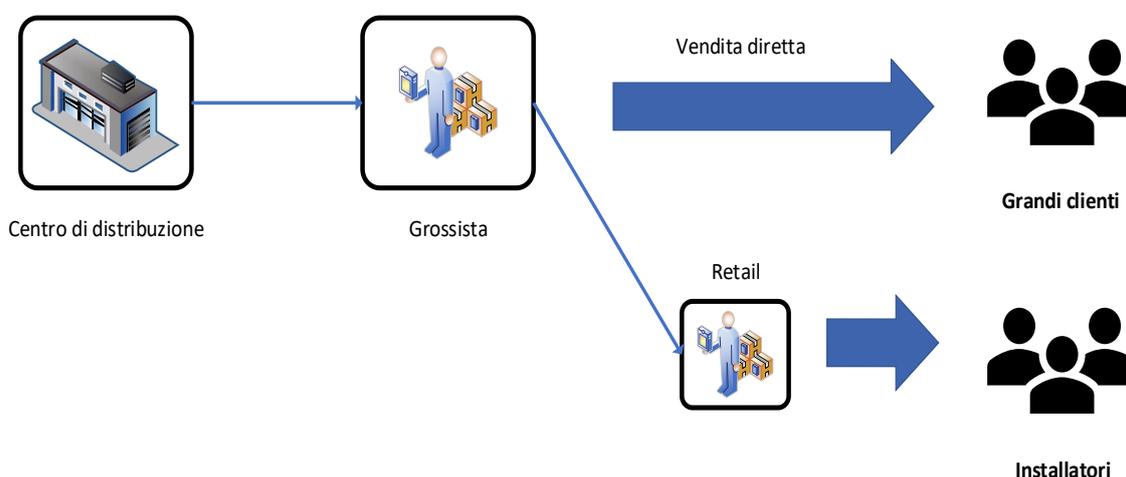
### ***Return***

Il controllo a campione dei lotti prodotti fa sì che si riduca il livello di difettosità dei portalampada destinati alla commercializzazione, qualora però i livelli a valle riscontrino particolari malfunzionamento o non conformità si procederà al reso dell'intero lotto di produzione. La casa madre può adottare diverse politiche di gestione degli inconvenienti [67], in ogni caso, dati i tempi di produzione non brevissimi, si farà riferimento alle scorte di sicurezza per rispondere il più rapidamente possibile alla richiesta di un nuovo lotto. Il lotto non conforme può essere direttamente eliminato o spedito all'impianto di produzione per ulteriori analisi al fine di capire le motivazioni che hanno portato alla non conformità. Una possibile criticità nella gestione dei resi nasce dall'impossibilità di sostituire i componenti per riparare il prodotto ma dalla necessità di sostituirlo completamente. I costi di gestione di questo tipo di avvenimenti sono comunque inferiori rispetto al caso tradizionale in quanto i lead time tra la produzione e il consumo sono ridotti e non ci sarà bisogno di effettuare spedizioni urgenti via aereo data la vicina localizzazione del centro di

distribuzione. In questa fase stock out e cali del servizio al cliente, che sono difficili da quantificare economicamente, potrebbero comunque accadere, in ogni caso il loro impatto sarà minore del caso AS IS.

### 3.2.6 Livelli a valle dell'impianto produttivo

Poiché la nuova tecnologia di produzione impatta prevalentemente nelle fasi di realizzazione del portalampada precedentemente analizzate, in questo paragrafo si presenteranno al lettore gli effetti dell'additive manufacturing sui livelli a valle dell'impianto produttivo (Figura 68). Questi sono il centro di distribuzione in cui la merce viene smistata e immagazzinata in attesa di essere spedita ai grossisti che si occupano di raggiungere e rifornire i clienti finali.



**Figura 68** Schema dei livelli di distribuzione a valle dell'impianto produttivo

#### **Centro di distribuzione**

Grazie alla produzione additiva ed al contemporaneo reshoring ipotizzato nella supply chain TO BE i lead time tra emissione ordine da parte del centro di distribuzione e ricezione dello stesso si riducono molto. Basti pensare che nel caso AS IS è necessario trasportare i portalampada dai paesi asiatici via nave mentre in questo caso le distanze in gioco sono molto inferiori [62]. Ciò in primo luogo permette di semplificare la programmazione degli ordini rendendola di conseguenza anche più fedele all'andamento della domanda finale. Così facendo si ottengono previsioni più accurate che si discostano meno dal reale andamento del mercato permettendo così all'impresa di ridurre il rischio di stock out e di aumentare il livello

di servizio offerto ai propri clienti. In più riducendo gli intervalli di riordino e generando ordini che seguendo la domanda dei clienti si abbattano i livelli di magazzino dei prodotti in questione; in questo modo si riducono di conseguenza i costi legati alla gestione, movimentazione e stoccaggio dei portalampada in questo livello. Qui i colli in magazzino, necessari al corretto soddisfacimento delle esigenze a valle, avranno peso minore e potranno essere trasportati con più semplicità e con un minore utilizzo di risorse. Si riduce anche il numero di figure con cui questo livello della catena dovrà interloquire, non sono infatti più necessari una serie di passaggi intermedi che facevano nascere la necessità di relazionarsi con fornitori, spedizionieri e trasportatori. Una possibile evoluzione consentita dalla produzione additiva sta nel decentralizzare le attività produttive presso i centri di distribuzione; per supportare ciò vi è però la necessità di adeguare gli spazi per ospitare le fasi di realizzazione dei contatti in rame e del confezionamento. Per questo motivo tale struttura appare ancora non fattibile dal punto di vista tecnologico-produttivo.

### ***Grossisti***

I grossisti sono delle figure che si interpongono tra il produttore e il cliente finale. Il mercato delle apparecchiature elettriche si basa su queste figure che fanno da tramite ed offrono una serie di servizi ai clienti [54]. Per raggiungere i punti di consumo possono esserci diversi canali come il retail di proprietà o la vendita diretta a grandi aziende e municipalità. Per il livello dei grossisti, l'utilizzo della produzione additiva, ha il vantaggio di facilitare la movimentazione delle merci nei diversi passaggi che avvengono a questo livello grazie al peso ridotto dei portalampada. Ciò impatta positivamente anche sui costi di trasporto e sulle emissioni nocive generate per consegnare la merce ai clienti. Inoltre, il fatto che la produzione avvenga MTO aiuta i grossisti ad uniformare i propri acquisti alla domanda effettiva ed a ridurre acquisti speculativi dovuti all'eccessive quantità a disposizione nel centro di distribuzione. La flessibilità produttiva potrebbe semplificare l'ottenimento, da parte del grossista, di prodotti realizzati su misura; piccoli lotti con design personalizzato secondo le esigenze di un particolare cliente sarebbero ottenuti in tempo rapido e a un costo competitivo rispetto ad ordinarli dall'Asia. Anche a questo livello si potrebbe immaginare una soluzione distribuita che veda i grossisti come produttori, presso i loro punti vendita, dei portalampada. In questo caso oltre ai problemi presentati in precedenza nascerebbero ulteriori criticità legate ai diritti di proprietà e di realizzazione dei portalampada stessi.

## *Clients*

I clienti in genere sono piccoli o medi installatori che si riforniscono dai grossisti di un vasto panel di prodotti che sono necessari al completamento del loro lavoro [87]. I clienti vengono investiti dall'impatto dell'additive manufacturing per quel che riguarda il peso finale dei portalampada, un peso minore consente un montaggio più agevole e una più facile movimentazione del prodotto. Come anticipato poiché la produzione segue una logica MTO e i tempi della catena logistica si sono ridotti, aumenta il livello di servizio offerto al cliente stesso. Nasce inoltre la possibilità di realizzare prodotti con design personalizzati in base alla necessità di particolari clienti, questo può avvenire grazie alla flessibilità offerta dalla produzione additiva che non necessita di stampi per realizzare i portalampada. In questi casi il time-to-market sarà più veloce e si potrà soddisfare un nuovo segmento di clienti che richiede prodotti su misura. Vi è la necessità che nel cliente nasca la consapevolezza di scegliere un prodotto realizzato localmente con tecnologie moderne e non più prodotto in paesi in via di sviluppo con il conseguente risparmio di risorse e la riduzione di emissioni nocive nell'ambiente. Questa consapevolezza può nascere anche grazie alla realizzazione di apposite campagne pubblicitarie da parte della casa madre che può sfruttare a suo vantaggio gli aspetti sopra riportanti a fronte magari di un costo del prodotto maggiore rispetto a quello fabbricato in Cina. Nella visione più futuristica, e magari utopistica, della stampa 3D i clienti potranno realizzare autonomamente, con proprie stampanti desktop, i portalampada direttamente a casa loro recuperando i contatti elettrici dal portalampada da sostituire. Questo scenario massimizza l'utilità dei clienti e riduce al minimo l'impatto della supply chain di produzione; nascono però in questo caso problemi legati al diritto di proprietà dei modelli CAD dei prodotti e problemi legati alla remunerazione dei detentori di tali diritti. La perdita della proprietà intellettuale può mettere a rischio il valore stesso dell'azienda. Chi ne venisse in possesso senza autorizzazione sarebbe in grado di riprodurre il pezzo all'infinito, causando una perdita economica significativa, ed anche un danno di immagine qualora il logo aziendale dovesse venir stampato su prodotti non certificati e di scarsa qualità. Per proteggersi da questa eventualità è dunque necessario proteggere le proprietà digitali dell'azienda, ad esempio con sistemi di tracking del singolo manufatto o limitando la produzione alle quantità autorizzate.

