

# **POLITECNICO DI TORINO**

**Corso di Laurea Magistrale**

**in Ingegneria della Produzione Industriale e  
dell’Innovazione Tecnologica**

**Tesi di Laurea Magistrale**

***La nuova era delle stampe 3D***



**Relatore**

**Prof. Franco Lombradi**

**Candidato**

**Raffaele Picone**

**Anno Accademico 2019/2020**



## Indice

### **Primo capitolo – INFOSISTEMI S.r.l.**

1.1. Storia e descrizione dell'azienda

1.2. Clienti di maggior rilievo

### **Secondo capitolo – Il mercato delle stampe 3D e la sua evoluzione nel tempo**

2.1. Storia ed evoluzione della stampa 3D

2.2. Il mercato della stampa 3D: business miliardario

2.3. Il report Sculpteo e Wohlers

2.4. I dati Context sull'andamento del mercato della stampa 3D nel 2018

2.5. Report 3D Hubs 2018 sul mercato della stampa 3D

2.6. Tecnologie maggiormente impiegate

### **Terzo capitolo – Le tipologie di stampaggi 3D e il loro funzionamento**

3.1. Le 7 principali tipologie di stampa 3D

3.2. FFF – *Fused Filament Fabrication*

3.3. SLA – Stereolitografia

3.4. MJF – *Multi Jet Fusion*

3.5. SLS – *Laser Sintering*

### **Quarto capitolo – Cosa faremo in futuro con le stampanti 3D?**

4.1. Il Contour Crafting

4.2. La stampa 3D nello spazio

4.3. IKEA lancia moduli stampabili in 3D per persone con disabilità

4.4 Il primo cuore stampato in 3D: il futuro per il campo medico

4.5. La nascita di nuove figure professionali: i “modellatori” 3D

### **Conclusioni**

### **Bibliografia e sitografia**

## **Primo capitolo**

### **INFOSISTEMI S.r.l.**

#### **1.1 Storia e descrizione dell'azienda**

La INFOSISTEMI s.r.l. fu fondata nel 1988 da Nicola Fini.

Nata come piccolissima impresa di assistenza informatica, oggi è presente in tutto il mondo per la stampa office, telefonia, consulenza informatica, assistenza sistemistica e l'audio video conferenza, oltre ad offrire sia noleggio sia vendita di prodotti come stampanti, fotocopiatrici, relativi materiali di consumo come toner ed inchiostri ma anche assistenza per la stampa e la tipografia.



Infosistemi S.r.l. è presente sulle regioni del Piemonte, precisamente Torino dove conta 18 dipendenti su una superficie complessiva di 1300 m<sup>2</sup>, e in Liguria (la Liguresistemi S.r.l.) precisamente a Loano (SV) su una superficie di 400 m<sup>2</sup> con i suoi 8 dipendenti. Entrambe le sedi sono adeguatamente ripartite tra uffici di rappresentanza e ambienti produttivi.

Tra i punti di forza aziendali vi è la personalizzazione per soddisfare a meglio l'esigenza del cliente. Inoltre, vi è un servizio di assistenza costante e qualificata a seconda degli ambiti ICT, Teclò e Stampa Tipografica.

Da qualche anno a questa parte l'azienda ha iniziato ad interessarsi anche al nuovo mondo delle stampe 3D offrendo progettazione, modellazione e stampe 3D, oltre al noleggio delle stampanti 3D.



## 1.2 Clienti di maggior rilievo

Infosistemi S.r.l con gli anni è cresciuta a tal punto di diventare leader a livello regionale nel suo settore.

Tra i clienti storici degni di nota troviamo:

Il gruppo EREDI CAMPIDONICO S.p.a., con sede a Grugliasco, Mappano, Oulx e Vercelli. Dal 2000, con la sua acquisizione, viene supportata nella realizzazione dei server, assistenza informatica su personal computer e pacchetti software, installazione assistenza sui centralini, installazione di stampanti e multifunzioni per la gestione del copy e della scansione documenti.

Dai primi anni 90 la Infosistemi S.r.l. segue il polo formativo TUTTOEUROPA. Vengono seguiti fin dalla loro prima sede storica di Piazza Vittorio Veneto alle attuali sedi in cui, in una di esse, hanno creato la VITTORIA JUNIOR SCHOOL. Infosistemi è riuscita a collegare perfettamente le loro sedi installando un sistema telefonico centralizzato ed effettuando presidi giornalieri presso le loro aule di Informatica effettuando le seguenti attività: gestione dei computer, dei server virtuali e backup anche remoti degli stessi. Le loro aule, inoltre, sono state attrezzate

con impianti audio/video innovativi, lavagne interattive e laboratori informatici e linguistici.

Si annovera tra i suoi clienti anche ORECCHIA S.p.A., dal 1990 segue la sua crescita e la sua espansione nel territorio piemontese e non, servendo 14 loro sedi con un parco installato di oltre 60 unità in vari amviti tra cui la copiatura, passando poi per la stampa, la scansione e l'archiviazione documentale, proteggendo i loro dati attraverso le multifunzioni Kyocera con l'implementazione del Data Security Kit.

## Secondo capitolo

### Il mercato delle stampe 3D e la sua evoluzione nel tempo

#### 2.1 Storia ed evoluzione della stampa 3D

Attualmente la stampa 3D è conosciuta da tutti, quasi tutte le persone ne hanno sentito parlare e in molti hanno già visto una stampante 3D all'opera.

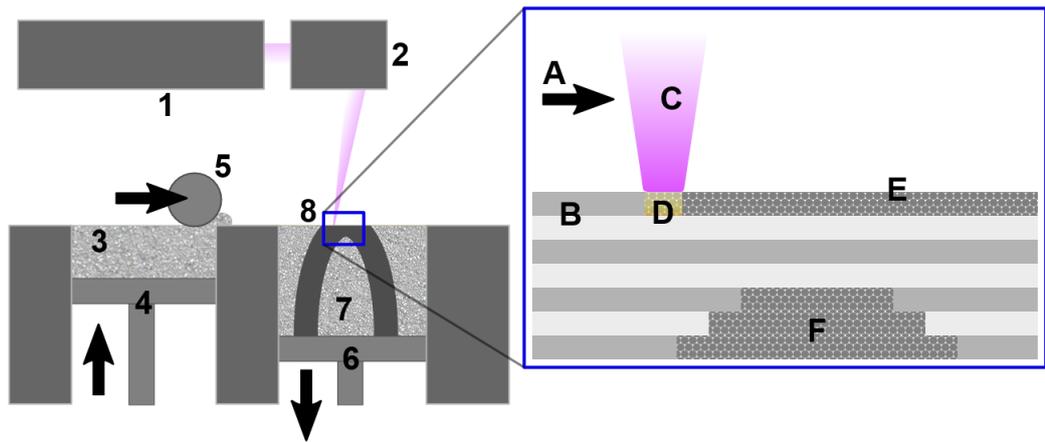
Di seguito verrà proposta la storia completa della stampa 3D al fine di poter comprendere meglio le loro enormi potenzialità.

Solamente oggi si assiste al successo di tali tipologie di stampanti, ma è da almeno trent'anni che esistono tecniche di stampa 3D. Per poter capire meglio tale successo bisogna tornare indietro di qualche anno e risalire alle origini.

Si parte dal 1982, quando Chuck Hull inventò la stereolitografia e diede vita al primo esempio commerciale di *rapid prototyping* e del formato STL in quanto fondò la 3DSystems (azienda ad oggi saldamente all'apice nel settore)

Nel 1985 fu presentato il brevetto per poi ottenerlo l'anno dopo. Successivamente fondò l'azienda partendo dalla distribuzione di stampanti 3D. Hull gettò le basi aprendo la strada per questo settore emergente.

Nel 1986 Carl Deckard, Joe Beaman e Paul Forderhase sviluppando le idee di Chuck Hull diedero vita alla *selective laser sintering* (fig. 1) – la sinterizzazione – un processo simile al precedente modello, ma apportato di una modifica: la resina fu sostituita con il Nylon, un liquido con una polvere, la quale non ha alcun bisogno di supporto in quanto classificata come solido.



*Figura 1 - Selective laser sintering process*

*1 Laser 2 Scanner system 3 Powder delivery system 4 Powder delivery piston 5 Roller 6 Fabrication piston 7 Fabrication powder bed 8 Object being fabricated (see inset) A Laser scanning direction B Sintered powder particles (brown state) C Laser beam D Laser sintering E Pre-placed powder bed (green state) F Unsintered material in previous layers*

Nel 1988 Crump, fondatore della Stratasys, brevettò la FDM (*Fused deposition modeling*) (fig. 2): modellazione a deposizione fusa, la quale si può sintetizzare con una pistola per la colla a caldo che si sposta sui tre assi cartesiani depositando del materiale plastico fuso.

La tecnologia FDM funziona sulla scorta del principio additivo, consistente nel collocare strati di materiale l'uno sopra l'altro, formando così gli oggetti.

