

POLITECNICO DI MILANO

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Gestionale



**3D Printing: analisi della tecnologia e studio
delle potenzialità del mercato**

Relatore: Prof. Federico FRATTINI

Tesi di Laurea Magistrale di:

Marco ANNI, Matr. 814250

Anno Accademico 2015 – 2016

Ringraziamenti

Ringrazio i miei genitori che mi hanno permesso di portare a termine questo percorso e tutta la mia famiglia che mi ha spronato fino alla fine.

Grazie a chi c'è stato in tutto questo tempo, sia all'interno dell'università sia fuori, e ha influenzato, anche minimamente, la mia vita.

Vorrei inoltre ringraziare particolarmente tutte le persone che mi hanno supportato e sopportato durante tutto questo percorso.

Ringrazio infine l'ing. Damiano Cavallaro per avermi seguito durante la realizzazione di questo elaborato.

Marco

Sommario

Elenco delle tabelle	VI
Elenco delle figure	VII
Abstract.....	1
Capitolo 1 Cosa significa 3D Printing	2
Introduzione	2
1.1 La prospettiva storica.....	2
1.1.1 L’origine della prototipazione rapida	2
1.1.2 Dal 2D al 3D printing	3
1.1.3 L’evoluzione del 3D printing	3
1.2 Produzione additiva vs. produzione sottrattiva	6
1.3 Mass production vs Mass customization	6
1.4 L’impatto della stampa 3D sul ciclo di vita dei prodotti	9
1.4.1 Prototipazione/ Rapid Prototyping	9
1.4.2 Produzione indiretta.....	9
1.4.3 Produzione diretta / Rapid Manufacturing	10
1.4.4 Parti di ricambio / Spare parts	10
1.4.5 Visione globale del ciclo di vita dei prodotti	10
1.5 Il processo di produzione	11
1.5.1 Realizzazione modelli 3D	11
1.5.2 Stampa.....	13
1.5.3 Rifinitura	13
1.6 Stampa 4D.....	14
Capitolo 2 Tecnologie abilitative del 3D Printing	15
Introduzione	15
2.1 Estrusione.....	15
2.2 Digital Light Processing	16
2.3 Fusione di materiali in granuli	17
2.4 Struttura laminare	19
2.5 Le caratteristiche tecniche delle stampanti	19

2.6 Nuove tecniche di produzione.....	21
2.7 I materiali	21
2.8 I punti chiave.....	23
Capitolo 3 Ambiti di applicazione	25
Introduzione	25
3.1 Ambiti di applicazione.....	25
3.1.1 Ingegneria aerospaziale e aeronautica	25
3.1.2 Arte e cultura	29
3.1.3 Indagini e ricerche scientifiche.....	30
3.1.4 Abbigliamento	35
3.1.5 Gioielleria e articoli di lusso	37
3.1.6 Oggettistica e artigianato.....	38
3.1.7 Architettura e edilizia.....	41
3.1.8 Arredamento.....	42
3.1.9 Alimentazione.....	42
3.1.10 Medicina.....	46
3.1.11 Robotica	49
3.1.12 Automotive.....	50
3.1.13 Sport.....	53
3.1.14 Armamenti.....	56
3.1.15 Uso domestico	58
Capitolo 4 Costi e benefici della tecnologia	59
Introduzione	59
4.1 I maggiori paesi produttori della tecnologia	59
4.2 Il prezzo	61
4.3 Il punto sul digital making italiano.....	65
4.4 I benefici presenti del 3D Printing	68
4.5 I possibili vantaggi futuri del 3D Printing	71
4.6 Le criticità del 3D Printing	72
4.7 I punti chiave.....	73

Capitolo 5 Trend futuri da qui al 2020	75
Introduzione	75
5.1 Le previsioni del mercato.....	76
5.2 Le applicazioni nel prossimo futuro	76
5.2.1 Ingegneria aerospaziale e aeronautica	77
5.2.2 Arte e cultura	78
5.2.3 Indagini e ricerche scientifiche.....	79
5.2.4 Abbigliamento	79
5.2.5 Gioielleria e articoli di lusso	80
5.2.6 Oggettistica e artigianato.....	81
5.2.7 Architettura e edilizia.....	82
5.2.8 Arredamento	83
5.2.9 Alimentazione.....	84
5.2.10 Medicina.....	85
5.2.11 Robotica	87
5.2.12 Automotive	88
5.2.13 Sport.....	89
5.2.14 Armamenti.....	89
5.2.15 Uso domestico	90
Capitolo 6 Conclusioni	92
Bibliografia	94
Sitografia.....	95

Elenco delle tabelle

<i>Tabella 1 Confronto tra le caratteristiche principali delle tecniche di produzione</i>	<i>20</i>
<i>Tabella 2 Produttori di stampanti 3D nel mondo con prezzo da 0 € a 1200 €</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 3 Produttori di stampanti 3D nel mondo con prezzo da 1201 € a 3000 €</i>	<i>63</i>
<i>Tabella 4 Produttori di stampanti 3D nel mondo con prezzo superiore di 3000 €</i>	<i>64</i>
<i>Tabella 5 Focus sui produttori italiani</i>	<i>65</i>

Elenco delle figure

<i>Figura 1.1 La fotoscultura di François Willème</i>	2
<i>Figura 1.2 L’inventore della SLA, Chuck Hull</i>	4
<i>Figura 1.3 Stampante FDM</i>	4
<i>Figura 1.4 “The long tail”, modello matematico proposto da Chris Anderson</i>	7
<i>Figura 1.5 Esempio di confronto tra stampa 3D e produzione tradizionale</i>	8
<i>Figura 1.6 Il ruolo che può avere la stampa 3D nelle aziende</i>	9
<i>Figura 1.7 L’impatto del 3D printing nel ciclo di vita dei prodotti</i>	10
<i>Figura 1.8 Modelli 3D realizzati con AutoCAD</i>	11
<i>Figura 1.9 Trasformazioni temporali di un oggetto prodotto con la tecnica del 4D Printing</i>	14
<i>Figura 2.1 Tecnica di stampa Fused Filament Fabrication (FFF)</i>	15
<i>Figura 2.2 Tecnica di produzione Stereolitografia (SLA)</i>	17
<i>Figura 2.3 Tecnica di produzione Selecting Laser Selting (SLS)</i>	18
<i>Figura 2.4 Tecnica di produzione Laminated Object Manufacturin (LOM)</i>	19
<i>Figura 2.5 Bobine di ABS</i>	22
<i>Figura 2.6 Oggetto stampato in TPU</i>	23
<i>Figura 3.1 Turbina stampata dalla General Electric</i>	26
<i>Figura 3.2 Scultura realizzata da John Edmark</i>	30
<i>Figura 3.3 Confronto tra un kantharos integro e quello stampato</i>	31
<i>Figura 3.4 Copia ricostruita con la Big Delta Wasp dell’arco distrutto a Palmira dall’ISIS</i>	33
<i>Figura 3.5 Copia di uno scheletro completo di Tyrannosaurus rex Osborn</i>	34
<i>Figura 3.6 Un modello della collezione “Mutatio” di Francis Bitonti</i>	36
<i>Figura 3.7 Bracciale prodotto da DCT</i>	38
<i>Figura 3.8 Modellini di action figures</i>	40
<i>Figura 3.9 Stampante Big Delta Wasp durante la costruzione di una casa</i>	41
<i>Figura 3.10 Esempio di poltrona realizzata da Lilian van Daal</i>	42
<i>Figura 3.11 Pizza realizzata attraverso il processo di 3d Printing</i>	43

<i>Figura 3.12 Esempi di zucherini prodotti con una stampante 3D, con diverse complessità geometriche.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 3.13 Tutore anatomico per polso, progettato su misura per il paziente.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 3.14 Sezione del cranio di plastica utilizzato durante l'operazione eseguita da Bon Vewejj.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.15 Modello dentale in porcellana.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.16 Il robot "InMoov" realizzato da Gael Langevin.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.17 "Swim/Sport", modello della Local Motors i cui componenti sono stati realizzati con stampanti 3D.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.18 Tavola da surf stampata dal surfista australiano Gary Elphick.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 3.19 Dettagli della scarpa da calcio "Vapor HyperAgility Cleat" realizzata da Nike attraverso la stampa 3D.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 3.20 Il sistema di sicurezza Checklight elaborato da Reebok.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 3.21 Liberator.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 4.1 Distribuzione geografica dei produttori per continenti.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4.2 I principali paesi produttori di stampanti 3D.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4.3 Utilizzo delle tecnologie utilizzate in Italia.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 4.4 Confronto tra la percentuale di aziende che utilizza almeno una tra robotica e 3d Printing e le altre tecnologie.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4.5 Le motivazioni che le aziende danno sul mancato utilizzo di 3d Printing o robotica.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4.6 Benefici attesi dalle imprese riguardo al 3D Printing.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4.7 Benefici riscontrati dalle imprese a seguito dell'utilizzo del 3D Printing.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 4.8 Fattori che impediscono o rallentano la diffusione del 3D printing secondo le aziende.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 5.1 La prima stampante 3D sulla Stazione Spaziale Internazionale.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 5.2 Particolare di una stampante 3D della Wasp durante la deposizione di argilla.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 5.3 Esempio di modellino topografico stampato in 3D dalla MineBridge.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 5.4 Bobina di canapa utilizzata dalla Kanésis.....</i>	<i>80</i>

Figura 5.5 Stampante 3D della Branch ed esempi di applicazione della tecnica Cellular Fabrication83

Figura 5.6 Osteoid86

Figura 5.7 Modello di cuore stampato in 3D funzionante.....86

Abstract

I giornali e gli esperti internazionali hanno definito la stampa 3D come la rivoluzione industriale di questo secolo. Già da un po' di tempo sembra iniziata, infatti, l'era della fabbrica personale, quella nella quale è possibile realizzare tutto ciò che si vuole nel proprio salotto di casa. Negli ultimi anni, la tecnologia del *3D printing* ha permesso di creare oggetti praticamente in ogni settore: gioielleria, arte, automotive, medicina e molti altri. La spinta innovativa portata da questa nuova tecnologia va, però, oltre la realizzazione di oggetti. La produzione industriale sta, infatti, cambiando la concezione del proprio essere.

Questo elaborato ha lo scopo di fornire un quadro generale delle caratteristiche e dell'applicazione del *3D printing* nel panorama economico attuale, analizzando l'impatto che ha scatenato e che continuerà a fare.

Nel primo capitolo viene introdotta la tecnologia. Verrà approfondito il concetto di 3D printing e di produzione additiva. L'obiettivo è di fornire le conoscenze di base necessarie per seguire il resto del testo. Partendo dalla definizione di 3D printing, si analizzeranno le fasi principali del processo di stampa 3D.

Nel secondo capitolo le protagoniste saranno le tecniche di produzione più diffuse, i materiali utilizzati, con un focus sugli studi in continua evoluzione.

Nel terzo capitolo, verranno descritti alcuni esempi di applicazione del 3D printing nei vari settori del mercato, dall'ingegneria aerospaziale, alla moda, dall'arte allo sport, dall'edilizia alla medicina.

Il quarto capitolo è incentrato sui costi legati alla tecnologia e ai benefici che questa comporta. Dopo un'iniziale visione della dislocazione globale dei produttori di stampanti 3D, il focus sarà fatto sul mercato del making italiano, con l'analisi della diffusione della tecnologia tra le aziende del bel Paese, con un'attento confronto tra i benefici aspettati e quelli riscontrati. Nella fase finale, si darà una visione anche delle criticità legate alla tecnologia.

Il tema affrontato nel quinto capitolo è invece l'analisi di quello che potrà essere il futuro da qui al 2020 della tecnologia. Dopo un'introduzione delle stime di mercato del settore del 3D printing, si andrà a snocciolare ogni settore, come nel capitolo 3, individuando alcuni esempi di possibili applicazioni future.

Capitolo 1

Cosa significa 3D Printing

Introduzione

Si chiama Stampa 3D, nasce come evoluzione della stampa 2D ma non ha molto a che fare con la stampa editoriale o gli stampi industriali. La stampa 3D è un processo produttivo industriale, chiamato anche manifattura additiva, in cui un oggetto viene realizzato aggiungendo strato su strato di materiale, seguendo le istruzioni di un modello digitale. La parola “stampa” è considerata nel senso di “creare” dove l’unico “stampo” è la creatività. Nei paragrafi seguenti sarà descritta nel dettaglio questa tecnologia, dal punto di vista storico, tecnico e funzionale.

1.1 La prospettiva storica

1.1.1 L'origine della prototipazione rapida

Le prime tracce dello studio di una tecnologia che rendesse possibile la prototipazione meccanica rapida si possono trovare nella topografia.

La prima rudimentale macchina in grado di riprodurre oggetti per strati successivi fu ideata e costruita nel 1892 da Joseph E. Blather. Lo scopo di questa apparecchiatura era quello di costruire stampi destinati a realizzare mappe topografiche in rilievo. Tale metodo di produzione consisteva nell’incidere le linee di livello del terreno su determinate lastre di plastica, ritagliarle lungo queste linee e sovrapporle una



Figura 0 La fotoscultura di François Willème

sull'altra formando un modello fisico tridimensionale del terreno attraverso una cottura adeguata. Altri si susseguirono proponendo nel tempo metodi simili con sempre più miglioramenti, soprattutto riguardanti i materiali.

Anche la fotoscultura, l'arte di realizzare delle sculture attraverso fotografie che rappresentano i contorni e le caratteristiche dell'oggetto da riprodurre, diede importanti spunti per la nascita della prima stampante 3D. Inventata da François Willème, prevedeva la presenza di un sistema di fotocamere che riprendevano un modello umano da tutti i lati e, sommando i profili, consentiva a una macchina di ricavarne un busto ben modellato. L'evoluzione di questa fu un procedimento in cui ciascuno strato si otteneva da una sezione orizzontale dell'oggetto scansionato. Questi strati venivano creati facendo abbassare un pistone all'interno di un cilindro e aggiungendo un ammontare adeguato di materiale emulsionante foto e agente fissante. Dopo l'esposizione alla luce e l'indurimento, il cilindro trasparente solido aveva impresso l'immagine del prodotto scansionato. L'oggetto poteva poi essere intagliato o inciso fotochimicamente per creare una figura tridimensionale. Queste caratteristiche si dimostreranno molto simili a quella che sarà la prima tecnica di 3D printing inventata: la stereolitografia.

1.1.2 Dal 2D al 3D printing

Come accennato in precedenza, la stampa 3D nasce come evoluzione della stampa 2D. Per definizione, la stampa 2D è il processo attraverso il quale vengono stampati su carta dei documenti digitali. Le tecniche principali più diffuse sono due: la stampa a getto d'inchiostro e la stampa a laser.

Perché sono considerate l'una l'evoluzione dell'altra? In entrambi i casi, il lavoro di modellazione e progettazione viene eseguito a computer e la creazione dell'oggetto vero e proprio spetta alla stampante sulla base delle informazioni suggerite dal computer. Nel caso della stampa 2D si ottiene un documento cartaceo con testi o immagini bidimensionali impresse con l'inchiostro o con il laser mentre con la stampa 3D il risultato è un vero e proprio oggetto tridimensionale in plastica, in metallo o altro materiale.

1.1.3 L'evoluzione del 3D printing

Il 3D printing nasce ufficialmente al 1982, quando il signor Chuck Hull inventò la stereolitografia, e fondando la 3DSystems, azienda ancora saldamente all'apice nel

settore, diede vita al primo esempio commerciale di rapid prototyping, e del formato STL.

