



**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA**  
**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI**  
**"M.FANNO"**

**CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA**

**PROVA FINALE**

**L'AVVENTO DELLA STAMPA 3D.**  
**IMPLICAZIONI E NUOVE POSSIBILITA' PER LA MANIFATTURA**

**RELATORE:**

**CH.MA PROF. SSA Valentina De Marchi**

**LAUREANDA: Beatrice Vanzo**

**MATRICOLA N. 1089564**

**ANNO ACCADEMICO 2016 – 2017**



# Sommario

## Capitolo 1

1.1 Definizione .....	3
1.2 Cenni storici.....	4
1.3 Stato e trends della manifattura additiva .....	6
1.4 Disruptive innovation o disruptive business model? .....	12

## Capitolo 2

2.1 Il processo di manifattura additiva in breve .....	15
2.2 Le applicazioni .....	16
2.3 I materiali.....	18
2.4 Le tecnologie .....	21
2.5 I settori.....	26

## Capitolo 3

3.1 Le implicazioni economiche.....	33
3.1.1 Riduzione delle scorte di magazzino .....	34
3.1.2 Ridefinizione della supply chain .....	34
3.1.3 Operational factors .....	36
3.1.4 Forme di organizzazione del lavoro .....	37
3.1.5 Assenza di economia di scala .....	38
3.1.6 Dinamiche interne.....	39
3.2 Vantaggi e Svantaggi.....	40
3.2.1 I benefici .....	40
3.2.2 I costi .....	41
3.2.3 Le criticità.....	43

## Capitolo 4

Conclusioni.....	45
------------------	----

<b>Bibliografia.....</b>	<b>47</b>
--------------------------	-----------

## **Elenco tabelle**

Tabella 1- Schema dei produttori e delle tecnologie	11
Tabella 2- Stage di adozione	18
Tabella 3-Schema delle tecnologie	21
Tabella 4- Schema riassuntivo delle tecnologie e dei loro vantaggi, svantaggi	24
Tabella 5- Tecnologie e ambiti di applicazione	25
Tabella 6- Le implicazioni economiche in rapporto alle applicazioni	39
Tabella 7- Le implicazioni economiche in rapporto alle applicazioni	40
Tabella 8- I vantaggi per le singole applicazioni	44

## **Elenco figure**

Figura 1-Principali eventi storici	6
Figura 2- Fatturato (miliardi di \$)	7
Figura 3- Unità vendute	8
Figura 4- Localizzazione unità vendute	9
Figura 5- Produttori principali per fatturato	10
Figura 6- Schema del processo produttivo	16
Figura 7- Materiali per percentuale di adozione	19
Figura 8- Tecnologie per percentuale di utilizzo	26
Figura 9- Settori di applicazione	27
Figura 10- Flusso manifatturiero di lavoro tradizionale	36
Figura 11- Nuovo flusso per la manifattura additiva	36

# Capitolo 1

## 1.1 Definizione

I termini manifattura additiva (*additive manufacturing*), prototipazione rapida e stampa 3D sono spesso utilizzati indistintamente poiché considerati come sinonimi tanto che Gibson (2015, pag1) afferma: ”*Additive manufacturing is the formalized term for what used to be call rapid prototyping and what is popularly called 3D Printing*”.<sup>1</sup>

Per riordinare i concetti sopra citati analizziamo dapprima la definizione di *additive manufacturing* (AM) fornita da ASTM International<sup>2</sup>: “*A process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies*”. Il termine *additive manufacturing* fa dunque riferimento al processo manifatturiero di creazioni di oggetti attraverso la sovrapposizione di strati partendo da un modello matematico dell’oggetto stesso realizzato su un sistema CAD (acronimo di *Computer Aided Design*). Il termine è stato coniato per ricomprendere i concetti di *rapid prototyping*, *rapid tooling* e *rapid manufacturing*, con il fine di identificare le principali destinazioni di utilizzo della tecnologia (il processo e le applicazioni saranno esplicitate in seguito). Indipendentemente dall’oggetto realizzato: un pezzo, un prototipo o un prodotto finito, scegliere un processo di manifattura additiva significa abbandonare il ben noto processo sottrattivo, il quale prevede la sottrazione progressiva del materiale da un blocco grezzo fino a ottenere la forma desiderata di prodotto finito o semilavorato secondo un disegno predefinito.

Uno dei primi utilizzi del metodo additivo è stato proprio nel campo della prototipazione rapida, ossia la creazione in tempi brevi di prototipi anche complessi ai fini della valutazione o del miglioramento degli stessi prima del lancio sul mercato. Tuttavia in seguito ai più recenti sviluppi in termini di materiali utilizzabili, costi dell’attrezzatura, accuratezza dei pezzi realizzati i campi di applicazione sono incrementati e quindi il termine di prototipazione rapida è riduttivo se confrontato con essi.

Stampa 3D è però il vocabolo più popolare per designare la metodologia in generale perché la stampante 3D, sebbene non sia il solo strumento, è in realtà il più noto e quello che desta più

---

<sup>1</sup> “ La manifattura additiva è il termine formalizzato per quello che era chiamato prototipazione rapida e che è comunemente chiamato stampa 3D”.

<sup>2</sup> American Society for Testing and Materials International è un organismo di normalizzazione statunitense fondato nel 1898.

curiosità. In verità vi sono diverse stampanti 3D classificate in funzione del materiale che utilizzano e della conseguente tecnica di lavorazione. Inoltre, quale sia il modello, questi macchinari fanno parte di un più articolato sistema di tecnologie, procedure, software, tutti necessari per ottenere il prodotto finale.

## *1.2 Cenni storici*

Sebbene solo recentemente si senta parlare di stampa 3D le sue origini sono da farsi risalire agli anni Ottanta. Difatti è proprio in questi anni che Charles Hull, fondatore e vicepresidente della 3D Systems, ottiene una serie di brevetti in materia. Il primo a essere registrato risale al 1986 e riguarda la stereolitografia (SLA o SL) che come spiega Maietta (2014, p 19) è: “ un metodo per creare oggetti solidi fissando e indurendo, uno sopra l’altro, strati sottili di resine composte da fotopolimeri, materiali che cambiano le proprie proprietà quando sottoposti alla luce ultravioletta.” Un altro brevetto conseguito dallo stesso Hull ha per oggetto il formato di file utilizzato, chiamato STL (*Standard Tasselation Language*), che permette di approssimare un oggetto tridimensionale in una serie di triangoli adiacenti coprenti un intero spazio.

Una serie di tecnologie additive (spiegazione nei prossimi capitoli) sono state sviluppate intorno agli stessi anni, le due più importanti sono: la *Selective Laser Sintering* (SLS) e la *Fused Deposition Model* (FDM), brevettate rispettivamente nel 1986 e 1988.

Tuttavia nei suoi primi anni di vita la stampa 3D non ha avuto una grande diffusione a causa degli elevatissimi costi di utilizzo, all’opposto i brevetti scaduti e la filosofia *open source* sempre più diffusa hanno contribuito a una maggiore visibilità e adozione.

Nel 2005 il britannico Adrian Bowyer, professore d’ingegneria meccanica all’Università di Bath, lancia il progetto RepRap con l’obiettivo di costruire una macchina in grado sia di produrre oggetti di plastica sia di riprodurre se stessa utilizzando la tecnologia FDM, il cui brevetto firmato da Scott Crump è scaduto nel 2005. Per contenere i costi, il professore pensa di adoperare materiali facilmente reperibili e in aggiunta pubblica tutte le informazioni necessarie alla costruzione in un sito a libero accesso. Questa idea ha incentivato molti esperti e start-up con le competenze necessarie a proporre kit di assemblaggio di stampanti a costi contenuti (mai superiori a 500\$), spesso trovando i finanziamenti necessari nel sito di *crowdfunding* americano *Kickstarter*.

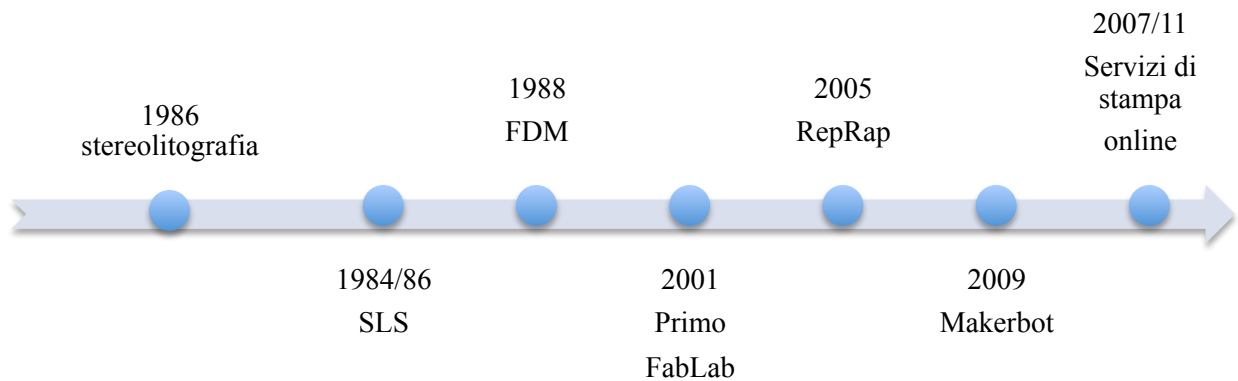
Un altro passaggio fondamentale avviene nel 2007 quando Bre Pettis, Adama Mayer e Zach Smith fondano a New York un *hackerspace* con lo scopo di scambiare idee e sperimentare servendosi di *software* e altre macchine rapide. L’idea del gruppo è dunque quella di uno

strumento che semplifichi e migliori il predecessore RepRap mantenendone le caratteristiche di base (*opensource*, prototipazione rapida, bassi costi). Il modello finale, presentato nel 2009 alla fiera di Austin con il nome di *Cupcake CNC*, ha un successo tale che i tre ideatori fondano una società, *Makerbot*, e iniziano a produrre kit, con un primo ordine di 3.500 unità. Negli anni successivi il fenomeno continua a crescere e nuovi modelli sono proposti al pubblico, grazie anche al supporto della comunità che nasce intorno al blog, fino al 2013 quando Stratasys compra la società per 400\$ milioni.

Recentemente la competizione ha cominciato a farsi sentire anche in questo settore cosicché sono comparsi servizi di stampa online che permettono alle persone senza le adeguate competenze tecniche e che non vogliono sostenere un investimento iniziale di creare un modello 3D, farselo stampare e spedire, due esempi sono Shapeways e i.materialise nati nel 2007 e 2011. Gli utenti possono anche realizzare modelli da condividere nel sito, ricevendo poi una percentuale del prezzo di vendita nel caso in cui qualche altro utente li voglia acquistare (si veda Cassarà, 2014).

Un altro fenomeno di recente diffusione collegato alla manifattura additiva è quello dei *FabLab* (*fabrication laboratories*) la cui storia ha origine in America presso il *Center of Bits and Atoms* del *Massachusetts Institute of Technology*. Nel 2001 il professor Neil Gershenfeld ha dapprima istituito un corso sui temi del *desktop manufacturing* e della fabbricazione personale e poi, visto il grande afflusso di studenti, ha coordinato il primo *FabLab* della storia. A differenza degli altri spazi condivisi, *hackerspace* e *makerspace*, Cassarà (2014) ricorda che ogni *fabrication laboratory* deve essere dotato di un set minimo di strumenti, tra i quali una stampante 3D, e deve firmare e rispettare una lista di principi (*FabCharter*) stilata dal *Fab Foundation*, affinché sia possibile realizzare lo stesso progetto in qualsiasi laboratorio nel mondo. Sebbene la vendita di questi progetti sia possibile sotto specifiche condizioni di copyright, le attività principali devono restare la progettazione aperta e la diffusione della cultura di fabbricazione personale. Appare perciò evidente, data la loro struttura e organizzazione, che essi non possano sostituire completamente la produzione di massa, tutt'al più possono essere gli incubatori delle innovazioni nel futuro.

Figura 1- Principali eventi storici



Fonte: elaborazione personale

### 1.3 Stato e trends della manifattura additiva

Il nuovo processo produttivo additivo è stato classificato da Markillie (2012) come parte di una terza rivoluzione industriale. Vi è generale accordo sull'identificazione della prima rivoluzione industriale, avvenuta in Inghilterra nel 18esimo secolo con la meccanizzazione dell'industria tessile e la progressiva sostituzione delle macchine all'uomo in tutti i settori. Anche la seconda non genera alcun dibattito, essa si colloca solitamente all'inizio del 20esimo secolo e si caratterizza per la produzione di massa tipicamente fordista.

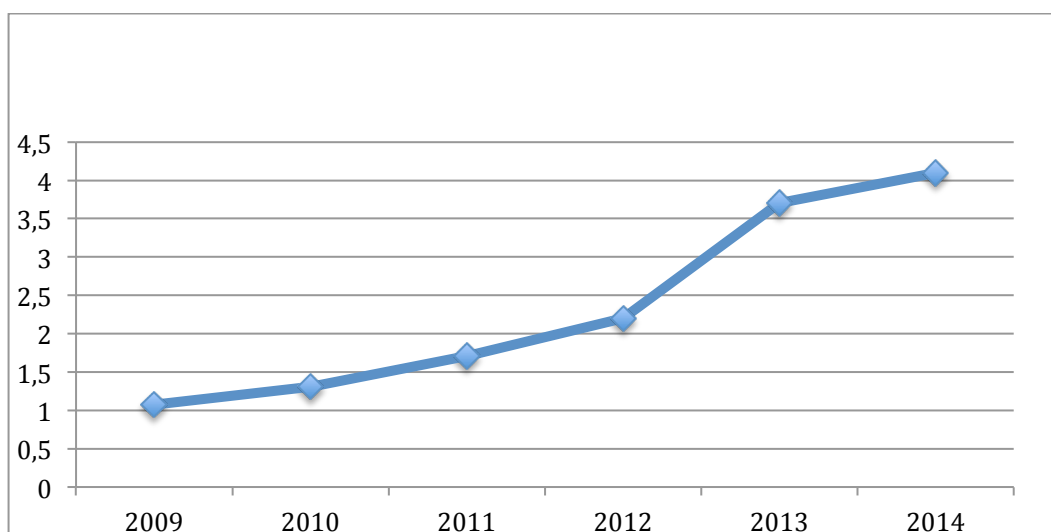
La terza rivoluzione appare invece più discutibile. Gli elementi citati da Markillie (2012) tali da classificare questa tecnologia come rivoluzionaria sono: la digitalizzazione dei metodi produttivi, il cambiamento dell'organizzazione interna delle fabbriche, i nuovi materiali utilizzabili, le diverse competenze richieste ai lavoratori per le nuove mansioni, il tempo e lo spazio di produzione ridimensionati, la diversa struttura delle catene di fornitura, il cambiamento dell'atteggiamento sociale rispetto alla produzione. A parere dell'autore la conseguenza di tutte queste trasformazioni sarebbe proprio un'altra rivoluzione industriale, nella quale si realizzeranno prodotti personalizzati in piccola scala, più flessibili, con meno lavoro, grazie a nuovi materiali, nuovi processi come la stampa 3D, robot e servizi disponibili online. Sebbene questi caratteri siano indiscutibilmente presenti, la questione resta irrisolta circa la possibile applicazione nei diversi settori, tanto da dubitare di poter parlare di una nuova rivoluzione per l'assenza di una diffusione pervasiva e dei conseguenti cambiamenti di paradigma produttivo e *forma mentis* che hanno invece contraddistinto i due precedenti momenti rivoluzionari.



## Il mercato

Fatta questa premessa, si vorrebbe capire qual è l'attuale stato e quali i possibili sviluppi futuri. Un dato importante registrato in vari report è il fatturato complessivo legato alla manifattura additiva composto dal totale di prodotti venduti: sistemi di manifattura additiva, sistemi di aggiornamento, materiali, software e laser, nonché dai servizi erogati a pagamento, ossia i pezzi prodotti su sistemi di manifattura additiva da fornitori di servizi, i contratti di manutenzione del sistema, la formazione, i seminari, le conferenze, la pubblicità, la ricerca a contratto e i servizi di consulenza.