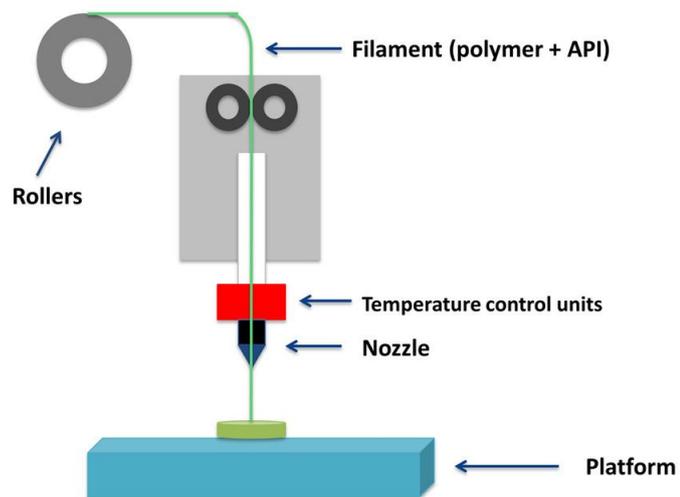


Figura 2 - Fused Deposition Modelling (FDM)

Nel 1993 è l'arrivo della 4<sup>a</sup> tecnologia di stampa: quella a colori (fino a un massimo di 28) definita “*Three dimensional printing*”. Il merito è attribuibile al MIT – l’*Institute of Technology* con sede a Boston. È una tecnologia utile e dispendiosa in quanto il fine ultimo è di stampare oggetti fedeli alla realtà.

Nell’immagine (fig. 3) si può notare la fedeltà con cui è stato prodotto un fossile di balena scansionato e stampato da alcuni ricercatori.



Figura 3 - Fossile di balena stampato in 3D

Nel 1995 i ricercatori del *Fraunhofer Institute* inventarono il metodo del *Selective laser melting* (fig. 4). La novità delle stampe 3D fu quella di poter produrre oggetti concretamente solidi.

Grazie a questo metodo, si riuscirono a fondere polveri di metallo e ottenere oggetti con una densità pari al 98%.

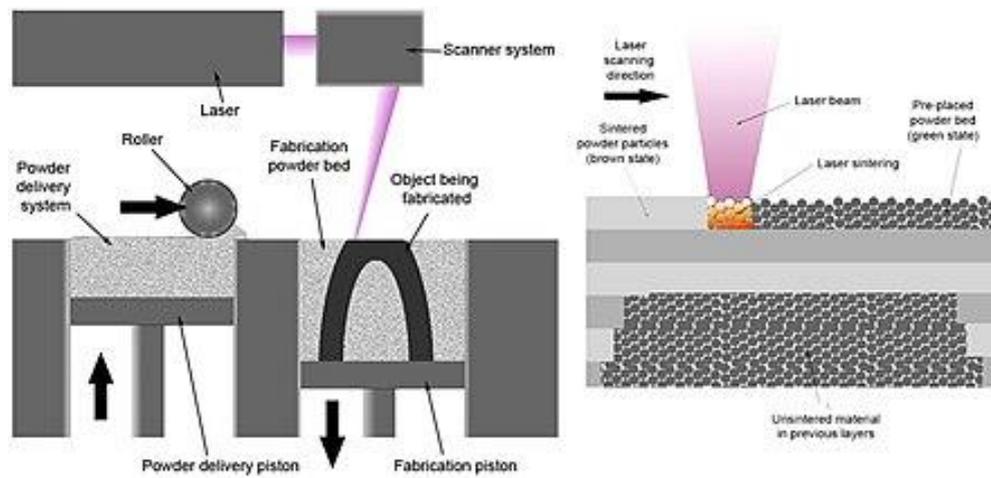


Figura 4 - Schema del Selective Laser Melting (SLM)

Il 2002 avvenne una svolta: la fusione a fascio di elettroni (*Electron beam melting*) (fig. 5): tecnologia per cui una sorgente di elevata energia, formata da un fascio composto da concentrato e accelerato di elettroni, colpisce un materiale in forma “microgranulometrica” portando così la fusione completa. Grazie a questo metodo si possono ricavare oggetti anche metallici con una densità pari persino al 99,98%.

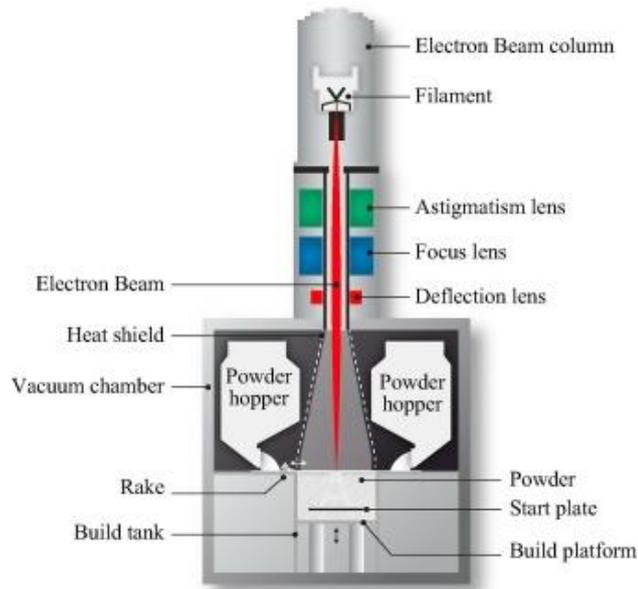


Figura 5 - Tecnologia di Electron Beam Melting (EBM)

Nel 2005 la *Mcor Technologies Ltd* (società irlandese) dà inizio al *Paper 3d laminated printing*. Viene inventata una macchina che accatasta fogli di carta su cui a loro volta si stampa. Il risultato è un metodo additivo che consente l'impiego di tutti i colori.

Sempre nello stesso anno, grazie al principio del *Self replicating rapid Prototyper* (fig. 6) si aprono le porte alla produzione e all'innovazione delle stampanti domestiche.

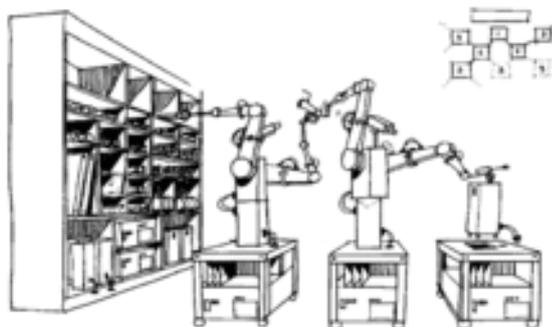


Figura 6 - Macchina self-replication

Il luogo in cui iniziò il cambiamento è l'Inghilterra. Il punto di svolta si ebbe con la realizzazione di una stampante 3D in grado di riprodurre se stessa.

Nel 2007 nasce *Shapeways* per soddisfare l'esigenza di produrre e commercializzare stampanti a basso costo. L'iniziativa venne avvalorata anche dal crescente numero di designer 3D. Il servizio consiste in un network di stampanti 3D, i possessori possono associarsi e la società offre un servizio di stampa 3D e spedizione in tutto il mondo. Questo servizio è usato ancora oggi in quanto non tutti possiedono una stampante.

Un punto a cui bisogna fare un focus è l'aspetto *Opensource* che contraddistingue il settore delle stampanti 3D.

Lo stimolo oltre a essere quello economico, è soprattutto quello della condivisione. Moltissimi designer e sviluppatori mettono in rete i loro progetti per il puro desiderio di condividere e favorire in tal modo l'innovazione.

Nel 2008 Bre Pettis, Adam Mayer, e Zach "Hoeken" Smith fondano la *MakerBot Industries* (fig. 7) e diedero inizio alla loro attività imprenditoriale puntando non solo a un'ottima qualità, ma anche all'estetica della stampante, differenziandosi dai loro competitors.

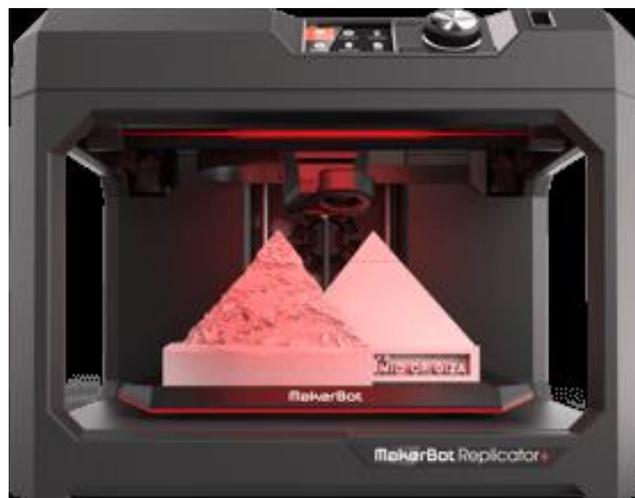


Figura 7 - Makerbot Replicator+

Concludendo, si può sostenere come non si possa giungere ad una vera e propria conclusione quando si parla di origini e sviluppo delle stampanti 3D. Ogni giorno, infatti, si assiste a continue innovazioni e tutto ciò, inevitabilmente, porterà importanti cambiamenti nelle vite di tutti noi, considerato che i campi di applicazione spaziano dall'educazione, allo svago fino ad arrivare all'ambito sanitario.<sup>1</sup>