Nel 1985 presenta il brevetto e lo ottiene nel 1986. Il passo successivo fu quello di fondare la sua azienda e partire con la distribuzione di stampanti 3D dagli anni 90. Lui gettò le basi e aprì la strada a tutti quelli che lo seguirono, pur rimanendo lui stesso e la sua azienda al passo con le innovazioni; il concetto da lui brevettato di oggetti fisici creati come sequenza di strati 2d sovrapposti è, infatti, valido ancora oggi.

Nel 1986 Carl Deckard, Joe Beaman and Paul Forderhase (e diversi altri ricercatori) studiarono le idee di Chuck Hull e svilupparono la Selective Laser Sintering, la sinterizzazione, un processo del tutto simile a quello in precedenza scoperto, ma che apporta un'importante modifica: fu, infatti, sostituita



Figura 1.2 L'inventore della SLA, Chuck Hull

la resina con il Nylon, ovvero un liquido con una polvere. Essendo la polvere un solido e non necessitando quindi di supporti specifici come nella tecnologia precedente, si evidenziarono una serie di vantaggi dal lato pratico.

Nel 1988 il signor Crump brevettò la Fused Deposition Modeling, cioè la stampa con materiale fuso. Furono accantonati sia il laser sia la polvere e cominciò a utilizzare plastica fusa che veniva



Figura 1.3 Stampante FDM

“spalmata” strato per strato in funzione dell'oggetto. In seguito fondò la Stratasys, azienda anch'essa leader nel settore.

Nel 1993 ebbe un importante ruolo l'MIT, l'Institute of Technology con sede a Boston. Fu sviluppata la quarta tecnologia di stampa che permise per la prima volta di stampare fino a un massimo di 28 colori, definita Three dimensional printing. La possibilità di stampare a colori, nonostante fosse più costosa, permise di stampare oggetti molto fedeli alla realtà.

Nel 1995 i Tedeschi del Fraunhofer Institute, svilupparono il metodo del Selective Laser Melting. Per la prima volta, il mondo delle stampanti 3d conobbe la possibilità di produrre oggetti veramente solidi, con una densità che poco aveva da invidiare all'industria tradizionale. Grazie a questo metodo, infatti, si poté fondere polveri di metallo e ottenere oggetti con altissima densità.

Il 2002 fu l'anno dell'Electron Beam Melting, ovvero fusione a fascio di elettroni, una tecnologia mediante la quale una sorgente di elevata energia, composta da un fascio opportunamente concentrato e accelerato di elettroni, colpisce un materiale in forma "microgranulometrica" provocandone la fusione completa. Con questo metodo si poterono ottenere oggetti metallici con una densità addirittura più alta del Selective Laser Melting.

Nel 2005, la società Irlandese Mcor Technologies Ltd, sviluppò il Paper 3d Laminated Printing. Questo metodo prevede la sovrapposizione di fogli di carta che vengono precedentemente modificati in base alla caratteristica che devono avere. È da considerare quindi come un metodo additivo alternativo, che consente l'utilizzo di tutti i colori.

Sempre nel 2005, grazie al principio del Self Replicating Rapid Prototyper si ebbe la vera e propria svolta nel mondo delle stampanti 3D. Fu creata una stampante 3D in grado di riprodurre se stessa. Da quel momento nacquero centinaia di Stampanti 3D che anche grazie alle piattaforme di Crowdfunding trovarono finanziatori.

Nacque di conseguenza il RepRap project, attivo ancora oggi, completamente open source, ovvero gratuito e scaricabile per chiunque volesse cimentarsi nel ricostruire la propria stampante 3D. L'aspetto fondamentale dell'Open source è il sentimento della condivisione. Moltissimi designer e sviluppatori cominciarono a caricare in rete i loro progetti o i loro software per il semplice desiderio di condividere la conoscenza e favorire l'innovazione. Con il progetto RepRap, e grazie alla capillarità e lo sviluppo della rete, si aprirono completamente le frontiere.

Nel 2008 Bre Pettis, Adam Mayer, e Zach "Hoeken" Smith fondarono la MakerBot Industries e diedero inizio alla loro fiorente attività imprenditoriale che ci ha consegnato le stampanti più belle (almeno esteticamente) in circolazione tuttora. Partiti dal progetto inglese RepRap e l'hanno semplificata. Nonostante la riproducibilità, i ricercatori inglesi non si erano per nulla curati di facilitarne il processo. Il risultato cui la MakerBot

giunse fu la prima stampante acquistabile in scatola di montaggio e fu un successo incredibile.

Dal 2008 a oggi sono stati molti coloro che hanno sperimentato e studiato la stampa 3D di oggetti di qualsiasi tipo con diversi tipi di materiali, ad esempio la cioccolata.

1.2 Produzione additiva vs. produzione sottrattiva

La produzione di oggetti solidi tridimensionali può avvenire sia attraverso tecniche “sottrattive” sia “additive”. Nella manifattura i metodi sottrattivi sono etichettati come “tradizionali”. Con la produzione sottrattiva gli oggetti si ottengono tagliando o scavando il materiale da una forma più grande. Le tecnologie più diffuse di questo tipo sono le frese a controllo numerico e il laser cutter.

La produzione additiva invece, prevede di creare un oggetto attraverso la sovrapposizione di strati multipli e sottili di materiale. Le tecniche additive esistenti differiscono secondo il modo in cui gli strati sono depositati e del materiale che può essere usato. I vantaggi principali della produzione additiva sono:

1. è possibile realizzare forme veramente complesse e dettagliate senza l'ausilio di stampi o attrezzature (con la produzione sottrattiva non è possibile);
2. lo scarto del materiale è minimo, vi è minore spreco e i costi sono inferiori;
3. i materiali che possono essere usati sono moltissimi: dal metallo alla ceramica, alla plastica e alla sabbia;
4. la produzione additiva è principalmente utilizzata nella prototipazione rapida per produrre modelli e avere un'idea realistica dell'oggetto che si sta progettando prima della sua produzione in serie.

Oggi, grazie ai progressi avvenuti è possibile produrre in poco tempo oggetti realistici che non richiedono ulteriori finiture. La produzione additiva, inoltre, assorbe meno energia della produzione sottrattiva, punto chiave per i produttori.

1.3 Mass production vs Mass customization

Lo scenario competitivo in cui le aziende si trovano a operare oggi è evoluto in modo rapido e profondo negli ultimi anni, rendendo la sopravvivenza nel mercato una sfida sempre più difficile.

In particolare, il profilo della domanda è mutato profondamente:

- diminuzione dei volumi: la domanda complessiva, in particolare nei mercati occidentali, è in calo anche per colpa della crisi economica che ha investito il mondo negli ultimi anni;
- aumento della complessità: i prodotti richiesti devono soddisfare requisiti sempre più specifici anche, o addirittura soprattutto, in termine di servizi associati. In questo senso la manifattura smetterà di essere solo la produttrice di oggetti ma si trasformerà in venditore di soluzioni, dove il prodotto fisico sarà solo il tramite verso una gamma di servizi immateriali;
- aumento della personalizzazione: sempre più spesso il cliente richiede la personalizzazione del prodotto, per soddisfare esigenze di unicità. Le aziende saranno costrette a rivoluzionare la propria gamma, cercando di produrre in modo efficiente quantità ridotte di una più ampia varietà di articoli.

In molti settori questo cambiamento ha messo in crisi il paradigma produttivo della “Mass Production” caratterizzata dall’offerta di soli prodotti fisici, dalla realizzazione di grandi serie, dalla standardizzazione dei prodotti e dalla saturazione del mercato.

Per operare nel contesto del mercato di oggi, complesso e in continua evoluzione, sono richieste competenze e strumenti differenti rispetto al passato. Si entra quindi nel nuovo paradigma della “Mass Customization”, dove la frammentazione dei mercati, un ciclo di vita dei prodotti sempre più compresso, prestazioni richieste sempre più elevate e una crescente richiesta di personalizzazione sono solo alcune delle sue linee guida.

Il grafico successivo è il modello della “coda lunga”, o “long tail”. Proposto da Chris Anderson nel 2004, è stato utilizzato per descrivere alcuni modelli economici e commerciali. Proprio questo grafico descrive perfettamente le caratteristiche dei due paradigmi, in azzurro la “mass production” e in giallo la “mass customization”.

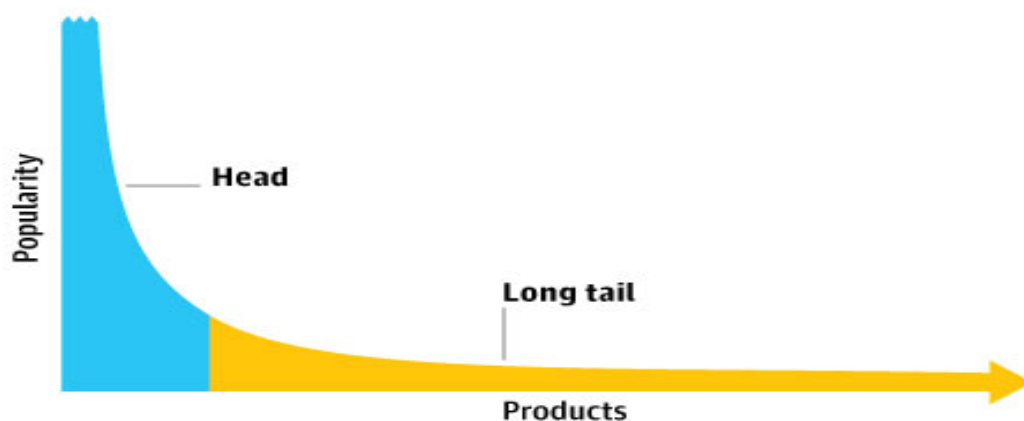


Figura 1.4 “The long tail”, modello matematico proposto da Chris Anderson

L'additive manufacturing è uno dei principali strumenti che un'azienda può utilizzare per far fronte a queste nuove sfide. È, infatti, ormai consolidato che queste tecniche siano economicamente valide per la produzione di piccoli lotti di oggetti piccoli e complessi. Sorge però spontanea una domanda: quante sono le unità che devono comporre un lotto per far sì che la stampa 3D risulti conveniente rispetto alla manifattura tradizionale? Purtroppo oggi non si è in grado di dare una risposta univoca, ma si devono effettuare valutazioni tecniche ed economiche della tecnologia in ogni ambito di utilizzo.

Una volta selezionata la tecnica additiva preferibile, dopo l'analisi dei costi principali dovuti a macchina, attrezzature accessorie, materiali e risorse umane, è possibile confrontarne i costi con quelli legati alle tecniche tradizionali. La stampa 3D risulterà conveniente per ridotti volumi produttivi, fino ad un certo *break-even point*, opportunamente calcolato.

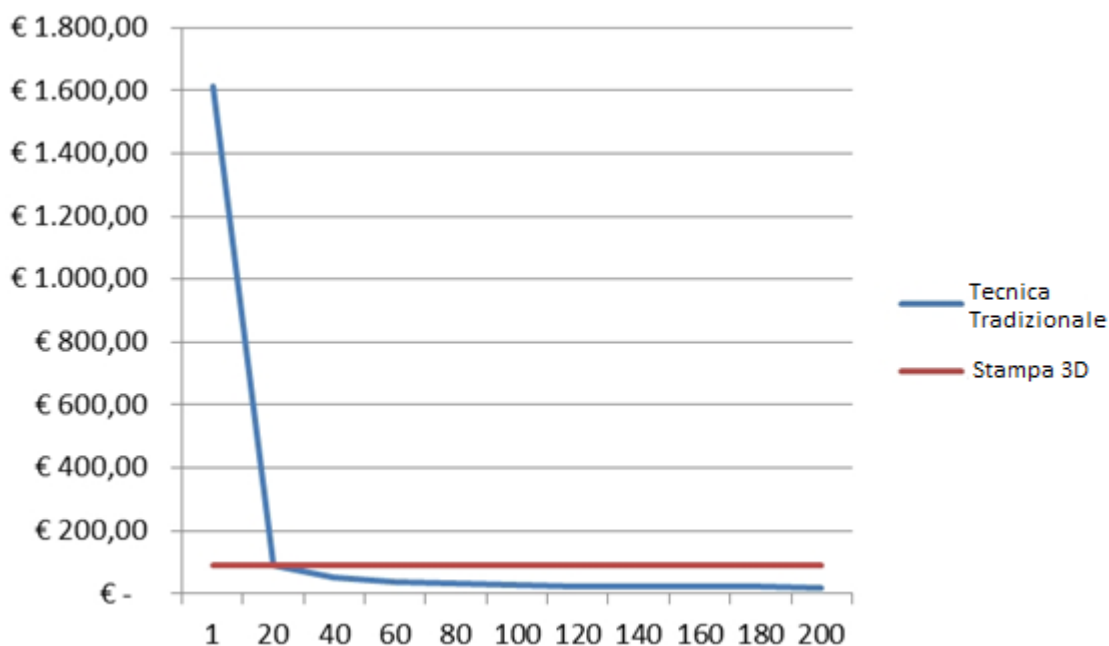


Figura 1.5 Esempio di confronto tra stampa 3D e produzione tradizionale

1.4 L'impatto della stampa 3D sul ciclo di vita dei prodotti

Secondo molte ricerche di mercato, la stampa 3D è la più diffusa tra le principali tecnologie emergenti della manifattura 4.0. Definita come una disruptive technology, sarà una delle tecniche che rivoluzioneranno le nostre vite nei prossimi 10-20 anni.

Le opportunità di mercato sono notevoli sia nel campo artigianale dei maker sia nel campo industriale. Per quanto riguarda le aziende, la stampa 3D può avere diversi ruoli:

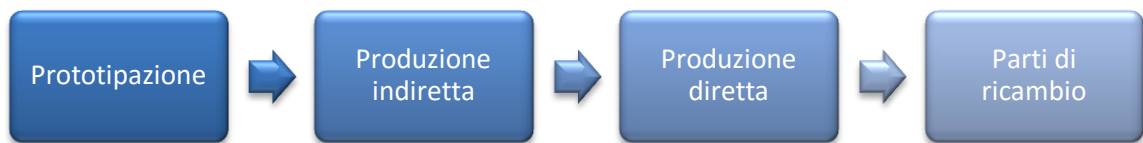


Figura 1.6 Il ruolo che può avere la stampa 3D nelle aziende

1.4.1 Prototipazione/ Rapid Prototyping

È il primo campo di applicazione che ha portato alla nascita della stampa 3D. Questa fase è finalizzata alla realizzazione di prototipi di prodotti finiti e/o componenti, grazie ai quali è possibile effettuare valutazioni estetiche e funzionali. I benefici principali riguardano la riduzione del time to market, ridotto da mesi a settimane. Un altro beneficio è la possibilità di stampare diversi componenti in un solo processo, permettendo agli ingegneri di valutare le combinazioni migliori per rispondere alle esigenze del mercato.

Grazie alla stampa 3D, si passa direttamente dalla fase di design a quella di produzione eliminando i passaggi intermedi di realizzazione di utensili e stampi e garantendo quindi la convenienza economica della produzione di piccoli lotti.

1.4.2 Produzione indiretta

Per produzione indiretta si intende la realizzazione della strumentazione necessaria per produrre altri oggetti. Grazie al 3D printing, quindi, un'azienda può produrre internamente gli utensili e le attrezzature necessarie per la produzione vera e propria. I benefici principali sono la maggiore flessibilità, una riduzione dei tempi di produzione e la riduzione dei costi.