Figura 2- Fatturato (miliardi di \$)



Fonte: WohlersAssociates, 2015

Come si può notare dal grafico nell'arco di cinque anni il mercato delle tecnologie additive si è espanso. Nello specifico, i primi anni in analisi hanno visto una crescita più contenuta e costante mentre dal 2012 i valori hanno sperimentato un incremento più consistente raggiungendo il picco nel 2014 con ricavi per 4.1 \$ miliardi. Gran parte di questa espansione è stata registrata in tempi recenti e in campi dove è richiesta una forte personalizzazione del prodotto. In aggiunta, secondo gli esperti, l'aumento del numero di aziende adottanti il processo di produzione additiva e la riduzione del prezzo delle connesse tecnologie hanno notevolmente favorito i tassi ascendenti.

Considerando invece l'anno 2015 il fatturato riportato nelle fonti varia da 5.2\$ miliardi (Canalys<sup>3</sup>, 2016) a 11\$ miliardi (IDC<sup>4</sup>, 2016). Tale *range* di valori può essere compreso alla

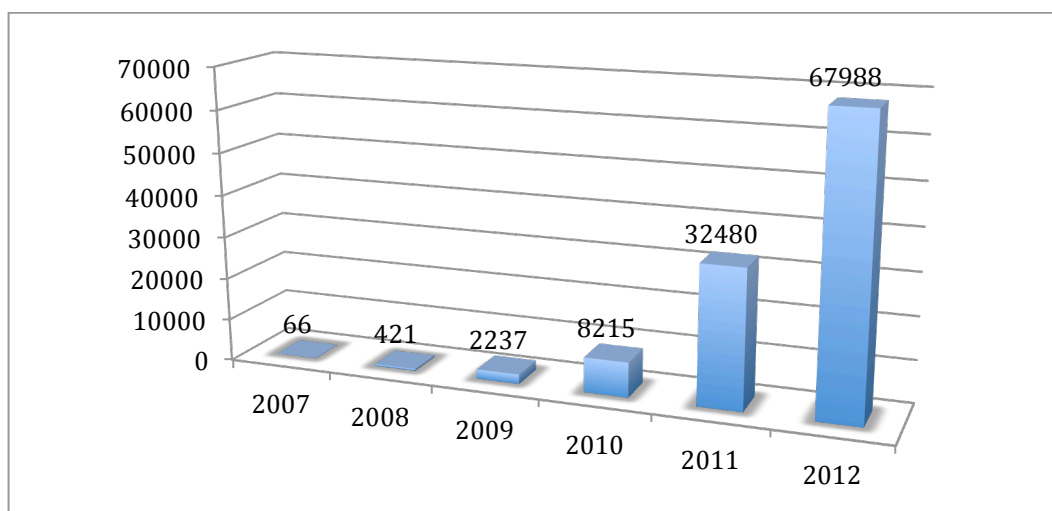
<sup>3</sup> Dal 1998 è leader delle ricerche e analisi del mercato delle tecnologie.

<sup>4</sup> International Data Corporation è una società americana di analisi e ricerca specializzata nelle telecomunicazioni, ICT, sviluppo di software.

luce del continuo sviluppo che interessa questa tecnologia, tanto che si riscontrano difficoltà nella formulazione di stime attendibili e di un sistema comune di classificazione dei dati. Altresì, la variazione è il prodotto di una sorprendente crescita negli ultimi anni, difatti, considerando le stesse fonti, si evince una un tasso ascendente del 56% rispetto all'anno precedente (Canalys, 2016) e un trend positivo che non è destinato ad arrestare nel futuro, arrivando nel 2020 a ricavi globali pari a 21.3\$ e 20,2\$ (WohlerAssociates<sup>5</sup> e Canalys, 2016) e a un valore di 28.9\$ (IDC, 2016), in accordo con il maggiore dato di partenza del 2015.

Per avvalorare ulteriormente quest'estensione si rimarca, attraverso il grafico successivo, l'incremento sorprendente del numero di stampanti vendute negli ultimi anni. Tale numero crescente può essere spiegato dalla riduzione del prezzo dei macchinari e dalla contestuale offerta ampliata di materiali.

Figura 3- Unità vendute



Fonte: WohlersAssociates, 2013

Per di più Gartner<sup>6</sup> prevede un incremento anche nei prossimi anni tanto che si giungerà a 5,6 milioni di unità vendute nel 2019. Si sottolinea che la crescita del mercato è percepita anche dalle aziende, a tal punto che il 77% del campione (Sculpteo,<sup>7</sup> 2016) afferma di voler aumentare la spesa nel 2017, raddoppiando il budget rispetto al 2015, i valori riportati (forniti in media) sono rispettivamente pari a 6.132\$ nel 2016 e 3.736 nel 2015.

<sup>5</sup> Compagnia indipendente fondata 30 anni fa in Colorado che fornisce consulenze strategiche e tecnologiche sugli sviluppi e i trends delle tecnologie additive.

<sup>6</sup> Società nata nel 1979 leader mondiale nella consulenza strategica, ricerca, analisi nel campo del IcT.

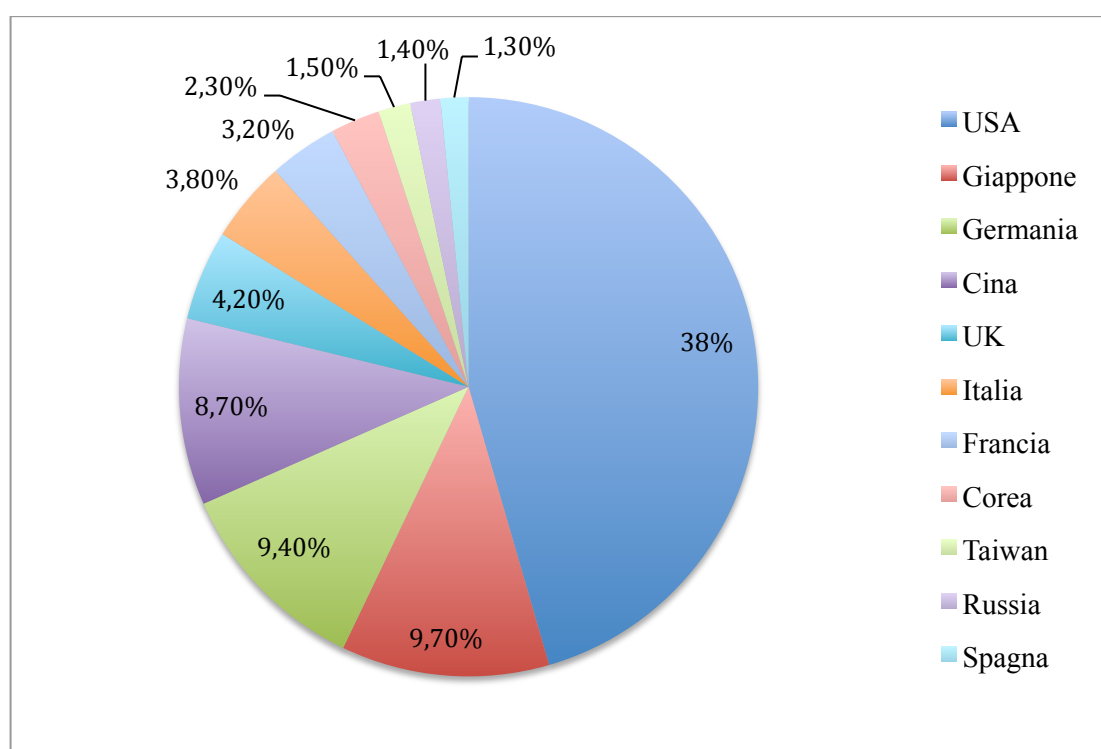
<sup>7</sup> Compagnia francese di servizi di stampa online fondata da Carreel e Morceau nel 2009.

### Il settore

Oltre alle imprese già presenti nel settore da anni ve ne sono altre che entrano a farne parte periodicamente quindi avere un'idea chiara delle dimensioni del settore è quasi impossibile.

In generale, la maggiore concentrazione di produttori è in America e in Europa poiché le prime tecnologie additive sono state inventate proprio in questi continenti e negli anni (80-90) in cui in queste parti del mondo si trovavano gli stati più forti economicamente e quindi più propensi a investire. Successivamente il fenomeno è cresciuto anche in Asia e Oceania mentre è ancora assente in Africa. La stessa ripartizione si propone nella geografia delle unità vendute, infatti, le percentuali maggiori sono registrate per gli Stati Uniti e per alcuni paesi europei come la Germania e la Gran Bretagna ma allo stesso tempo è rilevante il dato di alcuni stati asiatici (Giappone, Cina e Taiwan).

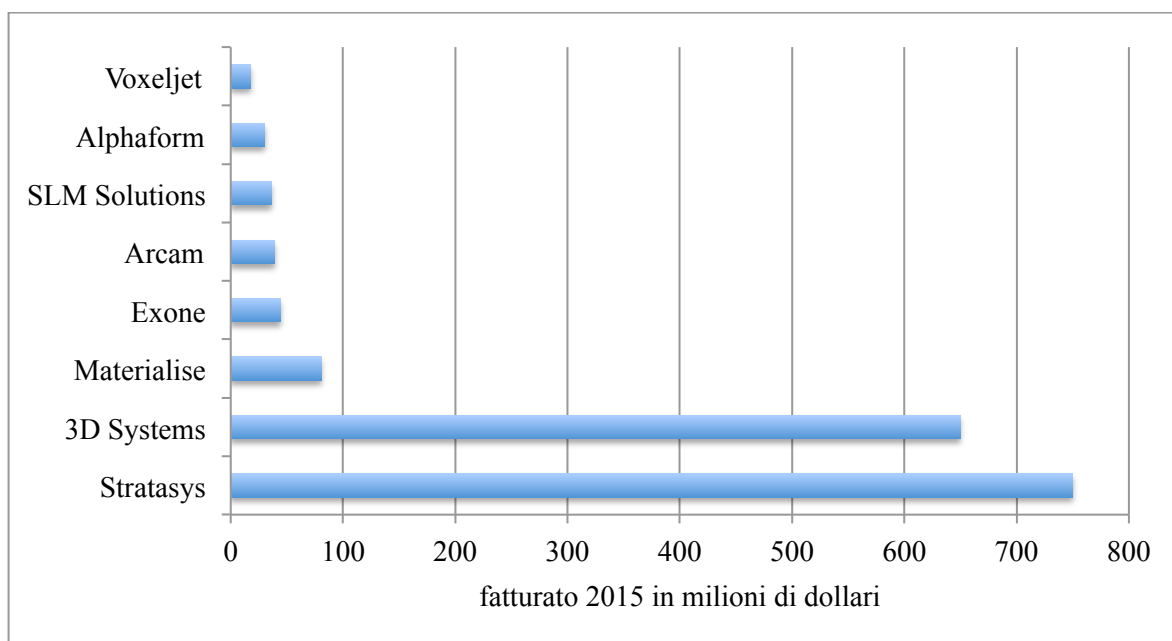
Figura 4- Localizzazione unità vendute



Fonte: Beltrametti e Gasparre (2014)

Cercare di analizzare la rilevanza dei produttori in base al fatturato non è semplice se si rammenta che non tutte le aziende produttrici di stampanti 3D sono quotate sui mercati finanziari. Dunque, con il tentativo di fotografare la spartizione delle quote del mercato, il grafico a seguire riporta i maggiori produttori sulla base dei dati disponibili sul fatturato del 2015.

Figura 5- Produttori principali per fatturato



Fonte: [www.stampa3dstore.com](http://www.stampa3dstore.com)

In ogni caso, Stratasys è di sicuro uno dei principali colossi mondiali. La società fondata nel 1988 produce principalmente macchine con tecnologia FDM e Polyjet. Inoltre la sua influenza globale si è ampliata negli anni grazie alla fusione con Object e all'acquisto di Makerbot. Un'altra importante azienda è 3D System, costituita nel 1986, offre una vasta gamma di tecnologie: stereolitografia (SLA), sinterizzazione laser selettiva (SLS), modellazione a deposizione fluida (FDM) e 3D Print grazie all'acquisto di Z Corporation nel 2012. Un'altra americana è la giovane ExOne, nata nel 2005, specializzata nella realizzazione di macchine per prototipi. In Europa, invece, merita di essere menzionata Arcam, società svedese, impegnata dal 1997 nel migliorare le sue stampanti 3D basate sulla tecnologia EBM (Electron Beam Melting). Nello stesso continente e in particolare in Germania troviamo importanti realtà come Voxeljet, Alphaform, SLM Solutions. I modelli offerti dalla prima trovano maggiore utilizzo nella produzione di componenti o prototipi, la seconda invece è un servizio di prototipazione rapida nonché di stampa di progetti artistici. Un'altra veterana di nazionalità tedesca è EOS la cui offerta si basa quasi esclusivamente sulla tecnologia DMLS (Direct Metal Laser Sintering). Tra le varie aziende presenti in Italia possiamo evidenziare il caso di Sharebot operativa dal 2011 con l'obiettivo di diffondere il sistema di prototipazione rapida tra le piccole e medie imprese. A tale fine i suoi modelli ricomprendono tutte le principali tecnologie: Sharebot XXL (FF), Sharebot Voyager (DLP) e Sharebot SnowWhite (DLS).

Tabella 1- Schema dei produttori e delle tecnologie

<b>Produttori principali</b>	<b>Tecnologia</b>
3D Systems, Blueprinter, Norge	SLS
Stratasys, Gimax 3D, 3D Factories, Sharebot, Ultimaker, 3D Systems	FDM
3D Systems, FormLabs	SLA
Stratasys	Polyjet
EOS, Evisiointec	DLP, DLMS
Mcor Technologies Ltd, Cubic Technologies	LOM

Fonte: elaborazione personale

Un altro indicatore dello stato di evoluzione è l'offerta di materiali, i cui principali sono: plastica, resine metalli, cera, e tutti i nuovi composti che sono studiati e migliorati per trovare un pronto utilizzo (descrizione nei capitoli a seguire).

Nei report in analisi si è cercato di comprendere quali siano i criteri che guidano alla scelta di acquisto. Tra gli interlocutori mondiali il 32% sostiene che la stampa 3D permette di avvicinarsi al loro primario obiettivo: l'accelerazione dello sviluppo del prodotto, il 28% vuole offrire prodotti personalizzati o serie limitate mentre il 13% desidera essere più flessibile (Sculpteo,2016). Anche la maggior parte (40%) delle aziende italiane sotto analisi (Prometeia,<sup>8</sup> 2015) si aspetta una riduzione dei tempi di produzione e prototipazione. Allo stesso tempo una cospicua porzione dello stesso campione (28,9%) auspica di poter produrre forme più complesse mentre le stesse imprese non considerano la produzione presso il punto vendita un beneficio atteso desiderato (4,7%). I vantaggi sperati appena riassunti dovrebbero trovare un riscontro favorevole nell'adozione effettiva. Questo avviene a livello globale, tanto che solo il 7% ritiene che la stampa tridimensionale non sia un apporto favorevole per il suo business. In Italia al contrario solo il 30% ha rilevato un impatto significativo in seguito all'adozione mentre il 47,5% ne evidenzia uno solo limitato e il 14,4% uno assente. Da evidenziare sono anche le ragioni che conducono a una mancata adesione al nuovo processo. Il 74,7% dei non utilizzatori afferma che tale tecnologia non supporta il business, il 13,5%

<sup>8</sup> Dati del "Primo rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali sul sistema manifatturiero italiano" realizzato per la Fondazione Make in Italy.

non conosce la tecnologia e 11,8% ne sta valutando l'acquisto. Altri fattori individuati che rallentano la diffusione sono: la limitazione dei materiali utilizzabili (43,3%), l'investimento richiesto nelle attrezzature (42%), e il software (38,1%).