## **2.2 Il mercato della stampa 3D: business miliardario**

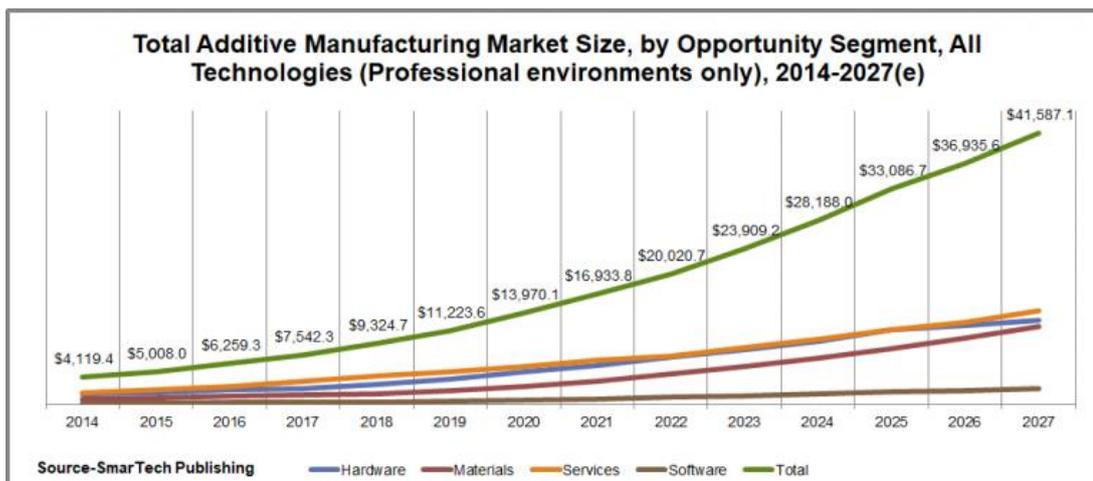
*SmarTech Publishing*, società di riferimento per le analisi di mercato nel campo della stampa 3D, ha pubblicato il report all'interno del quale viene data una panoramica completa di tutto il settore.

La fotografia che viene scattata riproduce un mercato globale additivo (hardware, software, materiali e servizi) del valore di 9,3 miliardi di dollari, con una percentuale di crescita pari al 18%.

Il report di seguito riportato presenta una proiezione del settore dal 2018 fino al 2027 (fig. 9), realizzata da un *database* completo di dati chiave di dimensionamento e previsione del mercato, monitorando tutta la catena del valore e l'attività produttiva additiva dall'*hardware*, ai materiali, al software, ai servizi di produzione parziale di tutto il 2018.

---

<sup>1</sup> A. Maietta, *Stampa 3D. Guida completa*, Made Makers, LSWR, Milano, 2014.



Figur 8 - Proiezione del settore 2018-2027

Dal 2018, il mercato della produzione additiva sembra aver riacquisito una percentuale di crescita costante.

Tutti i segmenti di mercato sembrano ora progredire in modo analogo.

Tale sviluppo positivo è stato osservato in entità come *3D Systems* e *Stratasys* le quali mostrano risultati di crescita maggiormente positivi a fronte di un quadro competitivo molto più complesso rispetto a quello che si osservava negli anni precedenti.

### 2.3 Il report Sculpteo e Wohlers

Tra le applicazioni più note della stampa 3D nel 2018, il report *The State of 3D Printing* di Sculpteo<sup>2</sup> introduce la prototipazione con una fetta di mercato del 55%, e la produzione con il 43%.

Tale report<sup>3</sup> evidenzia che la ragione principale che spinge le aziende ad investire in questo settore è il bisogno di velocizzare lo sviluppo del prodotto.

Alcuni risultati dimostrano come la stampa 3D si stia radicando in un numero sempre maggiore di settori produttivi:

- il 93% delle aziende sostiene di aver già riscontrato vantaggi competitivi nell'utilizzare della stampa 3D, tra cui la diminuzione del *time-to-market* e l'elasticità per supportare sessioni di produzione più brevi per i clienti;
- il 36% delle aziende impiega materiali metallici per la stampa 3D, rispetto al 28% del 2017;
- il 70% ha aumentato del 49% i propri investimenti nella stampa 3D nel 2018 rispetto a quanto si registrava l'anno precedente.<sup>4</sup>

Sculpteo, inoltre, ha processato una enorme quantità di dati in maniera tale da fornire una risposta credibile a tutte le domande che maggiormente vengono poste nell'ambito della Stampa 3D.

Da quanto si può ricavare dalla lettura del report annuale del 2017 del *service* francese, gli investimenti sul 3D *Printing* avrebbero inerito per il 34% la prototipazione e per il 23% la fase di concept.

---

<sup>2</sup> Studio condotto su 1000 aziende appartenenti a svariati settori che utilizzano la tecnologia 3D. Gli intervistati (di distribuzione globale) provengono da dieci settori diversi, tra cui aeronautico e aerospaziale, automobilistico, beni di consumo, istruzione, elettronica ed elettricità, sanità, alta tecnologia, beni industriali, meccanica e metallo e servizi.

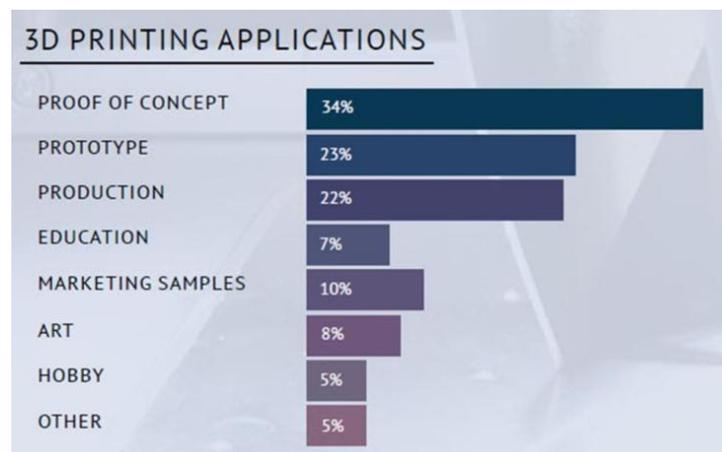
<sup>3</sup> State of 3D Printing 2018. Sculpteo's 4th annual report on 3D Printing and Digital Manufacturing, in [https://www.sculpteo.com/en/get/report/state\\_of\\_3d\\_printing\\_2018/](https://www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3d_printing_2018/)

<sup>4</sup> Il mercato della stampa 3D nel 2018, in <https://www.selltek.it/il-mercato-della-stampa-3d-nel-2018-2/>

Numeri che convaliderebbero un perfezionamento di questa tecnologia nella fase di progettazione, con la finalità di sveltire lo sviluppo (28%), rendere sempre più ‘personale’ il prodotto (16%) e intensificare l’elasticità della produzione (13%).

Più indietro, nonostante sia in crescita, troviamo l’incidenza percentuale legata alla produzione (22%).

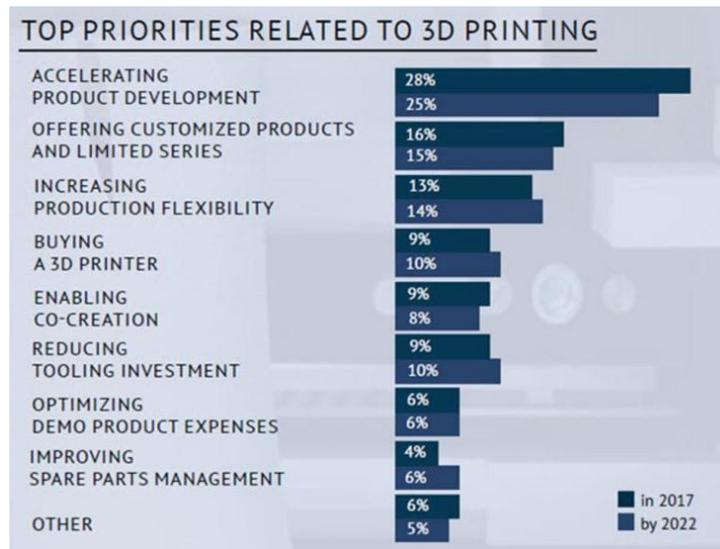
Molto interessante anche la quota di mercato indirizzata alla stampa 3D nel settore marketing / eventi (10%), per via della sua enorme elasticità nella produzione in serie limitate.<sup>5</sup>



---

<sup>5</sup> State of 3D Printing 2017

Sculpteo’s 3rd annual report on 3D Printing and Digital Manufacturing, in [https://www.sculpteo.com/it/get/report/state\\_of\\_3D\\_printing\\_2017/?utm\\_content=buffer33963&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter.com&utm\\_campaign=buffer](https://www.sculpteo.com/it/get/report/state_of_3D_printing_2017/?utm_content=buffer33963&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer)



Altra fonte autorevole è Wohlers Report<sup>6</sup> la quale ha fornito importanti reportistiche e previsioni di mercato in ambito 3D Printing e Additive Manufacturing; essa ha delineato per il 2016 un volume di ricavi pari a 6,063 miliardi di dollari, numeri che vanno supportano il generale entusiasmo verso questa tecnologia. Si tratta di un aspetto che può essere agevolmente percepito anche nei principali eventi di settore, come il *Formnext* e il *Rapid TCT*, che nel 2017 hanno visto un rilevante aumento nel numero e nella qualità degli espositori presenti.