1.4.3 Produzione diretta / Rapid Manufacturing

La stampa 3D garantisce, oltre alla possibilità di ottenere forme complesse e geometricamente difficili da realizzare con le tecniche tradizionali, l'incremento di alcune caratteristiche meccaniche dei prodotti. La manifattura additiva non ha ancora le caratteristiche per poter produrre in un mercato "mass production", ma garantisce la produzione in piccola serie di prodotti ad alto valore aggiunto, oggetti di design, oreficeria, industria automobilistica e aerospaziale, meccanica di precisione, protesi e altri dispositivi medici, che richiedono un alto livello di personalizzazione e complessità, prodotti tipici del Made in Italy.

1.4.4 Parti di ricambio / Spare parts

Le parti di ricambio, nel mercato odierno, sono prodotte e stoccate all'interno di depositi sparsi per il mondo. La domanda è sporadica ma è caratterizzata da numerosi codici talvolta con elevato valore e con alto rischio di obsolescenza. Con il 3D printing i pezzi di ricambio vengono realizzati on-demand. I benefici conseguenti sono molteplici: minori scorte, meno trasporti e minor necessità di magazzini.

Anche il modello di business può subire modifiche in questo contesto, perché ad essere venduto potrebbe essere non più il prodotto fisico ma il modello virtuale dello stesso, che potrebbe essere stampato direttamente dall'utente.

1.4.5 Visione globale del ciclo di vita dei prodotti



Figura 1.7 L'impatto del 3D printing nel ciclo di vita dei prodotti

La produzione additiva può quindi permettere un cambiamento profondo della filiera produttiva, modificando i ruoli degli attori e proponendo nuovi modelli di business.

Questo cambiamento porterà opportunità e sfide all'industria italiana, permettendo produzioni flessibili e localizzate vicino agli utilizzatori. I dirigenti e gli imprenditori, dovranno essere in grado di modificare i processi produttivi, logistici e organizzativi per approfittare delle nuove opportunità, come la rilocalizzazione della produzione, resa possibile dalla riduzione dei costi di produzione e di logistica, come ad esempio costi di magazzino e di trasporto. Un fenomeno con trend positivo negli ultimi anni è infatti il reshoring, cioè il riportare nella propria area geografica le produzioni precedentemente delocalizzate. Questo è importante sotto diversi punti di vista: da una parte si riportano “a casa” il know-how e la tradizione, dall'altra si può dare ossigeno al mercato del lavoro, oggi in una situazione non ottimale.

Da non sottovalutare è anche la straordinaria evoluzione dei materiali che hanno caratteristiche sempre più performanti e, con l'evoluzione del mercato, prezzi sempre minori.

Non si sa con certezza se la diffusione del 3D printing non porterà anche situazioni negative. Se da una parte, infatti, cresce la produttività, dall'altra ne risente l'occupazione caratterizzata dalla necessità di una riconfigurazione per stare al passo con la tecnologia, che non sarà immediata.

1.5 Il processo di produzione

1.5.1 Realizzazione modelli 3D

È la prima fase del processo ed è composta di due passaggi. Il primo passaggio prevede di costruire il modello tramite un software 3D che permette di ottenere rappresentazioni matematiche o modelli tridimensionali dell'oggetto da

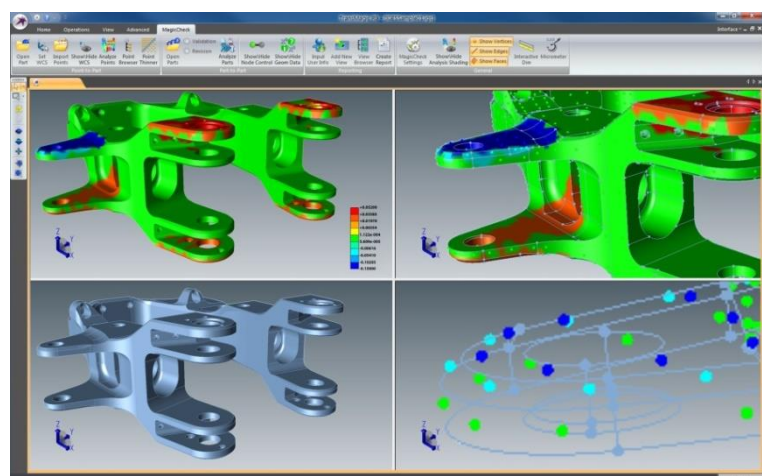


Figura 1.8 Modelli 3D realizzati con AutoCAD

costruire. Attraverso programmi di tipo CAD o di Animation Modeling Software l'utente disegna a computer l'oggetto da realizzare. I software usati per la modellazione possono lavorare file con formati di diverso tipo dallo standard .obj.

Un file STL rappresenta un solido la cui superficie è stata discretizzata in triangoli. Esso consiste nella ripetizione di vettori contenenti le coordinate dei tre vertici di ciascun triangolo e l'orientazione della normale alla superficie. Presenta dei vantaggi quali la semplicità, in quanto risulta molto facile da generare e da processare, mentre a suo sfavore presenta una geometria approssimata e la sua struttura dati, che pur risultando semplice, può presentare la ripetizione dello stesso vertice più volte.

Il PLY è un formato file input generato da scanner. I file VRML (o WRL) sono usati come input per tecnologie 3D capaci di stampare a colori.

Questi software hanno la possibilità di poter essere utilizzati per una vasta gamma di applicazioni: per progettare edifici e paesaggi, per fare schizzi e veicoli, per realizzare modelli dettagliati di composti chimici o formazioni geologiche.

La modellazione 3D è stata usata anche per videogiochi ed effetti speciali nei film.

Negli anni '90, i software *3D Studio Max* e *Rhino 3D* guidarono l'evoluzione dei programmi di modellazione 3D. Negli anni il numero dei software e delle applicazioni 3D è incrementato. Oggi il mercato offre una vasta gamma di programmi che si differenziano per capacità, costi e facilità d'uso. I programmi di modellazione 3D più famosi sono:

1. *3D Studio Max*: nasce per il mondo della grafica e dei videogiochi, ma nel tempo si è aggiornato con nuove funzioni che permettono di creare ogni tipo di modello e animazione. Ha un'impronta più artistica che tecnica, ma è in grado di produrre disegni tecnici precisi. È un programma semplice e intuitivo e ha un costo modesto;
2. *Rhinoceros 3D*: conosciuto anche come *Rhino*, nasce appositamente per l'impiegato nel mondo della progettazione e del design industriale. L'utilizzo principale di linee curve lo rende adatto a progettare gioielli, automobili, imbarcazioni, ma anche qualsiasi altro modello per la stampa 3D. Il costo è più alto rispetto a quello precedente, ma ha la possibilità di aggiungere nuove funzioni, disponibili anche gratuitamente;
3. *Inventor*: è il programma CAD per progettazione industriale e meccanica per eccellenza. È un programma professionale per la modellazione solida, con cui disegnare

e testare i prodotti ancora prima che vengono realizzati, grazie ad un modulo inserito all'interno del suo sistema. Il prezzo è molto elevato, circa 8000€.

4. *OnShape*: è un programma CAD professionale pensato per la progettazione meccanica, con la caratteristica di essere completamente online. Utilizza il browser come interfaccia e i server in cloud per le elaborazioni più complesse. Al momento di andare in stampa, essendo ancora in versione beta, è utilizzabile ancora in forma gratuita.

Completato il progetto, il secondo passaggio consiste nel trasformare i file in una serie d'istruzioni da comunicare alla stampante (dette G-Code). Un software dedicato (i più famosi sono *Repetier-Host*, *Slic3r*, *Cura* e *Replicator G*) “taglia” il modello virtuale in tanti piani bidimensionali orizzontali che verranno poi stampanti uno sopra l'altro.

1.5.2 Stampa

Nella fase di creazione vera, la stampante legge il G-Code e inizia a stendere gli strati di liquido, polvere o altro materiale per realizzare il modello attraverso quindi una serie di sezioni orizzontali. Tali sezioni si fonderanno per ottenere l'oggetto finale. Uno dei più importanti vantaggi di questa tecnica è proprio la possibilità di riprodurre qualsiasi forma. Ogni modello deve avere almeno un piano di appoggio. Lo spessore di ogni strato normalmente è circa 0,1 mm. Le dimensioni dell'oggetto ovviamente non possono essere maggiori dell'area di lavoro e quindi dipenderanno dal tipo di stampante di cui si è in possesso. La realizzazione di un oggetto oggi può durare ore o addirittura giorni, secondo il metodo usato, della dimensione e della complessità del modello stesso. Le tecnologie saranno descritte in modo dettagliato nel capitolo 2.

1.5.3 Rifinitura

Essendo la produzione di tipo additivo, il risultato sarà di alta qualità. È però possibile scegliere di stampare una versione leggermente più grande dell'oggetto per poi rimuovere il materiale in eccesso e le piccole imperfezioni con un processo sottrattivo. Questo permette di avere una precisione maggiore. In questa fase si rimuovono inoltre i possibili supporti utilizzati per la stampa.

1.6 Stampa 4D

Le possibilità enormi che offre il settore del 3d printing sono sotto gli occhi di tutti, grazie a nuove applicazioni e traguardi impensabili che riempiono le cronache con cadenza quasi quotidiana. Ma proprio perché si tratta di un campo che si rinnova continuamente, adesso c'è un nuovo sviluppo del quale tenere conto: la stampa 4D. Si tratta di un concept sviluppato da Skylar Tibbits, ricercatore del dipartimento di architettura del

Massachusetts Institute of Technology (MIT), in collaborazione con Stratasys, Autodesk e il Self-Assembly Lab del MIT. In parole povere, la stampa 4D indica materiali prodotti con la "normale" stampa 3D in grado, per così

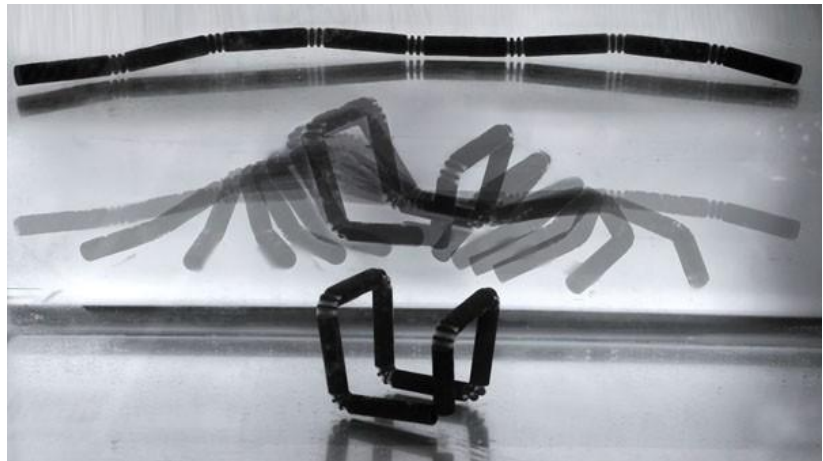


Figura 1.9 Trasformazioni temporali di un oggetto prodotto con la tecnica del 4D Printing

dire, di autoassemblarsi una volta prodotti. Già nel 1788 Joseph-Louis Lagrange, nel suo "Mécanique analytique", spiegava come la meccanica potesse essere vista come operante in quattro dimensioni, tre spaziali e una temporale. Il concetto della stampa 4D riguarda proprio questo: oggetti che non sono completamente "espressi" una volta terminata la loro produzione, ma che possono ancora modificarsi, in modo completamente autonomo, quando sottoposti a stimoli esterni come temperatura e umidità. Le applicazioni sono potenzialmente ancor più numerose di quelle della stampa 3D: per esempio, potrebbero essere costruite tubature in grado di espandersi o restringersi in base al volume d'acqua che le attraversa. Se il settore medico-sanitario è un campo di applicazione sempre più diffuso per la stampa 3D, altrettanto potrebbe essere per la stampa 4D: un impianto, come ad esempio una protesi, potrebbe essere quindi creato con specifiche forme e dimensioni, riuscendo poi ad auto-modellarsi e ad adattarsi in base alla necessità.

Capitolo 2

Tecnologie abilitative del 3D Printing

Introduzione

Da quando è nata questa tecnologia, si sono sviluppate diverse tecniche di produzione additiva. Queste variano in base ai materiali utilizzati (liquidi come nella *stereolitografia*, fusi come nel *Fused Deposition Modeling*) e al modo in cui vengono depositati i vari strati uno sopra l'altro.

2.1 Estrusione

Il metodo più conosciuto è il Fused Deposition Modeling (FDM). Brevettato nel 1988 da Scott Crump, fondatore della nota casa produttrice di stampanti 3D Stratasys, viene commercializzato all'inizio degli anni novanta. Scaduto il brevetto di tale tecnologia,

nascerà una comunità di sviluppo open source che svilupperà varianti più economiche rispetto alla Stratasys, denominando la tecnica di stampa *Fused Filament Fabrication (FFF)*, in quanto FDM faceva esclusivamente riferimento al brevetto

Stratasys. Il metodo di lavoro di FDM e FFF è

però identico: un filamento plastico, di cera o un filo metallico è srotolato da una spirale che fornisce il materiale a un ugello di estrusione che deposita il materiale in modo da costruire strato dopo strato i piani bidimensionali dell'oggetto. L'ugello è riscaldato attraverso dei radiatori che riescono a mantenere la temperatura al sopra del punto di fusione del materiale in modo che questo riesca a fuoriuscire senza intoppi. La

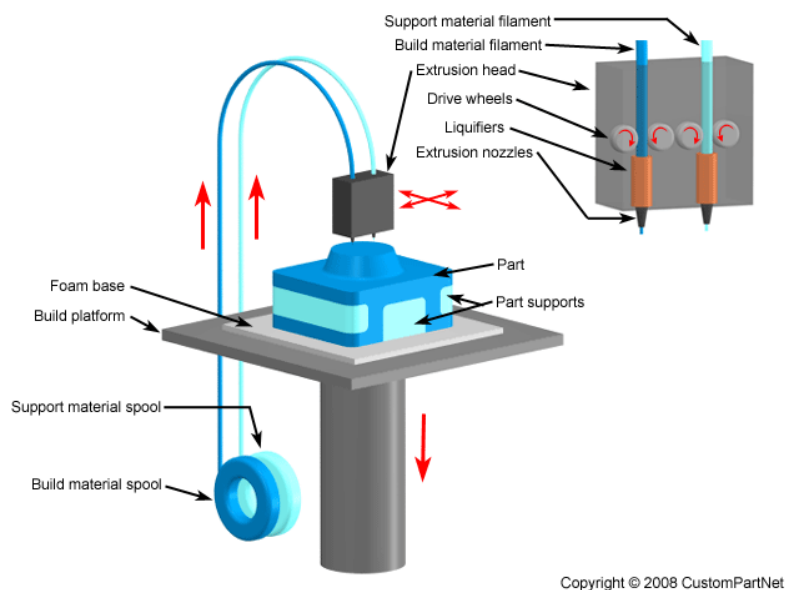


Figura 2.1 Tecnica di stampa Fused Filament Fabrication (FFF)

piattaforma di lavoro invece è caratterizzata da temperature più basse in modo da permettere al materiale appena depositato un indurimento rapido. Al completamento dello strato, la piattaforma si abbassa di un layer e la testina di estrusione deposita un altro strato di materiale. Lo spessore di ogni strato varia da 0,013 a 0,005 pollici (da 0,33 a 0,127 mm). Uno dei limiti è la difficoltà di realizzare oggetti cavi, se non attraverso l'utilizzo di supporti che verranno poi eliminati alla fine del processo. Non prevede particolari trattamenti post produzione. È spesso denominata anche Plastic Jet Printing.