Un altro trend da evidenziare è il potenziamento dell'investimento nel settore. A prova di questo, considerevoli somme di denaro (87\$ milioni) sono state allocate per la realizzazione di progetti di ricerca e sviluppo nel campo della stampa 3D da parte del *Nation Additive Manufacturing Innovation Institute* e in collaborazione con 150 partners. L'associazione americana, nota anche col nome di *America Makes*, annovera tra i suoi membri (163 in totale) diverse industrie, università, agenzie governative e non con lo scopo di lavorare insieme e accelerare l'adozione del processo additivo in previsione di una maggiore competitività raggiungibile grazie allo stesso. Tra le principali attività praticate possiamo evidenziare l'educazione all'uso delle tecnologie, la facilitazione nello scambio d'informazioni e l'assistenza a medie-piccole imprese nelle fasi di ricerca di risorse e primo sviluppo del processo additivo.

Con la stessa operatività in Italia ha preso vita l'Associazione Italiana Tecnologie Additive (AITA). La missione di quest'associazione culturale è quella di aggregare i principali interessati (aziende produttrici e utilizzatrici, centri di ricerca, università, centri di servizio) e favorire il dialogo tra gli stessi e di questi con gli enti e le istituzioni governative per promuovere e diffondere l'impiego della stampa 3D a livello industriale attraverso fiere, convegni, corsi di formazione, e attività legate alla ricerca e sviluppo.

#### *1.4 Disruptive innovation o disruptive business model?*

La prima menzione di “*Disruptive innovation*” si trova nel libro “*The innovator's Dilemma*” pubblicato nel 1997 dal professor Clayton M. Christensen. Stempleton (2015) riassume l'oggetto della tesi nell'introduzione di un'innovazione che conduce a una maggiore semplicità e accessibilità in mercati o settori esistenti complessi o caratterizzati da alti costi. Nello specifico, la teoria del professore si riferisce a un processo che inizia con lo sviluppo di un prodotto di qualità inferiore rispetto a quello presente nel mercato ma più conveniente in termini monetari o più semplice da utilizzare. Inizialmente dunque la nuova tecnologia, non possedendo i requisiti minimi di attrattività per gli *incumbents*, s'istalla in una nicchia del mercato. Successivamente però grazie agli sviluppi e ai miglioramenti è destinata ad incrementare la sua popolarità ed adozione.

Tentare di considerare la stampa 3D come una *disruptive technology* potrebbe essere difficile poiché la definizione della stessa come tecnologia è un po' vaga. E inoltre, il rimpiazzo di cui parla la teoria è rivolto a un oggetto mirato, tuttavia non è facile trovare un metodo, una tecnologia o un prodotto specifico che sia realmente sostituito dalla stampa 3D. Alcuni autori, identificandone le caratteristiche, hanno fatto affidamento al pensiero di Christensen per analizzare l'avvento delle stampanti 3D a uso personale rispetto a quelle industriali. Tuttavia la nostra analisi vorrebbe mantenere un punto di vista più ampio e non focalizzarsi su un trend recente e ancora poco prevedibile.

Invece, per quanto concerne la manifattura additiva, l'innovazione più interessante è quella che riguarda il modello di business (*disruptive business model innovation*), anche se spesso questo termine è ricompreso insieme a quello di *disruptive product innovation* nella definizione di *disruptive technologies innovation*.

Per essere qualificato come innovativo non è necessario che l'azienda scopra nuovi prodotti ma è sufficiente attrarre nuovi consumatori nel mercato o incrementare il consumo degli esistenti grazie ad un'offerta ridefinita per il cliente. Come conseguenza dell'espansione/incremento del mercato i fattori di successo dell'azienda potrebbero subire delle modifiche e quindi anche le attività svolte dovrebbero essere ripensate in funzione di queste trasformazioni (si veda Markides 2006). A differenza di quello che accade per le *disruptive technologies*, dove i nuovi entrati rimpiazzano gli esistenti, i *business-model* innovativi sono soliti crescere fino a una certa percentuale del mercato ma non arrivano a rimpiazzare completamente il precedente modo di competere. Infatti, Markides (2006) ricorda che la decisione di abbandonare il consolidato modello di business dovrebbe essere assunta da ogni azienda, tenendo in considerazione le circostanze, e dopo un'attenta analisi dei costi e dei benefici. Con la prospettiva di avere una visione più dettagliata, vari autori hanno dato una definizione di modello di business che ricomprende quattro elementi critici: *value proposition*, *value delivery*, *value capture*, *value creation*. La *value proposition* ricomprende i prodotti, i servizi offerti e il modello di prezzo. Il canale distributivo e il segmento target dell'azienda sono riassunti dal termine *value delivery*. Con *value capture*, invece, si vuole parlare di modello dei ricavi, profitti e struttura dei costi. In ultimo, le competenze distintive, le risorse chiave, il valore della rete aziendale (*value network*) e la *governance* si riconducono alla definizione di *value creation*.

Ora occorre fare alcune distinzioni secondo il campo di utilizzo delle tecnologie additive. Molto brevemente possiamo dire che nel caso della prototipazione rapida l'unico elemento critico tra quelli sopra citati che risente di un rilevante impatto è la *value proposition* giacché l'impiego della manifattura additiva permette di ottenere nuovi prodotti in tempi più rapidi.

L'influenza, invece, sulla *value delivery* e *creation* è pressoché nulla. Si evidenzia inoltre l'effetto ambiguo sul *value capture* poiché in alcuni casi l'adozione può comportare una riduzione dei costi in altri no, quando il servizio è esterno. Nel complesso non risulta nessun cambiamento significativo nel modo in cui le aziende fanno business. Anche in un altro campo di applicazione, la produzione indiretta, il processo di produzione non viene modificato radicalmente ma subisce solo un'accelerazione.

Quello più interessante in quanto a portata rivoluzionaria è l'uso delle tecnologie additive per la produzione di oggetti finiti. In questo caso l'impatto più evidente riguarda la *value proposition* visto che grazie alla stampa 3D aumentano i prodotti offerti, e nuovi modelli di prezzo possono comparire a seguito della completa personalizzazione. Allo stesso tempo si registra un impatto sulla *value delivery* che può essere ben esplicitato dalle modifiche subite dalla *supply chain*, come ad esempio l'aggiunta di nuovi canali distributivi (vedere capitoli seguenti). Per di più, l'azienda rileva una modifica dei suoi fattori critici e un impatto diretto sul *network value* (elemento della *value creation*) dato che si ritrova a far parte di una rete del valore dove collabora con il consumatore stesso nella progettazione-produzione.

Un po' più complesso è il caso della *value capture*. Prima di tutto possiamo sottolineare che sia i costi che il modello dei ricavi e l'allocazione dei profitti sperimentano un'influenza interessante. Si anticipa che, come tenteremo di analizzare successivamente, i costi ne risentono sicuramente ma è difficile giungere a una risposta definitiva sul loro ammontare. Per quanto riguarda i profitti, invece, la loro spartizione potrebbe risultare di ardua definizione nel momento in cui si coinvolgono nuovi ed ulteriori attori, come ad esempio piattaforme online, che giustamente pretendono una parte del valore aggiunto. In questo contesto può essere difficile anche trovare un modello dei ricavi adeguati. A tal fine le aziende dovrebbero orientarsi verso prodotti dal forte valore aggiunto o ottenere ricavi da servizi complementari poiché il consumatore potrebbe non essere disposto a pagare più di prima salvo che non percepisca un beneficio incrementale (esempio una completa personalizzazione). In ogni caso il risultato è un modello di business più mobile e adattivo, il quale consente non solo un'estensione in verticale più rapida lungo la catena di fornitura ma anche un movimento in nuovi mercati con una riduzione dell'investimento iniziale e dei rischi connessi.

In sintesi, da quanto detto, emerge che il *rapid prototyping* e la produzione indiretta possono essere classificate come innovazioni incrementali mentre la produzione diretta è piuttosto radicale giacché cambiano più elementi del modello di business e anche simultaneamente.



## Capitolo 2

### 2.1 Il processo di manifattura additiva in breve

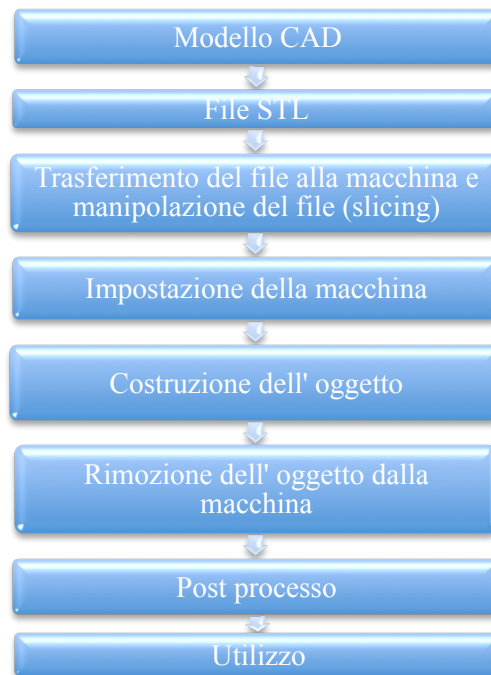
Anche se il processo di produzione si compone di diversi passaggi e nonostante le tecnologie disponibili siano molteplici, andremo di seguito a riassumere gli stadi fondamentali.

Il primo strumento a essere utilizzato è un software che consente di ottenere un disegno della geometria esterna dell'oggetto da stampare. Per questa rappresentazione si fa uso di un qualsiasi software professionale CAD ma strumenti d'ingegneria inversa (laser e scanner) possono essere parimenti utilizzati (si veda Gibson, 2015). Il passo successivo è la conversione del disegno CAD in un file di formato STL (acronimo di *Standard Triangulation Language ToLayer*), normalmente letto da qualsiasi stampante 3D. Il file in questione, considerando le superfici rappresentate con il modello CAD, calcola le sezioni triangolari nelle quali l'oggetto è suddiviso.

Una volta ottenuto il file STL si adoperano dei software, chiamati *slicer*, che traducono il file in istruzioni adeguate a guidare la macchina nella produzione dell'oggetto. Le funzioni svolte sono essenzialmente due: generazione del supporto e *slicing*. È, infatti, necessario costruire dei pezzi che sostengano l'oggetto durante la produzione, i quali saranno poi rimossi con tecniche diverse in relazione alla tecnologia in uso. È inoltre importante suddividere il disegno nei sottili strati (*layer*) che sovrapposti formeranno l'oggetto finale desiderato. In particolare, questa fase di *slicing* può essere classificata come uniforme o adattativa. Con il primo si conferisce all'oggetto uno spessore costante mentre la seconda tipologia prevede un adattamento dello spessore alla curvatura superficiale con il fine di ridurre al massimo la scalettatura della superficie esterna. A questo punto, prima che inizi il processo di compilazione, la macchina deve essere impostata secondo gli adeguati parametri di costruzione (*timing*, spessore degli strati, eventuali vincoli dei materiali). La fase successiva è la costruzione dell'oggetto. Dato che il processo è pressoché automatico, non è necessaria una supervisione costante della macchina ma è sufficiente un controllo superficiale che assicuri la non fuoriuscita dei materiali o errori del software. Una volta completata la costruzione, l'oggetto deve essere rimosso dalla macchina. Essendovi un'interazione degli addetti con la strumentazione è opportuno predisporre degli accorgimenti, come blocchi di sicurezza per garantire l'assenza di parti in movimento o una temperatura adeguatamente bassa. Il procedimento prosegue giacché l'oggetto potrebbe richiedere una successiva pulizia prima di

essere usato o potrebbe avere delle parti di supporto da rimuovere. Nel momento conclusivo le parti realizzate con il metodo additivo potrebbero essere assemblate con altre componenti elettroniche o metalliche per ottenere l'oggetto finale, potrebbero essere levigate o dipinte per dare forma alla superficie finale desiderata.

Figura 6-Schema del processo produttivo



Fonte: elaborazione personale

## 2.2 Le applicazioni

Le principali applicazioni della stampa 3D possono essere schematizzate in quattro categorie: *rapid prototyping* (prototipazione rapida), *rapid tooling* (produzione indiretta), *rapid manufacturing* (produzione diretta), *spare parts* (parti di ricambio). Tra le imprese utilizzatrici a livello globale (Sculpteo, 2016) il principale ambito di applicazione è la prototipazione (50%), la produzione industriale e la verifica del prodotto registrano ancora una percentuale inferiore, rispettivamente pari al 25% e al 30%. Allo stesso modo tra le adottanti italiane (Prometeia, 2015) la prototipazione conta per la percentuale maggiore (71,2%), seguita dalla produzione (10,4%). In entrambi i casi, la produzione indiretta e/o di pezzi di ricambio sono ricomprese nella categoria “altro” a causa del loro esiguo peso (circa 6%).

### *Prototipazione Rapida*

Il primo campo di utilizzo della stampa 3D è stata la prototipazione rapida dal momento che le prime tecnologie additive, sviluppate nel 1980, potevano produrre con costi elevati solamente oggetti di plastica di piccole dimensioni il cui il livello di qualità e dettaglio erano piuttosto bassi. Rayna e Striukova (2016) sottolineano che la riduzione dei costi ha favorito una diffusione presso imprese più piccole mentre il miglioramento della qualità ha condotto a un uso massiccio per sviluppare modelli esteticamente uguali al prodotto finito o prototipi da sottoporre a test e valutazioni critiche prima di un lancio sul mercato.

### *Produzione Indiretta*

Un'altra applicazione ha iniziato a diffondersi nella seconda metà degli anni Novanta quando sono comparse sul mercato nuove stampanti 3D che risolvevano alcune problematiche delle aziende nella costruzione di stampi, attrezzature, utensili per la produzione. Da sempre, infatti, le imprese costruivano questi strumenti attraverso un lento processo sottrattivo da un blocco di alluminio o altro materiale. Tuttavia commettere errori poteva essere molto costoso poiché significava ripercorrere le fasi di produzione di queste parti utilizzando nuovi materiali e dedicando ulteriore tempo. Il passaggio alla manifattura additiva ha permesso di realizzare gli stessi oggetti con tempistiche ridotte e con la possibilità di adattare ogni fase a cambiamenti avvenuti dopo la progettazione degli stessi permettendo inoltre una notevole libertà geometrica.

### *Produzione Diretta*

Come scrive Gibson (2015, p 39): “*Speed, quality, accuracy and material properties have developed to an extent that 3D printed parts can be made for final use*”. I recenti sviluppi hanno ulteriormente abbassato i costi, aumentato la qualità e ampliato i materiali disponibili tanto che la stampa 3D ha iniziato a essere utilizzata per la produzione di oggetti finiti, implementando tutto il processo additivo senza impiegare stampi o altre macchine tipicamente sottrattive.

### *Parti di ricambio*

La stampa 3D risponde in maniera diversa all'esigenza delle aziende di stoccare in magazzino pezzi di ricambio da sostituire a quelli non funzionanti nel momento del bisogno. Grazie all'utilizzo delle tecnologie additive in magazzino possono essere conservati i file delle parti sostitutive che sono poi stampati quando serve e nel luogo opportuno.

In estrema analisi si potrebbe notare un ulteriore e molto recente campo di utilizzo, vale a dire *l'home fabrication*. In questo caso l'utilizzo della stampante 3D avviene direttamente a casa del consumatore che possiede l'equipaggiamento adeguato. A oggi sono principalmente gli hobbisti o gli studenti d'ingegneria a possedere tali kit ma visto il crescente tasso di adottanti vi sono alcuni esperti che annunciano una diffusione futura pari a quella attuale del personal computer. Allo stesso tempo ci sono molti scettici che pongono l'accento sulla mancanza di una reale e costante necessità nell'avere una di queste stampanti in casa (si veda Rayna 2015). In ogni caso è importante che ognuna di queste applicazioni coesiste con le altre e non rende le precedenti obsolete.