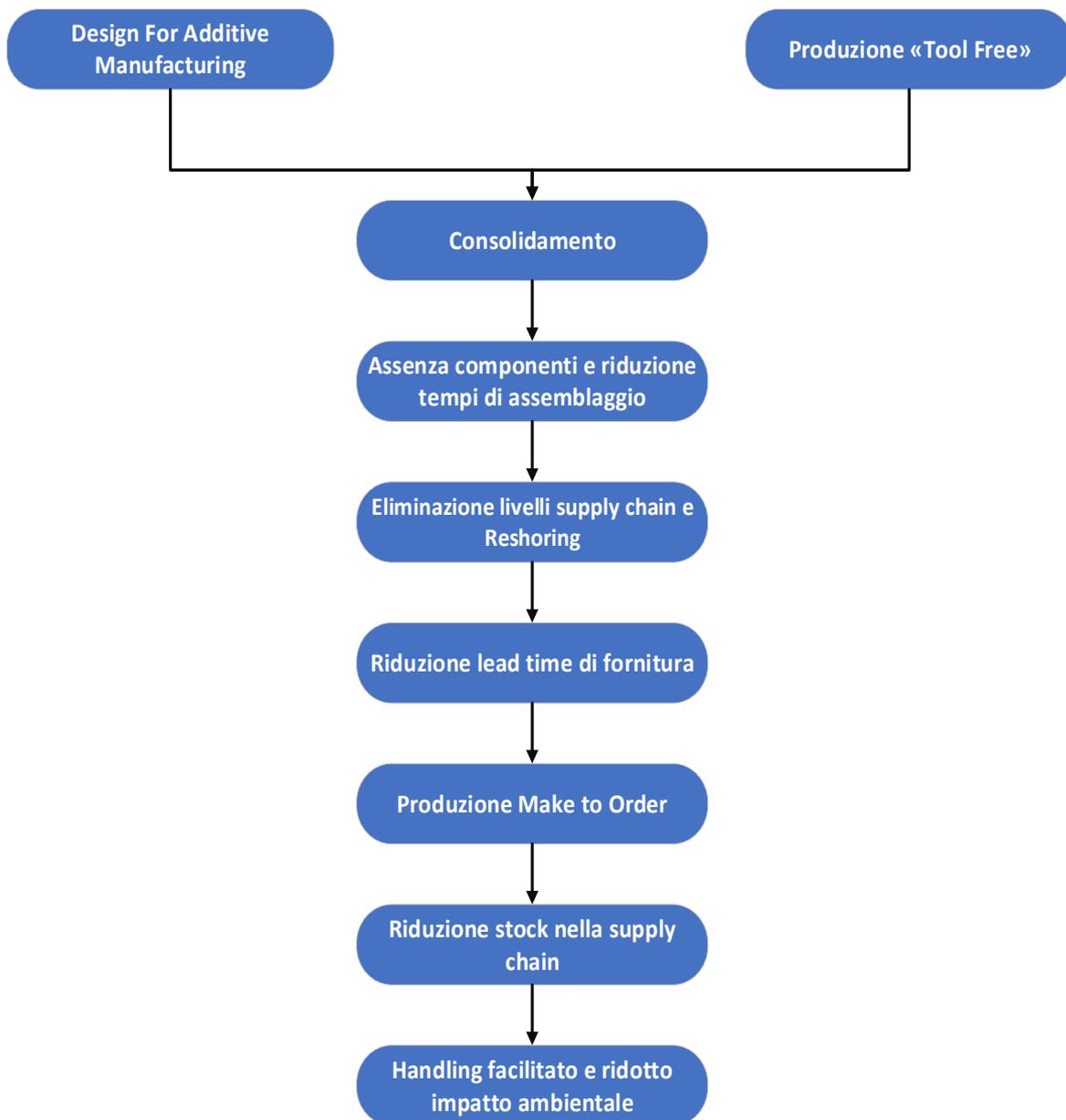
## **4 CONFRONTI**

Nel corso di questo capitolo verranno confrontate le due soluzioni precedentemente analizzate, AS IS e TO BE, per evidenziarne i punti di forza e le criticità. Particolare attenzione verrà posta nei riguardi della nuova soluzione che vede l'adozione della stampa 3D. Vengono inoltre confrontate le principali performance delle due catene logistiche.

### **4.1 Come nascono i benefici per la supply chain**

In questo paragrafo si cercherà di identificare il nesso causale che porta alla nascita dei principali vantaggi dell'adozione della stampa 3D per la supply chain TO BE, questi vengono mostrati nello schema al fondo (Figura 69). Molti dei vantaggi ottenuti nella supply chain TO BE hanno origine dalla libertà delle forme che è possibile realizzare con la produzione additiva. Sfruttando le possibilità del DFAM è possibile ottenere il consolidamento totale delle componenti polimeriche necessarie alla realizzazione del portalampada in analisi. Il nuovo design permette di ridurre i tempi di assemblaggio necessari al montaggio del prodotto finito nonché riduce il peso del prodotto ed il materiale necessario alla realizzazione degli stessi. L'assemblaggio avviene in un terzo del tempo rispetto al caso AS IS (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) per cui vi è una riduzione di circa il 66% di tali tempistiche. La massa totale del portalampada realizzato tramite additive manufacturing risulta di 3,06 g a fronte dei 9 g dello stesso oggetto ottenuto tramite stampaggio a iniezione (Tiwari, Pande, Agrawal, & Bobade, 2015). Per cui anche in questo caso si ha una riduzione di circa il 66% sia per il peso del portalampada che per la massa di materiale utilizzato. La minore necessità di manodopera aggiunta alla possibilità di realizzare diversi tipi di portalampada senza la necessità di utilizzare stampi o macchinari particolari rende fattibile il riportare le attività produttive in house. Ad esempio, per realizzare una intera gamma di prodotti sarebbe necessario avere a disposizione una grande moltitudine di stampi (anche più di 50) e macchinari diversi; per questo motivo molte aziende decidono di dare in outsourcing la produzione nel Far East. La stampa 3D, rimuovendo i vincoli produttivi legati agli strumenti necessari, elimina la necessità di fare affidamento sui fornitori asiatici e consente riportare la produzione in-house. Il reshoring, unito al consolidamento dei componenti, permette di ridurre i livelli della catena logistica eliminando la necessità dei subfornitori e dell'OEM con cui, nel caso tradizionale, la casa madre ha vantaggio nel relazionarsi. Una supply chain più corta permette lead time di fornitura più rapidi, nonché vi è una maggiore facilità nel dirigere gli aspetti gestionali della

stessa. Infatti, se nel caso AS IS sono presenti 3 livelli, ovvero subfornitori, assemblatore e casa madre; nel caso TO BE è necessario solo l'ultimo livello per cui anche in questo caso vi è una riduzione di circa due terzi degli stadi della catena. Il lead time di fornitura, dal momento di produzione al momento di distribuzione all'ingrosso, si riduce notevolmente passando dai circa 50 – 70 giorni del caso AS IS ai possibili 7 – 10 giorni del caso TO BE. Non vanno trascurati anche gli aspetti ambientali legati alla venuta meno necessità di effettuare lunghi trasporti intercontinentali via nave. Avvicinando i punti di domanda ai punti di consumo, sfruttando la possibilità di realizzare con un costo costante piccoli lotti di portalampada ed avendo lead time di fornitura ridotti si può produrre MTO. Una tale logica di produzione ha come grande vantaggio quello di ridurre i livelli di magazzino per i prodotti finiti con conseguente impatto positivo sugli aspetti logistici e finanziari della casa madre. Il portalampada realizzato tramite additive manufacturing, con il suo minor peso, consente di creare unità di carico più facili da movimentare; ciò ha un impatto positivo sia sulle fasi di handling delle stesse e sia sull'impatto ambientale delle successive fasi di trasporto e distribuzione. Ulteriori aspetti positivi sono già stati presentati nel corso della trattazione sulla supply chain AS IS ed altri verranno presentati nel corso dei paragrafi successivi.



*Figura 69 Catena di sviluppo dei benefici consentiti dalla stampa 3D nel caso di studio*

#### **4.2 Benefici dell'adozione della stampa 3D**

In questo paragrafo verranno fatte alcune considerazioni sugli aspetti più rilevanti che cambiano, a livello di supply chain e non solo, qualora venga adottato l'additive manufacturing per la produzione degli assiemi presi in esame. Gli effetti che verranno analizzati sono riassunti nella Tabella 7 presenta alla fine di tale discussione. Innanzitutto, questa tecnologia consente di ridurre le fasi produttive e di assemblaggio dato che è possibile produrre in un solo momento il prodotto finito senza utilizzare diversi componenti. Il

consolidamento del prodotto finito in un solo oggetto semplifica di molto i processi di gestione, movimentazione, stoccaggio e trasporto dei prodotti stessi e può portare, come in questo caso, alla scomparsa di alcuni livelli di fornitura non più necessari. Ciò è coerente con quanto è emerso da alcune pubblicazioni scientifiche sull'argomento (Douglas, 2015) (Li, Jia, Cheng, & Hu, 2017) (Holmström & Gutowski, 2017); venuta meno la necessità dei componenti per realizzare i portalampada il livello dei subfornitori di tali prodotti non è più necessario. Se a ciò viene aggiunto, come in questo caso, il ritorno della produzione in house, viene meno anche il livello dell'assemblatore. Il seguente aspetto va considerato in fase di analisi dato che la cessazione dei rapporti con determinati fornitori non è sempre possibile o non è sempre economicamente vantaggiosa in quanto potrebbero esserci dei vincoli contrattuali che legano le aziende. Qualora ciò sia difficoltoso si può adottare una soluzione ibrida, in alcune pubblicazioni scientifiche, che prevede l'utilizzo parallelo dei due sistemi produttivi (Sasson & Johnson, 2016) (Chen et al., 2015) (Bogers, Hadar, & Bilberg, 2016) (Ghadge, Karantoni, Chaudhuri, & Srinivasan, 2018). In questo caso, i prodotti di "classe A", ovvero i prodotti richiesti in grandi volumi, potrebbero essere prodotti con le tecniche tradizionali per sfruttarne le economie di scale e i rapporti con i fornitori. Mentre per i prodotti di "classe C", ovvero quelli a più bassa richiesta, ed anche per realizzare prodotti su misura per il cliente, potrebbe essere adottata la stampa 3D in house in modo tale da ridurre lo stock di tali prodotti e rispondere tempestivamente alle richieste del mercato. In particolar modo nel caso di studio, le tipologie di portalampada più richieste potrebbero essere acquistate dal Far East mentre quelle più di nicchia o quelle realizzate su misura potrebbero essere realizzate con la stampa 3D dalla casa madre. Così facendo si potrebbero sfruttare i vantaggi di entrambi i canali ovvero economia di costo dai fornitori cinesi e flessibilità e facilità di produzione con l'additive manufacturing; nonché si potrebbero risparmiare alcuni costi legati all'importazione di prodotti dal Far East come dazi o costi doganali. L'utilizzo di tale sistema per realizzare i portalampada, fa sì che la casa madre sviluppi risorse e competenze in ambito stampa 3D che possono aiutare a diversificare il business dell'azienda che può fornire a terzi i propri servizi di additive manufacturing dietro corrispettivo sfruttando così le economie di scala e di scopo che si generano (Rogers, Baricz, & Pawar, 2016) (Sasson & Johnson, 2016). Il rapporto con i nuovi fornitori delle attrezzature e delle materie prime additive diventa strategico in quanto la qualità dei prodotti dipende molto dal materiale utilizzato (Oettmeier & Hofmann, 2016). Inoltre, bisogna fare affidamento sulle competenze tecniche dei fornitori che aiutano la casa madre nella definizione dei parametri produttivi e nel loro continuo monitoraggio. In ogni caso la gestione delle fonti di