Una variante del FDM è lo Stick Deposition Moulding. L'estrusore della stampante è alimentato con appositi bastoncini soggetti a scivolamento, invece che da un filamento circolare. Questa innovazione offre alcuni vantaggi: i bastoni che alimentano automaticamente l'ugello provengono da un magazzino di alimentazione che permette un dosaggio preciso del fuso; inoltre questi bastoncini possono essere facilmente combinati per produrre un oggetto in vari colori e materiali.

Altra variante è lo Smooth Curvature Printing (SCP). È un algoritmo che elimina le creste di superficie che a volte appaiono durante la stampa tradizionale vettoriale. Basato sulla tecnologia di controllo del movimento, l'SCP aumenta la velocità di stampa e sostiene un movimento fluido durante il processo in modo tale che le superfici curve risultino notevolmente più lisce e più uniformi.

2.2 Digital Light Processing

I processi che funzionano secondo la tecnica del Digital Light Processing (DLP) sono basati su trasformazioni fotochimiche dei materiali. Una sorgente luminosa convenzionale, come ad esempio una lampada ad arco, attraverso un display a cristalli liquidi o un dispositivo specchio deformabile (DMD) che viene applicato su tutta la superficie della vasca in cui è presente il materiale, illumina il fotopolimero e questo indurisce proprio dove la luce colpisce la superficie. Una volta che lo strato è completato, la piattaforma all'interno della vasca si abbassa di una frazione e lo strato successivo viene tracciato. Questo continua fino a quando l'intero oggetto è completato.

Il metodo più diffuso è la stereolitografia (SLA). Dopo che il progetto CAD viene suddiviso in piani bidimensionali, il software trasmette queste informazioni a una sorgente laser. Appena al di sotto del livello del fluido, resina liquida, è presente una piastra forata. Il raggio laser viene proiettato da un sistema di specchi in modo da

scandire la superficie del liquido e permettere di indurire le parti che identificano la sezione dell'oggetto da costruire. Una volta indurito, la piattaforma si abbassa di uno strato e nuova resina liquida viene esposta allo stesso trattamento, andando a sormontare lo strato precedente. Al termine, il solido viene estratto dalla resina liquida e messo in un forno a luce ultravioletta per completare la polimerizzazione.

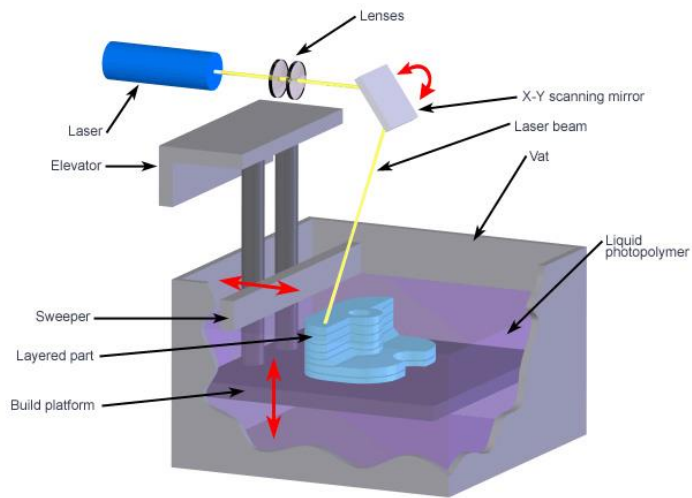


Figura 2.2 Tecnica di produzione Stereolitografia (SLA)

Un metodo di questa tipologia molto conosciuto è il metodo proprietario dell'Asiga chiamato Sliding Separation (SS).

Un metodo che sfrutta la stessa tecnologia è il PolyJet/MultiJet. Questa metodologia assomiglia molto alla stampa a getto d'inchiostro 2D ma, invece di lasciar cadere gocce di inchiostro su un foglio di carta, spruzza fotopolimeri liquidi su un carrello mobile. Si creano così strati sottilissimi (tra i 16 e i 30 micrometri) di materiale che, sottoposti a un fascio di raggi UV, si asciugano velocemente e consentono all'oggetto di essere immediatamente pronto all'uso, senza bisogno di ulteriori lavorazioni. La macchina infine spruzza un liquido gel che ha funzione di supporto per le parti sporgenti o altre più complesse, che viene rimosso facilmente con acqua o mani. Eventuali supporti usati nella costruzione di parti complesse vengono rimossi al termine della stampa.

2.3 Fusione di materiali in granuli

Il metodo più famoso è il Selective Laser Sintering (SLS). Sviluppato e brevettato da Carl Deckard e Joseph Beaman presso l'Università del Texas, il processo di SLS prevede che uno strato di materiale da costruzione, contenuto in una cartuccia, venga spalmato su una piattaforma e venga livellato con un rullo. Il laser traccia una sezione orizzontale bidimensionale della parte, sinterizzando il materiale da polverulento a indivisibile. Dopo il completamento di ciascuno strato, un apposito pistone si muove verso il basso e abbassa di conseguenza anche lo strato appena realizzato. Viene quindi fatto uscire dalla

cartuccia nuovo materiale che subisce la stessa lavorazione, così finché la parte è costruita. Una volta pronto, il modello viene rimosso dalla camera e viene terminato rimuovendo il materiale di scarto e lisciando le superfici visibili. Il fatto che il materiale di costruzione a differenza delle tecnologie precedenti sia solido e l'oggetto sia realizzato immerso completamente nel materiale, porta a vantaggi pratici evidenti in quanto non necessita di strutture di

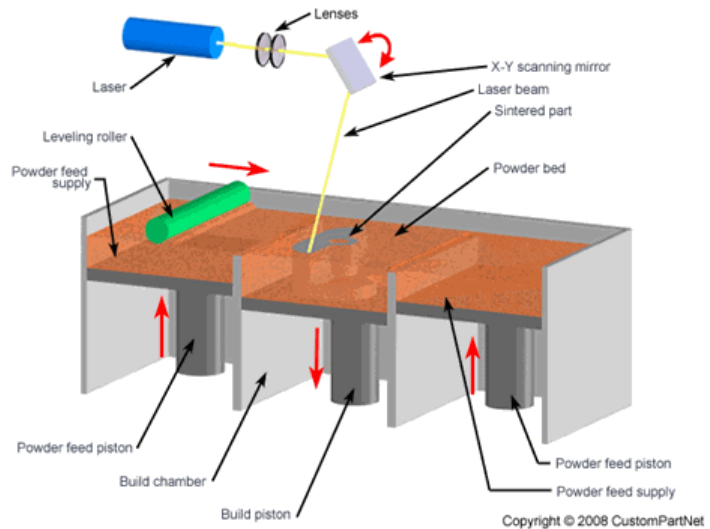


Figura 2.3 Tecnica di produzione Selective Laser Sintering (SLS)

supporto specifiche come avviene per la SLA e il FDM.

Il Selective Heat Sintering (SHS) è un metodo del tutto simile al SLS. La differenza sostanziale è il fatto che non viene utilizzato un laser ma una testina di stampa termica meno intensa. Questo ha il vantaggio di ridimensionare le dimensioni della camera di produzione e di conseguenza anche i costi, rendendola così una soluzione molto più economica.

Il Selective Laser Melting (SLM), detto anche Direct Metal Laser Sintering (DMLS), è del tutto identico al metodo SLS ma, a differenza di questo, utilizza come materiali di costruzione polveri metalliche integrali cioè che non contengono materiali bassofondenti, leghe che fondono a temperature inferiori ai 150° C. Per evitare l'ossidazione dei materiali, si utilizza una camera di lavoro con atmosfera inerte. Il laser utilizzato è quindi più potente e al termine della lavorazione si ottiene un oggetto simile a quelli che si ottengono con la produzione in serie.

L'Electron Beam Melting (EBM) è un metodo molto simile al SLM ma, a differenza di questo, per permettere una corretta focalizzazione del fascio di calore (con potenza superiore al laser) sul piano di lavoro crea il vuoto nella camera e questo consente di evitare la formazione di ossidi metallici nelle polveri. La potenza superiore a quella del laser permette alla macchina di fondere polveri altofondenti, realizzando parti con alta densità e molto forti.

Tra i metodi che sfruttano polveri di materiali si può classificare anche la stampa a getto d'inchiostro. Questo metodo permette di ottenere oggetti tridimensionali in tempi inferiori, con costi minori e con facilità d'uso elevata. Il materiale viene disteso su una piattaforma e pressato da un rullo e, a differenza del SLS, i granuli non vengono sinterizzati ma legati con liquido adesivo erogato da un'apposita testina. Successivamente, come per gli altri metodi, la base si abbassa di uno strato e il procedimento si ripete fino al completamento del prodotto finale.

2.4 Struttura laminare

Il Laminated Object Manufacturing (LOM) è un metodo che consiste nel laminare e depositare insieme fogli del materiale da utilizzare, impregnati con una colla adesiva al diossido di carbonio. Un meccanismo trascina i fogli sulla piattaforma di lavoro e un apposito rullo riscaldato incolla lo strato sul supporto. In seguito, una testina laser taglia i contorni della sezione. La piattaforma quindi si abbassa di un layer e il processo continua fino a terminare l'oggetto.

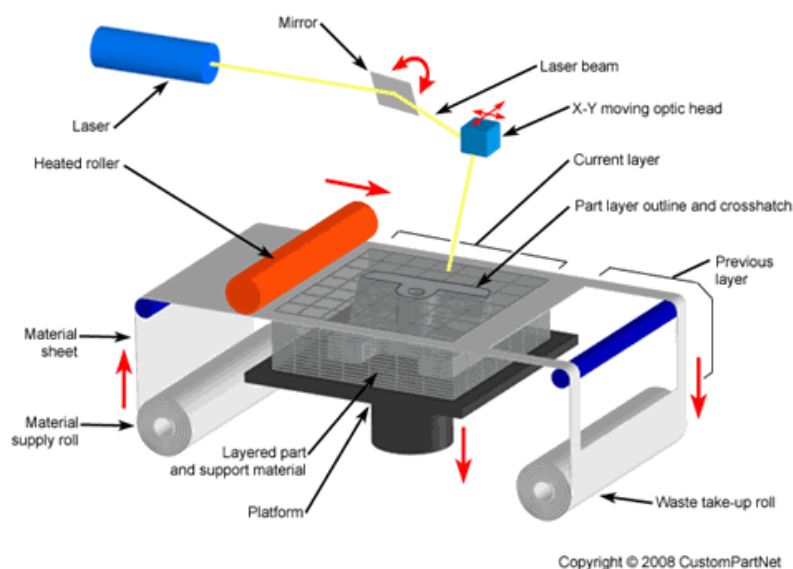


Figura 2.4 Tecnica di produzione Laminated Object Manufacturing (LOM)

Questo metodo si è però evoluto nel Selective Deposition Lamination (SDL). La variazione principale è il modo di applicare la colla: mentre nel LOM viene incollato tutto nello stesso modo, nel SDL la colla è più densa al centro e meno densa sulla parte di supporto. Questo porta a una resistenza maggiore e alla possibilità di semplificare le operazioni di formazione e altre modifiche.

2.5 Le caratteristiche tecniche delle stampanti

Le stampanti 3D non differenziano tra loro solo per la tecnica che utilizzano nella produzione. Ogni tipologia ha, infatti, le proprie caratteristiche tecniche. Le caratteristiche più significative sono: la dimensione della camera di lavoro, il consumo

energetico, la velocità di stampa, lo spessore degli strati e la temperatura di fusione. Prima di riportare lo schema che confronta le tecnologie, è utile dare alcune direttive.

Per quanto riguarda la velocità, questa dipende molto dal tipo di materiale utilizzato. È importante associare che una velocità troppo elevata non corrisponde a un lavoro di qualità superiore.

Per motivi tecnici il primo strato ha sempre uno spessore superiore a quello degli altri. Deve essere, infatti, in grado di sostenere il peso degli strati successivi durante la lavorazione.

La temperatura di lavoro è di difficile non deve essere troppo bassa perché non si verifichino problemi alle componenti presenti, ma allo stesso tempo deve essere più bassa possibile in modo da consentire di produrre alla velocità indicata.

Di seguito il confronto tra le quattro tecnologie

	ESTRUSIONE	DIGITAL LIGHT PROCESSING	FUSIONE DI GRANULI	STRUTTURA LAMINARE
DIMENSIONI W x D x H [mm]	100x100x100 1147x1000x1188	35x21.8x75 340x440x380	160x200x140 250x250x180	256x169x150
CONSUMO ENERGETICO	100 W – 300 W	100 W – 300 W	100 W – 300 W	100 W – 300 W
VELOCITÀ DI STAMPA	40 mm/s – 200 mm/s	3000 mm/s	100 mm/s – 200 mm/s	100 mm/s – 200 mm/s
SPESSORE DEGLI STRATI	1 strato: 0,33 mm Altri: 0,1 – 0,2 mm	1 strato: 0,33mm Altri: 0,003 – 0,1 mm	1 strato: 0,33mm Altri: 0,08 - 0,15mm	1 strato: 0,33mm Altri: 0,1 – 0,2 mm
TEMPERATURA (dipende dai materiali)	PLA: 160°C–220°C ABS: 220°C–260°C	PLA: 160°C–220°C ABS: 220°C–260°C	PLA: 160°C–220°C ABS: 220°C–260°C	PLA: 160°C–220°C ABS: 220°C–260°C

Tabella 1 Confronto tra le caratteristiche principali delle tecniche di produzione

Si può notare come molte delle caratteristiche siano comuni alle varie tecnologie come il consumo energetico, il range di temperatura di lavoro, e lo spessore del primo strato. La velocità di produzione e la dimensione della camera di lavoro sono quelle che differenziano particolarmente le varie stampanti e sono i dati principali cui un'azienda deve fare riferimento, oltre il prezzo e i materiali utilizzabili ovviamente, per effettuare l'investimento dell'acquisto della macchina.

2.6 Nuove tecniche di produzione

Il 3D printing è in continua fase di ricerca e sviluppo, si studiano nuove tecniche che possano essere più fruibili, meno energivori e, perché no, con sfaccettature ecologiche. Il ricercatore giapponese Hironori Yoshida e la sua squadra hanno presentato in un recente lavoro di ricerca dal titolo "Fabbricazione Additiva per l'Architettura a scala di uomo" una combinazione di temi e questioni rilevanti riguardanti la stampa 3D nelle applicazioni di architettura.

La loro idea, presentata nel luglio 2015, include diverse innovazioni: l'utilizzo di materiali nuovi e migliori, stampa efficiente su scala più ampia, una guida completa per l'intero processo e, la caratteristica più rilevante, l'uso di bacchette di legno per la creazione di una struttura porosa da legare all'aggregato. L'utilizzo di questo materiale poco costoso ha un enorme potenziale per l'auto-sostenibilità, soprattutto nelle aree in via di sviluppo. Sono stati presentati due metodi basati su queste caratteristiche: l'aggregazione inceppata e l'aggregazione stratificata. Entrambi i metodi, ottenuti dopo una corposa fase di sperimentazione, impiegano bacchette di legno congiunte con colla, e dispensate da un dispositivo altrettanto innovativo. Il metodo definito di aggregazione inceppata è quello che ha avuto maggiore successo. Le bacchette sono assemblate in verticale, consentendo un processo più semplice e veloce. L'aggregazione stratificata è stata usata, invece, per la costruzione di muri obliqui.

2.7 I materiali

Uno dei principali fattori che si devono prendere in considerazione per l'acquisto di una stampante, oltre al costo del macchinario, al costo per la stampa del prototipo e alla capacità di usare diversi colori, è la scelta dei materiali da utilizzare.