Tabella 2- Stage di adozione

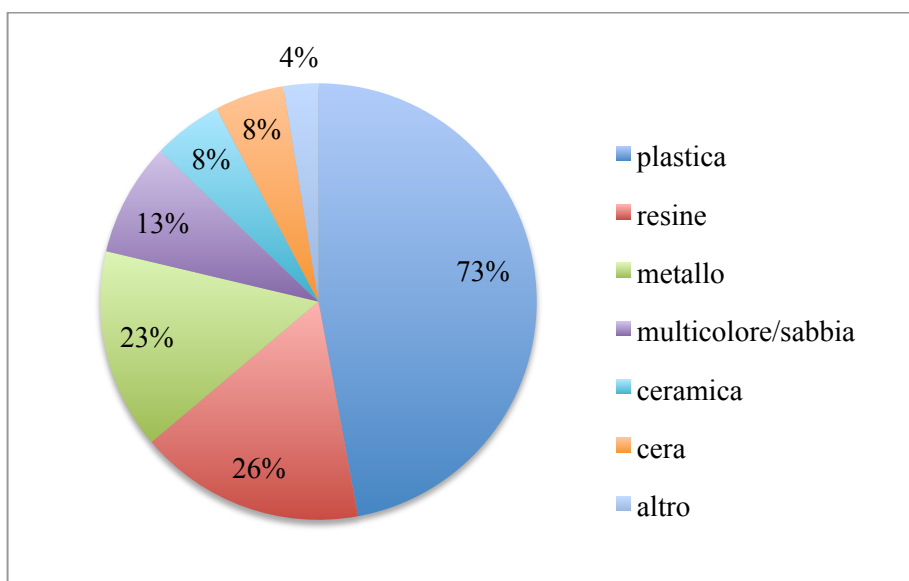
Stage di adozione	Data di inizio	Design	Tooling	Produzione	Distribuzione
<b>Prototipazione rapida</b>	Primi anni 90	✓			
<b>Produzione indiretta</b>	Fine anni 90	✓	✓		
<b>Produzione diretta</b>	Fine anni 2000	✓	✓	✓	
<b>Home fabrication</b>	Primi anni 2010	✓	✓	✓	✓

Fonte: Rayna e Striukova (2016)

### 2.3 I materiali

Tra i materiali oggi in commercio la plastica è il preferito dagli utilizzatori delle stampanti tridimensionali con una percentuale del 73% (Sculptero, 2016). La loro disposizione favorevole è spiegata dalle caratteristiche delle varie plastiche, le quali non solo sono più economiche ma anche più resistenti agli urti e permettono un buon livello di dettaglio. Al secondo posto per percentuale di adozione si trovano le resine (26%) seguite dai metalli (23%). Materiali, invece, residuali sono la ceramica e la cera (8%). L'offerta non si esaurisce con i pochi sopracitati ma al contrario si aggiorna periodicamente con nuovi composti che iniziano a trovare un utilizzo, come ad esempio le paste, la sabbia, il grafene e molti altri.

Figura 7-Materiali per percentuale di adozione



Fonte: Sculpteo, 2016

Inoltre, a seconda che il metodo utilizzato dalla stampante 3D sia la solidificazione, la fusione o il deposito dei materiali, la forma sotto la quale si presentano varia da polveri a filamenti o liquidi. Ovviamente come ci rammenta Soppelsa (2015) la scelta del materiale e della tecnologia è fatta in funzione delle caratteristiche che si vogliono ottenere per il prototipo, l'oggetto o lo stampo.

### *Resine*

Alla categoria delle resine si ricollegano un'ampia classe di polimeri ottenuti con metodi e da materie prime diverse, tutti solidificati dal laser nel processo produttivo. Diverse resine sono disponibili secondo la tecnologia usata e le caratteristiche del pezzo che si vuole ottenere, in ogni caso l'impresa fornitrice provvede a dare tutte le informazioni necessarie per una scelta accurata (si veda Chuan, Leong 2014). A queste macchine serve anche un solvente per la pulizia una volta che l'oggetto è stato completato. La stampante che usa le resine risulta essere più costosa delle altre ma gli oggetti stampati sono più sofisticati, precisi, esteticamente gradevoli e quindi adatti per componenti dimostrativi o prototipi visivi. In particolare nella stereolitografia uno dei materiali più usati è la resina Somos WaterShed XC 11122 mentre Acura 55 è spesso usata nelle macchine 3D System.

### *Le plastiche in grani o filamenti*

Calderan (2015) definisce i principali materiali utilizzati nel processo delle stampanti che depositano materiale fuso: PLA e ABS, rispettivamente acronimo di Acido Polilattico e Acrilnitrile Butadiene-Stirene. La PLA è una plastica biodegradabile poiché ottenuta da

amidi come il mais o la canna da zucchero invece l'ABS si ottiene dal petrolio. Quest'ultimo offre un'alta stabilità dal momento che è poco sensibile al calore, quindi allo stesso tempo deve essere sottoposto ad alte temperature per raggiungere la fusione. Le parti ottenute dal PLA sono più rigide di quelle in ABS che si deformano più facilmente durante la fase di raffreddamento. Un oggetto realizzato in ABS può essere sabbiato e se lucidato con l'acetone assume una parvenza simile alla ceramica. Un altro filamento termoplastico con il quale si stampano oggetti abbastanza rigidi, resistenti e adatti al contatto alimentare è il polietilene tereflatato (PET). Soppelsa (2015) cita anche l'High Impact Polystyrene (HIPS), un materiale termoplastico formato da polistirene e gomma stirene-butadiene, simile all'ABS per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche ma dotato di una peculiarità: sciogliersi con il limonene a temperatura ambiente ed essere così adeguato per la costruzione di strutture di supporto di un modello facili da rimuovere nella fase post-processo.

#### *Le polveri*

Il nylon, dotato di flessibilità, resistenza e versatilità, è una polvere bianca sinterizzata da un laser e poi levigata. L'allumide invece ha origine dalla miscela di nylon e alluminio. Anche se è più rigido, granuloso e poroso del nylon, la sua polvere dona brillantezza alla superficie.

#### *Altri materiali:*

- Le paste

Zucchero, cera, cioccolato, argilla, silicone sono già stati utilizzati per creare paste adatte alle stampanti 3D. Tuttavia l'utilizzo di questi materiali è ancora in fase sperimentale perché per ognuno ci sono specifiche problematiche da risolvere.

- Laywood

È un composto di legno riciclato (40%) e un polimero legante. La composizione di questo materiale permette di stamparlo come un qualsiasi filamento ABS o PLA. Calderan (2015) precisa che a stampa avvenuta, l'oggetto non solo appare simile al legno ma ne assume anche l'odore, inoltre al variare della temperatura di stampa si possono ottenere tonalità diverse.

- Laybrick

Il filamento, brevetto tedesco, è una miscela di gesso e polveri leganti e consente di ottenere un oggetto stampato con un effetto pietra, espediente utile per i modelli artistici o di architettura.

- Biomateriali

Nell'ambito medicale, invece, i componenti fondamentali sono: cellule, proteine, idrogel naturali e le gelatine. In particolare, Chua e Leong (2014) citano BioInk, un idrogel semi-

sintetico che permette la crescita di diversi tipi di cellule e mima il naturale materiale extracellulare, e OsteoInk, una pasta di solfato di calcio ideale per la stampa di ossa e cartilagine.

#### *Alcune novità*

Il **grafene**, composto di uno strato di carbonio regolare, è un nuovo materiale dalle grandi possibilità di successo poiché è sottile, dotato di un peso ridotto, ma resiste ed elastico. Dopo essere stato scoperto, Graphene 3D l'ha utilizzato e mescolato con il PLA per ottenere un filamento da commercializzare. In questa prima diffusione la parte plastica era maggioritaria e quindi la resa finale è stata inferiore alle attese e potenzialità, tuttavia altri studi e sviluppi potranno sfruttare a pieno le sue caratteristiche.

Altro tema importante e trasversale è quello dei **materiali ecocompatibili**. In questo campo un interessante caso è fornito da una piccola cabina abitabile (25 m<sup>2</sup>) stampata in 3D a Amsterdam e facente parte di un più ampio progetto lanciato da DUS Architects con il nome di 3D Print Living It Project. Oltre all'idea quello che attira l'attenzione è il materiale ecologico utilizzato: un composto riciclabile e biologico a base di olio di semi di lino. (Solo per la costruzione del tetto è stato utilizzato un piccolo quantitativo di cemento).

## *2.4 Le tecnologie*

Dato il raggruppamento dei materiali in tre categorie: polvere, liquido, solido possiamo associarvi alcune tecnologie che si differenziano per tipo di lavorazione che ne fanno. Come sintesi si propone la tabella a seguire dove sono riassunte le principali tecnologie (espresse in sigla) e ricollegate ai materiali che utilizzano, si procede poi alla descrizione specifica di ognuna.

Tabella 3- Schema delle tecnologie

<b>Materiali</b>	<b>Tecnologie</b>	
<b>Polvere</b>	SLS	DMLS
<b>Liquido</b>	SLA, DLP	Polyjet
<b>Solido</b>	LOM	FDM

Fonte: elaborazione personale

### *Sinterizzazione laser selettiva (SLS)*

La tecnologia è stata inventata nel 1984 dal ricercatore Carl R. Deardorff dell'Università del Texas di Austin e sviluppata in collaborazione con DTM Corporation poi acquisita da 3D Systems nel 2001. Oggi invece i produttori sono più numerosi poiché i brevetti sono recentemente scaduti. Il processo consiste nello stendere strati di polvere di vari materiali che vengono poi colpiti da un laser per essere fusi insieme. Le polveri che non sono immediatamente sinterizzate fanno da supporto per gli strati successivi fino all'avvenuta creazione dell'oggetto. Al termine il pezzo è rimosso e separato dalle eventuali polveri di supporto che possono anche essere riutilizzate (si veda Maietta 2014). Le stampanti che usano questa tecnologia si caratterizzano per un costo elevato, dato dal laser in uso, perciò alcune start up, come Norge e Polyforge, stanno lavorando allo sviluppo di modelli meno costosi.

### *Direct Metal Laser Sintering (DMLS) detto anche Selective Laser Melting (SLM)*

La storia della SLM inizia con un progetto di ricerca presso Fraunhofer Institut ILT nel 1995. Questa tecnologia è molto simile alla precedente con la differenza che il laser crea il prototipo fondendo materiali in polvere metallica. Questa tecnica permette di realizzare prototipi e parti metalliche con un buon livello di dettaglio e precisione, i suoi difetti sono invece una scadente rifinitura superficiale e il rischio di deformazioni.

### *Stereolitografia (SLA)*

La stereolitografia utilizza un laser per la fotopolimerizzazione (solidificazione) di una resina liquida posta dentro una vasca della macchina stessa. Il processo di scansione è reiterato finché la costruzione dell'oggetto tridimensionale non è completata. Per ogni sezione un sistema di specchi proietta un laser che può così scansionare la superficie. Al termine, l'oggetto viene estratto dalla resina liquida e inserito in un forno a luce ultra violetta dove si completa la polimerizzazione (si veda Calderan 2015). La stereolitografia è diffusa nella prototipazione poiché in questo campo è veloce ed economica, non è invece parimente utilizzata per la produzione dell'oggetto finale.

### *Digital Light Processing (DLP)*

La tecnologia DLP è più recente e comporta minori costi e sprechi della tecnologia SLA ma è simile a quest'ultima nel processo. Anch'essa difatti utilizza una fonte di luce per indurire un fotopolimero posto dentro una vasca che si abbassa per la costruzione di sezioni successive dell'oggetto. Come risultato finale si ottengono prodotti resistenti e con un'eccellente risoluzione.



### *Polyjet*

La tecnologia appartiene a Stratasys ed è del tutto simile a una stampante a inchiostro. Infatti, le sue testine invece di posare inchiostro su carta depositano e polimerizzano a raggi UV gocce di fotopolimeri liquidi. I prodotti così ottenuti sono pronti all'uso senza altre lavorazioni necessarie. I suoi vantaggi risiedono nel fatto di poter stampare in diversi materiali (rigidi, trasparenti, elastici) e colori (anche in un solo modello).

### *Modellazione a Deposizione Fluida (FDM)*

La tecnologia FDM è stata sviluppata negli anni 1980 da Scott Crump (fondatore di Stratasys). I brevetti di proprietà di quest'azienda sono scaduti nel 2009 e da allora sono numerose le iniziative open source che hanno sviluppato varianti più economiche chiamate FFF, acronimo di *Fused Filament Fabrication*. Chua (2014) spiega che una testina di stampa (estrusore) compone il profilo dell'oggetto depositando piccole gocce di materiale fuso. Alla stampante è, infatti, collegata una bobina di materiale plastico che durante il processo viene spinta nell'estrusore: questo riscalda il materiale ricevuto fino a fonderlo e lo deposita su un piano mobile. Raffreddandosi le gocce si uniscono tra loro con il materiale sottostante e laterale. Grazie alla pulizia del processo, alle minori dimensioni delle strumentazioni, al relativo basso costo è questa la tecnologia più diffusa. Occorre notare però che il loro costo non è contenuto a prescindere, esistono infatti alcuni modelli professionali che per velocità, versatilità, qualità di finitura del prodotto finale e volume di stampa sono proposte a prezzi più elevati.

### *Laminated Object Manufacturing (LOM)*

La californiana Helisys Inc. ha sviluppato una tecnologia che costruisce l'oggetto depositando su un piano di lavoro fogli di carta, plastica, metallo che sono poi sovrapposti, incollati da un rullo riscaldato e tagliati nella forma desiderata da un laser o una lama controllate da un computer. Lo svantaggio di realizzare prodotti di qualità inferiore rispetto alle altre tecniche è compensato dal basso costo del materiale e dalla possibilità di realizzare oggetti di grandi dimensioni. I progetti e prodotti della compagnia ideatrice, chiusa nel 2000, sono portati avanti da Cubic Technologies. Anche altre aziende come l'israeliana Solido 3D e la giapponese Kira non sono più presenti sul mercato ma esiste ancora la compagnia irlandese Mcor Technologies Ltd che vende stampanti 3D con tecnologia LOM.

Utilizzando la successiva tabella si vogliono sintetizzare ed evidenziare i principali benefici e le limitazioni delle fondamentali tecnologie disponibili al fine di operare una scelta di utilizzo consapevole e calibrata rispetto all'oggetto da stampare.

Tabella 4- Schema riassuntivo delle tecnologie e dei loro vantaggi e svantaggi

Tecnologie		Vantaggi	Svantaggi
<b>Estrusione</b>	FDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistenza chimica, meccanica, termica</li> <li>• Tecnologia semplice e pulita</li> <li>• Oggetti con geometrie complesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rugosità superficiale</li> <li>• Non impermeabilità</li> </ul>
	DLP SLA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevata risoluzione</li> <li>• Alta qualità dettagli</li> </ul>	
<b>Digital Light Processing</b>	Polyjet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocità</li> <li>• Precisioni</li> <li>• Materiali diversi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bassa resistenza</li> <li>• Inferiori proprietà meccaniche</li> </ul>
	SLS DMLS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistenza ad alte temperature</li> <li>• Robustezza</li> <li>• Buon livello dettaglio</li> <li>• Elevate caratteristiche meccaniche</li> </ul>	
<b>Fusione materiale in granuli</b>			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspetto grezzo, superficie porosa</li> <li>• Scadente finitura superficiale</li> <li>• Rischio di deformazioni</li> </ul>
<b>Struttura laminare</b>	LOM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basso costo</li> <li>• Oggetti grandi dimensioni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualità inferiore</li> </ul>

Fonte: elaborazione personale

È altrettanto importante avere una visione di quale tecnica sia più idonea rispetto alla specifica applicazione della stampa 3D. Si riprende dunque la categorizzazione esplicitata nel capitolo 2 (paragrafo “applicazione”) per evincere quale tipo di stampante impiegare con riguardo al campo d’uso.