Se HP, grazie alle sue nuovissime Jet Fusion, è entrata nella top 5 dei produttori di stampanti 3D industriali, nel 2016 le hanno fatto compagnia ben 35 nuovi produttori, oltre un terzo in più rispetto all'anno precedente<sup>7</sup>.

Se i 6 miliardi del 2016 sono numeri ancora lontani dai 24 miliardi di *revenue* previsti per il 2025<sup>8</sup>, a generare ottimismo negli investimenti sono specialmente le incidenze di crescita percentuali (+22% stampanti 3d professionali / industriali,

<sup>6</sup> <https://wohlersassociates.com/2017report.htm>

<sup>7</sup> 62 nel 2015, 97 nel 2016, fonte Wohlers.

<sup>8</sup> Fonte Grand View Research

+45% stampanti desktop / prosumer – dati riferiti ai primi tre trimestri del 2017, fonte Context).

Se si dovesse parlare in termini di proiezioni future, sempre con riferimento al 2025, le previsioni spazierebbero dai “soli” 12 miliardi di dollari previsti dai forecast di Lux Research ai 180 miliardi prospettati da McKinsey. Ma ciò come può essere possibile? Recentemente, esaminando uno studio commissionato da Zortrax, Deloitte Poland ha analizzato i report pubblicati in materia di 3D Printing, dove emerge un gap previsionale molto ampio, influenzato da vari parametri utilizzati, sia dall'enorme varietà di fattori in grado di influenzare gli andamenti di mercato nell'arco di un decennio. Dando un'interpretazione dei dati rilevati, Deloitte ha presentato un riepilogo che considera i più importanti aspetti del business della stampa 3D, tra cui il volume d'affari generale, le previsioni fino al 2020 e la diffusione delle principali tecnologie di stampa presenti sul mercato.

## **2.4 I dati *Context* sull'andamento del mercato della stampa 3D nel 2018**

I risultati vengono presentati in 4 categorie diverse: stampanti 3D personali, professionali, design e industriali.

Relativamente alle stampe 3D personali e desktop, comparato alle spedizioni dello stesso periodo del 2017, il 2018 ha registrato un calo pari al 3% del numero di unità spedite, a livello globale.

Differente è invece la situazione per il segmento delle stampanti 3D industriali/professionali, che registra, per il terzo trimestre consecutivo, una crescita del 14%.

HP risulta tra i leader di mercato nelle spedizioni di stampanti 3D industriali a polimeri nel primo trimestre 2018.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> Il mercato della stampa 3D nel 2018, in <https://www.selltek.it/il-mercato-della-stampa-3d-nel-2018-2/>

## 2.5 Report 3D Hubs 2018 sul mercato della stampa 3D

I dati presentati nel secondo report di 3D Hubs mostrano che HP Jet Fusion 3D 4200 si mantiene al primo posto con il record di stampante 3D industriale più utilizzata, con un tasso del 30% in più di vendite.

#	Printer Model	Technology	Print
1	HP Jet Fusion 3D 4200	MJF	6.551
2	Formiga P 110	SLS	2.244
3	UnionTech Lite 600	SLA/DLP	1.665
4	sPro 230	SLS	622
5	Object Prime	MaterialJetting	569
6	Dimension 1200es	FDM	460
7	Formiga P 100	SLS	447
8	Object350 Connex	Material Jetting	347
9	Elite p3600	SLS	304
10	Isla-650 Pro	SLA/DLP	303

Per ciò che concerne la città più aperta all'utilizzo delle nuove tecnologie 3D, troviamo al primo posto New York, seguita da Londra e Amsterdam.

Il segmento di stampa 3D industriale / professionale secondo *Context* raffigura, nel primo trimestre del 2018, più dell'69% di tutti i ricavi globali delle stampanti 3D.

## **2.6 Tecnologie maggiormente impiegate**

La tecnologia di stampa 3D FDM è la tecnologia più usata, aggiudicandosi il 69%, al secondo posto troviamo SLA e DLP con un 15% e al terzo posto le tecnologie SLS e MJF con 12%.

Attualmente il mercato delle stampanti industriali è conteso da due differenti tipologie di stampa:

- stampa di polimeri e materie plastiche (come HP e Stratysys)
- stampa a base metallica (Desktop Metal, 3D Systems, EOS, GE)

I dati positivi riscontrati dagli studi di settore sembrano indicare una crescita sicuramente destinata a proseguire nel corso degli anni.

I riscontri di chi ha già adottato la stampa 3D in azienda fanno sì che sempre più professionisti che lavorano in diversi settori decidano di servirsi di questa tecnologia in grado di rivoluzionare il processo produttivo.

## Terzo capitolo

### Le tipologie di stampaggi 3D e il loro funzionamento

#### 3.1 Le 7 principali tipologie di stampa 3D

Esistono varie tecnologie per la stampa 3D e differenze principali tra loro riguardano il modo in cui vengono stampati gli strati.

Ogni tipologia ha i suoi vantaggi e svantaggi, quindi bisogna scegliere con cura quale tipologia utilizzare in base alle proprie esigenze di stampa. In genere, i fattori principali che vengono presi in considerazione in tale scelta sono la velocità di lavorazione, il costo della stampante 3D, il costo del prototipo stampato, i materiali utilizzabili, le colorazioni disponibili.

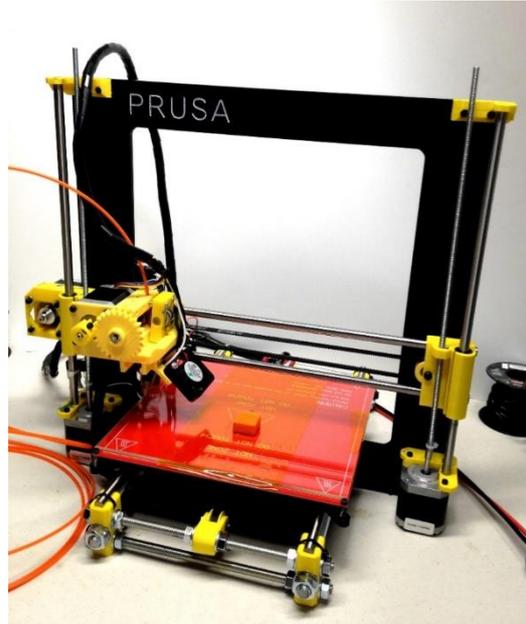
In tabella sono descritte le 7 tipologie principali di stampa, delle quali vale la pena soffermarsi sulle 4 più importanti.

Tecnologie 3D Printing			
Tecnologia	Soluzioni tecniche	Modalità di stampa	Prezzi
Material Extrusion	Fused Deposit Modeling (FDM) Fused Filament Fabrication (FFF) Delta Systems	Il materiale viene fuso e depositato sul piano tramite un ugello	da \$300 a \$400,000
Vat Photopolymerization	Stereolithography (SLA) Direct Light Processing (DLP)	Il fotopolimero liquido (resina) viene progressivamente solidificato mediante raggi luminosi	da \$1,000 a \$900,000
Binder Jetting	Binder Jetting	Il materiale in polvere viene progressivamente depositato e fissato mediante l'uso di un collante liquido	da \$5,000 a \$1.8 million
Material Jetting	Multijet/Polyjet	Il materiale viene depositato sotto forma di gocce (simile alle stampanti 2D I-Jet)	da \$25,000 a \$600,000
Directed Energy Deposition	Electron Beam Melting (EBM ) Selective Laser Melting (SLM)	Fusione ed unione di materiali mediante utilizzo di energia termica (laser)	da \$200,000 a \$5 million
Powder Bed Fusion	Selective Laser Sintering (SLS); Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	l'energia termica «sinterizza» su una superficie i materiali in polvere (metalli)	da \$20,000 a \$1.8 million
Sheet Lamination	Selective Deposition Lamination (SDL)	fogli di materiale vengono uniti per formare un oggetto, normalmente mediante ultrasuoni	da \$9,000 a \$70,000