Esistono diversi tipi di materiale che si prestano a questo tipo di produzione. Si passa da materiali duri come acciaio, cemento, titanio, oro e argento, a materiali più morbidi come nylon, cere e resine.

Il materiale più comune è la plastica, in particolare il tipo ABS (Acrilonitrile – Butadiene - Stirene) che può essere utilizzata sia a iniezione sia a estrusione. È un materiale non biodegradabile e richiede temperature di estrusione di circa 240°C. È un materiale molto deformabile, può essere, infatti, flessato più volte su se stesso senza che si spezzi, caratteristica che lo rende adatto per parti mobili o flessibili. Non è un materiale semplice da stampare perché durante la fase di raffreddamento subisce notevoli deformazioni e necessita rifiniture attraverso l'utilizzo di solventi anche pericolosi come l'acetone. Ha bisogno di una camera di produzione chiusa e con piano di lavoro riscaldato. Le sue caratteristiche la rendono adeguata per la realizzazione di parti piccole o per creare prodotti resistenti agli urti e all'usura, come per esempio i mattoncini dei Lego.



Figura 2.5 Bobine di ABS

Un altro materiale diffuso è il PLA (acido polilattico), un polimero completamente

biodegradabile composto da amido di mais o da altri prodotti di origine vegetale come scarti, alghe o materiali poco nobili. Si estrude a temperature di circa 200°C e non necessita di un piano di lavoro riscaldato. Avendo origini vegetali va evitata l'esposizione prolungata in ambienti con forte umidità. Gli oggetti in PLA sono più rigidi, quasi cristallini, e per questo si possono spezzare più facilmente. Inoltre a temperature di circa 60°C si ammorbidiscono. Ha una temperatura più bassa rispetto all'ABS, una più ampia gamma di colori e una maggiore elasticità grazie alla quale si producono oggetti come molle.

Alcune varianti popolari del PLA sono il Laywoo-D3 e il LayBrick. Il primo è una miscela di PLA e polvere di legno riciclato (circa il 40%) con il quale è possibile stampare oggetti che assomigliano al legno e hanno addirittura un odore simile. Secondo la temperatura di lavoro questo assumerà una diversa tonalità di marrone. Dopo la stampa, l'oggetto può essere rifinito quasi come fosse di vero legno (taglio,

levigazione, pittura, etc.). Il secondo è una miscela di PLA e polvere di gesso, che conferisce agli oggetti stampati un aspetto simile alla pietra.

Anche il nylon viene utilizzato oggi nella stampa 3D. Questo, il cui nome tecnico della famiglia di materiali è poliammidi sintetiche, è resistente all'usura, elastico, colorabile attraverso tinture e resistente ai solventi. Quando viene stampato, se è utilizzato per strutture sottili è flessibile, se aumentano gli spessori aumenta di solidità e robustezza. Viene lavorato a temperature di circa 260°C e necessita di un piano di lavoro riscaldato per il primo strato è critico e mostra difficoltà nell'adesione al piano di stampa.

Altro materiale utilizzato è il PET (polietilene tereftalato), venduto con nomi spesso più esotici come T-Glase in modo da nascondere la vera natura del materiale e poter applicare prezzi più elevati. Molto utilizzato nell'industria perché adatto al contatto con gli alimenti, ma se trattato con la tecnica FDM non ha ancora le certificazioni necessarie per essere utilizzato in questo modo. Viene trattato a temperature di circa 230°C con un piano di lavoro riscaldato.

Non poteva mancare tra i materiali uno con caratteristiche simili alla gomma. Trovando nell'utilizzo della gomma vera e propria difficoltà di trattamento, è stato individuato il TPU (Termo Plastic Urethane) ottimo surrogato che ne possiede le caratteristiche. Lavorato a temperature di circa 250°C, non necessita di un piano di lavoro riscaldato.

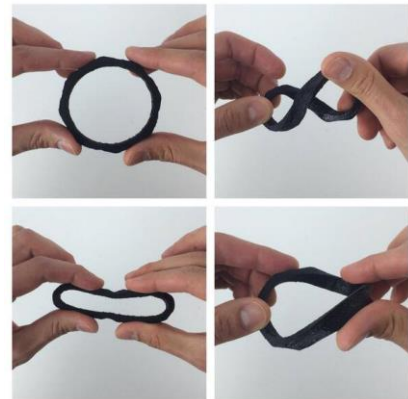


Figura 2.6 Oggetto stampato in TPU

Importanti nella produzione con le stampanti 3D sono anche i materiali utilizzati per realizzare i

supporti. Uno di questi è il PVA (Alcool Polivinilico), un composto chimico idrosolubile, un altro è l'HIPS (High Impact PolyStyrene) rimovibile attraverso un liquido chiamato limonene. Entrambi vengono utilizzati all'interno di stampanti con doppio estrusore, in modo che uno produca l'oggetto vero e proprio, mentre l'altro utilizzi questi materiali per realizzarne contemporaneamente i supporti.

2.8 I punti chiave

Il settore della stampa 3D è in continua evoluzione e non del tutto ancora esplorato. Le tecniche di produzione esistenti evolvono perfezionandosi giorno dopo giorno in modo da essere più competitive sul mercato. Nello stesso tempo vengono studiate nuove

tecniche di stampa come l'aggregazione inceppata e l'aggregazione stratificata, lo *Shape Deposition Manufacturing (SDM)*, o ancora la tecnica del Laser Metal Deposition con tutti i suoi metodi particolari. Contemporaneamente si scoprono nuovi materiali utilizzabili durante la stampa come il filamento chiamato Ngen a base di copoliestere presentato da ColorFabb nel novembre 2015.

Oggi la stampa 3D può essere utilizzato nei modi più disparati e ancora non conosciamo con certezza quali potranno essere le sue potenzialità, anche nel futuro più immediato.

Capitolo 3

Ambiti di applicazione

Introduzione

La stampa 3d sta guidando quella che da molti viene definita come la quarta rivoluzione industriale, attraversando molti settori e una vasta gamma di applicazioni, includendo mercati che fino a pochi anni fa non sarebbero stati nemmeno considerati appropriati per la stampa 3D.

Oggi sono presenti sul mercato distinte tecnologie di stampa 3D che permettono di ampliare il raggio di azione sia per quanto riguarda i settori industriali che per le sue possibili applicazioni. In aggiunta, gli attuali software di progettazione e le tecnologie di scansione 3D, offrono a chi utilizza questa tecnologia una soluzione definitiva e integrata in grado di creare informazioni 3D da oggetti e condurre rapide operazioni di design e ingegnerizzazione in grado di realizzare oggetti reali, prototipi estetici, funzionali e strutturali.

Queste tecnologie abilitano designers, architetti, ingegneri, ricercatori, dottori, gioiellieri, insegnanti, studenti a trarre vantaggio da migliorie nei tempi di produzione e design, aumentando l'accuratezza e riducendo i costi.

3.1 Ambiti di applicazione

Analizzeremo ora le varie applicazioni riportandone alcuni esempi.

3.1.1 Ingegneria aerospaziale e aeronautica

Il ruolo della stampa 3d in questi settori è principalmente quello di ricerca e sviluppo anche se esistono già applicazioni reali.

Il primo componente metallico in assoluto stampato in 3D, destinato al settore in esame, è stato realizzato da General Electric e ha il ruolo di ospitare il sensore di temperatura all'ingresso del compressore interno di un motore a reazione.

La realtà più tecnologicamente avanzata da questo punto di vista è situata in Italia, precisamente a Cameri (NO) e si tratta di Avio Aero, inizialmente divisione aeronautica

di Avio, acquisita nell'agosto 2013 da General Electric per 3,3 miliardi di euro, che opera nella progettazione, produzione e manutenzione di componenti e sistemi per l'aeronautica civile e militare. Oltre alla progettazione, Avio Aero si occupa delle lavorazioni meccaniche dell'assemblaggio e dei test dei prodotti prima di spedirli ai propri clienti

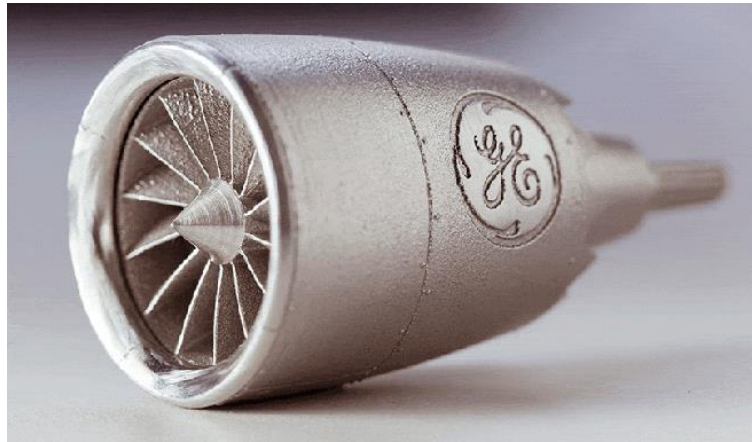


Figura 3.1 Turbina stampata dalla General Electric

internazionali. I prodotti più rinomati, costruiti

attraverso diverse tecniche additive, sono le turbine e i motori. L'utilizzo del 3d Printing porta ad avere prodotti con caratteristiche sempre più performanti, come la riduzione dei pesi, finalizzata a conseguire un risparmio nei consumi e minori emissioni, e la riduzione dei tempi di produzione dei componenti, che utilizzano leghe metalliche sempre più innovative e resistenti. Il nuovo prodotto di punta dell'azienda saranno le pale dei rotori degli aerei, stampate in 3d fondendo polvere di alluminuro di titanio (TiAl), già in fase avanzata di testing, che pesano meno (e negli aerei minor peso comporta minor consumo di carburante a tutto vantaggio dell'ambiente), sono più veloci da produrre e hanno caratteristiche meccaniche identiche a quelle costruite con i sistemi tradizionali di fusione, quindi sono altrettanto sicure.

Non solo Avio Aero sta sperimentando la stampa 3D per la fabbricazione di parti di aeromobili, molte si stanno muovendo curando in particolare l'aspetto della sicurezza. Un esempio è la China Eastern Airlines che ha stampato, per i suoi Boeing 777-300ER in servizio, coperture per maniglie, sedili e altri componenti di cabina, elencando come vantaggi di questo modo di procedere la flessibilità, la facilità di montaggio, ridotti costi di approvvigionamento e di magazzino, e la possibilità di personalizzare la cabina dell'aeromobile.

Un altro esempio di carattere internazionale è invece quello riguardante uno dei fornitori più rilevanti del settore del 3d Printing, 3D Systems Corporation, realizzatore di prototipazione rapida e produzione di sistemi e componenti, che nel 2010 ha stipulato un contratto pluriennale con un importante produttore di elicotteri per la produzione di

vari componenti in plastica attraverso la sinterizzazione laser selettiva. Anche in questo caso, il focus è caduto sulla riduzione notevole del peso dei componenti e la conseguente riduzione dei costi ottenuta.

Altro esempio, con sede nella base aerea Sheppard, Wichita Falls, Texas, la Trainer Development Flight (TDF) è una struttura che progetta, sviluppa e realizza sistemi e prodotti di formazione per Air Force e tutte le filiali del Department of Defense (DoD) in base alle esigenze. Prima di adottare la tecnologia FDM, TDF ha preso in considerazione diversi altri processi additivi non riscontrando però le caratteristiche ricercate. Con il 3d printing l'investimento è solo iniziale e non continuo. Le parti prodotte sono resistenti e il livello di dettaglio è elevato. Inoltre, il processo avviene nel rispetto totale dell'ambiente e riduce a zero gli sprechi. TDF è responsabile della progettazione e produzione di copie esatte di veicoli UAV (Unmanned Aerial Vehicles) o “veicolo aereo senza equipaggio” e per la formazione dei tecnici addetti alle riparazioni. Ha prodotto una vasta gamma di elementi interni ed esterni utilizzando le macchine FDM, alcune sono parti principali, altre meno ma sempre importanti come diverse cappottature motrici, eliche e antenne. Per l'intero progetto UAV, in alcune aree, sono stati risparmiati in totale tre anni di lavoro. Nel corso degli ultimi quattro anni, è stata registrata una riduzione dei costi di 800.000 \$ tra questo progetto e altri, a dimostrazione che non si riducono solo tempi e materiali.

Anche la NASA si sta muovendo nel settore del 3d Printing. Gli astronauti e gli ingegneri stanno testando un veicolo su rocce e sabbia, guidandolo su e giù per le colline in un ambiente simile a quello di Marte. Si tratta del Desert RATS (Research and Technology Studies), un agile veicolo bianco che oggi esplora il deserto dell'Arizona, muovendosi senza problemi su un terreno disagiata, battuto da sole e vento e con temperature che passano da un estremo all'altro. Il veicolo, dalle dimensioni di un Hummer e con una cabina pressurizzata adatta al trasporto di esseri umani nello spazio, è sottoposto a test. Questo veicolo potrebbe costituire il modo per raggiungere uno degli obiettivi più ambiziosi della NASA: l'esplorazione umana di Marte. Nel prossimo futuro, veicoli simili potrebbero aiutare l'uomo a investigare gli asteroidi in orbita vicino alla Terra. Il veicolo è parte integrante della missione NASA con l'obiettivo di portare l'uomo sempre più lontano nello spazio. Per progettare questo veicolo molto robusto e specializzato, gli ingegneri NASA si sono basati sul proprio ingegno e su tecnologie avanzate. Ad esempio, circa settanta degli elementi del veicolo

sono stati costruiti in modo digitale, direttamente dai progetti su computer, nella camera riscaldata di una stampante 3D. Questo processo consente di creare forme complesse abbastanza robuste da potere essere utilizzate sul terreno marziano. Quando si creano veicoli molto personalizzati e si sottopongono a test durissimi, gli elementi e i metodi di produzione tradizionali non sono sufficienti. I componenti stampati in 3D del veicolo NASA includono le ventole e gli alloggiamenti antincendio, i supporti delle telecamere, gli sportelli, una parte di grandi dimensioni che funge da paraurti anteriore e molti elementi di fissaggio personalizzati. FDM garantisce la massima flessibilità di progettazione e rapidi tempi di creazione di alloggiamenti personalizzati per assiemi elettronici complessi. Per i componenti stampati in 3D, la NASA utilizza ABS, PCABS e materiali in policarbonato.

Non solo la NASA vuole portare la stampa 3d nello spazio. Recentemente la neozelandese Rocket Lab ha presentato il razzo Electron con il motore elettrico Rutherford, il proprio primo sistema di propulsione a batteria. La particolarità di questo motore è che è il primo in assoluto per un razzo a essere costruito utilizzando la stampa 3D. La manifattura additiva ha permesso di ridurre i tempi di produzione di parti come camera di spinta, iniettori, turbopompe e valvole principali. Secondo il CEO della società è un passo importante perché è fondamentale per l'economia spaziale aumentare il ritmo dei lanci e attraverso il 3d Printing è realizzabile con costi e frequenza che tecniche di produzione tradizionali non possono raggiungere: "Per un motore per razzo di solito servono sei mesi, ora possiamo produrre un Rutherford in tre giorni".

Questi sono solo alcuni casi studio di come l'espansione della gamma di parti stampate, di stampanti e di sistemi di produzione stia consentendo ai leader mondiali nel settore aerospaziale di beneficiare di soluzioni in grado di risolvere le loro esigenze di progettazione e produzione.

La particolarità della stampa 3D è quella quindi di realizzare componenti, anche in un numero inferiore di parti disassemblate, in modo da aumentare l'efficienza significativamente e misurabile, non raggiungibile con i metodi tradizionali. Un altro beneficio è la possibilità di stampare on-demand parti di ricambio che porta a ridurre i costi elevati di magazzino e, soprattutto in questo settore, lo spazio limitato d'inventario, minimizzando gli sprechi e convalidando la ripetibilità di produzione diretta e la precisione di componenti aerospaziali.