Tabella 5- Tecnologie e ambiti di applicazione

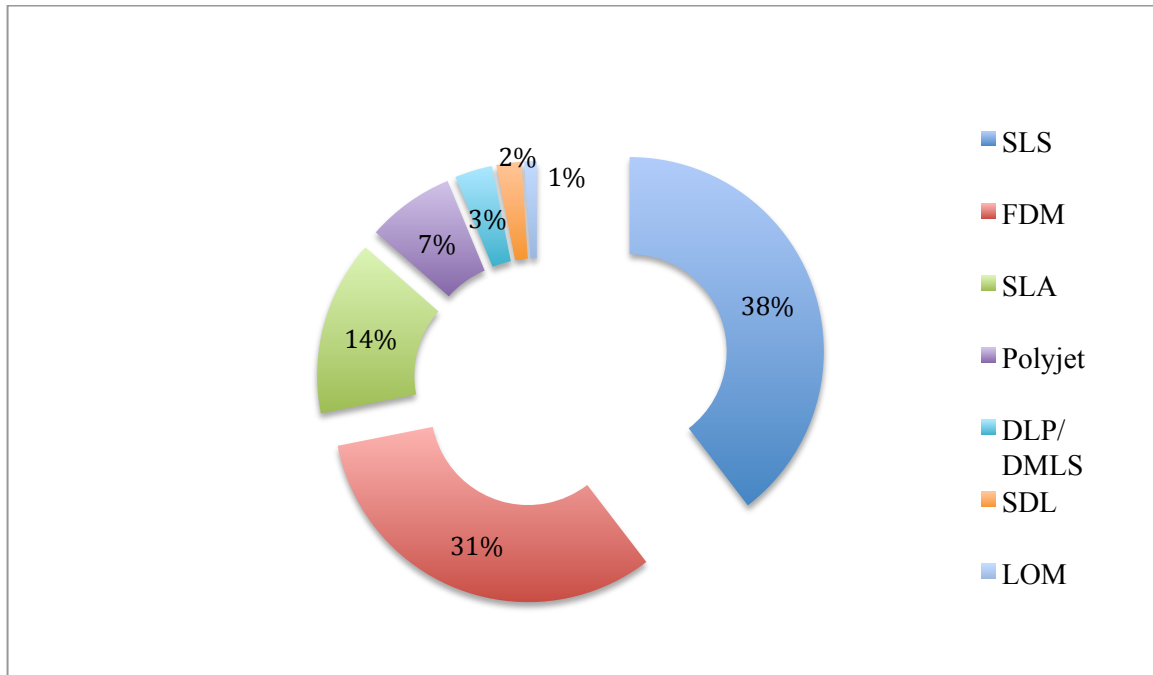
Tecnologia	Prototipazione rapida	Produzione indiretta	Produzione diretta	Ricambi
SLS	✓ Validazione		✓ Piccola serie	✓
DMLS	✓ Tecnici	✓	✓ Oggetti in metallo	✓
SLA	✓ Validazione	✓		
DLP	✓ Tecnici			
Polyjet		✓	✓ Oggetti in colori e materiali diversi	
FDM	✓ Concettuali		✓ Oggetti uso quotidiano	✓
LOM			✓ Oggetti grandi dimensioni	

Fonte: elaborazione personale

Come si può notare quasi tutte le tecnologie possono essere usate nella prototipazione rapida con la precisazione che si individuano tre tipi di prototipi: concettuali, per la validazione e tecnici. Con i primi si compiono delle verifiche stilistiche ed ergonomiche ma gli oggetti non sono sottoposti a particolari sollecitazioni meccaniche. I secondi invece sono stampati per le verifiche di assemblaggio, ossia per accertarsi che sia stato progettato perfettamente. In ultimo, i prototipi tecnici devono avere proprietà meccaniche comparabili con quelle del prodotto finale.

Per concludere, una nota all'interno del panorama merita il fenomeno FDM (sopra descritto). Dagli inizi del 2000 è stata proprio questa la tecnologia più popolare tanto che nel 2003 Stratasys ha venduto un numero di macchine FDM pari al numero di tutte le altre tipologie messe insieme (Sculpteo,2016). La vendita di questa tecnologia ha continuato a crescere grazie al progetto RepRap e alle conseguenti start -up sorte per produrre e vendere i loro cloni FDM. In ordine di diffusione troviamo le tecnologie SLS (38%), FDM (31%), SLA (14%), Polyjet (7%). Di minore adozione sono invece le tecnologie DLP, DLMS (3%) e LOM (1%).

Figura 8- Tecnologie per percentuale di utilizzo



Fonte: Sculpteo, 2016

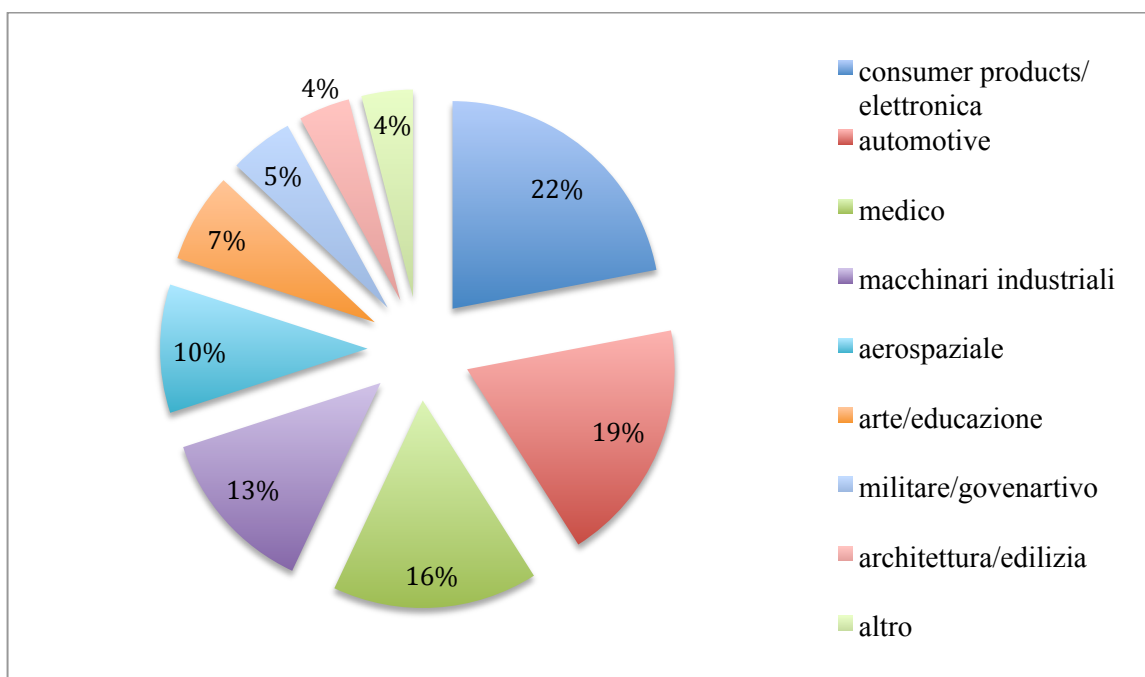
### *STAMPA 4D?*

Con questo termine s'intende un processo che aggiunge alle tre dimensioni arcinote una quarta, il tempo. L'idea dei ricercatori dell'*ARC Centre of Excellence for Electromaterials Science* dell'Università di Wollongong (Australia) è quella di ottenere oggetti in 3D in grado di cambiare forma in un momento successivo alla produzione se sottoposti a stimoli esterni come luce o calore. La quarta dimensione potrebbe essere aggiunta grazie a nuovi materiali, idrogel resistenti, che modificano le loro proprietà in talune condizioni. In questo modo il gruppo di ricercatori ha prodotto una valvola capace di aprirsi e chiudersi quando è bagnata da acqua calda o fredda. L'impiego più interessante potrebbe essere nella robotica, dove l'obiettivo è di realizzare automi flessibili e adattabili.

### *2.5 I settori*

Risulta difficile se non impossibile ottenere una classifica esaustiva dei campi di applicazione delle tecnologie additive poiché sono in costante aumento e potenzialmente di qualsiasi natura. Dunque quello che segue vorrebbe essere un riassunto dei principali settori con l'aggiunta di qualche esempio d'implementazione del processo.

Figura 9- Settori di applicazione



Fonte: [www.fabbricafuturo.it](http://www.fabbricafuturo.it)

### ABBIGLIAMENTO

Le stampanti 3D danno la possibilità a designers creativi di seguire il loro prodotto lungo tutte le fasi di sviluppo, modificando la loro idea a costi contenuti.

Nel 2015 il designer newyorkese Francis Bitoni, lavorando in collaborazione con 3D System, ha creato una collezione di scarpe col tacco per l'azienda olandese *United Nude*. "Mutatio", questo è il nome dell'opera, ha unito tecniche tradizionali e nuove in una combinazione accattivante. Infatti, i tacchi sono stati stampati in nylon con tecnologia 3D SLS e placcati in oro mentre la parte superiore è stata realizzata in pelle.

Se da un lato le proposte creative trovano ampio spazio con questa tecnologia, dall'altra si pone il problema di realizzarle con materiali indossabili e di venderle a prezzi non proibitivi.

Quest'avvicinamento al mondo del fashion non sembra impossibile tanto che nel 2016 la start up americana *Mystery of Supply* ha commercializzato la prima giacca stampata in 3D. L'azienda ha ottenuto un indumento maschile senza cuciture e con uno spessore diverso del materiale in talune zone per consentire così un'adeguata traspirazione. Per la sua realizzazione è stata utilizzata una tecnologia che sembra aver risolto l'ostacolo della rigidità del materiale. La stampante 3D per tessuti prodotta da *Electroloom* utilizza, infatti, il processo chiamato *Field Guided Fabrication* (FGF). Non volendo entrare nel dettaglio della tecnica ci basti dire che dopo avere inserito lo stampo del modello che si vuole realizzare, nella camera della stampante s'inserisce una soluzione liquida costituita dai materiali del tessuto che si

vuole ottenere, i quali attraverso un campo elettrico danno luogo a strati in nano-fibra sovrapposti a formare il tessuto che prende la forma dello stampo inserito all'inizio.

### *ALIMENTARE*

Anche nel settore alimentare alcuni casi hanno dimostrato come sia possibile sormontare l'ostacolo del materiale. Un esempio tra tutte è la tedesca Katjes, terzo produttore (dopo Haribo e Storck) di caramelle in Germania, che ha svelato la prima stampante di caramelle gommose commerciabili, Candy Factory, in un locale di Berlino. I clienti possono prima scegliere forma, colore della caramella e poi assistere al processo che si svolge in circa cinque minuti. La macchina permette dunque di ottenere in tempi rapidi un prodotto personalizzato, commestibile e stampato con ingredienti naturali, il tutto a un costo che varia dai cinque ai dieci euro.

Allo stesso tempo ci sono colossi del settore come Barilla che lavorano per portare la stampa 3D nel food. E proprio in occasione di Cibus 2016, il salone internazionale alimentare di Parma, la nota azienda italiana ha presentato un prototipo di stampante 3D per la pasta, il frutto del suo lavoro quadriennale in collaborazione con il centro di ricerca olandese Tno di Eindhoven. Gli ingredienti di base sono sempre gli stessi, semola di grano duro e acqua, ma si possono aggiungere altre farine, legumi o verdure per ottenere un gusto personalizzato, il tutto lavorato dalla macchina in formato cartuccia. Il consumatore è poi stato coinvolto nella scelta del formato attraverso la piattaforma internazionale Thingiverse, dove sono stati caricati circa 200 modelli, tre dei quali (rose, luna e vortipa) sono stati presentati al salone come dimostrazione.

### *CALZATURE SPORTIVE*

Un altro campo dove la stampa 3D sta vivendo un'espansione è quello delle calzature sportive. Nel 2016 NewBalance ha commercializzato la linea ZanteGenerate in edizione limitata per il 44esimo anniversario dalla fondazione della marca. La peculiarità del prodotto risiede nella sua suola, frutto della stampa tridimensionale, mentre le restanti parti della calzatura sono prodotte seguendo la tradizione. Collaborando con 3D System e grazie all'utilizzo della polvere elastometrica DuraForm Flex TPU, NewBalance ha realizzato delle parti stampate che si adattano molto bene al movimento della corsa.

Nel panorama mondiale delle scarpe non mancano le applicazioni nella prototipazione. Nike ha, infatti, utilizzato la stampa 3D per sviluppare il modello Nike ZoomSuperFly Elite, indossato da alcuni velocisti alle Olimpiadi di Rio 2016. Sebbene il prodotto finale sia stato ottenuto con le tradizionali tecniche manifatturiere, l'azienda ne ha studiata la realizzazione

attraverso prototipi stampati in 3D. In questo modo ha ottenuto rapidamente innumerevoli varianti per testare le prestazioni senza dover aspettare i tempi tecnici dell'industria di massa.

### *AUTOMOTIVE*

Già da alcuni anni diverse case automobilistiche sfruttano la tecnologia additiva per la produzione di prototipi molto personalizzati in tempi rapidi e con costi contenuti. Tale pratica è abbastanza diffusa tra le auto da corsa. Chua e Leong (2014) riportano, infatti, il caso di Lotus F1 che dal 1998 utilizza 3D System SLA 5000 per la costruzione di alcuni componenti delle sue auto da corsa poiché questa tecnologia permette di ottenere elementi complessi e con una superficie aerodinamica, ingredienti di fondamentale importanza per la vittoria in gara. Con il passare degli anni la tecnologia SLA è diventata parte integrante del processo manifatturiero di Lotus, tanto che a oggi l'azienda produce attraverso il metodo additivo elementi come il cambio e le sospensioni. La tecnologia in questione ha portato all'azienda benefici in termini di riduzione dei costi e del *time to market*.

Una notizia più recente, marzo 2017, riporta l'interesse di Ford per la manifattura additiva. Grazie alla nuova stampante Infinite Build 3D di Stratasys l'azienda dovrebbe essere in grado non solo di stampare accessori, prototipi o componentistica in volumi limitati per le auto Ford Performance (auto da corsa), ma anche sviluppare elementi per veicoli 'customizzati'.

### *BIOMEDICALE*

Sebbene sia naturale pensare immediatamente agli organi stampati in 3D, questo non è il solo impiego della tecnologia. Un campo di utilizzo più semplice ma utile è quello dei biomodelli, i quali permettono di abbandonare la radiologia nella fase di studio pre e post-intervento. In questi due momenti il medico può studiare su un modello tridimensionale le specifiche della patologia del paziente, avendo una visione più chiara si dovrebbero ridurre gli errori in sala operatoria e velocizzare l'intervento.

La stampa di organi e tessuti umani è di sicuro un utilizzo interessante, tanto da aver innescato un ramo a parte chiamato *bioprinting*. Anche se il procedimento è un po' complesso i casi di successo non mancano. Per esempio presso il Medical Center dell'università di Utrecht è stato impiantato il più grande cranio artificiale (o teschio di plastica) su una ragazza 22enne con una particolare patologia d'ispessimento della scatola cranica. In maniera analoga all'università di Princeton è stato preparato un orecchio bionico, stampato da cellule bovine alle quali si sono aggiunti strati di cartilagine e un'antenna per riprodurre i suoni. La questione è più complessa se si pensa agli organi interni formati da vari tipi di cellule, nutriti dai vasi sanguigni e adibiti a funzioni più articolate. Organovo è riuscita a realizzare un

organo interno che però non è vissuto a lungo. Nello specifico il progetto di ricerca durato qualche anno ha realizzato un piccolo prototipo di fegato formato da diversi tipi di cellule e capace di svolgere le principali funzioni del corrispondente organo umano.

I ricercatori di WakeForest University, in North Carolina, hanno preparato una stampante che dovrebbe essere in grado di produrre organi, tessuti e ossa da inserire nel corpo umano. La stampante lavora con Idrogel, soluzioni acquose che contengono cellule umane, inizialmente arricchite con altri materiali biodegradabili per migliorare la precisione di stampa. Fino ad ora il dispositivo ha creato mandibole, ossa e tessuti che sono stati impiantati con successo nei topi da laboratorio mentre non sono ancora stati testati sull'uomo.

Un impiego molto più realistico è nel campo dell'ortodonzia. Molti laboratori sono già dotati di stampanti 3D con le quali producono in modo accurato e rapido corone, ponti, modelli dentali in porcellana nonché strumenti odontoiatrici.

### *INGENERIA AEROSPAZIALE*

L'applicazione dell'*additive manufacturing* in questo campo consente di rispondere validamente alla riduzione del peso dei componenti, permettendo una riduzione di consumi ed emissioni, e alla diminuzione nei tempi di produzione degli elementi stessi. Un esempio reale riportato da Soppelsa (2015) è quello di General Electric che nel 2013 ha acquisito la divisione aeronautica di Avio. In particolare nello stabilimento italiano di Cameri (NO) si stampano in 3D le pale dei rotori per alcuni modelli di motori come GEnx dei Boeing 787. La realizzazione dei suddetti oggetti è resa possibile grazie alla presenza presso lo stabilimento di due macchine Eosint di EOS, operanti con tecnologia DMLM, e di nove sistemi A2X di Arcam. Nel complesso il peso di una turbina dotata di un rotore stampato in 3D ha una riduzione di peso del 6%, un notevole vantaggio tenendo in considerazione le attuali condizioni legislative stringenti.