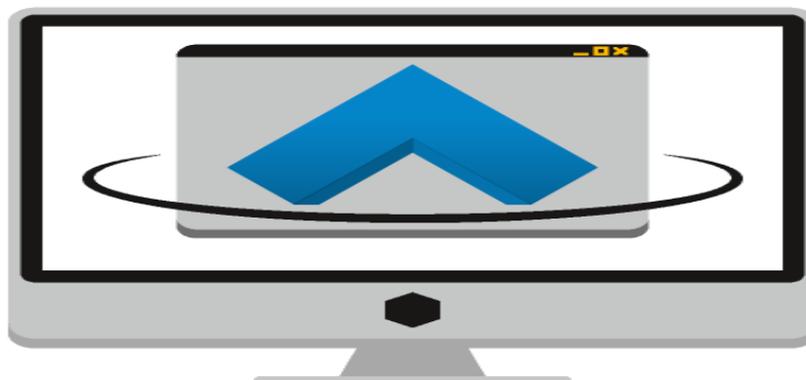
Tabella Le 7 tipologie di stampa 3D

### 3.2 FFF – Fused Deposition Modeling

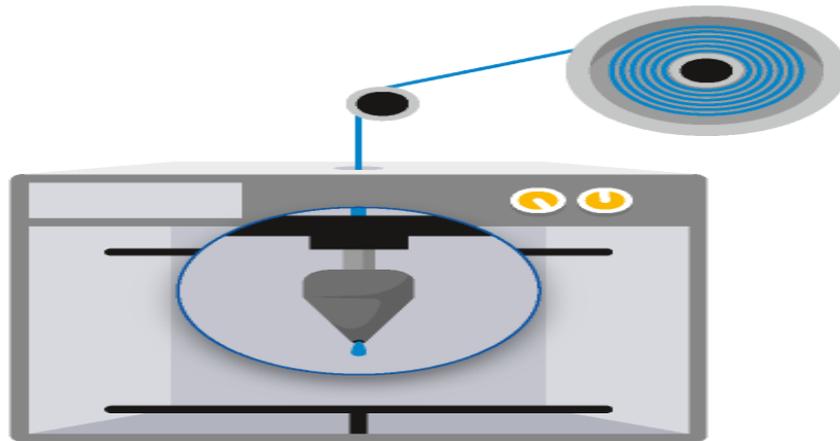
Fabbricazione per Fusione di Filamento (FFF) e Modellazione per Deposito di Filamento (FDM) sono sinonimi, riferiti alla stampa 3D realizzata mediante estrusione di materiale. Il filamento viene introdotto in macchina dall'estrusore e viene fatto passare attraverso un ugello dove viene fuso e depositato strato dopo strato. Nelle stampanti di tipo "cartesiano" l'ugello si muove solo in senso orizzontale (assi X e Y). Il Piano di stampa si muove verticalmente (asse Z) man mano che gli strati di materiale vengono depositati.



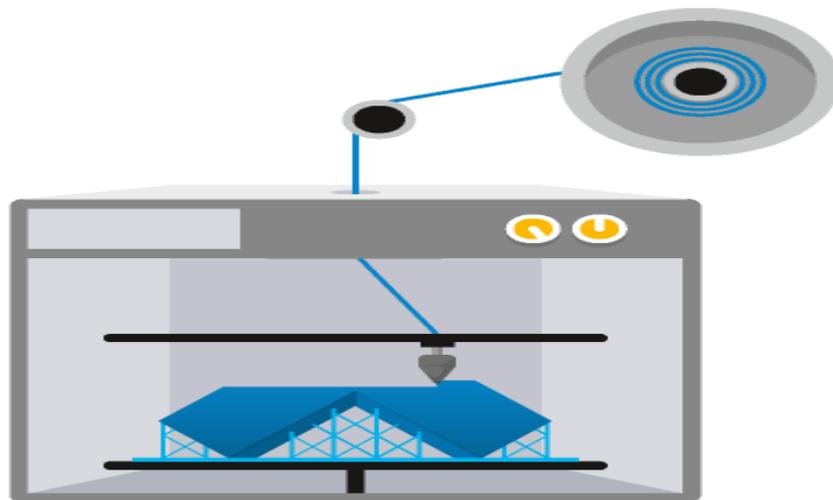
Le stampanti possono avere uno o più estrusori. Il secondo estrusore serve tipicamente per il materiale di costruzione dei supporti (per forme «a sbalzo»), da rimuovere a fine stampa.



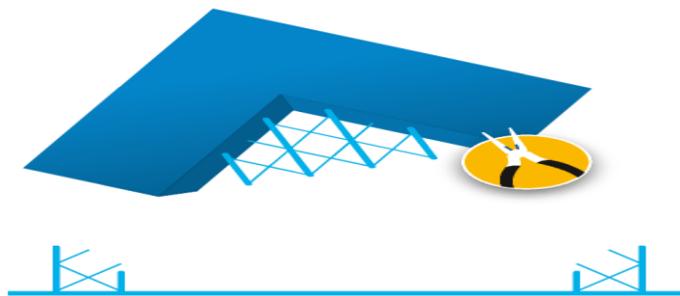
*Il modello 3D*



*Il materiale per la modellazione termoplastica viene scaldato fino allo stato semiliquido*



*La testa di estrusione disegna il modello uno strato alla volta*



*Rimozione del supporto e finitura della parte*



*La parte è finita*

I principali vantaggi di questa tecnologia sono:

- Possibilità di ottenere una struttura più rigida;
- Stabilità nel tempo delle proprietà meccaniche e dalla qualità delle parti prodotte
- Semplificazione della meccanica;
- Ampia scelta di materiali, compresi molti comuni termoplastici e materiali termoplastici infusi con metalli;
- Materiali meno costosi;
- Velocità di stampa.

I materiali in termoplastica di produzione usati nell'FDM sono adatti per prototipi funzionali dettagliati, strumenti di produzione durevoli e per la produzione di parti in volumi limitati.

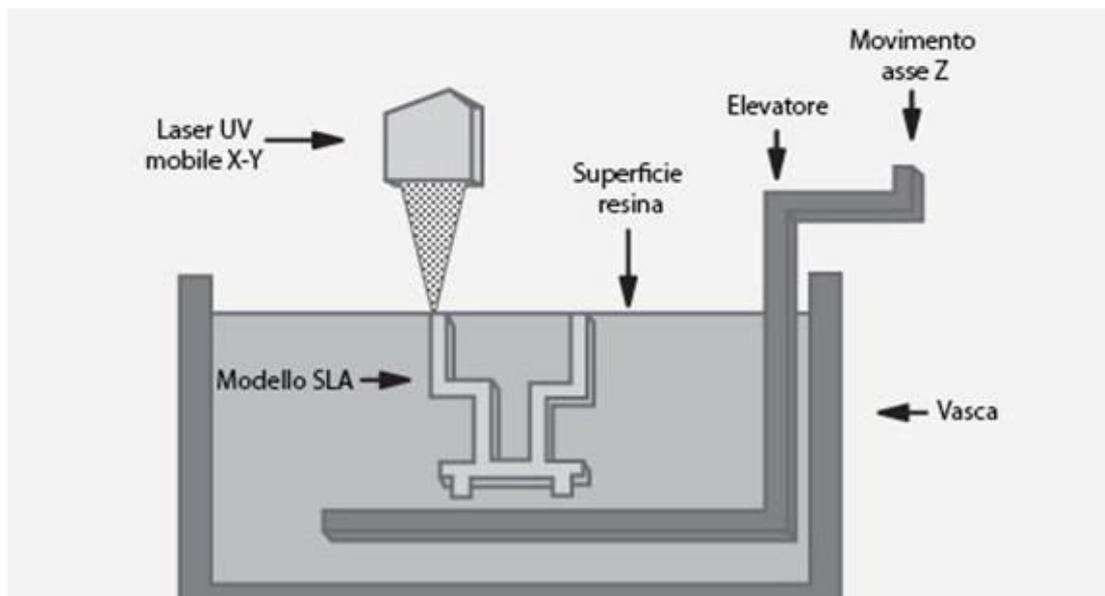
Applicazioni ideali per la tecnologia FDM:

- Produzione in volumi limitati di parti complesse destinate all'utilizzo finale
- Prototipi per test di forma, idoneità e funzione
- Prototipi direttamente costruiti nei materiali di produzione



### 3.3 SLA – Stereolitografia

“La stereolitografia, SLA, è stata introdotta nel 1986 con la pubblicazione del brevetto di Chuck Hull, per poi affermarsi negli anni successivi come una delle tecniche portanti della fabbricazione additiva. Dal quel momento, la capacità della SLA di realizzare prototipi complessi in modo veloce e preciso ha contribuito a cambiare radicalmente il settore della progettazione.”<sup>11</sup>

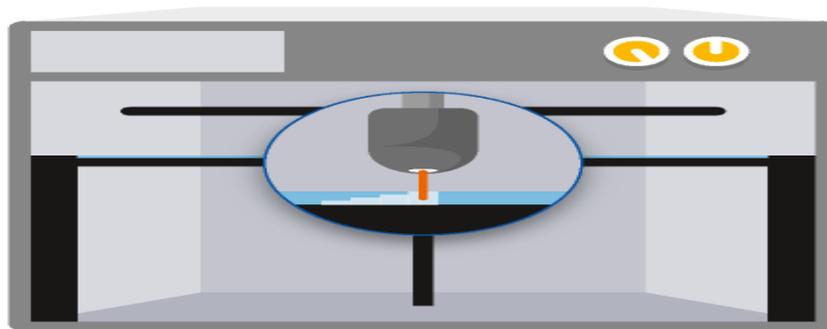


La stereolitografia è una tecnologia laser che utilizza una resina liquida sensibile ai raggi UV. Viene proiettato un fascio laser sulla superficie della resina che indurisce selettivamente il materiale corrispondente a una sezione trasversale del prodotto, costruendo la parte 3D dal basso verso l'alto. Tutti i supporti necessari per la costruzione di sporgenze e cavità vengono generati in maniera automatica dal software per poi essere rimossi manualmente a fine processo.