3.1.2 Arte e cultura

Possono essere molteplici i modi con cui la stampa 3D può dare man forte al mondo dell'arte: la gestione delle opere esistenti più importanti e una partecipazione "attiva" nel settore.

Un caso di studio è la riproduzione di opere lontane, che non possono essere visitate fisicamente ma che hanno la possibilità, invece, di essere riprodotte facilmente. Un esempio concreto: pensiamo ai bronzi di Riace, il Louvre vuole esporre queste statue ma non possono essere spostate per motivi di sicurezza. Il tempo ha reso fragile il metallo e un viaggio fino a Parigi potrebbe essere pericoloso. Il museo che ospita i bronzi, allora, fa una scansione delle statue e invia il file ai tecnici del Louvre. Questi, con una stampante 3D, possono riprodurre fedelmente le opere d'arte ed esporle come delle copie. Lo stesso può avvenire per motivi di sicurezza: si possono esporre delle copie per evitare danni o per sostituire l'opera durante i restauri.

La stampa 3D può essere sfruttata anche per il merchandising dei musei. All'uscita di ogni museo c'è sempre il negozio in cui gli avventori possono comprare a basso prezzo delle rozze copie in formato A4 dei capolavori millenari che hanno appena visto dal vivo. Il museo "Van Gogh" di Amsterdam dall'agosto 2013 ha portato la vendita a un livello superiore attraverso la messa in vendita di copie stampate in 3D di alcuni capolavori di Vincent Van Gogh, il cui prezzo singolo si aggirerà attorno ai 22 mila euro. Se l'applicazione di tale tecnologia alla scultura era facilmente prevedibile, il passo verso la pittura stupisce di più: il progetto del museo olandese si basa su un esperimento di Fujifilm con cui è possibile "ricopiare" gli elementi di un quadro su una superficie e riprodurli ad altissima definizione. Il processo, chiamato Reliefography, permette di sfornare appena tre "copie" al giorno ma è un ottimo inizio, ed è solo l'inizio.

Altro esempio è la possibilità di utilizzare la stampa 3d come strumento di restauro delle opere, caso che sarà trattato al punto "Indagini e ricerche scientifiche".

Chi usa la stampante 3D nel campo dell'arte non si limita a riprodurre opere già note: può anche creare forme. Può diventare cioè una forma d'arte indipendente, uno strumento legato alla creatività di chi la dirige: un tempo c'erano il pennello, lo scalpello, la pittura, oggi una più sviluppata tecnologia. Il mestiere dell'artista, infatti, non si concentra soltanto nell'estro e nella creatività: occorrono strumenti e tecnica, soprattutto per realizzare opere tridimensionali. Spesso quel che separa l'artista dalla

sua visione sono le banali limitazioni della manifattura: non sempre è possibile creare l'esatta riproduzione del progetto artistico con i metodi manifatturieri tradizionali. Le stampanti 3D, invece, sono in grado di realizzare esattamente il progetto desiderato, curato sin nei minimi dettagli e con dovizia di particolari colorati. I software implementati sono stati progettati appositamente per essere di facile utilizzo e alla portata di tutti.

E' l'esempio di John Edmark, insegnante presso l'Università di Stanford e scultore californiano, che utilizza le stampanti 3D per creare forme ispirate allo zootropio, uno strumento utilizzato per visualizzare immagini in movimento. Questi si è affidato alla

successione di Fibonacci e ai rapporti della sezione aurea per dar vita a oggetti che possono, a tutti gli effetti, essere definiti delle vere e proprie opere d'arte animate che, messe in rotazione a



Figura 3.2 Scultura realizzata da John Edmark

velocità sostenute e interagendo con una luce stroboscopica, generano un affascinante effetto ottico. Anche se ci

troviamo di fronte ad un oggetto materiale, ci avviciniamo a un altro concetto interessante: l'arte è emozione, è interpretazione individuale dell'opera, ma con l'unione della stampante 3D si crea una nuova esperienza artistica, un tipo di arte che supera il concetto di oggetto e diventa performance.

3.1.3 Indagini e ricerche scientifiche

Strettamente collegate all'arte, sono l'archeologia, la paleontologia e altre scienze simili.

Leader in questo settore è 3D ArcheoLab che in collaborazione con On/Off FabLab Parma ha sviluppato il progetto Heritage Lab, un laboratorio di ricerca e fabbricazione che sfrutta la tecnologia digitale e la stampa solida per contribuire alla tutela e alla valorizzazione dei Beni Culturali il cui obiettivo è "... sviluppare un approccio metodologico e operativo basato sulle più recenti tecnologie digitali, facilmente reperibili perché open source e a basso costo, allo scopo di migliorare la gestione, la conoscenza e l'utilizzo del patrimonio culturale". Heritage Lab si sviluppa come un progetto aperto, volto a fare rete a livello nazionale e internazionale con altri centri e

FabLab che intendono dedicarsi a questo tipo di sviluppi. Per realizzare tutto questo si appoggia al gruppo WASP, uno dei leader italiani della stampa 3D, che lavora da sempre su materiali appartenenti all'artigianato tradizionale come l'argilla, la porcellana e la ceramica. Quello di 3D ArcheoLab è un approccio che potrebbe completamente rivoluzionare la utilizzo delle opere d'arte, conferendole una dimensione tattile, rendendola materia di una rielaborazione attiva, restituendo quindi al patrimonio antico una nuova vita.

È così che un kantharos attico a doppia protome di Sileno e Menade, importato dalla Grecia nel V sec. a.C., viene rilevato al fine di creare un Museo 3D online e un



Figura 3.3 Confronto tra un kantharos integro e quello stampato

allestimento tattile per non vedenti, composto da riproduzioni in stampa 3D dei reperti più rappresentativi del Museo Nazionale Etrusco di Marzabotto (BO). Si tratta di una coppa, in questo caso particolarmente elaborata, usata per bere il vino durante i banchetti e tradizionalmente legata alla figura del dio Dionysus, Questo è solo uno degli svariati oggetti riprodotti nelle sezioni del Museo Nazionale Etrusco di Marzabotto e nel Museo Archeologico di Ferrara destinate ad allestimenti tattili, volti a migliorare l'accessibilità e la fruibilità dei beni artistici anche a persona con disabilità visive. Fino a non molto tempo, infatti, gli unici interventi si limitavano alle schede in braille oppure a complesse audioguide che cercavano di sostituire con le parole l'esperienza "visiva" delle opere, mentre oggi attraverso la stampa 3D si è finalmente rotto lo schema del "guardare e non toccare".

Un altro importante museo che si è spinto verso questa strada è il Museo del Prado di Madrid che ha riprodotto opere come capolavori di Goya, Velasquez e persino una copia contemporanea della Monna Lisa. La realizzazione è avvenuta attraverso una nuova tecnica sviluppata in loco chiamata "Didò": la riproduzione tridimensionale di stampe ricche sia dal punto di vista della texture sia dal punto di vista dei colori,

tenendo quindi conto che non tutti i disabili visivi sono del tutto privi di vista e cercando di far coniugare l'esperienza tattile con la percezione cromatica.

Abbinando le tecniche di rilievo e di modellazione tridimensionale alla tecnologia della stampa 3D, è possibile inoltre realizzare restauri integrativi di elementi danneggiati, utilizzando materiali di vario tipo secondo le esigenze: ceramica, materiali a base di polvere di marmo, di bronzo, di ottone o di rame, ma anche plastica rigida, semi-rigida o flessibile. La realizzazione permette in tempi rapidi e a costi contenuti di realizzare restauri e integrazioni di reperti archeologici, statue, elementi architettonici. Un esempio è il recente intervento, fatto da Heritage Lab, in un cantiere di restauro a Palazzo Ducale a Mantova, dove con l'applicazione delle tecnologie del rilievo e della stampa 3D si è riusciti a recuperare le lacune di una cornice architettonica con un notevole risparmio in termini di tempi e di costi non raggiungibile attraverso le tecniche tradizionali.

Come la storia del design e dell'architettura ci insegna, alcune macchine antiche non esistono più nei giorni nostri e, nella maggior parte dei casi, non possono nemmeno essere replicate con qualsiasi tecnica tradizionale moderna. Questo perché sono molto complesse, con componenti interne davvero particolari; in buona sostanza, sembrano proprio dei progetti fatti apposta per la stampa 3D. Un'idea che condivide, a quanto pare, anche l'architetto Andrea Pacciani: basandosi sulla collezione Grolliere de Servière, ha ricreato alcuni complicatissimi design tramite Google Sketchup. A questo punto li ha stampati tramite la sinterizzazione laser: il risultato è davvero mozzafiato, e le sue opere hanno ricevuto una copertura in riviste d'arte e siti Web.

Heritage Lab ha presentato inoltre un importante progetto chiamato "Incontro di civiltà", atto a sostenere la tutela del patrimonio artistico e, più in particolare, ricostruire qualsiasi capolavoro che l'Isis pensi di cancellare dalla storia, rimettendolo a disposizione del mondo. Questo ha riscontrato apprezzamenti dalla comunità culturale internazionale e in particolare dall'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'educazione, la scienza e la cultura, l'UNESCO, che si è messa a sostegno dell'iniziativa attraverso la campagna "Unite4Heritage". Com'è possibile però realizzare questa cosa? La risposta è attraverso la più grande stampante 3D del mondo, Big Delta Wasp, alta dodici metri, studiata inizialmente per costruire case velocemente e a prezzi ridotti. Il primo passo è quello di acquisire immagini dettagliate dalla comunità scientifica, il secondo è dargli forma. L'ideale poi sarebbe ricostruire le opere d'arte con gli stessi materiali che sono stati impiegati per costruirli, cioè riutilizzando le

polveri degli oggetti distrutti. Sono state già presentate due opere, i cui originali sono stati distrutti in Iraq e Siria, in scala 1:1. Un'idea virtuosa quello di mettere insieme tecnologia e archeologia nel tentativo di preservare il patrimonio culturale che certamente deve appartenere per sempre all'umanità. L'unico "problema" risiede nel fatto che ogni riproduzione costruita è appunto una copia e vanno così perse l'unicità e l'irriproducibilità, da sempre condizioni essenziali per determinare la rilevanza di un bene culturale. Qui interviene in soccorso del progetto l'archeologo Paolo Matthiae insistendo sul fatto che questi anni resteranno nella storia dell'umanità come orribili per il patrimonio culturale che si sta perdendo. Il progetto prevedrà quindi in linea di massima che ogni volta che l'Isis distruggerà una parte del nostro patrimonio storico e culturale questa sia ricostruita tale e quale, con la consapevolezza che, nonostante si realizzerà una copia, l'essenziale è restituire a un popolo il segno forte di un'identità e alla comunità internazionale il suo patrimonio culturale.



Figura 3.4 Copia ricostruita con la Big Delta Wasp dell'arco distrutto a Palmira dall'ISIS

L'archeologia, studiando periodi sempre più remoti, lascia spazio alla paleontologia, disciplina che studia i resti fossili di organismi vegetali e animali, ricostruendone la morfologia, l'origine e l'evoluzione. Oggi esiste una stampante 3D in grado di ottenere copie accurate delle ossa fossili sulla base dei dati forniti dalla tomografia computerizzata. La tecnica è stata ideata dal Charité Campus Mitte a Berlino. Spesso, per proteggerli da eventuali danni, i fossili vengono riposti in custodie di gesso, con la conseguenza che per studiare l'oggetto bisogna poi rimuovere gesso e altri sedimenti dalla sua superficie con il rischio di danneggiarlo. I ricercatori hanno così pensato di utilizzare la tomografia computerizzata per ottenere un modello digitale a tre dimensioni del fossile, per poi stamparne una copia fedele con le stampanti 3D. Il vantaggio più importante di questo metodo è che non è distruttivo e il rischio di danneggiare il fossile è minimo. Nell'esperimento i ricercatori hanno applicato il metodo a una vertebra fossile conservata nel museo di storia naturale di Berlino. Oltre ad ottenere la stampa 3D dell'oggetto, lo studio ha fornito anche preziose informazioni su condizioni e

integrità del fossile, mostrando per esempio la presenza di fratture multiple. Il risultato arriva in un momento in cui i progressi tecnologici stanno rendendo le stampanti 3D molto comuni. L'insieme dei dati digitali e le stampe 3D possono essere facilmente condivisi e le strutture di ricerca possono avere accesso a fossili rari, come quelli dei dinosauri, che altrimenti sarebbe limitato. Dal 2011 la collaborazione tra il National Museum of Kenya e Autodesk ha portato alla creazione di una collezione di modelli 3D di fossili della preistoria africana. Il risultato di questo lavoro è un sito



Figura 3.5 Copia di uno scheletro completo di *Tyrannosaurus rex* Osborn

web, africanfossils.org, consultabile liberamente da tutti. Cliccando

sull'immagine di un fossile, o scegliendo lo stesso da un menu grafico, si apre una vista dettagliata che mostra il modello 3D del fossile con la possibilità di ruotarlo e zoomarlo liberamente, e le informazioni che si riferiscono all'esemplare. Il progetto prevede anche la possibilità, previa iscrizione gratuita, di scaricare il modello 3D del solido, cosa che aumenta in maniera esponenziale le potenzialità educative. Uno studente o appassionato può quindi aprire il modello sul suo programma di CAD preferito e fare tutte le osservazioni e misure del caso, modificare il solido a piacimento e stampare il modello con una stampante 3D.

C'è chi, però, lavora già in grande, cioè realizza dinosauri robotici in scala in modo da studiare come queste creature si muovevano, si cibavano e si riproducevano. Il Canadian Museum of Nature dell'Ontario ha, infatti, realizzato un proprio laboratorio di modellazione tridimensionale per studiare non solo i dinosauri ma anche i nostri più antichi progenitori. Dopo la stampa delle ossa e il rivestimento di queste con tendini e muscoli, s'inseriscono motori e controlli e non resta che studiarne i risultati. Fino ad oggi questo tipo di ricerche è stato condotto realizzando calchi di gesso delle ossa da studiare, ma si tratta di procedimenti lenti e che permettono di avere copie utilizzabili solo cinque o sei volte: la stampa in plastica dei modelli dovrebbe risultare molto meno costosa sia in termini economici sia di tempo.

3.1.4 Abbigliamento

Con la stampa 3d anche la moda diventa digitale: sono già tra noi abiti e accessori creati con stampanti tridimensionali. Per ora siamo in una fase sperimentale e i risultati sono ancora un po' incerti, ma l'introduzione della stampante 3d nel campo della moda potrebbe avere conseguenze rivoluzionarie. Alcuni oggetti non sono ancora perfetti. Parliamo soprattutto dei capi di abbigliamento. Le stampanti 3d al momento consentono l'utilizzo di materiali gommosi o plastici, spesso troppo rigidi perché siano indossati. Sono stati fatti esperimenti con la sovrapposizione di filamenti di lana, ma il tessuto che ne derivava era poco resistente. Siamo, però, solo agli inizi ed è probabile che tutti questi inconvenienti vengano presto risolti.

Da diversi anni gli stilisti di tutto il mondo stanno trasferendo la loro creatività al mondo della calzatura e talvolta l'aspetto funzionale della scarpa viene superato e stravolto da forme e materiali che la rendono più simile a una vera e propria scultura, un'opera d'arte. Ed è in questo contesto che s'inserisce bene la stampa e la progettazione in 3D. Infatti, quando si tratta di dover dare forma a un'idea unica e particolare, la tecnologia 3D mette a disposizione tutti gli strumenti per prototipare, correggere e infine produrre. Il settore della calzatura è ad alto potenziale di crescita, ma deve garantire ai designer la possibilità di utilizzare materiali idonei per rendere la scarpa indossabile e prezzi non proibitivi.