### *MUSEI*

Da tempo i musei stanno usufruendo del mondo digitale (siti web, social network, supporti multimediali) per mettere a disposizione dei consumatori le opere d'arte anche fuori dai loro spazi di esposizione. Sempre con lo scopo di coinvolgere gli interessati, i musei stanno scoprendo la stampa 3D in modo da aggiungere alla classica immagine bidimensionale un file con il quale stampare in proprio l'oggetto digitalizzato. In questa direzione si è sviluppato il progetto Smithsonian X 3D che ha reso visibili in formato digitale un'immensa collezione di oggetti non visitabile di persona correlando un file stampabile in 3D (si veda Pignatella, 2013). Un altro progetto appartiene al Metropolitan di New York che ha organizzato un



evento in cui artisti digitali e programmatori hanno scansionato e modificato diverse opere. Queste collaborazioni estemporanee hanno dato forma a un mix nuovo di opere classiche poi caricato sulla piattaforma Thingiverse, un sito dove gli appassionati rendono fruibili i loro modelli tridimensionali e i relativi file di stampa.

Si sottolinea che il problema dei falsi non si pone poiché la stampa che il consumatore ottiene in casa è evidentemente diversa e di qualità inferiore all'originale. I musei invece possono eseguire una fedele replica dell'opera ed esporla al posto dell'originale grazie alle tecniche di elevata qualità di cui dispongono. Presumibilmente questo spingerà a una maggiore collaborazione e circolazione internazionale di opere.

In aggiunta si possono predisporre *fablab* all'interno dei musei e uno è proprio in Italia presso il MUSE di Trento. In questi luoghi si possono organizzare laboratori e workshop a vari livelli tecnici, dai giochi per i più giovani a corsi semi-professionali per gli adulti ma altresì dare qualche dimostrazione di stampa 3D magari proprio a partire da oggetti presenti all'interno della struttura stessa. Il citato *fablab* del MUSE è nato nel 2013 ed è dedicato alla formazione, ai workshop e all'attività per bambini.

### *EDILIZIA*

Esistono stampanti 3D per realizzare case e uno dei progetti più imponenti è proprio italiano. L'azienda WASP, con sede a Massa Lombarda (Ravenna), ha costruito nel 2015 la più grande stampante 3D chiamata BigDelta 12m in onore dei suoi 12 metri di altezza. L'obiettivo dichiarato dall'azienda è di costruire case a chilometro zero con materiali direttamente reperibili in loco e a basso consumo di energia. Un esempio di recente applicazione è il progetto "Eremo" che ha visto la costruzione di un rifugio con materiali ecocompatibili come terra cruda, paglia, argilla, sovrapposti e stampati. A oggi è poi presente un parco tecnologico, "Shamballa", dove l'azienda continua a sperimentare diversi materiali e progetti.

La Cina è un altro paese dove sono state utilizzate tecniche additive per la costruzione d'immobili. Nello specifico la società WinSun ha dato forma a una casa utilizzando calcestruzzo a presa rapida e altro materiale di scarto delle costruzioni (composto brevettato dall'azienda). Dopo essere state stampate, le pareti sono state rinforzate con acciaio e assemblate sul luogo. L'azienda ha in progetto altre costruzioni sul territorio cinese alla luce dei vantaggi in termini di riduzione dei costi dei materiali e della manodopera nonché dei tempi di costruzione.

### *DIFESA*

Il Dipartimento della Difesa Americano sta lavorando a vari progetti per introdurre la stampa 3D nel settore militare, per esempio si sta studiando come inserire piccoli componenti ottenuti con tecnologie additive (antenne, sensori) nell'armatura dei soldati. Altri invece prospettano un proficuo utilizzo nelle zone di guerra o poco accessibili, dove le stampanti 3D potrebbero essere usate per ottenere parti di un'arma, pezzi di ricambio al momento opportuno. Qualche anno fa è stata anche realizzata una pistola, Liberator, stampabile in casa dopo aver scaricato il file CAD del modello dal sito internet. Alcune migliaia di copie sono state scaricate prima che il governo americano intervenisse per far rimuovere il file ed evitare così una massiccia autoproduzione.

### *GIOELLI*

La stampa 3D sta rivoluzionando il mondo dell'artigianato e in particolare quello del gioiello. Sebbene a prima vista possa sembrare che il processo conduca alla perdita della creatività tipica dell'artigiano, questo non sembra essersi verificato. Al contrario resta molto importante la fase iniziale di realizzazione del disegno, dove l'originalità e le idee del progettista si esprimono, che viene poi semplicemente riportata su programmi specifici per ottenere l'immagine tridimensionale.

Nel panorama internazionale, per esempio, è comparsa l'azienda canadese Daniel Christian Tang (DCT). Fondata da due architetti, Heng Tang e Mario Cristian, e dall'ingegnere Luca Daniel, oggi è uno dei principali brand di gioielli di lusso stampati in 3D in Canada. I modelli in oro e argento sono dapprima stampati su cera con una stampante 3D ad alta risoluzione, poi utilizzati per fare uno stampo in gesso, impiegando il processo di fusione a cera persa. Una volta che gli stampi di gesso sono impostati, si possono versare i metalli liquidi per creare i pezzi di gioielleria visibili al pubblico.

Anche in Italia l'utilizzo delle tecnologie additive nel settore non è nuovo. Difatti, già dai primi anni 2000 le aziende del settore aurifero di Arezzo hanno introdotto le stampanti tridimensionali per la prototipazione e la produzione. In questa zona geografica risiede M.E.M.O, una società che ha inserito la stampa 3D nel suo flusso produttivo, affiancandola alle tecnologie più tradizionali, per compiere campionature di elementi unici e produzione diretta di oggetti. L'azienda ha iniziato la sua avventura nel 3D nel 2007 con l'acquisto di una macchina firmata Stratasys, ma ha incrementato la sua flotta di stampanti a seguito delle richieste di un prodotto impeccabile e con tempi ridotti di consegna.

## Capitolo 3

### 3.1 Le implicazioni economiche

Le organizzazioni stanno cambiando il loro modo di fare business per adattarsi a uno scenario globale che presenta elementi di novità non indifferenti.

Un primo fattore che sta mutando è la domanda del consumatore, sempre più diretta verso un prodotto personalizzato che si adatti alle sue esigenze specifiche. In quest'ottica quindi la produzione differenziata per un segmento di mercato non è più sufficiente e l'azienda dovrebbe invece sviluppare una relazione *one to one* che conduca alla fabbricazione di un prodotto unico per ogni consumatore, spesso facendo partecipare l'interessato al processo produttivo o concettuale. Allo stesso tempo la nuova visione che i consumatori hanno dei prodotti sfocia nel considerare nuovi fattori critici per l'azienda e nuovi modi di catturare il valore. Gli studi di Hagel (2015) e Brown (2015) affermano che il prodotto tangibile è sempre meno definibile come fonte di valore per sé, esso invece fa parte di un ecosistema che coinvolge più organizzazioni e diversi prodotti e servizi connessi tra loro, tutti necessari per l'offerta finale. Dati questi cambiamenti ci si chiede se sia opportuno pensare a una riconfigurazione, totale o parziale, delle attività manifatturiere, e in quest'ottica le tecnologie additive giocano un ruolo notevole. Tuttavia è difficile stimare l'effettiva portata economica e le implicazioni organizzative poiché la manifattura additiva è un fenomeno in rapida crescita che di conseguenza crea aspettative generiche, talvolta realistiche e talvolta ambiziose. Sembra in ogni caso doveroso discutere taluni aspetti identificati da molti esperti come radicali e importanti.

Ve però una premessa da fare: il modo di pensare alla produzione dovrebbe spostarsi verso un approccio additivo. Come giustamente Beltrametti (2014) fa notare i vincoli e le opportunità di produzione e progettazione cambiano nella logica additiva e le aziende dovrebbero pensare a nuovi criteri per valorizzarla a pieno. Volendo chiarire il concetto con un esempio molto semplice: nella tecnica sottrattiva tradizionale l'obiettivo principale è di pensare a delle caratteristiche degli oggetti da realizzare che minimizzino le operazioni sottrattive, poiché il costo del processo è correlato positivamente alla quantità di materiale tolta. Al contrario, nella manifattura additiva, fermo restando lo stesso obiettivo di minimizzazione dei costi della

produzione, lo sviluppo del prodotto dovrebbe essere guidato al fine di impiegare il minor ammontare di materiale dato che in questo modo il costo si abbassa proporzionalmente.

### *3.1.1 Riduzione delle scorte di magazzino*

Beltrametti (2014) e Gasparre (2014) sottolineano come la manifattura additiva consenta di ottenere pezzi unici o di piccola serie nel luogo e al momento desiderato, senza dunque la necessità di predisporre lavorazioni complesse o manufatti dedicati come stampi e calchi.

In particolare, la necessità di detenere parti di cambio delle varie attrezzature diminuisce a fronte dell'opportunità, data dalla stampa 3D, di stampare i pezzi al momento opportuno con l'evidente implicazione di una diversa gestione del magazzino e della logistica. In alcuni casi però il costo unitario di realizzo potrebbe essere maggiore di quello sostenuto con i tradizionali mezzi di produzione. Tuttavia come in ogni analisi economica i costi devono essere confrontati con i benefici addizionali conseguiti. In questo caso le aziende si troverebbero a immagazzinare non i pezzi di ricambio ma i file che registrano le loro geometrie con una notevole diminuzione delle superfici adibite a magazzino, dei costi di trasporto e dei capitali immobilizzati.

In aggiunta si conseguono una razionalizzazione delle scorte e un'ottimizzazione della logistica interna, elementi di primaria importanza quando le aziende adottano la *Lean Production*. Per esempio, se la gestione del magazzino è condotta con il cosiddetto *Just In Time* le attività della linea produttiva e i processi di entrata e uscita dal magazzino devono essere altamente sincronizzati. Il ritardo o la mancata consegna da parte del fornitore sono fonte di rischi per lo stock di magazzino e la produzione in generale. Spesso le aziende per porre rimedio a questo inconveniente detengono più scorte o relazioni con più fornitori. In alternativa potrebbero usare la stampa 3D, trovando una giustificazione economica complessiva a quei costi unitari che potrebbero essere troppo elevati.

### *3.1.2 Ridefinizione della supply chain*

Il punto di partenza è la manifattura tradizionale, un modello schematizzabile attraverso tre passaggi fondamentali: la progettazione, la produzione e la consegna del prodotto, e dove le responsabilità e i ruoli dei partecipanti sono ben definibili. Il progettista s'impegna a tradurre i desideri dei consumatori in un prodotto fattibile mentre il produttore utilizzando nella maniera più efficiente possibile le strutture produttive di cui è proprietario s'impegna a produrre i beni. Infine grossisti e dettaglianti sono gli intermediari dell'azienda che si occupano di recapitare il prodotto al consumatore. L'impatto della manifattura additiva si può registrare fin dalla prima fase citata, ossia il design. Nella logica additiva la nozione stessa di progettista assume

contorni più sfumati tanto che nella categoria non si ricomprendono più solo i professionisti del mestiere ma anche gli hobbysti o chiunque abbia un kit di produzione e qualche idea. Il cliente potrebbe addirittura indicare direttamente all'azienda, per esempio tramite un sito web, il prodotto con le caratteristiche da lui richieste. Simpson (2013) e Petrick (2013) notano che con questo espediente si rovescia completamente la pratica manifatturiera tradizionale incentrata attorno al modello “*build to stock*” e si adotta un approccio “*build to order*”. Nel primo caso l'azienda per produrre si basa su un'accurata stima della domanda di mercato, mentre nella seconda possibilità può attendere l'ordine diretto e specifico del consumatore. In questo modo si possono ridurre le scorte eccessive di prodotti, fonte di rischio, e si ottengono dati costantemente aggiornati sulle preferenze del cliente (si veda Hagel, Brown 2015). La relazione tra produttore e cliente diventa così più stretta e personalizzata e in generale l'interazione richiesta ai partecipanti è più interattiva e collaborativa.

Tuttavia il più grande cambiamento apportato dalle tecnologie additive riguarda proprio l'opportunità di dislocare la produzione nello spazio. Il file contenente le specifiche del prodotto può difatti essere inviato in qualsiasi posto si desideri e poi stampato in loco. Tenendo in considerazione quest'assunto, le fabbriche non hanno più ragione di concentrarsi nello stesso ambiente ma possono scegliere liberamente dove collocarsi e volendo possono avvicinarsi ai centri di consumo e alle realtà prettamente urbane. In primis questa trasformazione comporta una riduzione dei tempi di trasporto. In secondo luogo, conduce ancora una volta a una relazione più stretta con il consumatore. Il lato negativo di questo sistema, evidenziato da Kietzmann (2014), risiede nel fatto che sarà necessaria una maggiore collaborazione tra più centri produttivi, tutti potenzialmente diversi e adattati al mercato locale. È altresì vero che ogni mercato può essere esplorato e compreso più a fondo e questo dovrebbe comportare una maggiore efficienza. In extremis, si può pensare a una configurazione dove il ruolo aziendale subisce ulteriori modifiche dal momento che il cliente acquista il progetto dall'impresa e procede poi alla stampa dello stesso presso la sua abitazione, occupandosi così di una fase che non gli è propria, la produzione s'intende.

Bogers (2015) e Hadar (2015) ci rammentano che resta in capo all'azienda una fase molto importante e capace di generare valore, la progettazione, ma anche che il suo ruolo deve essere ripensato all'interno di una catena frammentata, dove il consumatore non è più non soggetto passivo.

In aggiunta il nuovo processo produttivo potrebbe ridurre l'incentivo alla delocalizzazione nei paesi emergenti con basso costo del lavoro, comportando dunque un *re-shoring*. Tale ritorno all'ambiente nazionale è favorito poiché il fattore lavoro incide meno sui costi totali e i costi delle materie prime sono sostanzialmente simili nei vari paesi. Per di più le minori

problematiche d'inquinamento collegate alla stampa 3D fanno apparire i paesi esteri meno attrattivi, anche se essi sono fautori di normative più lasche in materia (si veda Beltrametti, Gasparre 2014).