approvvigionamento risulta semplificata nella gestione dato che si riducono gli attori e i livelli che componevano la supply chain AS IS (Feldmann & Pompe, 2017). Una delle potenziali criticità riscontrate nello sviluppo della supply chain TO BE è il “sistema chiuso” fornito dalla EOS, infatti i macchinari forniti sono compatibili solo con le polveri dello stesso fornitore. Questo limita la possibilità della casa madre di mettere in concorrenza i diversi fornitori delle polveri per ottenere dei vantaggi sul prezzo di acquisto della materia prima, inoltre la localizzazione di tale fornitore e la sua copertura non sempre capillare del territorio non facilitano i rapporti. Non è possibile neanche avere un fornitore di backup nel caso in cui vi siano dei problemi con la EOS, ciò crea un forte dipendenza della casa madre che può portare a condizioni di fornitura non ottimali. La possibilità di noleggiare le apparecchiature riduce questo effetto “lock-in” e limita il rischio dovuto alla scelta di una determinata tecnologia di produzione che è in continuo sviluppo e può diventare presto obsoleta (Rogers, Baricz, & Pawar, 2016). Un’ulteriore possibilità offerta dalla nuova tecnologia riguarda i tempi di produzione che sono fissi e facilmente quantificabili; ciò aiuta molto a livello di organizzazione della produzione e di gestione degli ordini MTO (Eyers & Potter, 2017). I software dedicati possono ottimizzare le attività produttive rendendo la schedulazione dei turni e delle successive fasi di montaggio e confezionamento più facili. Si ottiene anche, grazie alla gestione Make To Order, la riduzione della sovrapproduzione; gli impianti tradizionali, specialmente quelli di stampaggio a iniezione, necessitano di produrre elevate quantità al fine di ottenere economie di scala (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010). Ciò può generare inefficienze, sprechi di materie prime ed energia che impattano negativamente sull’ambiente; mentre tramite additive manufacturing si ridurrebbero notevolmente questi impatti negativi (Li, Jia, Cheng, & Hu, 2017). Anche il riutilizzo di buona parte delle materie prime consente di risparmiare nel costo di realizzazione dei portalampana e di impattare in maniera inferiore sull’utilizzo delle risorse. La riduzione del lead time che intercorre tra la produzione ed i clienti finali, ottenuta anche grazie al reshoring ed alla eliminazione di buona parte dei trasporti, consente di aumentare l’agilità della supply chain che potrà rispondere più rapidamente e più efficientemente a fluttuazioni della domanda e a criticità esterne (Durach, Kurpjuweit, & Wagner, 2017) (Bogers, Hadar, & Bilberg, 2016). Non essendoci più la necessità di riordinare grandi quantità si riducono anche i livelli di magazzino in tutta la filiera: non vi è più la necessità di magazzini per le componenti utili a realizzare l’assieme e la produzione può seguire più da vicino l’andamento della domanda. Alcuni studi (Liu, Huang, Mokasdar, Zhou, & Hou, 2014) hanno stimato, qualora venga adottata la produzione additiva, una diminuzione delle scorte

di sicurezza fino al 50% rispetto al caso tradizionale. Altri studi (Ghadge, Karantoni, Chaudhuri, & Srinivasan, 2018) affermano che la riduzione complessiva del livello di scorte presente lungo tutta la filiera possa ridursi del 75% rispetto al caso in cui non venga adottata la stampa 3D. Questo consente di ridurre buona parte del capitale immobilizzato, con il risparmio di una grande quantità di risorse che possono essere direzionate su altre attività a valore aggiunto della casa madre come il finanziamento stesso dell'additive manufacturing. Inoltre, i tempi ora sono più concentrati nella produzione che sul trasporto e sullo stoccaggio, ovvero, in proporzione, aumentano i tempi a valore aggiunto che come detto più su sono determinabili a priori. Lo studio di Barz et al. (Barz, Buer, & Haasis, 2016) stima una riduzione del 50% di quelli che sono i costi di trasporto all'interno dell'intera supply chain. Grande influenza è data dalle prestazioni delle stampanti 3D, queste grazie al continuo sviluppo tecnologico continueranno a migliorare rendendo sempre più vantaggiosa l'adozione della produzione additiva. I costi per pezzo per la tecnica tradizionale sono calcolati in funzione dei pezzi prodotti e sono fortemente influenzati dal costo per la realizzazione dello stampo (oltre il 80%) (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010); è necessaria anche una successiva fase di assemblaggio più lunga. Dunque, più pezzi si producono e più sarà basso il costo unitario di ogni pezzo. Per la supply chain con additive manufacturing invece l'assemblaggio è più veloce ed il costo di produzione del singolo pezzo è costante perché viene definito a priori l'utilizzo della macchina. La principale voce di costo della nuova tecnologia è l'ammortamento della macchina qualora si decida di acquistarlo, altrimenti la voce più importante sarà il canone di noleggio. Il time to market dei portalampana si riduce in quanto non vi è più la necessità di realizzare stampi appositi per i nuovi design ma questi possono essere facilmente realizzati in CAD e poi mandati in stampa. Tutto ciò per funzionare deve essere integrato alla perfezione nell'organizzazione aziendale (Mellor, Hao, & Zhang, 2014), nuove figure professionali e nuovi software di gestione entreranno a far parte della casa madre. Questi devono essere accolti e coinvolti sia dal punto di vista funzionale che dal punto di vista culturale per ottenere il massimo dall'adozione dell'additive manufacturing; non devono esserci repulsioni o pregiudizi che possano inficiare il corretto sviluppo della nuova produzione. Un aspetto che non è stato completamente preso in considerazione, sia che in questo elaborato e sia a livello scientifico, ma che può avere grande rilevanza, è l'impatto sociale dell'additive manufacturing (Chen et al., 2015). Questo ha molti risvolti in ambito lavorativo, sia per le azioni da compiere sul posto di lavoro sia riguardo la sicurezza del posto di lavoro in quanto si ha a che fare con polveri volatili potenzialmente tossiche. Altro aspetto importante che potrebbe avere un

impatto rilevante su tutta la supply chain è la probabilità di fallimento della del processo di stampa 3D, alcuni studi (Baumers, Beltrametti, Gasparre, & Hague, 2017) infatti inglobando tale grandezza mostrano quanto sia incisiva dal punto di vista dei costi e del corretto funzionamento dell'intera catena. Malfunzionamenti o errori nelle fasi produttive additive possono generare lotti difettosi che devono essere realizzati nuovamente con la conseguente perdita di tempo prezioso dovuto ai tempi di processamento più lunghi dell' stampa 3D. Questo può impattare a valle con un importante abbassamento del livello di servizio offerto al cliente con tutti i costi che da ciò derivano. È anche vero che oggi la ricerca spinge molto nella direzione di ottenere un monitoraggio continuo in loco e in remoto delle fasi di stampa 3D al fine di rilevare istantaneamente e correggere dove possibile eventuali scostamenti dai parametri produttivi ottimali (Lott et al., 2011) (Everton, Hirsch, Stravroulakis, Leach, & Clare, 2016).

<b>LETTERATURA</b>	<b>IMPATTO SUL CASO ANALIZZATO</b>	<b>POSSIBILI CRITICITÀ</b>
Eliminazione di alcuni livelli della catena.	Viene meno la necessità dei subfornitori che producevano le componenti. Con il reshoring viene meno anche il livello dell'OEM.	Possibili difficoltà nel risolvere i rapporti con le figure commerciali che vengono eliminate.
Riduzione delle fasi di assemblaggio.	I tempo di assemblaggio si riducono del 66% e la minore incidenza del costo della manodopera favorisce il reshoring delle attività produttive.	Opposizioni nell'eliminazione di alcune mansioni o difficoltà di ricollocamento/riqualifica delle stesse.
Riduzione del time to market.	Produzione "tool free" e minore distanza tra i punti di produzione ed i punti di domanda.	Necessità di nuove figure professionali
Aumento sostenibilità.	Minori sprechi di materie prime in fase di produzione e riduzione delle emissioni a causa dei minori trasporti.	Il consumo di energia in fase di produzione potrebbe essere maggiore di quello delle tecniche tradizionali.
Riduzione livello magazzino delle materie prime.	La semplificazione delle materie prime trattate consente di ridurre i livelli di scorta.	Potrebbe nascere la necessità di adottate misure di sicurezza per lo stoccaggio delle poveri.
Eliminazione livelli magazzino delle componenti.	Consolidamento delle componenti cancella la necessità di queste ultime.	Non vi è più la possibilità di riparare il portalampada sostituendone le compenti
Riduzione livelli magazzino prodotti finiti.	La logica produttiva MTO e il magazzino "virtuale" dei CAD dei diversi portalampada impattano sul livello di scorte finali riducendo il capitale immobilizzato.	Possibili difficoltà nel seguire con la produzione picchi di domanda improvvisi.
Migliore coordinamento e pianificazione degli approvvigionamenti dati i minori fornitori.	Diminuisce il numero di figure con cui la casa madre deve relazionarsi limitandosi al solo fornitore delle materie prime.	Possibile effetto lock-in dovuto al sistema chiuso offerto dal fornitore.
Gestione Make to Order della catena.	Il ridotto lead time di fornitura e la vicinanza al cliente consentono di utilizzare una logica MTO. Si riduce la sovrapproduzione e le scorte lungo la catena.	I tempi di produzione potrebbero creare difficoltà in caso di picchi di domanda o in caso di scarsa qualità del lotto produttivo.