La giovane designer fiorentina Cristina Franceschini ha realizzato "opere" che sono anche esposte nella sezione contemporanea del Museo della Calzatura di Fermo. La soluzione per stampare prototipi indossabili è stata usare un tacco a spillo in acciaio normale e svilupparvi attorno un'intricata copertura in nylon. La finitura avviene invece tramite un processo che applica la polvere di zinco alla plastica utilizzando l'alta pressione. Il prodotto realizzato sembra metallo ma è più conveniente e, allo stesso tempo, è molto leggero. La cosa migliore è che con la stampa 3D si può produrre esattamente la quantità che si vuole, anche uno solo, cosa che non è mai stata possibile in passato.

Il designer Janne Kytanen è oggi uno tra quelli del settore della calzatura ad aver capito come sfruttare a pieno l'ondata di novità portata dalla stampa 3D. Gli ultimi prodotti stampati sono delle coloratissime scarpe col tacco, modello zeppa, disponibili con diverse caratteristiche: alte, bucherellate, zigriate, ricamate. Il designer, cosa che lo differenzia da tanti altri stilisti, ha messo il file necessario a stampare le calzature a

disposizione del pubblico: basta scaricarlo, scegliere fra i quattro modelli e i diversi colori disponibili e, se non si dispone di una stampante 3d, si può commissionare la stampa al sito “cubify”, un vero e proprio mercato 3D dove si trova un po' di tutto. In 6-7 ore le scarpe saranno pronte e spedite all'indirizzo di casa.

Uno degli artisti facente parte di questo “filone creativo” è sicuramente Francis Bitonti che, con United Nude & 3D Systems, ha lanciato sul mercato una collezione di scarpe davvero particolare. La collezione “Mutatio” è una combinazione di pelli tradizionali con tacchi e zeppe stampate in nylon con la tecnologia 3D SLS e poi placcate in oro, scarpe in cui il comfort “cede volentieri il passo” al design. Le scarpe della collezione “Mutatio” sono forse più realisticamente portabili, e in questo senso si sta dirigendo anche 3D Systems, che si è posta l'obiettivo di affiancare stilisti come Bitonti per portare la tecnologia 3D a un pubblico più vasto.



Figura 3.6 Un modello della collezione “Mutatio” di Francis Bitonti

Realizzare modelli su misura per la propria linea d'abbigliamento con una stampante 3D è la soluzione ideale per chi desidera seguire il progetto creativo dall'ideazione sino alla realizzazione. La produzione di abiti fai-da-te in un'ora senza per forza imparare a lavorare a maglia, ma sfruttando la tecnologia è la nuova frontiera della moda. Attraverso l'utilizzo di una stampante 3D per l'abbigliamento, si è in grado di trasformare un disegno digitale in un abito in circa sessanta minuti.

Creato dal designer spagnolo Gerard Rubio, il progetto OpenKnit è nato come parte degli esperimenti universitari di Rubio volti ad applicare le moderne tecnologie di stampa 3D ai tessuti. Produrre in casa i propri abiti fa parte ormai delle abitudini quasi del tutto dimenticate, anche se ultimamente si cerca di riportarle alla luce. Senza contare che la moda usa e getta è diventata anche un problema ambientale. Per questo si va alla ricerca di nuove soluzioni e OpenKnit, che tra l'altro è totalmente open-source, può essere una di queste, dato che è già in grado di fabbricare i propri abiti su misura da file

digitali. È stata inoltre creata una community, dove i “Knitters” possono mostrare e condividere le proprie creazioni 3D.

Anche gli accessori stampati in 3D sono ormai una realtà: borse, cinture e altro. Tra questi gli occhiali, per necessità o per vezzo, rimangono sempre fortemente presenti nella nostra quotidianità e grazie alla tecnologia della stampa 3D si può avere tra le mani un prodotto in grado di unire estremo comfort e un design unico. Un esempio sono gli occhiali della collezione “Pq Eyewear”, caratterizzati da montature dallo stile giocoso e dalle forme morbide, che ridefiniscono sia la forma sia il modo in cui gli occhiali sono concepiti. Con la stampa 3D si può ridefinire quindi la produzione degli occhiali stessi creando design pronti alla complessità illimitata e alle geometrie uniche che solamente così si può offrire. Ogni montatura è un pezzo unico, privo di assemblaggio, senza viti e con cerniere incorporate. Questo tipo di design è fatto su misura per la stampa 3D e permette una migliore aderenza alle tempie e quindi una migliore vestibilità. Le dirette conseguenze sono la riduzione del peso, del numero di parti fragili e in generale la realizzazione di un paio di occhiali più resistente.

3.1.5 Gioielleria e articoli di lusso

La stampa 3D professionale rappresenta, per la gioielleria e l’oreficeria, una tecnologia importantissima per lo sviluppo e la crescita di nuovi mercati. Questa nuova tecnologia additiva di prototipazione e produzione sta segnando il cambiamento dall’artigianalità all’ingegnerizzazione del gioiello. Si riescono ad ottenere, infatti, livelli di perfezione e definizione altissimi (si parla di micron), difficilmente raggiungibili con altri strumenti, aumentando contemporaneamente anche il senso di originalità e personalità.

C’è una doverosa riflessione da fare, artigianalità e ingegnerizzazione non sono due mondi separati, le stampanti 3D professionali non cancelleranno la figura dell’artigiano. Al contrario, renderanno sempre più centrali le sue competenze e il suo approccio alla produzione. Infatti, la realizzazione parte sempre dalla creatività del designer, attraverso un disegno o un bozzetto fatto a mano che viene poi riportato su programmi specifici CAD dove viene creato un disegno tridimensionale che rappresenta perfettamente il gioiello in scala reale. In seguito, attraverso la tecnologia additiva, il disegno digitale viene stampato in tre dimensioni diventando un modello di resina o cera.

Molti professionisti del settore hanno abbracciato questa nuova tecnologia per ridurre il tempo e il lavoro necessari alla fabbricazione. Le stampanti 3D forniscono, di fatto, un mezzo accessibile, affidabile e facile da usare per produrre modelli di gioielli finemente dettagliati e modelli che permettono ai progettisti di risparmiare tempo in modo da ideare in continuazione e far crescere il loro business.

Via via che gli oggetti indossabili stampati in 3D diventano sempre più popolari, un numero crescente di designer di accessori della moda comincia a rivolgersi alle tecnologie di produzione additiva e adesso il fenomeno sembra allargarsi anche ad architetti e designers ben formati nelle tecnologie di stampa 3D, che mettono insieme le loro competenze tecniche, architettoniche e di design per diventare designer di gioielli.

Daniel Christian Tang (DCT), fondata da due architetti, Heng Tang e Mario Cristian, e un ingegnere strutturale, Luca Daniel, tutti con poca esperienza nella moda e negli accessori, è oggi uno dei principali marchi di design del Canada nei gioielli di lusso stampati in 3D. Le loro capacità progettuali e le loro conoscenze architettoniche si sono mostrate utili nella progettazione di gioielli complessi e bellissimi. L'abilità architettonica e la competenza strutturale che la squadra possiede,



Figura 3.7 Bracciale prodotto da DCT

hanno permesso loro di creare alcuni disegni davvero unici: il loro metodo consiste nella trasposizione di leggi matematiche in un programma di modellazione 3D architettonico in modo da creare disegni unici e irripetibili se non attraverso la sinterizzazione laser selettiva. I modelli vengono prima stampati su cera e usati per fare uno stampo in gesso. Una volta impostati, possono essere versati i metalli liquidi (in questo caso in argento, in oro o oro rosa) per creare i pezzi di gioielleria che vediamo oggi. Gli artigiani di oggi stanno approfittando sempre più di questa nuova tecnologia per reinterpretare il mondo della gioielleria e del design che sempre più spesso si avvicina al mondo dell'arte e quindi a pezzi unici. Non per niente DCT realizza solo cinquanta copie di ogni gioiello in modo da renderlo un pezzo raro.

3.1.6 Oggettistica e artigianato

L'oggettistica ingloba in se stessa svariate passioni di diverso genere: filatelia, numismatica, etc. L'hobby per eccellenza resta però il modellismo, che consiste nel

riprodurre in scala (in maniera più fedele possibile) veicoli realmente esistiti o esistenti, ed eventualmente condurli, e la collezione di modelli stessi. La stampa 3D nasce appunto principalmente per questa “branca”: la prototipazione.

3D Racers, progetto tutto italiano sviluppato da alcuni ragazzi di Roma, è stato acutamente definito dai suoi stessi creatori un “videogioco nella vita reale”; in sostanza si tratta di macchinine radiocomandate, ma molto particolari. L’utente può scegliere, attraverso un apposito tool online, la carrozzeria della propria vettura; una volta che si è soddisfatti del modello che compare a video, si può scaricare (gratuitamente) il file .stl contenente le varie parti della vettura e stamparla in 3D (o, nel caso non si posseda una stampante, si può richiedere il servizio direttamente a 3D Racers o cercare il più vicino possessore di stampante). Siamo dunque alla presenza di un qualcosa che non è soltanto geniale dal punto di vista imprenditoriale, ma ha evidentemente un valore aggiunto sul piano educativo. L’utente è stimolato a creare e personalizzare il proprio mezzo, anziché limitarsi a comprarlo già assemblato e pronto all’uso.

Anche il mondo del giocattolo ha carpito le potenzialità della stampa 3D e tutti i più grandi produttori al mondo stanno prestando molta attenzione ai suoi sviluppi, poiché vista allo stesso tempo come la più grande opportunità e la più grande minaccia di tutti i tempi per il proprio core business. Molti dei più importanti produttori come Disney, Hasbro e Mattel, usano già da tempo le stampanti 3D industriali per realizzare i prototipi dei nuovi giochi.

Hasbro ha trovato un modo per aggregare le opportunità emergenti dalla stampa 3D e la creatività dei suoi fan. Ha, infatti, siglato un accordo con Shapeways che permette alle persone di vendere legittimamente progetti e prodotti marchiati Hasbro, compresi franchising molto popolari del calibro di Star Wars, Transformers, My Little Pony e Monopoli. Il progetto, presentato al Comi-Con 2015 di San Diego (nota fiera del fumetto americana), si chiama SuperFanArt, così da indicare chiaramente l’origine concettuale del design, e consiste in un sito web dedicato ai fan che permetterà ad appassionati e artisti di mostrare le loro creazioni originali dei più famosi giocattoli Hasbro e venderli sulla piattaforma Shapeways.

Al momento le creazioni inviate al sito SuperFanArt vengono approvate e controllate singolarmente in modo da garantire la migliore qualità possibile. Con una simile tale gamma di franchising, Hasbro spera di sviluppare dinamicamente un nuovo mercato fan-based. Oltre ai propri benefici diretti in termini economici, Hasbro garantisce la

possibilità di avere vantaggi anche per l'utente finale: una base di prodotti più ampia e accessibile, la possibilità di stampare action figures e loro parti, o estensioni, e la capacità di autoespressione e di guadagno derivanti dalla propria abilità di designer.

Anche il mondo delle miniature dei giochi da tavola sta per essere invaso da un'intera serie di modellini personalizzati. Horde Invasion, un nuovo progetto



Figura 3.8 Modellini di action figures

Indiegogo dall'artista digitale Taras Skorobruh, offre, infatti,

la possibilità sia di stamparsi in casa i modelli, sia di ordinare impressionanti repliche in resina. I personaggi collezione, alti 75 millimetri e con stand rotondi, hanno alta risoluzione che consente un incredibile livello di dettaglio, cosa molto importante per chi gioca, per esempio, a Warhammer.

Parliamo ora di artigianato. Molti hanno il timore che la stampa 3D “uccida” gli artigiani, cosa che in realtà non è assolutamente vera. Un esempio di ciò, deriva dal fatto che gli artigiani già oggi utilizzano programmi CAD per realizzare modelli di ciò che costruiranno, quindi la tecnologia non è vista come un problema ma un'ulteriore possibilità. Un'occasione perfetta per provare a fare un po' d'ordine nel discorso e a cancellare qualche luogo comune è andata in scena a Milano, durante gli eventi di febbraio 2015 in Expo Gate, a Milano, con tanto di workshop correlati: la mostra “Danneggiato, Incompleto, Incompiuto”. Questa, progetto della Facoltà di Design e Arti e della Facoltà di Scienze e Tecnologie Informatiche della Libera Università di Bolzano ha visto gli studenti lavorare all'incrocio dei diversi ambiti con pratiche che potremmo definire digital-artigianali. Una delle funzioni della stampa 3D, come dimostrato durante l'evento, è la possibilità di combattere l'obsolescenza programmata, allungando la vita di quello che già esiste, non solo di produrre oggetti nuovi. Una bella rivincita dell'artigiano sulle dinamiche industriali poiché la realizzazione di un pezzo di ricambio fuori produzione dà la possibilità di riparare quello che altrimenti verrebbe buttato via dopo il danneggiamento. Ovviamente, la stampa 3D permette anche di realizzare oggetti

unici, su misura e con forme che sarebbero impossibili da realizzare per un artigiano con le tecniche tradizionali.

3.1.7 Architettura e edilizia

Prima che venisse creata la prima casa con la stampa 3d, i designer si dedicavano agli interni. La stanza stampata in 3D da Michael Hansmeyer and Benjamin Dillenburger non è stato il primo progetto di habitat stampato, ma di certo è stato il più impressionante. Grazie a un particolare algoritmo da lui ideato, infatti, Hansmeyer ha realizzato un'installazione da 11 tonnellate, alta più di tre metri e larga quindici, con tanto di altissime rifiniture barocche. Per creare la stanza sono state stampate decine di pannelli, nel corso di alcune settimane, che poi sono stati assemblati in un solo giorno. Il materiale usato è un misto di sabbia e di un collante e l'effetto finale è quello di pietra levigata.

Negli anni la stampa ha però fatto passi da gigante. In Italia attualmente si stanno testando materiali, ad esempio l'italiana D-Shape la quale è riuscita a stampare la pietra o WASP oggetti in argilla, e stampanti 3D interamente indirizzate al settore edilizio/architettonico.

Al di fuori dell'Italia si notano notevoli sviluppi soprattutto nella messa a punto del materiale cementizio: in Cina sono riusciti a stampare dieci case in calcestruzzo in ventiquattro ore, Per realizzare l'opera è stata utilizzata una

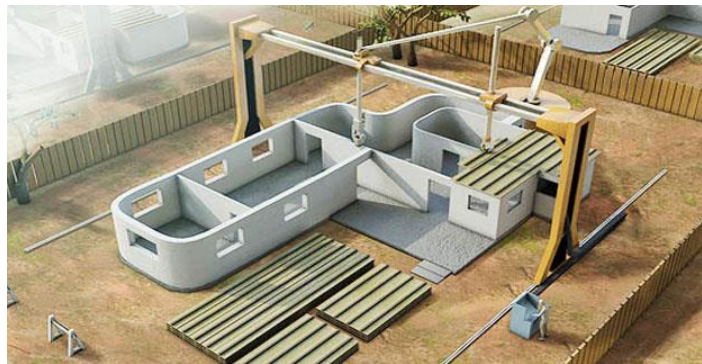


Figura 3.9 Stampante Big Delta Wasp durante la costruzione di una casa

stampante 3D lunga 150 metri, larga 10 metri e alta 6 metri. La materia prima era costituita da scarti di materiale da costruzione e rifiuti industriali miscelati nel cemento. Per costruire ogni casa è stato speso l'equivalente di appena 3.500 euro, un grande salto verso il ribasso dei prezzi per le abitazioni. La stampa non è avvenuta sul luogo in cui ora sorgono le abitazioni, a Shanghai: i vari pezzi sono stati invece stampati separatamente e poi combinati. L'unico pezzo che non è stato stampato in 3D è il tetto, per il problema di creare superfici inclinate con un materiale viscoso come il cemento, il quale non solidifica in tempi rapidi come le materie plastiche.