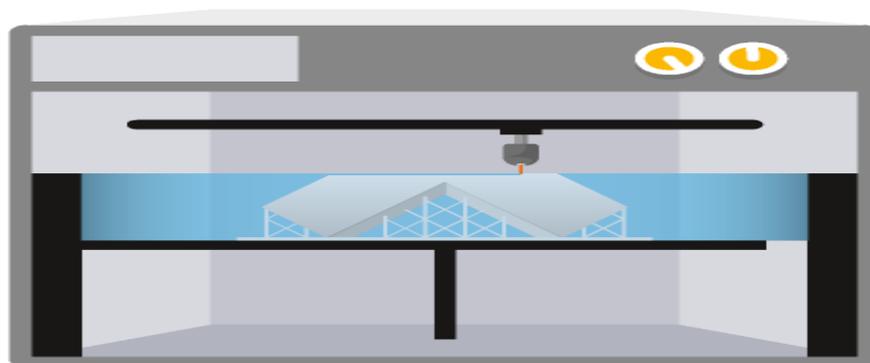
I pezzi fabbricati devono essere sottoposti a ulteriori lavorazioni post-trattamento, come per esempio un ciclo di polimerizzazione UV per rendere possibile la totale solidificazione della superficie esterna e far fronte a eventuali requisiti di finitura aggiuntivi.



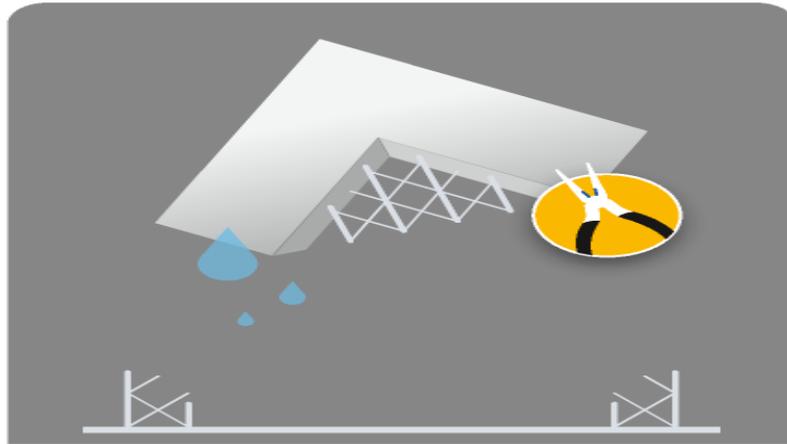
*Il modello 3D*



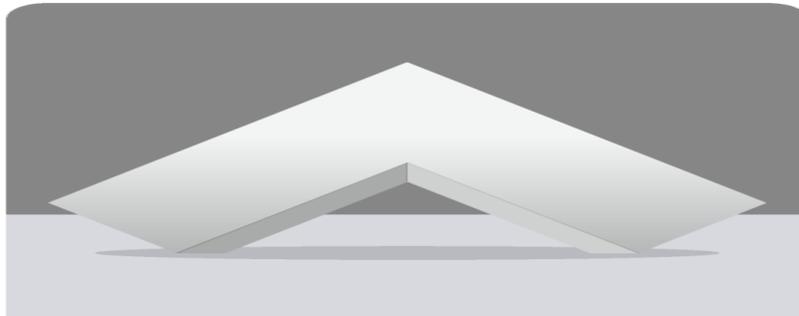
*Il laser indurisce il liquido polimerizzabile tramite UV*



*La piattaforma viene abbassata gradualmente, mentre il laser solidifica selettivamente il materiale per formare il pezzo e il suo supporto*



*L'eccesso di liquido viene lavato via e i supporti vengono rimossi*



*La parte è finita*

Uno dei vantaggi principali dell'utilizzo di questa tecnologia è che permette di ottenere in tempi brevi modelli da un aspetto ottimo e una superficie dalla qualità impeccabile. Inoltre, può arrivare ad ottenere una precisione di 1 micron, offrendo quindi un'alta definizione.

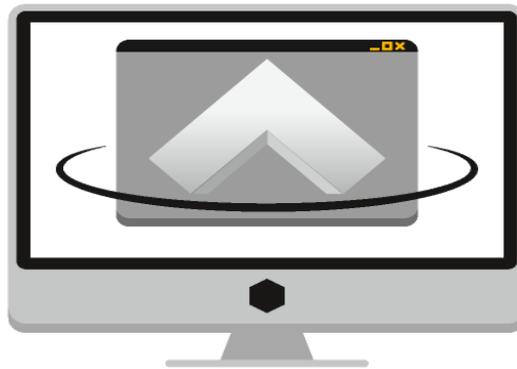
Applicazioni ideali per la stereolitografia sono:

- Pezzi per dimostrazioni, con superfici lisce e dettagli minuti
- Prototipi per test funzionali limitati
- Master per tecniche di replicazione come la colata sotto vuoto
- Modelli per colata a cera persa
- Produzione di geometrie complesse in piccoli volumi
-

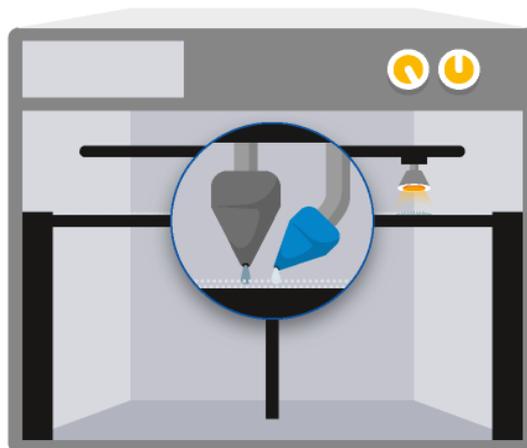
### 3.4 MJF – Multi Jet Fusion

Multi Jet Fusion è una tecnologia che si basa sulla lavorazione di polvere, senza però l'utilizzo dei laser.

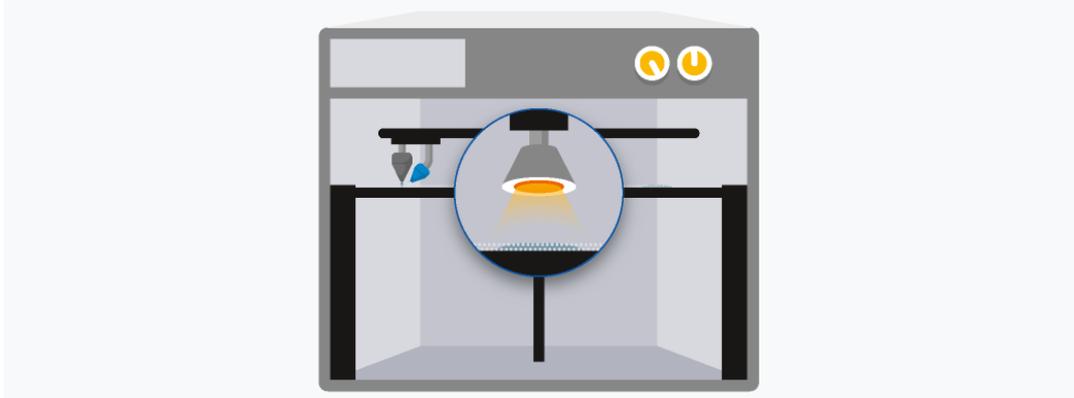
Un letto di polvere viene riscaldato all'inizio in modo uniforme. Viene poi lavorato da due agenti: uno di fusione nei punti in cui è necessario fondere selettivamente le particelle; un agente di rifinitura viene invece depositato intorno ai contorni, per migliorare la risoluzione delle parti. Le lampade che si muovono sopra il letto di polvere, scaldano il materiale contribuendo a distribuirlo in maniera uniforme.



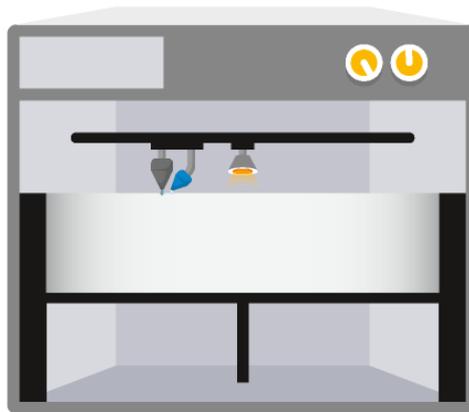
*Il modello 3D*



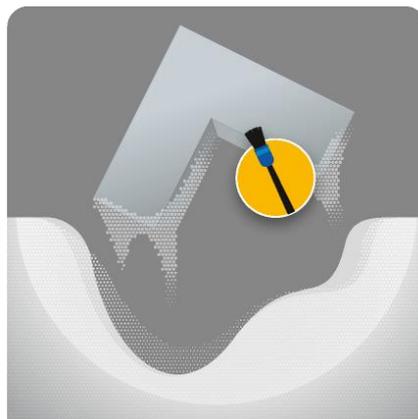
*Un agente di fusione e un agente di dettaglio sono spruzzati per fondere selettivamente particelle di polvere e migliorare la risoluzione*



*Le lampade passano costantemente sulla superficie distribuendo il calore*



*Il processo continua a costruire il pezzo layer per layer*



*Rimozione della polvere e finitura della parte*



*La parte è finita*

Quali sono i vantaggi della Multi Jet Fusion?