*Tabella 7 Effetti dell'adozione dell'additive manufacturing sulla supply chain*

### ***4.3 Confronto dei principali indicatori di performance***

In questo paragrafo verranno confrontati alcuni indicatori di performance fondamentali per analizzare le supply chain AS IS e TO BE. Questi KPI (Key Performance Indicator) sono stati ripresi principalmente dal modello SCOR a cui sono stati altri indicatori di carattere generale. Le motivazioni che portano a determinate prestazioni sono state già ampiamente analizzate nei paragrafi precedenti per cui qui sotto verranno solo riassunte le principali evidenze risultate dalla analisi del caso di studio. Laddove non sia stato possibile stimare quantitativamente l'entità di tali indicatori si fornirà una loro stima qualitativa in base alle considerazioni ed alla ricerche effettuate in questo studio. Le scale utilizzate per questo tipo di considerazioni sono di tipo ordinale i valori possibili per la prima sono: scarso – buono - discreto – ottimo; mentre i valori per la seconda sono: basso – medio – alto.

#### ***4.3.1 Lead Time di fornitura***

Per Lead Time di fornitura di intende il tempo che intercorre tra la produzione dei diversi componenti dei portalamпада al loro raggiungimento del centro di distribuzione. Nel caso AS IS questi tempi sono lunghi e sono dovuti alla localizzazione dei fornitori, alle tecniche di produzione utilizzate dagli stessi e alla politica di produzione Make To Stock adottata. Questa indicazione temporale infatti dipende molto dal tempo che i componenti e il prodotti finito trascorrono nei magazzini della catena logistica; considerando dei tempi medi il Lead Time di fornitura del caso AS IS si aggira tra i 50 e 70 giorni a cui vanno aggiunti i tempi necessari alle negoziazioni ed alla definizione dei contratti tra le parti. Nel caso della supply chain TO BE questi tempi si riducono notevolmente e grazie all'utilizzo dell'additive manufacturing e del reshoring si possono raggiungere Lead Time dell'ordine della settimana.

#### ***4.3.2 Tempo di produzione***

Il Tempo di produzione nel caso AS IS si riferisce allo stampaggio a iniezione dei componenti della custodia e al loro relativo assemblaggio per creare il prodotto finito. Supponendo di disporre di un solo macchinario per lo stampaggio a iniezione, considerando i tempi di cambio dello stampo e quelli di assemblaggio per produrre un lotto di 2520 portalamпада (pari a quello prodotto dal macchinario additive manufacturing) si ottiene che si impiegano all'incirca 22.5 ore. Tutto ciò senza considerare i tempi dovuti alle movimentazioni dei vari componenti e i tempi necessari al loro immagazzinamento tra le varie fasi. Il Tempo di produzione nel caso TO BE è di circa 70 ore considerando le fasi di

post processamento e quelle di assemblaggio. Un aspetto da sottolineare è che le attività produttive nel caso AS IS possono essere effettuate solo durante il turno lavorativo in quanto vi è la necessità di un operatore che supervisioni il processo di stampaggio a iniezione. Se si considera ciò il tempo effettivo di produzione si dilunga e diventa comparabile a quello del caso TO BE. I processi di additive manufacturing infatti possono avere luogo anche fuori dai turni di lavoro convenzionali in quanto completamente automatizzati. In questo caso lo scarto tra i due paradigmi produttivi è inferiore alle 24 ore.

#### ***4.3.3 Tempo Cash-to-cash***

Il Tempo Cash-to-cash è proporzionale al Lead Time di fornitura ed alla velocità nel raggiungimento del cliente tramite la supply chain a valle del centro di distribuzione; inoltre questo dipende anche dai termini di pagamento che la casa madre stabilisce con i propri clienti e con i propri fornitori. Nel caso AS IS la casa madre impegnerà più tempo a recuperare la liquidità investita dato che l'intera supply chain è più lunga e più articolata; inoltre, buona parte dei capitali saranno immobilizzati come magazzini di semilavorati e prodotti finiti. Nel caso TO BE questo tempo si riduce molto e si riducono anche i capitali immobilizzati sotto forma di magazzini, tutto questo a vantaggio della liquidità della casa madre che potrà utilizzare tali fondi in altre attività a valore aggiunto.

#### ***4.3.4 Utilizzo capacità produttiva***

L'Utilizzo della capacità produttiva nel caso AS IS, come più volte detto, raggiunge livelli elevati sia a causa della natura della tecnologia di produzione e sia a causa della politica di produrre Make To Stock. I macchinari, dato anche l'investimento capitale che richiedono, vengono utilizzati a pieno regime senza tener conto di un eventuale sovrapproduzione. Nel caso TO BE invece, complice anche la vicinanza al mercato e la possibilità di produrre i portalampada consolidati in un unico pezzo, è adottata una politica Make To Order per cui l'Utilizzo della capacità produttiva non è quantificabile a priori ma si adatterà ai livelli di domanda previsti. I Lead Time di produzione più lunghi però potrebbero richiedere che le apparecchiature di produzione additiva siano utilizzate giorno e notte per rispondere alla domanda del mercato.

#### ***4.3.5 Costo di manodopera***

Il Costo manodopera aumenta dal momento che la produzione viene trasferita dalla Cina a un paese sviluppato che può essere l'America o l'Europa occidentale. Si passa dai 3.5 \$/ora del caso AS IS ai 15.52 \$/ora del caso TO BE. L'impatto dell'aumento di questi costi viene mitigato dalla riduzione della necessità di operazioni manuali e di monitoraggio dei macchinari. Infatti, tramite l'additive manufacturing i tempi di assemblaggio si riducono del 66% e non vi è più la necessità che l'operatore monitori la produzione in quanto questa avviene autonomamente e può essere anche controllata da remoto tramite appositi programmi.

#### ***4.3.6 Costo totale di spedizione***

I Costi di spedizione hanno un impatto importante sulla supply chain AS IS in quanto i livelli sono maggiori e le distanze in gioco sono rilevanti; questi possono influenzare in maniera non marginale il prezzo finale del prodotto dato che risultano circa il 10% del prezzo di acquisizione. Nel caso TO BE invece l'eliminazione di alcuni livelli e la produzione in loco fanno sì che parte di questi costi scompaiano e laddove non è possibile eliminare i trasporti su gomma, i costi si riducono grazie al peso ridotto del prodotto finito. Se si considera anche l'impatto ambientale dell'intera supply chain, il caso TO BE risulta più green ovvero grazie alla riduzione dei trasporti si emettono meno gas inquinanti per il nostro pianeta.

#### ***4.3.7 Costo unitario di produzione***

Il Costo unitario di produzione risulta sostanzialmente aumentato. Si passa da un costo di 0.45 \$/pz per il caso AS IS ad un costo di 1,03 \$/pz per il caso TO BE. In pratica, a confronto dello stampaggio a iniezione di grandi quantità di prodotto, il Costo unitario di produzione è raddoppiato mentre se si valutano produzioni di piccoli lotti i costi risultano confrontabili se non a favore del caso TO BE. Infatti, in quel caso, i costi di realizzazione dei componenti tramite stampaggio a iniezione sarebbero molto superiori (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010). C'è da sottolineare che non sono considerati i costi legati alla gestione ed allo stoccaggio dei portalampada stessi che potrebbero rendere ancora più favorevole la soluzione che utilizza la produzione additiva. Nello studio precedente gli autori avevano individuato un Break Even Point (BEP) tra lo stampaggio a iniezione e la stampa 3D pari a 87.000 unità. Ovvero la produzione tramite additive manufacturing, considerando solo i costi produttivi ed escludendo qualsiasi costo legato alla gestione, distribuzione e trasporto dei

portalampada, risultava economicamente vantaggiosa se le quantità da produrre non superavano il BEP. Questo punto è stato ricalcolato in questo elaborato con i nuovi dati a disposizione riguardanti la produzione additiva tramite EOS P396, il BEP risulta intorno alle 142.000 unità, ovvero molto più spostato a favore dell'additive manufacturing. Ciò dimostra come con il passare del tempo e con lo sviluppo tecnologico, la produzione tramite stampa 3D diventi sempre più vantaggiosa economicamente se confrontata ai sistemi produttivi tradizionali e questo senza considerare gli aspetti legati alla logistica che potrebbero spostare l'ago della bilancia ancora più a favore della nuova tecnologia. È ragionevole pensare che nei prossimi anni la stampa 3D ed in particolar modo la Sinterizzazione Laser Selettiva diventeranno una vera alternativa produttiva.

#### ***4.3.8 Livelli scorte lungo la supply chain***

Nell'analisi della supply chain AS IS emergono molti livelli di stoccaggio lungo tutta la filiera, a partire dalle materie prime passando per i componenti necessari a realizzare i portalampada fino ad arrivare ai prodotti finiti che vengono immagazzinati su più livelli. Tutto questo aumenta i tempi e non valore aggiunto per raggiungere i punti di domanda e aumenta il capitale immobilizzato. Nel caso TO BE invece l'intera catena risulta più snella e vede la riduzione dei Livelli di scorta necessari, inoltre la possibilità di produrre Make To Order aiuta a ridurre sia le quantità di prodotto finito stoccate e sia quelle di materie prime.

#### ***4.3.9 Perfect Order Rate***

La realizzazione di una nuova supply chain che utilizza l'additive manufacturing come tecnologia di produzione non deve influenzare negativamente il livello di servizio offerto al cliente. Questa deve essere la condizione da cui si deve partire per immaginare una revisione dei paradigmi esistenti per adattarli alla nuova tecnologia produttiva. Partendo da questo fondamentale presupposto il Perfect Order Rate non può che migliorare nel caso TO BE in quanto si è più rapidi nel rispondere alle richieste del mercato e la casa madre ha la totale influenza sulle attività necessarie a realizzare i portalampada. Ciò non toglie che nel caso AS IS il Perfect Order Rate non fosse già elevato.

La tabella sottostante (Tabella 8) riassume le prestazioni, tramite gli indicatori di performance considerati in precedenza, della supply chain AS IS e di quella TO BE.