Figura 10- Flusso manifatturiero di lavoro tradizionale

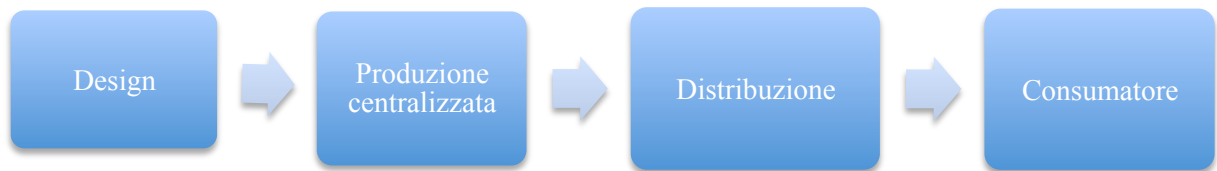
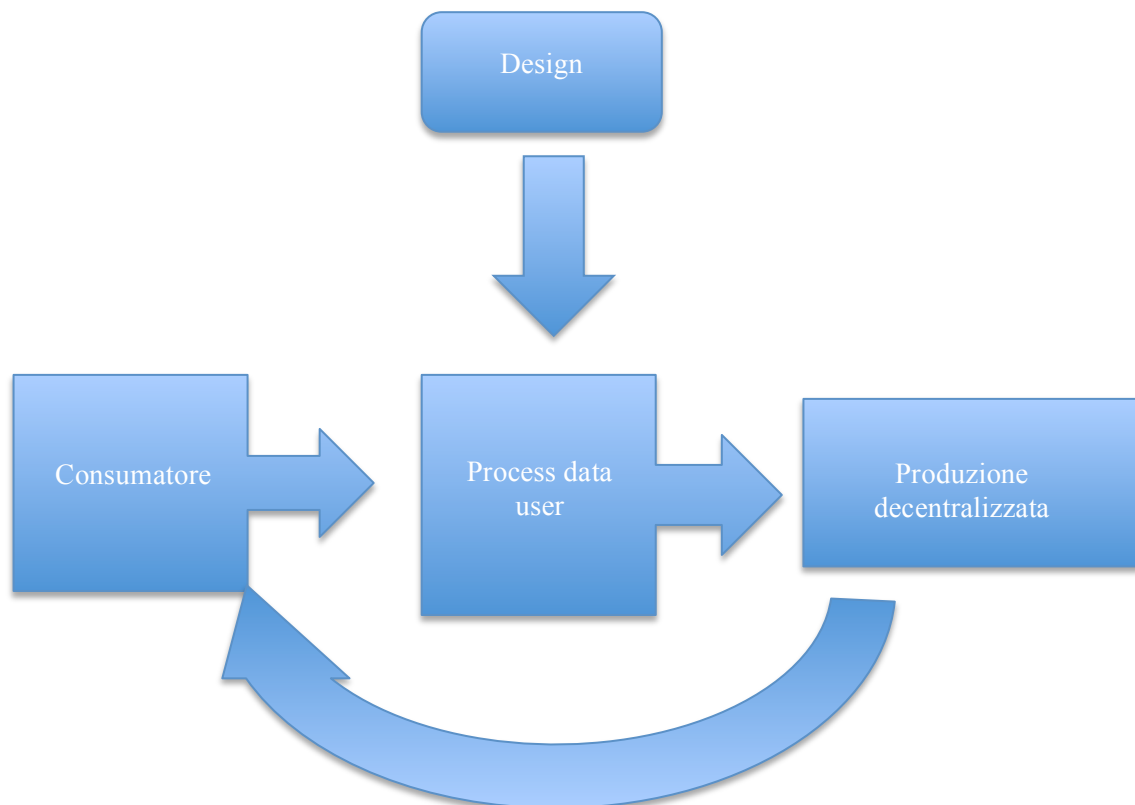


Figura 11- Nuovo flusso per la manifattura additiva



Fonte: Geraedts e Doubrovski (2012)

### 3.1.3 Operational factors

Come riportano Mellor e Hao (2014) una delle aree di gestione delle *operations* maggiormente cambiate dal processo additivo è quella del design del prodotto. Difatti la stampa 3D svilisce i vincoli tecnici delle geometrie degli oggetti e consente una libertà estetica da sfruttare sia nella commercializzazione di forme originali e creative sia nella realizzazione di beni superiori sotto il profilo tecnico-funzionale. Volendo citare un esempio pratico riportato da Beltrametti (2014): quando si devono produrre pezzi che in fase di utilizzo

sono sottoposti a sollecitazioni termiche occorre anche progettare un circuito di raffreddamento all'interno. Adottando un processo additivo, si può ottenere un pezzo unico e ottimizzare le sue forme curvilinee per sfruttare le proprietà fluidodinamiche mentre la manifattura tradizionale lo realizza attraverso l'incontro di una serie di fori rettilinei. In aggiunta, la manifattura additiva dona all'oggetto, quando richiesto, sia leggerezza che resistenza, grazie a sottostrutture reticolari di supporto.

Mellor e Hao (2014) ipotizzano altrettanti cambiamenti nell'area del controllo di qualità. Al fine di ottenere un'efficace implementazione dei metodi, quali essi siano, le attività devono essere monitorate, misurate e nel caso corrette. Tuttavia i metodi in adozione sono pensati in una logica sottrattiva che male si adatta a quella opposta e vi dovrebbero dunque essere adeguati. Per esempio, una delle preoccupazioni del consumatore finale riguarda la variazione nella costruzione di pezzi da parte della stessa macchina. Da un lato i sistemi di stampa in 3D non hanno un sistema di monitoraggio interno del processo quando questo è espletato, dall'altro le aziende sono in grado di testare la resistenza, la flessibilità e altre importanti caratteristiche del prodotto ma i nuovi fattori critici: la porosità, la densità delle varie parti, o la variabilità dei pezzi realizzati da una sola macchina non sono adeguatamente testati e qualificati. Petrick e Simpson (2013) stimano essere proprio questa una barriera per ottenere un prodotto finito di qualità, ma si stanno compiendo notevoli progressi grazie all'uso di ricercati sistemi tomografici.

#### *3.1.4 Forme di organizzazione del lavoro*

Ogni volta che delle macchine sono introdotte nella produzione molti preannunciano un impatto negativo sulla domanda di lavoro. La preoccupazione generale può essere fondata per quando riguarda le fasi di produzione, assemblaggio e post-produzione poiché le stampanti 3D sono in grado di svolgerle con un minimo o nullo intervento umano. In particolare, Campbell (2011) spiega che nella fase di produzione il lavoro dell'operatore consiste nell'inserire la materia prima nella macchina che poi eseguirà i suoi compiti in autonomia, il processo è dunque controllato dal computer e non dall'uomo, comportando quindi una riduzione dell'esperienza richiesta agli addetti e dell'interazione tra essi. Inoltre la fase di assemblaggio, dove il lavoro umano è sempre stato un elemento rilevante, può essere eliminata se si considera la possibilità di stampare oggetti finiti. In ultimo, anche se allo stato attuale della tecnologia la fase di post-produzione richiede una lavorazione manuale per rifinire gli oggetti è presumibile un miglioramento delle attrezzature che consentiranno di ottenere prodotti di qualità superiore subito dopo la stampa.

Al contrario, l'effetto è positivo per tutte quelle figure professionali coinvolte nella progettazione, modellazione di sistemi 3D e nella creazione d'idee e gestione del business, giacché la richiesta di tali professionisti incrementerà all'aumentare dell'espansione nei vari settori. Inoltre per queste figure si potranno disegnare quelle forme di organizzazione del lavoro cosiddette flessibili. In poche parole, si può ripensare alla suddivisione del tempo tra lavoro e vita privata e ottenere un equilibrio attraverso forme di lavoro a distanza. Sono già molti in realtà i lavori che non sono legati a un posto specifico ma che possono essere eseguiti ovunque il lavoratore si trovi poiché lo stesso risultato lavorativo è ottenibile da casa, dall'ufficio o da qualsivoglia luogo. Il processo additivo permette di aggiungere altre mansioni alla lista. Invero, i progettisti avrebbero l'occasione di stabilirsi dove meglio credono e inviare all'azienda le loro creazioni e le modifiche delle stesse direttamente attraverso un file. Per di più si potranno generare gruppi di lavoro digitali formati da esperti con diversi background e da persone interessate con molteplici abilità, ai quali sarà così permesso di lavorare sullo stesso progetto senza presenziare fisicamente nella stessa sede, aumentando la creatività e la possibilità di risoluzione di problematiche complesse ma diminuendo il contatto umano.

### *3.1.5 Assenza di economie di scala*

Un fattore notevolmente considerato quando si decide circa l'adozione della stampa 3D è la quasi indipendenza del costo di produzione dell'oggetto dal volume di realizzo. Nel caso della tecnologia additiva, l'andamento dei costi totali di produzione è crescente al crescere della quantità prodotta secondo una funzione sostanzialmente lineare. L'assenza di economie di scala è uno svantaggio in talune produzioni (quelle in larga scala) ma un punto di forza nelle produzioni di un pezzo unico o di piccola serie. Difatti le variazioni al modello originario hanno un costo pressoché nullo poiché la revisione del file costruttivo è priva di oneri monetari. Questi stessi invece dovrebbero essere sostenuti per intervenire sui materiali o per predisporre nuovi stampi e trovano quindi una giustificazione economica solo per grandi volumi da realizzare. Il ridotto peso delle economie di scala va a vantaggio di piccole e medie imprese, le quali possono innovare e ridurre contemporaneamente il rischio di non realizzare un lotto minimo necessario per giustificare gli investimenti.

Non solo l'opportunità di utilizzare macchinari meno specializzati e quindi interscambiabili tra settori diversi riduce ulteriormente il rischio legato all'investimento, ma allo stesso tempo si può ricorrere con più facilità a produttori terzi abbassando così il costo del lancio di nuovi prodotti e semplificando il passaggio dall'idea progettuale alla commercializzazione vera e propria.



### 3.1.6 Dinamiche interne

Si puntualizza che, in una visione più generale dell'interno della fabbrica, tutto va progettato in un'ottica additiva. Nel senso che in fase di progettazione il layout dovrebbe essere concepito per un uso che rispetti i vincoli e gli standard delle tecnologie in esame, presumibilmente diversi da quelli tradizionali, così come differenti sono le caratteristiche, le dimensioni, le proprietà delle stampanti 3D rispetto alle attrezzature sottrattive. Non solo la fase del progetto ma anche la sua implementazione, il magazzino, le vie in cui i materiali sono trasportati (eccetera) devono condurre ad un uso ottimale delle tecnologie additive e devono essere pensati per assicurarne un efficiente funzionamento.

In più, un'attenzione particolare merita la gestione dei dati digitali, di vitale importanza in questo tipo di metodo produttivo. Le aziende dovrebbero dotarsi di tecnologie e personale adatto allo stoccaggio dei dati virtuale e alla loro manipolazione.

Si propone una tabella con lo scopo di mettere a fuoco i punti salienti nei vari campi di utilizzo proprio per riassumere quanto esposto e per sottolineare che non tutte le implicazione hanno lo stesso peso per le varie applicazioni della stampa 3D. (le colonne sono state titolate riprendendo la classificazione del paragrafo).

Tabella 6- Le implicazione economiche in rapporto alle applicazioni

	Riduzione scorte magazzino	Supply chain	Operation factors	Organizzazione del lavoro	Assenza economie scala	Dinamiche interne
Prototipazione rapida			✓	✓	✓	
Produzione indiretta			✓		✓	
Produzione diretta	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Parti ricambio	✓	✓				✓

Fonte: elaborazione personale

### 3.2 Vantaggi e Svantaggi

Tabella 7- schema introduttivo

Vantaggi	Svantaggi
Riduzione tempi di progettazione	Processo lento
Realizzare elementi con prestazioni superiori.	Scelta dei materiali limitata
Maggiore efficienza processo produzione/ assemblaggio.	Presunta tossicità di alcuni materiali
Maggiore sostenibilità ambientale	Software
Personalizzazione del prodotto	Mancanza di conoscenza specifica
Produrre piccole quantità senza costi aggiunti.	Copyright, produzione di oggetti pericolosi
Realizzare oggetti con geometrie, forme complesse.	Definizione di standard e di responsabilità
Riduzione ill-structured costs.	
Well structure costs	

Fonte: elaborazione personale

#### 3.2.1 I benefici

Una tipica applicazione della manifattura additiva è la prototipazione rapida, la quale consente di ridurre i tempi di produzione dei prototipi rispetto ai metodi classici e velocizza le fasi successive di produzione del prodotto, permettendo così di ridurre il *time to market* totale. In altre parole, si può pensare che avere a disposizione un prototipo fisico nel più breve tempo possibile possa aiutare il progettista a pensare alla fase seguente, ossia agli stampi per l'oggetto finale. In aggiunta la prototipazione rapida, consentendo di lavorare a più progetti simultaneamente, conduce a una maggiore libertà nel pensare alla sequenza delle fasi, slegandole addirittura dalla visione lineare. La riduzione del *time to market* e la capacità di adattarsi in maniera rapida ai cambiamenti forniscono non pochi vantaggi strategici all'azienda nei confronti dei suoi concorrenti. Difatti gli studi in materia di Gatto (1998) e Luciani (1998) dimostrano che le aziende che diversificano e che quindi non dipendono da uno o da un numero limitato di prodotti godono di una certa sicurezza sul mercato.

Un secondo beneficio conseguito attraverso il processo additivo risiede nelle prestazioni superiori degli oggetti rispetto a quelle conseguibili con le tradizionali tecnologie sottrattive. Infatti, la possibilità di mettere in pratica geometrie altrimenti impensabili, e di ottenere forme

complesse, migliora alcune caratteristiche meccaniche, e in campi dove è richiesto, riduce anche il peso del prodotto.

Inoltre, Bacchetti (2015) e Zanardini (2015) attestano che il processo di produzione/assemblaggio può guadagnare in termini di efficienza. Tanto è vero che, grazie all'utilizzo delle suddette tecnologie, si possono realizzare differenti pezzi in un unico processo di stampa. Al contrario, le tradizionali tecniche realizzano separatamente diversi elementi che devono poi subire un processo di assemblaggio attraverso giunture e saldature, le quali sono solite essere le principali cause di guasti e difetti e quindi fonti di inefficienza per il prodotto.

Adottando poi una prospettiva forse azzardata e già descritta nel precedente capitolo, gli oggetti possono essere prodotti quando il consumatore li richiede. Grazie a questa "manifattura su richiesta" non ci sarebbe né sovrapproduzione né distruzione dei prodotti invenduti e le scorte di magazzino si ridurrebbero.

Un altro potenziale vantaggio riguarda la sostenibilità ambientale del processo. Tale obiettivo, sempre più importante in molti campi, si raggiunge poiché la manifattura additiva dovrebbe comportare una riduzione del materiale di scarto, dal momento che tutto quello non lavorato può essere riutilizzato, e una contemporanea contrazione dei consumi energetici.

È importante rilevare, come giustamente scrive Campbell (2011), la coincidenza tra le richieste specifiche dei consumatori e la natura della manifattura additiva che è l'ideale per ottenere forme complesse e con un grado di personalizzazione non accessibile alla tradizionale manifattura. Infatti, i prodotti realizzati in piccoli lotti possono essere molto diversi gli uni dagli altri poiché il costo di variazione dal modello originario è contenuto siccome è sufficiente una modifica del progetto digitale.

### 3.2.2 I costi

I costi del processo additivo sono difficilmente stimabili e quindi è arduo classificarli come una fonte di vantaggio o una criticità da risolvere. Per approfondire l'analisi, Douglas (2014) riporta un'utile classificazione, dividendoli in "*ill-structured costs*" e "*well-structured costs*".

I primi, che generalmente si riducono, sono quelli concernenti la catena di fornitura. Abbiamo già analizzato nel precedente capitolo il notevole impatto dell'adozione del processo additivo sulla supply chain. Qui vorremo solo riassumere le principali riduzioni di costo associate. In primo luogo possiamo dunque sottolineare che decrescono le spese legate al magazzino visto che servono meno scorte e di conseguenza si ridimensionano il costo dell'affitto, le tasse da pagare, l'ammontare delle assicurazioni e diminuiscono inoltre il rischio di obsolescenza e

deterioramento. Allo stesso tempo i costi di trasporto dal luogo di produzione a quello di consumo sono calati poiché la stampa del prodotto può essere eseguita in ogni dove utilizzando un file che si spedisce via computer e l'azienda non deve nemmeno incrementare le risorse per raggiungere in maniera più celere possibile il consumatore quando questo lo richiede. In aggiunta, una voce di spesa che pesa meno nel bilancio è quella per il management della catena di fornitura. La produzione si avvicina al consumatore, il numero di passaggi è inferiore e gli operatori coinvolti diminuiscono quindi si presume essere necessaria una minor gestione o quantomeno un minor tempo dedicato a essa. In ultimo, la nuova lunghezza (più breve) della *supply chain* porta addizionali vantaggi di costo poiché riduce le possibilità di disastri e alterazioni che si potrebbero verificare nei punti di collegamento tra i vari partecipanti alla catena stessa.

I *well structured costs* ricomprendono in sintesi il costo del lavoro, delle macchine e dei materiali. Questi oneri, al contrario, non sono definibili come fonte di vantaggio o svantaggio poiché è difficile giungere a una valutazione definitiva sulla loro consistenza.

In generale i costi del lavoro e dell'energia sono trascurabili rispetto al costo totale del processo. Per quanto riguarda i primi, essi si riducono poiché il processo è molto automatizzato e può procedere sotto il controllo del computer, gli addetti coinvolti sono quindi un numero esiguo e non dotati di particolare esperienza. Anche l'ammontare dell'energia utilizzata sembra essere inferiore alla tradizionale produzione e quindi di costo contenuto. Invece, i materiali oggi maggiormente utilizzati (plastica, metallo) costano di più rispetto alla loro controparte nel processo sottrattivo. Senza contare che le aziende devono sostenere investimenti abbastanza consistenti per dotarsi delle macchine necessarie. Considerando questi elementi, queste spese sembrano impattare negativamente sulla vita aziendale, ma una maggiore adozione del processo additivo potrebbe portare a una riduzione del costo delle materie prime, sfruttando economie di scala. E occorre precisare che il prezzo pagato per i macchinari varia in funzione della tecnologia che la macchina usa.