Uno dei vantaggi assoluti è che grazie a questa tecnologia è possibile riutilizzare l'80% delle polveri utilizzate nel processo di stampa.

Multi Jet Fusion utilizza materiali come il nylon e la gomma, in particolar modo PA 12 e PA 11 a grana fine, con il quale è possibile realizzare strati ultrasottili da 80 micron. In tal modo, le parti realizzate manifestano una densità elevata e una bassa porosità rispetto alle parti in PA 12 prodotte con la sinterizzazione laser.

Inoltre, la superficie si presenta eccezionalmente liscia già al momento dell'uscita dalla stampante e pertanto le parti funzionali richiedono una finitura minima in post-produzione. Tutto ciò si traduce in tempi di consegna veloci, ottimi per i prototipi funzionali e per le piccole serie di componenti finali.

Applicazioni ideali della tecnologia Multi Jet Fusion

- Produzione in volumi limitati di parti complesse destinate all'utilizzo finale
- Prototipi per test di forma, idoneità e funzione
- Prototipi dotati di proprietà meccaniche simili a quelle delle parti stampate a iniezione
- Serie di piccoli componenti come alternativa più economica rispetto allo stampaggio a iniezione

### 3.5 SLS – Laser Sintering

La tecnologia SLS (*Selective Laser Sintering*), consiste nell'esposizione ad un laser di potenza elevata di particelle microscopiche di plastica (in genere polveri di nylon), che vengono fuse insieme con lo scopo di creare un oggetto solido tridimensionale.



La polvere viene inizialmente rilasciata su una piattaforma, in maniera da poter realizzare uno strato di circa 0,1 mm., che viene in seguito colpita dal laser che la fonde in uno strato compatto. Dato che la polvere è autoportante, non sono necessarie strutture di supporto.

Alla fine della lavorazione il pezzo viene rimosso e separato dalle polveri non sinterizzate che possono essere riutilizzate.

Dato che non richiede strutture di supporto, questa tecnologia è molto utilizzata per la realizzazione di parti interdipendenti, parti mobili, cerniere integrate.

La tecnologia SLS può essere quindi impiegata sia per la realizzazione di prototipi estetici, con elevati livelli di finitura, sia per la produzione di oggetti funzionali con tempi celeri.

Questa tecnologia rende inoltre possibile l'utilizzo di differenti materiali, solitamente miscelati al nylon, con i quali si possono ottenere oggetti con diverse peculiarità di robustezza, elasticità, resistenza alle temperature.

## Quarto capitolo – Cosa faremo in futuro con le stampanti 3D?

### 4.1 Il Contour crafting

Il *contour crafting* (fig. 8) è una tecnologia composta da bracci meccanici controllati per la fabbricazione a strati (layer per layer). Questa tecnologia, ideata dal Dr. Behrokh Khoshnevis della University of Southern California, ha la capacità di ridurre in maniera drastica il consumo energetico e le emissioni utilizzando un processo di stampa rapida 3D. Rapida in quanto è in grado di costruire in un unico passaggio un'intera casa con rispettive rifiniture, condotti per impianti elettrici, idraulici e di condizionamento d'aria. Il tutto in sole 24 ore di tempo, come già successo in america 5 anni fa.



Figura 9 - Esempio di Contour Crafting

È già nel 2010 che si iniziò a parlare di *Contour crafting* e di collaborazioni tra NASA e stampe 3D.

La NASA ha pertanto fatto il suo ingresso nella vicenda sostenendo come in futuro potranno addirittura essere costruite case su Marte proprio in ragione di questo sistema, atteso che è enormemente affidabile (considerando anche il fatto che le macchine oltre a fallire raramente sono in grado di lavorare senza fermarsi anche in condizioni estreme).

Non si tratta di idee utopistiche e futuristiche, basta rimanere sul pianeta Terra per ammirare le varie opere che questa tecnologia è già stata in grado di compiere, con una perfezione e una velocità indiscutibile.

Infatti nel 2018 in Olanda fu realizzato il primo ponte in acciaio inossidabile stampato in 3D.

Agli inizi del 2019, invece, è stato inaugurato il ponte più lungo al mondo (è cinese ed è lungo quasi 10 metri) stampato in 3D.



*Figura 10 – Ponte stampato in 3D più lungo al mondo (Cina)*

## 4.2 La stampa 3D nello spazio

Le stampanti 3D sono addirittura già andate nello spazio. L'industria aerospaziale, infatti, è stata tra le prime a servirsi della tecnologia 3D, progettando componenti stampati in 3D e risparmiando in tal modo sui costi, materiali e tempi di creazione. Il vantaggio principale è quello di avere parti con un peso specifico assai inferiore.

La prima stampante 3D lanciata in orbita il 21 settembre 2014, si chiamava Zero-G, ed è stata realizzata dalla NASA, in collaborazione con *Made in Space*.



*Figura 11 - Stampante 3D Made in Space nello spazio*

Questo esperimento è servito a tastare le varie applicazioni possibili in ambito spaziale, dal quale ne è risultato che la presenza di questa tecnologia permetterà agli astronauti di avere maggiore elasticità e autonomia nei programmi spaziali, grazie alla capacità di stampare i pezzi necessari direttamente a bordo.

*Axiom Space* ha intenzione di lanciare la prima stazione commerciale in orbita prima del 2020, con a bordo altre stampanti 3D e con il compito di realizzare piccoli satelliti ad un costo minore comparato ad un veicolo spaziale costruito invece sulla Terra.

### 4.3 IKEA lancia moduli stampabili in 3D per persone con disabilità

Il colosso svedese già da un paio d'anni ha iniziato ad interessarsi al mondo 3D e alle relative applicazioni nel mondo della mobilia e non solo. Infatti già nel 2017 annunciò l'uscita della sua prima collezione stampata interamente in 3D.

Quest'anno ha annunciato l'uscita di ben 13 disegni disponibili gratuitamente che permette a persone con disabilità di godere di un'ampia scelta di articoli per la casa al fine di migliorare la vita di tutti i giorni. I disegni stampabili in maniera completamente gratuita sul loro sito includono articoli come: un divano per sedersi ed alzarsi più facilmente; EasyHandle, una maniglia per aprire la porta con l'avambraccio o tutta la mano; paraurti, un pannello di plastica che protegge le porte di vetro dalle protuberanze di una sedia a rotelle.

Tutti i disegni sono stati ideati per adattarsi ai mobili Ikea già esistenti. I metodi di installazione per tutte le modifiche 3D sono mostrati sulla pagina YouTube di Ikea Israel, che mostra come un piccolo ausilio possa fare un'enorme differenza per le persone con disabilità.

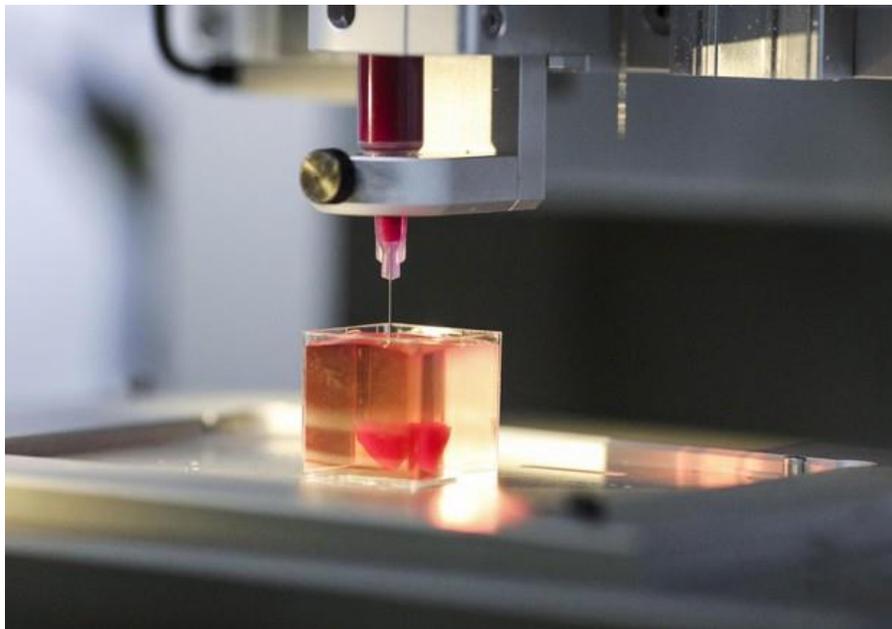


Figura 12 - Campagna pubblicitaria IKEA a favore di persone con disabilità

### 4.3 Il primo cuore stampato in 3D: il futuro per il campo medico

È di quest'anno la clamorosa notizia proveniente dai ricercatori dell'Università di Tel Aviv. È stato creato il primo mini-cuore stampato completamente in 3D utilizzando le cellule e i materiali biologici di un paziente.