<b>KEY PERFORMANCE INDICATOR</b>	<b>AS IS</b>	<b>TO BE</b>
Lead Time di fornitura (gg)	50 - 70	7-10
Tempo di produzione di un lotto (ore)	22.5	70
Tempo Cash-to-cash	Mesi	Settimane
Utilizzo capacità produttiva	Massimizzato (MTS)	Secondo la domanda (MTO)
Costo di manodopera (\$/ora)	3.5	15.5
Costo spedizione in rapporto al costo di produzione	10 %	0 %
Costo unitario di produzione (\$/pz)	0.45	1,03
Livelli scorte lungo la supply chain	Alto	Basso
Perfect Order Rate	Discreto	Ottimo

*Tabella 8 Sintesi e confronto dei principali KPI per il caso AS IS e il caso TO BE*

## ***5 CONCLUSIONI***

In questo capitolo vengono presentate al lettore le conclusioni che si possono trarre dal presente lavoro di ricerca con particolare attenzione a quelli che sono i contributi allo stato attuale della letteratura. Sono mostrate inoltre le principali criticità di tale elaborato e quelli che possono essere gli spunti su cui concentrare ricerche future.

### ***5.1 Benefici portati allo stato dell'arte della letteratura***

Come evidenziato nella fase introduttiva di tale elaborato, la letteratura scientifica ha ancora poco approfondito dal punto di vista sperimentale l'impatto dell'additive manufacturing sulla supply chain. Infatti, gli studi su questo argomento sono ancora pochi. Il caso di studio affrontato, la produzione di portalampana, si è mostrato molto sfidante e interessante dato che l'oggetto in questione fa parte dei beni di largo consumo ovvero una tipologia di prodotti di cui spesso si trascurano le nuove possibilità produttive. Le possibilità di consolidamento del prodotto offerte dalla stampa 3D sono state spesso trattate in letteratura ma pochi sono gli esempi che ne mostrino, attraverso un caso di analisi, le opportunità effettive. Ancora meno se si parla dell'impatto del consolidamento offerto dal nuovo paradigma produttivo; in questo caso il presente elaborato appare uno tra i primi a prendere in considerazione tutti gli aspetti, logistici e produttivi legati al poter ridurre i componenti tramite additive manufacturing. Il considerare più aspetti era una prerogativa fondamentale della tesi, in questo modo sarebbe stato possibile offrire un quadro più ampio e comprendere al meglio il fenomeno. Per questo il mostrare come possa cambiare la catena produttiva, e quali siano le possibili performance della nuova configurazione è un contributo importante allo stato attuale della letteratura sull'argomento. L'analisi della mappatura e delle prestazioni, effettuata tramite lo standard offerto dal Modello SCOR, aiuta a fornire al lettore un quadro di confronto equo tra le due possibili configurazioni; ciò impedisce di tralasciare qualsiasi aspetto chiave.

## **5.2 Limitazioni del lavoro di tesi**

Nonostante questa tesi abbia approfondito tematiche spesso trascurate in letteratura, la stessa presenta alcune limitazioni che verranno brevemente elencate nel corso del paragrafo. Una prima limitazione del presente elaborato riguarda proprio il caso di studio scelto, vi è piena coscienza che realizzare portalampada tramite additive manufacturing non sia l'applicazione di tale tecnologia che meglio ne sfrutta le possibilità. Ciò fa sì che potrebbe non essere vantaggioso, dal punto di vista meramente economico, produrre tali portalampada con stampa 3D. Altri settori, come magari quello aeronautico o quello automobilistico, potrebbero sfruttare meglio la possibilità di realizzare oggetti con peso ridotto e dal particolare design. La necessità di individuare un caso di studio dalla letteratura scientifica che presentasse contemporaneamente il consolidamento di un assieme in materiale polimerico e una minima analisi di fattibilità tecnico-economica, ha reso quasi obbligatoria la scelta dello studio dei portalampada (Atzeni, Iuliano, Minetola, & Salmi, 2010) come fonte. Se a ciò si aggiunge il fatto che il settore dei portalampada per lampade fluorescenti, e più in generale il settore dei portalampada, è molto di nicchia si comprenderà facilmente la difficoltà nel reperire informazioni attendibili. Difficoltà che si è avuta in particolar modo nel reperire dati numerici per il confronto delle prestazioni dei casi AS IS e TO BE, ciò ha portato l'autore a dover fare alcune ipotesi e spesso ad effettuare valutazioni solo qualitative e non quantitative. La realtà è che vi sono ancora pochi casi reali di aziende che hanno adottato l'additive manufacturing per la produzione di assiami polimerici per cui appare difficile effettuare un'analisi, senza alcune supposizioni, guardando dall'esterno i pochi esempi presenti ed i pochi dati disponibili.

## **5.3 Spunti per ricerche future**

Sulla base dell'analisi effettuata in questo elaborato è possibile ampliare il lavoro di ricerca in modo da approfondire alcuni temi così da ottenere risultati ancora più precisi. Il primo spunto si basa sulla possibilità di analizzare ulteriori configurazioni della supply chain TO BE cambiando il livello in cui viene adottata la produzione tramite additive manufacturing. Ad esempio, potrebbe essere interessante analizzare il caso in cui siano i grossisti a realizzare una struttura produttiva decentralizzata riprendendo i modelli offerti da altri studi presenti in letteratura (Khajavi et al., 2018). Oppure si potrebbe analizzare il caso in cui siano gli stessi fornitori asiatici a produrre i portalampada tramite stampa 3D. Un altro spunto di ricerca riguarda la possibilità di realizzare una simulazione, a eventi discreti o di altro tipo, per

andare a confrontare meglio dal punto di vista quantitativo le prestazioni del caso AS IS e del caso TO BE. In questo modo si potrebbero avere più riferimenti sui livelli di magazzino e come questi si distribuiscono all'interno della supply chain, sui i lead time di fornitura e sugli aspetti produttivi. Si invita pertanto a proseguire gli studi in tale direzione per realizzare ulteriori analisi utili a colmare il gap di ricerca che attualmente riguarda l'approfondimento dell'impatto dell'additive manufacturing nella realizzazione di assiemi polimerici.

# ***BIBLIOGRAFIA***

- Achillas, C., Aidonis, D., Iakovou, E., Thymianidis, M., & Tzetzis, D. (2015). A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory. *Journal of Manufacturing Systems*, 37(1), 328-339.
- Achillas, C., Tzetzis, D., & Raimondo, M. O. (2017). Alternative production strategies based on the comparison of additive and traditional manufacturing technologies. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3497-3509.
- Agenbroad, J., Mullaney, D., & Wang, Z. (2016, August). *Improving efficiency in chinese trucking and logistics*. Tratto da Rocky Mountain Institute: [https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/03/China\\_Trucking\\_Charrette\\_Report\\_2016.pdf](https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/03/China_Trucking_Charrette_Report_2016.pdf)
- Agenzia delle Dogane e dei Monopoli. (2019, October 18). *AIDA Tariffa doganale d'uso integrata*. Tratto da <https://aidaonline7.adm.gov.it/nsitaric/index.html>
- Annushkina, O. (2017, March 9). *Coming back home again: the reshoring decision*. Tratto da SDA Bocconi School of Management: <http://ideas.sdabocconi.it/strategy/archives/5835>
- Atradius. (2017, October 14). *Payment Practices Barometer China 2017*. Tratto da Atradius: <https://atradius.us/reports/payment-practices-barometer-america-2017.html>
- Atradius N.V. (2019, October 14). *Western Europe: financial stability at risk for businesses across Western Europe?* Tratto da <https://group.atradius.com/publications/payment-practices-barometer-western-europe-2019>
- Attaran, M. (2017). The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*, 60(5), 677-688.
- Atzeni, E., & Salmi, A. (2012). Economics of additive manufacturing for end-useable metal parts. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(9-12), 1147–1155.

- Atzeni, E., Iuliano, L., Minetola, P., & Salmi, A. (2010). Redesign and cost estimation of rapid manufactured plastic parts. *Rapid Prototyping Journal*, 16(5), 308-317.
- Barz, A., Buer, T., & Haasis, H.-D. (2016). A Study on the Effects of Additive Manufacturing on the Structure of Supply Networks. *IFAC-PapersOnLine*, 49(2), 72-77.
- Baumers, M., Beltrametti, L., Gasparre, A., & Hague, R. (2017). Informing additive manufacturing technology adoption: total cost and the impact of capacity utilisation. *International Journal of Production Research*, 55(23), 6957-6970.
- Beamon, B. (1999). Measuring supply chain performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 19(3), 275-292.
- Becker, R., Grzesiak, A., & Henning, A. (2005). Rethink assembly design. *Assembly Automation*, 25(4), 262-266.
- Blanes, C., Mellado, M., & Beltran, P. (2014). Novel Additive Manufacturing Pneumatic Actuators and Mechanisms for Food Handling Grippers. *Actuators*, 3(3), 205-225.
- Bogers, M., Hadar, R., & Bilberg, A. (2016). Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 225-239.
- Boquen, A. (2019, October 6). *How to Structure a Salary Package in China*. Tratto da New Horizons Global Partners Ltd: <https://nhglobalpartners.com/how-to-structure-a-salary-package-in-china/>
- Burrentine, K., & Whelan, A. (2014). *The reshoring option: Maybe it's time. Bringing production back has its own set of challenges*. Tratto da Deloitte Development LLC: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/finance/us-adv-the-reshoring-option.pdf>
- Cali, J., Calian, D. A., Amati, C., Kleinberger, R., Steed, A., Kautz, J., & Weyrich, T. (2012). 3D-printing of non-assembly, articulated models. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 31(6), 130-138.
- Cardona, C. (2015). Part Consolidation for Additive Manufacturing Demonstrated in the Design of a 3D-Printed Harmonic Drive. *The Indiana University Journal of Undergraduate Research*, 1(1), 45-49.