La difficoltà maggiore si riscontra però se si assume come obiettivo aziendale quello di minimizzare il costo totale del processo. Per raggiungere tale scopo si considerano diversi fattori e ognuno di essi a seconda di come viene declinato ha un effetto diverso sul totale da spendere. Volendo fare un esempio concreto, l'orientamento del pezzo nella camera di produzione può comportare un aumento dell'energia utilizzata fino al 160% (un aumento di costo) ma un utilizzo completo della stessa camera di costruzione riduce significativamente i costi unitari. Nel caso quindi di una valutazione del costo totale del processo Douglas (2014) sostiene che la risposta non sia univoca ed è proprio la difficoltà riscontrata nel misurare e bilanciare gli aspetti critici a rallentare l'adozione del processo.

### 3.2.3 *Le criticità*

Sebbene siano evidenti i vantaggi, si devono considerare anche le criticità che, di fatto, hanno impedito una diffusione massiccia del nuovo metodo.

Le limitazioni riguardano in primis la produzione di massa. Campbel (2011) stima il tempo di produzione di 1,5 metri cubi in un'ora. Al contrario una classica macchina da stampaggio può realizzare diversi oggetti in meno di un minuto. Anche se ci si aspetta un aumento della velocità del processo additivo, esso difficilmente arriverà a equiparare quello sottrattivo, data la presenza di colli di bottiglia nel procedimento stesso.

Un altro limite risiede nei materiali dato che attualmente la varietà è ridotta e spesso i composti utilizzabili sono più deboli rispetto a quelli per i metodi tradizionali. In aggiunta gli oggetti stampati di solito hanno bisogno di una fase successiva di rifinitura data la superficie ruvida e poco precisa che si ottiene utilizzando le tecniche oggi in uso.

Alcuni esperti hanno ipotizzato anche una pericolosità per la salute dell'uomo. Invero, una ricerca condotta dall'università dell'Illinois avrebbe dimostrato che in assenza di aspiratori nell'ambiente di lavoro l'accumulo e il deposito delle particelle di materiali termoplastici potrebbe provocare effetti nocivi per la salute umana (si veda Rota 2015). Anche se si tratta di uno studio che evidenzia solamente degli indizi sulla tossicità dei materiali trattati, il fatto che vari organismi, come la Comunità Europea, stiano invitando a una valutazione più accurata dei possibili rischi introdotti dalle nuove tecnologie offre ampio spazio al dibattito circa la presunta pericolosità.

Il sistema CAD, avente un ruolo fondamentale nel processo preparatorio, è un ulteriore elemento da migliorare. Infatti, i programmi attuali, calibrati sul design ottenibile con i tradizionali sistemi, sono considerati inadeguati per sfruttare la libertà creativa delle forme che è invece concessa dalle tecnologie additive. Per di più, la diffusione presso i non professionisti potrebbe essere ostacolata dalla loro interfaccia, considerata da molti di non facile utilizzo.

Quello che manca è anche la conoscenza della tecnologia. Gli attuali manager non riescono a valutare quale sia la tecnica che meglio si addice alla produzione della specifica fabbrica o quali materiali usare. Inoltre specifiche abilità sono richieste per la gestione efficiente dei software, elementi alla base del processo. Lo sviluppo delle suddette competenze comporta il sostenimento di costi aggiuntivi per l'impresa o per altre strutture specifiche.

Nell'uso domestico si dovrebbe sviluppare un sistema di protezione della creazione originale che impedisca al consumatore-produttore di replicare a proprio piacimento il lavoro altrui. Si dovrebbe altresì trovare un modo per assicurare che la stampante non sia utilizzata per la costruzione di oggetti pericolosi come le armi.

In aggiunta, vi è anche il problema di attribuire la responsabilità di eventuali difetti del prodotto stampato. Non è ancora stato decretato quale sia il soggetto che deve rispondere a riparazioni o sostituzioni di parti fallate, sia esso il fornitore del materiale, il costruttore della macchina, il progettista del disegno o chi altro (si veda Mohr e Khan, 2015).

Dopo aver esposto in maniera generale i fattori positivi da considerare prima dell'adozione della stampa 3D è indispensabile riportare questi stessi alle differenti applicazioni. In questo modo sono più chiari gli impatti benefici sui singoli campi mentre restano comuni gli aspetti critici.

Tabella 8- I vantaggi per le singole applicazioni

APPLICAZIONI	VANTAGGI
Prototipazione rapida	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forme complesse</li> <li>• Riduzione tempi progettazione</li> <li>• Versioni diverse senza costi di riattrezzaggio</li> </ul>
Produzione indiretta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utensili personalizzati</li> <li>• Efficiente processo assemblaggio</li> <li>• Rapidità di realizzazione degli strumenti</li> </ul>
Produzione diretta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prodotti personalizzati</li> <li>• No costi aggiuntivi per piccole serie</li> <li>• Sostenibilità ambientale</li> <li>• Condivisione del design dell'oggetto</li> <li>• Facilità e velocità di modificare il prodotto</li> <li>• Separazione tra design e produzione</li> <li>• Assenza pezzi invenduti e quindi minor rischio inventario</li> <li>• Vicinanza al consumatore finale</li> </ul>
Ricambi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Riduzione costi trasporto e magazzino</li> <li>• Elementi con prestazioni superiori, minor peso</li> </ul>

Fonte: elaborazione personale

## 4. Conclusioni

La premessa, più volte ribadita nel corso del lavoro, è quella di non poter fare valutazioni definitive sul fenomeno data la sua recente diffusione e la conseguente incertezza sulle possibilità di applicazione, spesso inesplorate. Detto questo, dopo aver visto i tassi crescenti di fatturato e adozione ci sembra di poter affermare che la stampa 3D abbia beneficiato di una notevole espansione negli ultimi anni causata essenzialmente dall'ampliamento dell'offerta di materiali utilizzabili ma anche dalla diminuzione dei costi di attrezzaggio, il tutto avvenuto in concomitanza con la scadenza dei brevetti originari delle varie tecnologie. Questi trends non sono destinati a esaurirsi nel futuro, tanto che si prevede una disponibilità di materiali sempre più ricca e un miglioramento delle macchine (riduzione del tempo di stampa, utilizzo di più materiali insieme, stampa multicolore) che fanno sperare in una forte crescita anche per gli anni a venire con una partecipazione mondiale sempre più consistente.

Sebbene sia importante avere queste nozioni in mente, quando si decide circa l'adozione di una tecnologia bisogna considerarne l'influenza positiva e negativa sul proprio business. Nello specifico, abbiamo enucleato quattro ambiti di applicazione in modo da poter valutare rispetto a ognuno di questi le ragioni a favore o sfavore dell'adozione. Nei precedenti capitoli si è cercato di portare a sintesi quest'idea attraverso delle tabelle per evidenziare il diverso peso delle varie implicazioni mentre le limitazioni sono state considerate sostanzialmente condivisibili nei diversi campi. In breve, possiamo dire che l'impatto per la prototipazione rapida, la produzione indiretta e le parti di ricambio è minore rispetto a quello per la produzione diretta, la quale subisce anche un cambiamento radicale del modello di business che è invece solo incrementale negli altri casi.

A oggi però il primo utilizzo resta il *rapid prototyping* mentre gli elevati costi di produzione per grandi volumi e l'ignoranza in materia sono le principali cause di esigua espansione della produzione diretta, anche se quest'ultima è la risposta alle richieste del consumatore moderno: maggiore partecipazione alla fase di progettazione e produzioni, oggetti su misura calibrati sulle singole esigenze, tempi più rapidi di consegna. In ottica industriale, dunque, oggi e nel futuro si pensa a un sistema duale nel quale possano convivere il processo produttivo sottrattivo e quello additivo ognuno impiegato su mercati dove rappresenta un vantaggio competitivo. In linea di massima si prevede una realtà dove le produzioni su larga scala resteranno in capo ad imprese produttrici di beni standardizzati, mentre i mercati di nicchia saranno forniti da imprese adottanti la stampa 3D.

Vi è però da puntualizzare che l'utilizzo massiccio delle tecnologie in esame provocherebbe anche sconvolgimenti sociali e culturali, classificandosi così come una nuova rivoluzione industriale. Quando si pondera l'idea di introdurre una novità tecnologica si deve considerare il livello di coinvolgimento con le persone e quindi la necessità e il grado d'istruzione delle stesse. Nel caso specifico, il coinvolgimento sarebbe proporzionalmente grande alla conoscenza necessaria se la stampa 3D entrasse a far parte della quotidianità di tutti grazie all'autoproduzione in casa attraverso appositi kit (visione oggi un po' radicale). Nel caso maggiormente fattibile di una produzione industriale e una distribuzione rivoluzionata, le scuole o i centri professionali sarebbero i luoghi di elezione per istruire i nuovi lavoratori. In ogni caso, nella realtà odierna è auspicabile una maggiore conoscenza delle tecnologie additive in primis per i managers e gli imprenditori che sarebbero così più consapevoli delle loro scelte in materia, e anche per il grande pubblico portato in questo modo ad adottare una visione più favorevole. In aggiunta, il *policy maker* potrebbe dapprima stabilire regole e incentivi per costruire un ambiente idoneo all'imprenditorialità dove tutti i soggetti coinvolti possano comunicare e sviluppare progetti comuni e poi favorire la nascita di start up introducendo sgravi fiscali, reti di supporto e integrazione università-impresa.

In ultimo luogo, è importante rilevare che la stampa 3D si allinea con la visione odierna di una sovrapposizione della sfera produttiva e di quella dei servizi poiché aggiunge alla mera fisicità dell'oggetto l'esperienza immateriale della sua creazione, non distinguendo nettamente le due fasi<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Numero parole: 14.908



## Bibliografia

BELTRAMETTI, L., e GASPARRE, A., 2014. *La stampa 3D come nuova sfida tecnologica al lavoro manifatturiero*. Atti del XXVI Convegno annuale di Sinergie: Manifattura: quale futuro?, Università degli Studi di Genova.

BOGERS, M., HADAR, R., e 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.

CALDERAN, P., 2015. *Stampa 3D: il manuale per hobbisti e maker*. 1°ed. (s.l.): Apogeo.

CAMPBELL, T., WILLIAMS, C., IVANOVA, O., e GARRETT, B., 2011. *Could 3D printing change the world. Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*. Atlantic Council, Washington, DC.

CASSARÀ, L., 2014. *Self design. L'auto-fabbricazione e la rivoluzione delle stampanti 3D*. 1°ed. Catania: Malcor D' Edizione.

CHUA, C., LEONG, K., 2014. *3D Printing and additive manufacturing: principles and applications*. 4°ed. Singapore: World Scientific.

FONDAZIONE MAKE IN ITALY CDB, 2015. *Il 1° rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali nel sistema manifatturiero italiano* [online]. Disponibile su: [http://www.makeinitaly.foundation/wp-content/uploads/2015/10/make\\_in\\_italy\\_rapporto\\_completo\\_impatto\\_tecnologie\\_digitali\\_nel\\_sistema\\_manifatturiero\\_italiano.pdf](http://www.makeinitaly.foundation/wp-content/uploads/2015/10/make_in_italy_rapporto_completo_impatto_tecnologie_digitali_nel_sistema_manifatturiero_italiano.pdf) [data di accesso 30/03/2017].

GATTO A., IULIANO L., 1998. *Prototipazione Rapida: la tecnologia per la competizione globale*. 1°ed. Milano: Tecniche Nuove.

GERAEDTS, J., DOUBROVSKI, E., VERLINDEN, J., e STELLINGWERFF, M., 2012. *Three views on additive manufacturing: business, research and education*. In Ninth Int. Symp. Tools Methods Compet. Eng., I. Horváth, A. Albers, M. Behrendt, and Z. Rusák, Eds (pp. 1-15)

GIBSON, I., ROSEN, D., e STUCKER, B., 2014. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. 2°ed. London: Springer.

Hagel III, J., Brown, J. S., Kulasoorya, D., Giffi, C., e Chen, M., 2015. *The future of Manufacturing-Making things in a changing world*. Deloitte University Press.  
Saatavilla:<[http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/manufacturing/Z\\_A\\_Future\\_of\\_Manufacturing\\_2015.pdf](http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/za/Documents/manufacturing/Z_A_Future_of_Manufacturing_2015.pdf)> Viitattu 9 (2015): 2015.

KIETZMANN, J., PITT, L., e BERTHON, P., 2015. *Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing*. Business Horizons, 58(2), 209-215.

MAIETTA, A., 2014. *Stampa 3D. Guida completa*. 1°ed. Milano: Edizioni LSWR.

MARKIDES, C., 2006. *Disruptive innovation: In need of better theory*. Journal of product innovation management, 23(1), 19-25.

MARKILLIE, P., 2012. *A third industrial revolution* [online]. The Economist. Disponibile su: <http://www.economist.com/node/21552901> [data di accesso: 05/04/2017].

MELLOR, S., HAO, L., e ZHANG, D., 2014. *Additive manufacturing: A framework for implementation*. International Journal of Production Economics, 149, 194-201.

MOHR, S., e KHAN, O., 2015. *3D printing and its disruptive impacts on supply chains of the future*. Technology Innovation Management Review, 5(11), 20.

PIGNATELLI, F., 2013. *L'evoluzione della stampa 3D e le sue applicazioni in campo museale*. SCIRES-IT-SCientific RESearch and Information Technology, 3(2), 143-158.

PETRICK, I. J., e SIMPSON, T. W., 2013. *3D printing disrupts manufacturing: how economies of one create new rules of competition*. Research-Technology Management, 56(6), 12-16.

RAYNA, T., E STRIUKOVA, L., 2016. *From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation*. Technological Forecasting and Social Change, 102, 214-224.

ROTA, A., 2015. *Stampa 3d: un nuovo rischio da ignoto tecnologico*. Relazione finale, Università Bologna.

SCULPTEO, 2016. *The state of 3d Printing. The data you need to understand the 3D Printing world and built your 3D printing strategy* [online]. Disponibile su: <https://www.sculpteo.com/en/3d-printing/state-of-3D-printing/> [data accesso: 03/04/2017].

SOPPELSA, M., 2015. *Fabbricare con la stampa 3D. tecnologie, materiali e metodologie per la manifattura additiva*. 1°ed. Milano: Tecniche nuove.

STAPLETON, D., PANDEK, V., 2015. *Evaluating additive manufacturing as a disruptive technology in transportation & logistics*. [online]

Disponibile su:

<https://www.pomsmeetings.org/ConfProceedings/065/Full%20Papers/Final%20Full%20Papers/065-1829.pdf> [data ultimo accesso 12/04/2017]

THOMAS, D. S., e GILBERT, S. W., 2014. *Costs and cost effectiveness of additive manufacturing*. NIST Special Publication, 1176, 12.

ZANARDINI, M., e BACCHETTI, A., 2015. *Se la stampa 3D rivoluziona anche la supply chain* [online] SISTEMI&IMPRESA. Disponibile su: <https://www.researchgate.net/publication> [data di accesso: 27/04/2017].

WOHLERS ASSOCIATES INC., *Wholers Report 2013. Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report*, Fort Collins, Colorado (USA), 2013.

## *Siti di riferimento*

<http://www.3discover.it/>

<http://www.3ditaly.it/>

<http://www.3dprintingcreative.it>

<http://www.3dprinthub.it/>

<http://www.3dsystems.com/>

<http://www.corriere.it/>

<http://www.fabbricafuturo.it/>

[http://www.ilsole24ore.com /](http://www.ilsole24ore.com/)

<http://www.lastampa.it/>

<http://www.repubblica.it/>

<http://www.stampa-3d.com/>

<http://www.stratasys.com/>

<http://wasprojet.it/>

<http://www.wired.com/>