Lo studio pubblicato su *Advanced Science* mostra quindi come sia possibile stampare anche tessuti complessi con vasi sanguigni e non solo, come esposto da Tal Dvir, uno degli autori dello studio: “Questa è la prima volta che qualcuno abbia progettato e stampato con successo un intero cuore pieno di cellule, vasi sanguigni, ventricoli e camere”.



*Figura 13 - Primo cuore stampato in 3D*

Si tratta di un enorme successo nel campo della medicina rigenerativa: già in passato si erano raggiunti ottimi risultati in ambito oculistico con la prima cornea artificiale stampata 3D e addirittura con il primo occhio bionico.

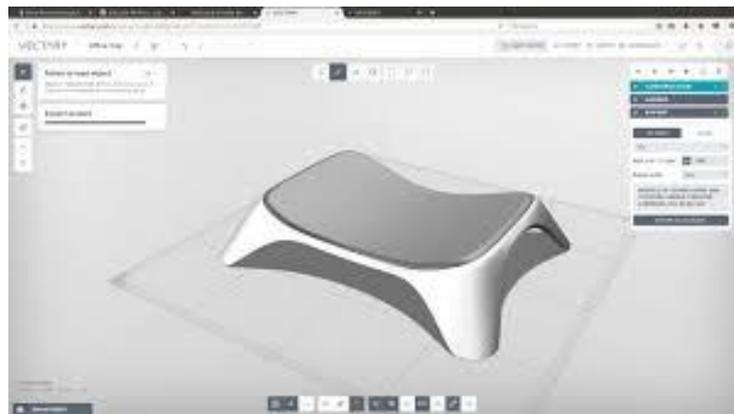
Con l'avvento di questo gran risultato in futuro si preannuncia una rivoluzione in campo medico, infatti i ricercatori hanno la convinzione che fra una decina d'anni all'interno degli ospedali ci saranno “stampatori di organi” che renderanno possibili queste procedure all'ordine del giorno.

#### 4.4 La nascita di nuove figure professionali: i “modellatori” 3D

Lo sviluppo delle nuove tecnologie di stampa 3D porta alla creazione di nuove occasioni e opportunità sia a livello commerciale che imprenditoriale.

La stampa tridimensionale è riuscita a rivoluzionare qualsiasi cosa, fino ad arrivare a rivoluzionare addirittura le modalità di lavoro. Sono molte le professioni che trarranno benefici dallo sviluppo della nuova tecnologia.

In primis, occorreranno designer capaci di trasformare l’idea di prodotto in prototipo 3D. La stampa 3D verrà utilizzata in molti settori e i designer non solo dovranno essere in grado di maneggiarlo, ma dovranno anche aggiornarsi su come le aziende decideranno di impiegare questa tecnologia.



*Figura 14 - Esempio di modellazione CAD*

Si prevede, infatti, grande successo nell’ambito del vestiario. Il settore moda e quello del design dei gioielli avranno importanti vantaggi, che apriranno nuove posizioni nella ricerca e sviluppo.

La tecnologia 3D viene inserita anche nei settori industriali. Sta rivoluzionando la produzione di massa e si è introdotta anche nel processo produttivo aziendale unitamente ai metodi tradizionali di manifattura.

I vantaggi che ne derivano sono numerosi: costo per unità prodotta più basso, maggiore produttività, riduzione degli scarti e così via.

Questo darà nuove opportunità lavorative agli esperti Cad nel design tridimensionale, figure professionali che trasformano il design di prodotto nel progetto digitale per le stampanti: si tratta di veri e propri “modellatori”.

La stampa tridimensionale avrà un impatto di enorme rilievo su svariati campi, ciò si traduce nella necessità di professionisti che sappiano tradurre progetti 2D in modelli 3D.

Ormai siamo nell’era del “tutto è possibile” e delle trasformazioni con cui sovente si fa fatica a stare al passo.

Tuttavia, fino a quando l’innovazione è positiva e dà nuove soluzioni a problemi, sarà accolta con entusiasmo.

## **Conclusioni**

Grazie al tirocinio appena concluso, che mi ha dato l'opportunità e il piacere di stare a stretto contatto con persone completamente immerse nel settore delle stampanti 3D da anni, ho avuto la curiosità oltre che il piacere di approfondire ogni singolo argomento trattato in questa tesi, spingendomi a trarne le mie proprie conclusioni personali sull'argomento.

Lo sviluppo della stampa 3D si è somigliato molto allo sviluppo di Internet, soprattutto parlando in termini di impatto. Alla fine degli anni '90, la gente pensava che Internet fosse una moda passeggera che non avrebbe provocato nessun cambiamento.

Internet ha fatto sì che le informazioni fossero alla portata di tutti: la cosiddetta democratizzazione delle informazioni.

A questa democrazia vi sono state delle limitazioni, all'inizio internet non era alla portata di tutti, sia per la mancanza di conoscenze richieste richieste sia per l'elevato peso economico che ne derivava. Tali le barriere di accesso, però, sono state praticamente distrutte.

Lo stesso identico processo sta accadendo per la stampa 3D: il potere di fare sarà democratizzato. Più persone avranno accesso alle stampanti 3D e molto probabilmente da qui a 10/15 anni tutti ne avremo almeno una nelle nostre case, per stampare qualsiasi tipo di oggetto nell'immediato, a nostro piacere e con un costo molto meno proibitivo di quello attuale.

Ovviamente, proprio come successo per Internet, ci saranno dei limiti. Infatti poche persone saranno in grado di stampare grandi opere direttamente dal garage di casa propria, ma ci sono montagne di cambiamenti che aspettano solo di essere esplorati.

Come molte cose, sta arrivando la democratizzazione di massa anche per la stampa 3D. Il processo è già iniziato, con gli appassionati e gli early adopter che già si divertono a progettare e stampare nel crescente settore della stampa 3D dei consumatori.

È solo questione di tempo affinché la stampa 3D diventi alla portata di tutti.

## Bibliografia e sitografia

- Il mercato della stampa 3D nel 2018, in <https://www.selltek.it/il-mercato-della-stampa-3d-nel-2018-2/>
- La prototipazione rapida mediante stereolitografia, in <https://www.protolabs.it/risorse/suggerimenti-di-progettazione/la-prototipazione-rapida-mediante-stereolitografia/>
- La rivoluzione della stampa 3D e le professioni del futuro, in <https://www.stampaestampe.it/blog/marketing/la-rivoluzione-della-stampa-3d-e-le-professioni-del-futuro/>
- La stampa 3D e lo spazio: tecnologia del futuro, oggi, in <https://www.selltek.it/la-stampa-3d-e-lo-spazio/>
- Le stampanti 3D industriali sono cresciute del 27% nel 2018, in <https://www.3dprintingcreative.it/stampanti-3d-industriali-2018/>
- Maietta A., *Stampa 3D. Guida completa*, Made Makers, LSWR, Milano, 2014.
- SLS (SELECTIVE LASER SINTERING) – SINTERIZZAZIONE LASER SELETTIVA, in <https://www.justprint3d.it/stampa-3d/tecnologie/sls/>
- Stampanti 3D FFF – Fused Filament Fabrication, in <https://www.selltek.it/fff/>
- State of 3D Printing 2017 Sculpteo's 3rd annual report on 3D Printing and Digital Manufacturing, in [https://www.sculpteo.com/it/get/report/state\\_of\\_3D\\_printing\\_2017/?utm\\_content=buffer33963&utm\\_medium=social&utm\\_source=twitter.com&utm\\_campaign=buffer](https://www.sculpteo.com/it/get/report/state_of_3D_printing_2017/?utm_content=buffer33963&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer)
- State of 3D Printing 2018. Sculpteo's 4th annual report on 3D Printing and Digital Manufacturing, in [https://www.sculpteo.com/en/get/report/state\\_of\\_3D\\_printing\\_2018/](https://www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3D_printing_2018/)
- <http://www.stamparein3d.it/ecco-qual-e-sara-il-futuro-della-stampa-3d/>

## **Ringraziamenti**

Per la conclusione di questo grandioso percorso formativo, ci terrei a ringraziare innanzitutto il mio relatore Franco Lombardi per avermi indirizzato e aiutato durante la stesura della mia tesi.

Ringrazio i miei colleghi che mi hanno accompagnato in questi anni, condividendo i successi e le sconfitte.

In particolar modo ringrazio Gianni, il quale mi ha dato la spinta necessaria a superare un ostacolo rilevante in questo percorso di studi universitari.

Un ringraziamento speciale lo devo a tutti i miei amici, che con pazienza e costanza mi hanno aiutato a vivere questi anni con il giusto equilibrio, riuscendo a conciliare lo studio con lo svago, in particolar modo la mia compagna di avventure: la magica Fiorella.

Ringrazio la mia famiglia che mi ha permesso di raggiungere quest'altro traguardo, sperando di averli resi fieri, con l'augurio a me stesso di continuare a puntare sempre in alto e di non demordere mai e ricercare sempre la parte migliore di me.

Infine, dedico la mia laurea a mia mamma. Mia fonte di ispirazione e certezza inequivalente.