- Carroll, P., Pinkerton, J., Allen, J., Syed, W., Sezer, H., Brown, P.; Ng, G.; Scudamore, R.; Li, L. (2006). The effect of powder recycling in direct metal laser deposition on powder and manufactured part characteristics. *Proceedings of AVT-139 Specialists Meeting on Cost Effective Manufacture via Net Shape Processing*.
- Carter, C., Rogers, D., & Choi, T. (2015). Toward the theory of the supply chain. *Journal of Supply Chain Management*, 51(2), 89-97.
- Ceglowski, J., & Golub, S. S. (2007). Just How Low are China's Labour Costs? *The World Economy*, 30(4), 597-617.
- Chekurov, S., & Salmi, M. (2017). Additive Manufacturing in Offsite Repair of Consumer Electronics. *Physics Procedia*, 89, 23-30.
- Chen, D., Heyer, S., Ibbotson, S., Salonitis, K., Steingrímsson, J. G., & Thiede, S. (2015). Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production*, 107, 615-625.
- Chiu, M., & Lin, Y. (2016). Simulation based method considering design for additive manufacturing and supply chain. *Industrial Management & Data Systems*, 116(2), 322-348.
- Chowdhury, S., Shahvari, O., Marufuzzaman, M., Francis, J., & Bian, L. (2019). Sustainable design of on-demand supply chain network for additive manufacturing. *IIE Transactions*, 51(7), 744-765.
- Christopher, M. (1992). *Logistics and Supply Chain Management*. London: Pitman Publishing.
- Christopher, M., & Lee, H. (2004). Mitigating supply chain risk through improved confidence. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 34(5), 388-396.
- Costabile, G., Fera, M., Fruggiero, F., Lambiase, A., & Pham, D. (2017). Cost models of additive manufacturing: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 8(2), 263-283.
- Council of Supply Chain Management Professionals . (2003, August). *Council of Supply Chain Management Professionals*. Tratto da

[https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.asp](https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.asp)

x

Covert, A. (2014, February 20). 3-D printing 'ink' is way too expensive. *CNNMoney*. Tratto da <https://money.cnn.com/2014/02/20/technology/innovation/3d-printer-filament/>

Cuellar, J. S., Smit, G., Breedveld, P., Zadpoor, A. A., & Plettenburg, D. (2019). Functional evaluation of a non-assembly 3D-printed hand prosthesis. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 233(11), 1122-1131.

Cuellar, J. S., Smit, G., Plettenburg, D., & Zadpoor, A. (2018). Additive manufacturing of non-assembly mechanisms. *Additive Manufacturing*, 21, 150-158.

Das, S., Ranganathan, R., & Murugan, N. (2018). Effect of build orientation on the strength and cost of PolyJet 3D printed parts. *Rapid Prototyping Journal*, 24(5), 832-839.

Dawes, J., Bowerman, R., & Trepleton, R. (2015). Introduction to the Additive Manufacturing Powder Metallurgy Supply Chain. *Johnson Matthey Technology Review*, 59(3), 243-256.

De Crescenzo, F., & Lucchi, F. (2017). Design for Additive Manufacturing of a non-assembly robotic mechanism. *Proceedings of the International Joint Conference on Mechanics* (p. 251-259). Catania, Italy: Springer.

Douglas, T. (2015). Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85(5-8), 1857-1876.

Durach, C., Kurpjuweit, S., & Wagner, S. (2017). The impact of additive manufacturing on supply chains. , *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 47(10), 954-971.

Ellram, L., & Cooper, M. (1993). Characteristics of supply chain management and the implications for purchasing and logistics strategy. *International Journal of Logistics Management*, 4(2), 1-10.

- EOS GmbH. (2019). *EOS P 396 - About 38% less energy consumption and up to 32% faster*. Tratto da [https://www.eos.info/systems\\_solutions/plastic/systems\\_equipment/eos\\_p\\_396](https://www.eos.info/systems_solutions/plastic/systems_equipment/eos_p_396)
- European Reshoring Monitor. (2019). Tratto da [https://reshoring.eurofound.europa.eu/reference-material?&field\\_year\\_value%5Bvalue%5D=&field\\_authors\\_value=&&keys=](https://reshoring.eurofound.europa.eu/reference-material?&field_year_value%5Bvalue%5D=&field_authors_value=&&keys=)
- Everton, S. K., Hirsch, M., Stravroulakis, P., Leach, R. K., & Clare, A. T. (2016). Review of in-situ process monitoring and in-situ metrology for metal additive manufacturing. *Materials & Design*, 95, 431-445.
- Eyers, D. R., & Potter, A. T. (2017). Industrial Additive Manufacturing: A manufacturing systems perspective. *Computers in Industry*, 92- 93, 208-218.
- Eyers, D., Potter, A., Gosling, J., & Naim, M. (2018). The flexibility of industrial additive manufacturing systems. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(12), 2313-2343.
- Fel, F., & Griette, E. (2017). Near-reshoring your supplies from China: a good deal for financial motives too. *Strategic Direction*, 33(2), 24-26.
- Feldmann, C., & Pumpe, A. (2017). A holistic decision framework for 3D printing investments in global supply chains. *Transportation Research Procedia*, 25, 677-694.
- Forrester, J. W. (1997). Industrial Dynamics. *Journal of the Operational Research Society*, 48(10), 1037-1041.
- Fratocchi, L., Di Mauro, C., Barbieri, P., Nassimbeni, G., & Zanoni, A. (2014). When manufacturing moves back: Concepts and questions. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 54-59.
- Gebhardt, A. (2012). *Understanding Additive Manufacturing*. Munich: Hanser.
- Ghadge, A., Karantoni, G., Chaudhuri, A., & Srinivasan, A. (2018). Impact of additive manufacturing on aircraft supply chain performance. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(5), 846-865.

- Govil, M., & Proth, J.-M. (2002). Supply Chain Design and Management. In M. Govil, & J.-M. Proth, *Supply Chain Design and Management* (p. 7-16). Academic Press.
- Grappi, S., Romani, S., & Bagozzi, R. P. (2018). Reshoring from a demand-side perspective: Consumer reshoring sentiment and its market effects. *Journal of World Business*, 53(2), 194-208.
- Gutowski, T., Branham, M., Dahmus, J., Jones, A., Thiriez, A., & Sekulic, D. (2009). Thermodynamic Analysis of Resources Used in Manufacturing Processes. *Environmental Science & Technology*, 43(5), 1584–1590.
- Häfele, T., Schneberger, J.-H., Kaspar, J., Vielhaber, M., & Griebisch, J. (2019). Hybrid Additive Manufacturing – Process Chain Correlations and Impacts. *Procedia CIRP*, 84, 328-334.
- Hague, R., Campbell, I., & Dickens, P. (2003). Implications on design of rapid manufacturing. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1), 25-30.
- Hague, R., Mansour, S., & Saleh, N. (2003). Design opportunities with rapid manufacturing. *Assembly Automation*, 23(4), 346-356.
- Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015). A critical review on supply chain risk – Definition, measure and modeling. *Omega*, 52, 119-132.
- Heußen, D., & Meiners, W. (2017, August 30). Green Light for New 3D Printing Process. *FRAUNHOFER INSTITUTE FOR LASER TECHNOLOGY ILT*.
- Holmström, J., & Gutowski, T. (2017). Additive Manufacturing in Operations and Supply Chain Management: No Sustainability Benefit or Virtuous Knock-On Opportunities? *Journal of Industrial Ecology*, 21(S1), S21-S24.
- Holmström, J., Partanen, J., Tuomi, J., & Walter, M. (2010). Rapid manufacturing in the spare parts supply chain. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(6), 687-697.
- Holst, A. (2019, September 20). *Worldwide 3D printing market share, as of July 2018, by country*. Tratto da Statista: <https://www.statista.com/statistics/800356/worldwide-3d-printing-market-by-country/>

- Holweg, M., Reichhart, A., & Hong, E. (2011). On risk and cost in global sourcing. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 333-341.
- Hopkinson, N., & Dickens, P. (2003). Analysis of rapid manufacturing—using layer manufacturing processes for production. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1), 31-39.
- Huang, R., Riddle, M. E., Graziano, D., Das, S., Nimbalkar, S., Cresko, J., & Masanet, E. .. (2016). Energy and emissions saving potential of additive manufacturing: the case of lightweight aircraft components. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1559-1570.
- Huang, R., Riddle, M. E., Graziano, D., Das, S., Nimbalkar, S., Cresko, J., & Masanet, E. .. (2017). Environmental and Economic Implications of Distributed Additive Manufacturing: The Case of Injection Mold Tooling. *Journal of Industrial Ecology*, 21(S1), S130-S143.
- Institute American Transportation Research, A. (2019). *Operational Costs of Trucking*.
- International Chamber of Commerce (ICC). (2010). *Incoterms® 2010 rules*. Tratto da <https://iccwbo.org/resources-for-business/incoterms-rules/incoterms-rules-2010/>
- Ituarte, I. F., Khajavi, S. H., & Partanen, J. (2016). Challenges to implementing additive manufacturing in globalised production environments. *International Journal of Collaborative Enterprise*, 5(3/4), 232-247.
- Jain, V., & Benyoucef, L. (2008). Managing long supply chain networks: some emerging issues and challenges. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 19(4), 469-496.
- Johnson, M., & Kirchain, R. (2009). Quantifying the effects of parts consolidation and development costs on material selection decisions: A process-based costing approach. *International Journal of Production Economics*, 119(1), 174-186.
- Kapsiotis, G., & Tzafestas, S. (1994). Hierarchical control approach to a composite inventory-marketing problem. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 11(3), 293–309.

- Kara, S., & Kayis, B. (2007). Set-Up Reduction in Injection Molding Process - A Case Study in Packaging Industry. *International Conference on Dies and Molds*. Turkey.
- Khajavi, H., Holmström, S., & Partanen, J. (2018). Additive manufacturing in the spare parts supply chain: hub configuration and technology maturity. *Rapid Prototyping Journal*, 24(7), 1178-1192.
- Khajavi, S. H., Baumers, M., Holmström, J., Özcan, E., Atkin, J., Jackson, W., & Li, W. (2018). To kit or not to kit: Analysing the value of model-based kitting for additive manufacturing. *Computers in Industry*, 98, 100-117.
- Khajavi, S. H., Partanen, J., & Holmström, J. (2014). Additive manufacturing in the spare parts supply chain. *Computers in Industry*, 65(1), 50-63.
- Knofius, N., van der Heijden, M., & Zijm, W. (2019). Consolidating spare parts for asset maintenance with additive manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 208, 269-280.
- La Londe, B. J., & Masters, J. M. (1994). Emerging Logistics Strategies: Blueprints for the Next Century. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 24(7), 35-47.
- Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Larson, P. D., & Halldorsson, A. (2004). Logistics versus supply chain management: An international survey. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 7(1), 17-31.
- Lee, S., & Lye, S. (2003). Design for manual packaging. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 33(2), 163-189.
- Li, Y., Cheng, Y., Hu, Q., Zhou, S., Ma, L., & Lim, M. K. (2019). The influence of additive manufacturing on the configuration of make-to-order spare parts supply chain under heterogeneous demand. *International Journal of Production Research*, 57(11), 3622-3641.
- Li, Y., Jia, G., Cheng, Y., & Hu, Y. (2017). Additive manufacturing technology in spare parts supply chain: a comparative study. *International Journal of Production Research*, 55(5), 1498-1515.

- Liu, P., Huang, S. H., Mokasdar, A., Zhou, H., & Hou, L. (2014). The impact of additive manufacturing in the aircraft spare parts supply chain: supply chain operation reference (scor) model based analysis. *Production Planning & Control*, 25(13-14), 1169-1181.
- Lott, P., Schleifenbaum, H., Meiners, W., Wissenbach, K., Hinke, C., & Bültmann, J. (2011). Design of an Optical system for the In Situ Process Monitoring of Selective Laser Melting (SLM). *Physics Procedia*, 12 Part A, 683-690.
- Lovecchio, G. (2013). Il modello SCOR: un aiuto per avviare progetti di Supply Chain.
- Lummus, R. R., & Alber, K. L. (1997). *Supply Chain Management: Balancing the Supply Chain with Customer Demand*. Falls Church: APICS Educational & Research Foundation, Incorporated, 1997.
- Lummus, R., & Vokurka, R. (1999). Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. *Industrial Management & Data Systems*, 99(1), 11-17.
- Manmadhachary, A., Ravi, K. Y., & Krishnanand, L. (2016). Improve the accuracy, surface smoothing and material adaption in STL file for RP medical models. *Journal of Manufacturing Processes*, 21, 46-55.
- Mellor, S., Hao, L., & Zhang, D. (2014). Additive manufacturing: A framework for implementation. *International Journal of Production Economics*, 149, 194-201.
- Mentzer, J. T., William, D., James S., K., Soonhong, M., Nancy W., N., Carlo D., S., & Zach G., Z. (2001). DEFINING SUPPLY CHAIN MANAGEMENT. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25.
- Monczka, R., & Morgan, J. (1997). What's wrong with supply chain management? *Purchasing*, 122(1), 69-73.
- Needham, C. (2014, March 21). *European Parliamentary Research Service*. Tratto da <http://www.europarl.europa.eu/EPRS/140791REV1-Reshoring-of-EU-manufacturing-FINAL.pdf>
- Oettmeier, K., & Hofmann, E. (2016). Impact of additive manufacturing technology adoption on supply chain management processes and components. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), 944-968.

- Oliver, R. K., & Webber, M. D. (1982). Supply-chain management: Logistics catches up with strategy. In Christopher, & Martin, *Logistics : the strategic issues* (p. 63-75). London: Chapman & Hall.
- Persyn, D., Díaz-Lanchas, J., & Barbero, J. (2019). *Estimating road transport costs between EU regions*. Tratto da Joint Research Centre (JRC) : <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc114409.pdf>
- Platts, K., & Song, N. (2010). Overseas sourcing decisions – the total cost of sourcing from China. *Supply Chain Management*, 15(4), 320-331.
- Pour, M. A., Zanoni, S., Bacchetti, A., Zanardini, M., & Perona, M. (2019). Additive manufacturing impacts on a two-level supply chain. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 6(1), 1-14.
- Quinn, F. (1997). What's the buzz? *Logistics Management*, 36(2), 43-7.
- Reshoring Initiative 2018 Data Report. (2018). Tratto da [http://reshorenow.org/content/pdf/Reshoring\\_Initiative\\_2018\\_Data\\_Report.pdf](http://reshorenow.org/content/pdf/Reshoring_Initiative_2018_Data_Report.pdf)
- Rogers, H., Baricz, N., & Pawar, K. (2016). 3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(10), 886-907.
- Sasson, A., & Johnson, J. (2016). The 3D printing order: variability, supercenters and supply chain reconfigurations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 46(1), 82-94.
- Security Ministry of Human Resources and Social Security. (2018).
- Singamneni, S., Yifan, L., Hewitt, A., Chalk, R., Thomas, W., & Jordison, D. (2019). Additive Manufacturing for the Aircraft Industry: A Review. *Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering*, 8(1).
- Sirkin, H. L., Rose, J., & Choraria, R. (2017, January 11). *Honing US Manufacturing's Competitive Edge*. Tratto da Boston Consulting Group: <https://www.bcg.com/publications/2017/lean-manufacturing-operations-honing-us-manufacturings-competitive-edge.aspx>

- SmarTech Analysis . (2019). *2019 Additive Manufacturing Market Outlook And Summary Of Opportunitie*. SmarTech Publishing.
- Sossou, G., Demoly, F., Montavon, G., & Gomes, S. (2018). An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies. *Journal of Computational Design and Engineering*, 5(1), 3-18.
- Steenhuis, H.-J., Fang, X., & Ulusemre, T. (2018). The Geography of 3D Printing. *Proceedings of PICMET 18*.
- Stock, J., & Lambert, D. (2001). *Strategic Logistics Management*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Strong, D., Kay, M., Conner, B., Wakefield, T., & Manogharan, G. (2018). Hybrid manufacturing – integrating traditional manufacturers with additive manufacturing (AM) supply chain. *Additive Manufacturing*, 21, 159-173.
- Tate, W. L. (2014). Offshoring and reshoring: U.S. insights and research challenges. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 20(1), 66-68.
- The Supply Chain Council. (1997).
- Tiwari, S., Pande, S., Agrawal, S., & Bobade, S. (2015). Selection of selective laser sintering materials for different applications. *Rapid Prototyping Journal*, 21(6), 630-648.
- Tompkins, B., & Tompkins, S. (2018, Aprile). *Inventory Management Survey Results*. Tratto da Tompkins International:  
<https://www.supplychainconsortium.com/Report/GetReport/Inventory-Management-Survey-Results>
- Tran, T., Chinnappan, A., Lee, J., Loc, N., Tran, L., Wang, G., . . . Ramakrishna, S. (2019). 3D Printing of Highly Pure Copper. *Metals*, 9(7).
- Tseng, M.-L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 145-162.
- U.S. International Trade Commission (USITC). (2019, October). *Harmonized Tariff Schedule*. Tratto da <https://hts.usitc.gov/>

- Upply. (2019, October). Tratto da <https://upply.com/en>
- Vastag, G., Kasarda, J., & Boone, T. (1994). Logistical Support for Manufacturing Agility in Global Markets. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(11), 73-85.
- Verboeket, V., & Krikke, H. (2019). The disruptive impact of additive manufacturing on supply chains: A literature study, conceptual framework and research agenda. *Computers in Industry*, 111, 91-107.
- Voudouris, V. T. (1996). Mathematical programming techniques to debottleneck the supply chain of fine chemical industries. *Computers & Chemical Engineering*, 20, S1269-S1274.
- Weller, C., Kleer, R. K., & Piller, F. T. (2015). Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics*, 164, 43-56.
- Wholers. (2014). *Wholers Report 2014: 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report*. Wholers Associate.
- Wiberg, A., Persson, J., & Ölvander, J. (2019). Design for additive manufacturing – a review of available design methods and software. *Rapid Prototyping Journal*, 25(6), 1080-1094.
- Xing, W., & Whalley, J. (2014). The Golden Tax Project, value-added tax statistics, and the analysis of internal trade in China. *China Economic Review*, 30, 448-458.
- Yang, S., Min, W., Ghibaud, J., & Zhao, Y. F. (2019). Understanding the sustainability potential of part consolidation design supported by additive manufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 232, 722-738.
- Yang, S., Talekar, T., Sulthan, M. A., & Zhao, Y. F. (2017). A Generic Sustainability Assessment Model towards Consolidated Parts Fabricated by Additive Manufacturing Process. *Procedia Manufacturing*, 10, 831-844.
- Yang, S., Tang, Y., & Zhao, Y. F. (2015). A new part consolidation method to embrace the design freedom of additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 20(3), 444-449.

Zhang, B., Li, Y., & Bai, Q. (2017). Defect Formation Mechanisms in Selective Laser Melting: A Review. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 30(3), 515–527.

Zhu, Z., Dhokia, V., Nassehi, A., & Newman, S. (2013). A review of hybrid manufacturing processes – state of the art and future perspectives. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(7), 596-615.

# ***SITOGRAFIA***

- [1] <https://www.bucap.it/news/appfondimenti-tematici/gestione-del-magazzino/supply-chain-cos-e.htm>
- [2] <https://vidardq.en.china.cn/about.html>
- [3] <http://www.meisbo.com/honor-qualification/>
- [4] <https://zjutl88.en.made-in-china.com/company-Utility-Electrical-Co-Ltd-.html>
- [5] <https://it.aliexpress.com/item/932618172.html>
- [6] <https://dgbosi.en.alibaba.com/?spm=a2700.details.cordpanyb.1.34f61749aHd3Lt>
- [7] <https://wtmold.en.made-in-china.com/>
- [8] <http://www.wt-mold.com/about-us>
- [9] <http://www.feilonexport.com/display/208602.html>
- [10] <http://www.xmkingway.com/index.php/Index/about/id/10/>
- [11] [http://www.tjfajiu.com.cn/product/60598297252-218895693/fine\\_0\\_03\\_1\\_5mm\\_copper\\_strip.html?spm=a2700.icbuShop.41413.58.53244bcctrgKfQ](http://www.tjfajiu.com.cn/product/60598297252-218895693/fine_0_03_1_5mm_copper_strip.html?spm=a2700.icbuShop.41413.58.53244bcctrgKfQ)
- [12] [https://www.alibaba.com/product-detail/injection-grade-pbt-pellets-with-gf\\_62354227335.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.38824f80bRuqbb](https://www.alibaba.com/product-detail/injection-grade-pbt-pellets-with-gf_62354227335.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.38824f80bRuqbb)
- [13] [https://sd-gaoneng.en.alibaba.com/it\\_IT/company\\_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.32.51df2d2aBIDSsL](https://sd-gaoneng.en.alibaba.com/it_IT/company_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.32.51df2d2aBIDSsL)
- [14] <http://www.silveralloycontacts.com/quality.html>
- [15] <https://www.directindustry.it/prod/silicon/product-41041-991575.html>
- [16] <http://www.dgyacht.com/en/index.php?s=/Show/index/cid/11/id/1.html>
- [17] [https://dgbosi.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.55.57682f0cs9jwyx](https://dgbosi.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.55.57682f0cs9jwyx)
- [18] <http://www.feilonexport.com/display/208610.html>

- [19] <https://wtmold.en.made-in-china.com/company-Shenzhen-WT-Hardware-And-Plastics-Limited.html>
- [20] <https://yubiao2018.en.made-in-china.com/product/sNgnmiYuhKkc/China-Custom-Small-Copper-Becu-Stamping-Part-for-Battery-Contact.html>
- [21] <https://yubiao2018.en.made-in-china.com/company-Dongguan-Yubiao-Hardware-Co-Ltd-.html>
- [22] <https://hkshun.en.made-in-china.com/product-list-1.html>
- [23] <https://hagoin.en.made-in-china.com/company-Qingdao-Hagoin-Rubber-and-Plastic-Products-Co-Ltd-.html>
- [24] <https://sd-gaoneng.en.alibaba.com/>
- [25] [https://faithreach.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.icbuShop.81.16.1f061fechPjQ3W](https://faithreach.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.icbuShop.81.16.1f061fechPjQ3W)
- [26] <https://jinsye.en.alibaba.com/productlist.html?spm=a2700.icbuShop.88.19.5ca2469fYpVGs0>
- [27] <http://m.electrical-switches.com/bayonet-lampholders/b22-nylon-lamp-holder.html>
- [28] <http://www.iectestingequipment.com/sale-2207263-flammability-testing-equipment-foam-horizontal-burning-tester-iso9772-2001-ul94.html>
- [29] [https://xmxfs.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.supplier-normal.35.3.61dd24d2ux9ozc#top-nav-bar](https://xmxfs.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.supplier-normal.35.3.61dd24d2ux9ozc#top-nav-bar)
- [30] [https://shxuye.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.supplier-normal.35.3.34022e7042v13N#top-nav-bar](https://shxuye.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.supplier-normal.35.3.34022e7042v13N#top-nav-bar)
- [31] [https://hd-top.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.48.5fc97b3507ZX5g](https://hd-top.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.48.5fc97b3507ZX5g)
- [32] [https://jinsye.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.92.1c93a8f5MMYlrO](https://jinsye.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.92.1c93a8f5MMYlrO)
- [33] <https://cnshinelite.en.alibaba.com/product/60529317248-803667375/Best Quality 45 Angled Batten Lampholder with Clear Base.html?spm=a2700.icbuShop.41413.12.34867685yyKjhO>

- [34] [https://www.alibaba.com/product-detail/OEM-Beryllium-copper-battery-spring-contact\\_60766312729.html?spm=a2700.details.deiletai6.4.46104cde6GZcro](https://www.alibaba.com/product-detail/OEM-Beryllium-copper-battery-spring-contact_60766312729.html?spm=a2700.details.deiletai6.4.46104cde6GZcro)
- [35] [https://www.alibaba.com/product-detail/HAOHONG-G13-T8-Fluorescent-Lamp-Holder\\_60060191094.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.6f1a4335RfRJTZ](https://www.alibaba.com/product-detail/HAOHONG-G13-T8-Fluorescent-Lamp-Holder_60060191094.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.6f1a4335RfRJTZ)
- [36] [https://hd-top.en.alibaba.com/company\\_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.48.5fc97b35O7ZX5g](https://hd-top.en.alibaba.com/company_profile.html?spm=a2700.icbuShop.88.48.5fc97b35O7ZX5g)
- [37] [https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-Blister-Packaging-Machine\\_62124348556.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5f615a04YbnUBS&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Automatic-Blister-Packaging-Machine_62124348556.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.5f615a04YbnUBS&s=p)
- [38] [https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1r6\\_rOpXXXXbtapXX760XFXXD.png](https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1r6_rOpXXXXbtapXX760XFXXD.png)
- [39] <https://sc02.alicdn.com/kf/HTB1LMBVJ3DqK1RjSZSyq6yxEVXaI.jpg>
- [40] <https://www.searates.com/reference/equipment/1/>
- [41] <https://www.shiphub.co/container-insurance-why-is-it-worth-to-insure-a-container/>
- [42] <https://www.flexport.com/help/364-amazon-packing-fcl-shipments/>
- [43] <https://www.hireyele.com/Faq.html>
- [44] <https://www.doitbest.com/shop/electrical/light-bulbs-and-accessories/light-bulb-accessories/fluorescent-lampholder/philips-low-profile-tombstone-medium-bi-pin-t8t12-fluorescent-lampholder-2-pack?SKU=517542>
- [45] <https://www.cnet.com/news/light-bulb-buying-guide/>
- [46] <https://www.theguardian.com/business/2010/nov/11/general-electric-production-shift-china>
- [47] <https://www.bloomberg.com/profile/company/LEVITZ:CH>
- [48] <http://etlin-daniels.com/wp-content/uploads/2019/03/Notice-of-Extra-Tariff-on-Chinese-Product.pdf>
- [49] <https://etlin-daniels.com/product-category/lighting-components/linear-fluorescent-lampholders/>
- [50] <https://panjiva.com/Etlin-Daniels/1980974>
- [51] <https://panjiva.com/Philips-Lighting-China/33755436>

- [52] <https://www.hubbell.com/hubbell/en/Products/Electrical-Electronic/Wiring-Devices/Other-Wiring-Devices/RL320/p/1907636>
- [53] <https://www.fruitridgetools.com/electrical/lampholders/hubbell-medium-bi-pin-fluorescent-lampholder-t8-t12-light-socket-tall-profile-rl320/>
- [54] <https://www.summit.com/store/manufacturers/1364>
- [55] <https://www.walmart.com/browse/hubbell-inc-/YnJhbmQ6SHViiYmVsbCwgSW5jLgjeie>
- [56] <https://www.walmart.com/ip/Philips-Fluorescent-Lampholder/156895561>
- [57] <https://www.qima.com/quality-control-in-china>
- [58] <https://buy.wesco.com/Fluorescent-Lamp-Holders/HUBBELL/Lamp-Holder-Fluorescent-Medium-Bi-Pin-Base/RL320/p/88377811235-1>
- [59] <https://www.rexelusa.com/usr/Root-Category/Lighting%2C-Lighting-Controls/Lampholders%2C-Adaptors-%26-Extensions/Lampholders---Fluorescent/Linear--Pedestal-Base/Hubbell-Wiring-Kellems-RL320-FL-LAMPPLDR%2C-PED-TYPE%2C/p/113443?prevPageNumber=0>
- [60] <https://www.searates.com/services/distances-time/>
- [61] <https://jinyingpeng.en.made-in-china.com/product/pvZQEIXAvNht/China-Shenzhen-Inland-Transport-Service-China-Container-on-Trucking-Service.html>
- [62] <https://www.hubbell.com/hubbellpowersystems/en/office-and-plants/distribution-center-centralia-missouri>
- [63] <https://nisomar.com/2017/10/20/ontimeperformance/>
- [64] <http://www.lampholder.net/lampholders/whats-the-fluorescent-lampholder.html>
- [65] [https://hubbellcdn.com/ohwassets/HLI/dual-lite/resources/literature/dlt\\_rdcguide.pdf](https://hubbellcdn.com/ohwassets/HLI/dual-lite/resources/literature/dlt_rdcguide.pdf)
- [66] <https://www.hubbell.com/hubbell/en/edi>
- [67] <https://hubbellcdn.com/ohwassets/HLI/hli/resources/warranty/files/Terms%20and%20Conditions%20of%20Sale%20for%20Hubbell%20Lighting%20Inc%20%20-%20FINAL%2015%20Mar%202018.pdf>

- [68] <https://3dprintingindustry.com/news/protolabs-launches-service-for-3d-printed-copper-parts-153189/>
- [69] <https://www.aniwaa.com/3d-printing-market-watch-q4-2015/>
- [70] <https://www.eos.info/en>
- [71] [https://www.eos.info/systems\\_solutions/plastic/systems\\_equipment/eos\\_p\\_396](https://www.eos.info/systems_solutions/plastic/systems_equipment/eos_p_396)
- [72] [https://cdn0.scrvt.com/eos/37216f04c2920e2d/5873452f37ee/EOS\\_Service-Brochure\\_en\\_WEB.pdf](https://cdn0.scrvt.com/eos/37216f04c2920e2d/5873452f37ee/EOS_Service-Brochure_en_WEB.pdf)
- [73] <https://additivemanufacturingllc.com/wp-content/uploads/2015/04/PA-2210-FR.pdf>
- [74] <https://3dprinting.com/products/industrial-3d-printer/eos-p-396/>
- [75] <https://usbrassandcopper.com/>
- [76] [https://www.gsaadvantage.gov/ref\\_text/GS03F080CA/0UXDKS.3QNQMK\\_GS-03F-080CA\\_PHILLIPSADVANTAGEPRICELISTSCHEDULE365118.PDF](https://www.gsaadvantage.gov/ref_text/GS03F080CA/0UXDKS.3QNQMK_GS-03F-080CA_PHILLIPSADVANTAGEPRICELISTSCHEDULE365118.PDF)
- [77] <http://www.rachnametal.com/quality.htm>
- [78] <https://www.nasdaq.com/market-activity/commodities/hg%3Acmx>
- [79] <https://www.eos.info/software/monitoring-software>
- [80] <https://www.eos.info/material-management-plastic>
- [81] <https://www.directindustry.it/prod/pers/product-177783-1810563.html>
- [82] <https://www.samhoor.com/en/product/product155.htm>
- [83] <https://www.visipak.com/blister-packaging.html>
- [84] <https://blog.catalpha.com/blister-packaging-cost-manufacturer-tells-all>
- [85] <https://howtobuypackaging.com/how-much-does-packaging-cost/>
- [86] [http://my.liuc.it/MatSup/2010/Y90301/GPLP\\_Packaging.pdf](http://my.liuc.it/MatSup/2010/Y90301/GPLP_Packaging.pdf)
- [87] <file:///C:/Users/Marco/Downloads/Studio%20sui%20grossisti%20di%20materiale%20elettrico%202016.pdf>