Altro progetto molto interessante arriva dalla Spagna e si chiama Minibuilders: si tratta di piccoli robot che mentre si muovono su cingoli rilasciano materiale. Potenzialmente questi piccoli robot potrebbero stampare volumi di dimensioni infinite.

3.1.8 Arredamento

All'interno del settore si sta creando molta curiosità rispetto all'impiego congiunto di know how e stampa 3D. Le nuove tecnologie di produzione additiva offrono ulteriori possibilità ai designer e ai produttori di mobili, di arredamento e di complementi d'arredo.

Recentemente la giovane designer olandese Lilian van Daal ha presentato lo sviluppo di una nuova poltrona che abbraccia ricerca, innovazione e nuove tecnologie produttive di stampa 3D. La designer ha creato, partendo dalle forme presenti in natura, una nuova poltrona in grado di richiamare l'intreccio dei tessuti vegetali, conferendo resistenza e confortevolezza alla nuova seduta.



Figura 3.10 Esempio di poltrona realizzata da Lilian van Daal

Anche la cura dei dettagli nell'arredamento è fondamentale. Il designer industriale ungherese, Ollé Gellért, ha preso di punta la questione arredamento e ha inventato una collezione di giunti stampabili in 3D che rappresenta un nuovo concept su cui l'industria del mobile potrebbe dover fare i conti in considerazione del forte calo dei prezzi delle stampanti 3D per uso domestico. Dopo aver progettato e costruito oggetti di grandi dimensioni, Ollé ha ristretto la sua ricerca al solo sviluppo e stampa delle giunzioni in grado di collegare le parti più grandi e che possono permettere un assortimento di diversi materiali. I giunti permettono una varietà di angolazioni, 90, 45, e 120 gradi per gli elementi strutturali di arredo e il fattore chiave è l'assoluta mancanza di viti, colla, chiavi a brugola o strumenti speciali.

3.1.9 Alimentazione

La stampa 3D in cucina è una realtà già accessibile. L'applicazione esponenziale della stampa 3D, dalla produzione al cibo, sta digitalizzando e democratizzando l'accesso a esperienze culinarie del tutto nuove ma non per questo meno affidabili, portando un

approccio esclusivo verso una nuova base per la nutrizione che sarà di beneficio a miliardi di persone.

Lo scetticismo dura l'attimo di un morso, il tempo velocissimo del primo boccone: la pizza non è all'altezza di un ristorante di Napoli, ma stravince su quelle surgelate e sui conditissimi prodotti dei fast food; i biscotti sono morbidi e svelano un delizioso retrogusto di cocco;



Figura 3.11 Pizza realizzata attraverso il processo di 3d Printing

caramelle e cioccolatini, dolci ma non troppo, in bocca si sciolgono all'istante. I ravioli, gli gnocchi, le quiche, gli hamburger, persino i cracker esibiscono forme ardite: sono piccole sculture commestibili, nemmeno una firmata da un cuoco stellato. Queste pietanze escono da una macchina grande meno di un forno, che le prepara in pochi minuti. Anzi, le stampa strato dopo strato, dettaglio su dettaglio, con un puzzle di materie prime nelle cartucce al posto dell'inchiostro: acqua e farina per l'impasto; carne macinata per i secondi e verdure frullate per i contorni; olio e pomodoro come condimenti; zucchero aromatizzato e cacao per i dessert. Il computer di bordo guida una punta di plastica o in metallo in ogni direzione, lascia passare la quantità necessaria di ciascun ingrediente e costruisce il piatto.

Il cibo stampato è cibo vero, fresco, preparato con una tecnologia nuova. Si utilizzano capsule di acciaio, materiale scelto ad hoc per non trattenere residui di sapori, si potranno combinare preparazioni create in autonomia o comprate in un negozio. Questo metodo di produzione ha fatto partire una guerra ai conservanti e ai surgelati. Da inoltre la possibilità a chi non brilla ai fornelli di stupire gli ospiti con guarnizioni ardite o gustare ogni giorno piatti da ristorante, sempre diversi e in continuo aggiornamento.

La stampa 3d rende possibile a qualsiasi cuoco di realizzare tutto ciò che la sua creatività gli suggerisce senza limiti, inaugurando una nuova era dell'arte culinaria "l'artigianato alimentare digitale".

Esistono diversi tipi di stampanti funzionanti, ognuna con la propria finalità.

3D Foodini della Natural Machines è una delle stampanti 3D più famose per la realizzazione di spuntini. Il suo funzionamento è facile e intuitivo, s'inseriscono gli

ingredienti freschi dentro capsule di acciaio dopodiché si seleziona la ricetta d'interesse direttamente dal display dell'apparecchio o da tablet o smartphone e la macchina procede alla stampa del cibo assemblandolo strato per strato. Ad esempio, per fare dei ravioli Foodini dispone uno strato d'impasto, quindi la farcitura, e poi ancora uno strato d'impasto; i ravioli, stampati uno a uno con la forma che si desidera, sono quindi pronti per essere messi nell'acqua bollente a cuocere. Non è pensata per sostituire le normali competenze culinarie: viene utile per cibi con lavorazione lunga, meccanica o noiosa che di solito a casa non ci facciamo, come per esempio i cracker.

Le ricette per la Food Printer di XYZprinting, altro dispositivo lanciato di recente, saranno per esempio scaricabili dal web e potranno essere proposte dagli utenti: prima di essere messe on line saranno approvate da alcuni chef, categoria che non si sente minacciata, anzi sembra guardare con favore a un'innovazione che spalanca opportunità inedite, dando la possibilità di realizzare design impossibili da ottenere con le mani.

La Hershey, una delle principali compagnie americane di dolci, ha stretto un accordo con la 3D Systems per CocoJet, una stampante di leccornie a base di cacao in



Figura 3.12 Esempi di zuccherini prodotti con una stampante 3D, con diverse complessità geometriche

commercio dalla seconda metà del 2015. Lavora cioccolato fondente, al latte o bianco creando incastri fittissimi di rombi, cerchi, esagoni e altre forme geometriche, tazze di cioccolato fondente, volti di cioccolato al latte, disegni di cioccolato bianco e qualsiasi altra cosa si possa immaginare.

Candy è la stampante 3D della Londinese 3D Ventures con estrusore elettrico che consente di stampare qualsiasi tipo di cibo semi-solido permettendo così la decorazione di torte e biscotti, con possibilità di inserire una scheda SD per la scelta dei disegni precaricati.

Rova 3D è la stampante 3D della società Canades Ord Solutions permetterà di stampare con paste a base alimentare come Nutella.

ChefJet Pro 3D è in assoluto la prima stampante 3D professionale per il cibo: utilizza una varietà di ricette da pasticceria e di sapori compreso lo zucchero, cioccolato

fondente e caramelle; può creare confezioni su misura per una serie illimitata di applicazioni scultoree, ornamenti per torte e bigné toppers, caramelle su misura, cubetti di zucchero (con eventuale logo) per addolcire il caffè a un evento aziendale, solo per citarne alcuni. Le capacità sono realmente illimitate. La macchina stampa, inoltre, in 3D lo zucchero a colori, caramelle e glasse con una velocità di circa 100 caramelle/ora.

Questa tecnologia può avere scopi molto più alti rispetto alla realizzazione di nuovi piatti.

Una conferma arriva dalla Germania, dove un'azienda, la Biozoon, stampa purè dalla consistenza morbidissima con l'aspetto di carote tagliate, asparagi o prosciutto. Sono per gli anziani o per chiunque abbia difficoltà a masticare: un'illusione ottica, è evidente, ma se c'è una cosa che programmi culinari in televisione insegnano, è che mangiamo innanzitutto con gli occhi.

Un gruppo di ricercatori dell'Istituto indiano di tecnologia sta studiando il modo di portare le stampanti 3D a bordo sugli aerei e dare modo ai passeggeri di ordinare il pranzo dallo schermo del sedile, scegliendo forma e sapori diversi dalle solite alternative.

La Nasa ha già finanziato un progetto per sfornare pizze in orbita e sfamare i suoi astronauti con questi dispositivi, mentre l'esercito americano li immagina come veicolo decisivo per la dieta dei soldati del futuro: una macchina capace di dialogare con un sistema di sensori presente nel corpo dei militari preparerà all'istante pietanze ricche di quei nutrienti di cui hanno carenza, mantenendoli forti e in salute.

Questo è però anche uno scenario riproducibile in qualsiasi dieta: stampando la colazione al mattino, si potrà scegliere la quantità esatta di grassi, fibre e altri elementi da assumere.

I colossi dell'alimentazione, che potrebbero perdere mercato a favore dell'autoproduzione di cibo, in realtà, non sembrano preoccupati, anzi sperimentano le opportunità di questa evoluzione dei consumi. Barilla, per esempio, ha indetto un concorso che ha premiato nuovi design di pasta stampata scegliendo tre proposte sulle 216 arrivate da venti Paesi. Il progetto Barilla ha inoltre come ambizione quella di portare in tutti i ristoranti nel giro di qualche anno una stampante 3D per pasta.

3.1.10 Medicina

Il campo della medicina è l'ambito in cui la sperimentazione Hi Tech ha raggiunto vasti impieghi e di sicuro continueranno a estendersi in tempi non troppo lontani. Eseguire una diagnosi appropriata è la base per impostare una terapia efficace. Molti sono gli elementi da considerare e grande è il ruolo che la tecnologia può giocare in questo campo. Così dalla ricerca sui vaccini alla ricostruzione delle ossa e dei vasi sanguigni si sta arrivando, negli ultimi anni, alla creazione di veri e propri tessuti e organi artificiali.

Il classico chirurgo che si forma esercitandosi sui cadaveri sembra essere ormai una categoria di vecchio stampo. Oggi la formazione dei neo-chirurghi avviene direttamente sul campo, attraverso l'utilizzo di prototipi che riproducono organi umani realizzati interamente con l'ausilio delle stampanti 3D. Realizzare modelli di fratture ossee e lesioni, anche in rapporto 1:1, per una più accurata valutazione del quadro clinico e tutori traspiranti al posto del gesso sono solo alcune delle altre soluzioni che la stampa tridimensionale vuole mettere al servizio di medici.

Oggi è possibile riprodurre in ogni momento il "pezzo di ricambio" per sostituire la parte danneggiata o mancante, prassi impossibile nella medicina chirurgica. La stampa tridimensionale, infatti, permette di realizzare i prototipi di organi con tessuti dalla consistenza molto simili all'originale, riuscendo a ricreare anche masse tumorali così da permettere ai medici di analizzare fino in fondo come penetrare nei tessuti per rimuovere il male.

Con le nuove tecniche di scansione è possibile pensare alla produzione di dispositivi medici su misura, in particolare tutori anatomici e protesi, che i pazienti possono personalizzare nell'estetica, nelle funzionalità e persino nelle prestazioni



Figura 3.13 Tutore anatomico per polso, progettato su misura per il paziente

terapeutiche, con l'ulteriore aspetto riguardante il rapporto medico-paziente, in cui il secondo, osservando concretamente il trauma subito, comprende meglio la condizione di salute e aderisce con maggiore convinzione al trattamento proposto dal primo.

Un esempio è il primo orecchio bionico messo a punto all'Università di Princeton, dove si sono concentrati sia sulla forma sia sulla funzione: nella speciale stampante sono state inserite cellule bovine che hanno riprodotto una forma realistica e poi sono stati aggiunti

strati di cartilagine e una minuscola antenna capace di riprodurre i suoni meglio di un orecchio umano. Altro esempio viene dall'Istituto di Medicina Rigenerativa della Wake Forest University (Nord Carolina, USA) dove si stampa pelle direttamente sulle ustioni grazie ad un dispositivo dotato di un sistema di scansione che identifica l'estensione e la profondità della ferita e determina il numero di strati di cellule che dovranno essere depositate per ripristinare il tessuto danneggiato.

Al Jikei University Hospital di Tokio hanno introdotto un programma per studenti che utilizza reni iperrealistici prodotti dalla Fasotec, organi 'umidi', che si comportano come quelli reali in termini di consistenza e in grado di sanguinare, per rendere la simulazione di un intervento il più aderente possibile alla realtà. Non solo, gli ingegneri giapponesi hanno creato organi malati, in cui sono inseriti dei tumori, in modo che lo studente impari le più raffinate tecniche di asportazione chirurgica in quello che chiamano *biotexture training system*. Un bel progresso, in assenza di cadaveri donati alla scienza, perché per fare pratica con interventi complessi è meglio testare “sui veri pazienti”. Alla Fasotec si stampano anche riproduzioni perfette di feti in gravidanza a richiesta delle gestanti. Un modellino in resina di circa 9 cm, incastonato in un blocco di materiale trasparente perfettamente identico all'originale la cui immagine viene catturata con una fedelissima risonanza magnetica.

Il governo americano ha già finanziato un progetto chiamato "Body on a chip" per produrre campioni di tessuto

non solo per uso clinico ma anche per usarli nella sperimentazione dei farmaci, mettendo fine all'uso di animali. I campioni di tessuto riprodotti vengono posti su un microchip e mantenuti "vitali" con un sostituto del sangue per poi essere messi in contatto con i farmaci da sperimentare e valutarne le reazioni.

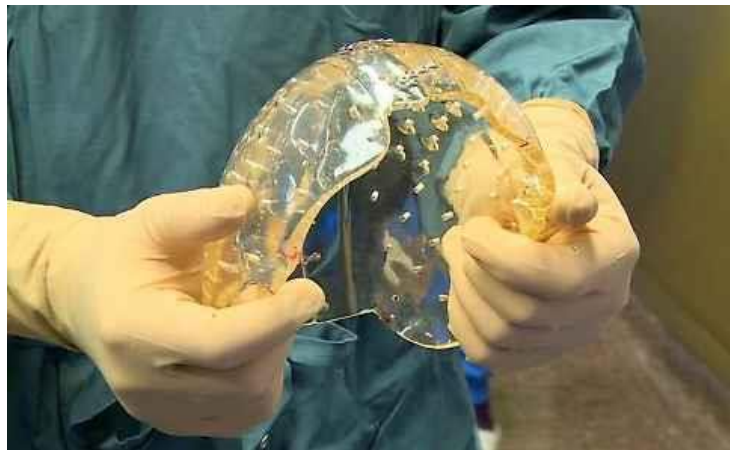


Figura 3.14 Sezione del cranio di plastica utilizzato durante l'operazione eseguita da Bon Vewejj

Un intervento famoso è stato eseguito nel marzo 2014 presso l'Alo University Medical Centre di Utrecht. Per la prima volta al mondo una ragazza di ventidue anni è stata

sottoposta a impianto di un cranio artificiale, o teschio di plastica, che è andato a sostituire quello gravemente lesionato da una grave e rara malattia che aveva aumentato da 1,5 a 5 centimetri lo spessore del cranio, provocando numerose emicranie, seri disturbi alla vista e una previsione di aspettanza di vita molto bassa, a pochi anni. L'intervento, durato circa 23 ore, è stato eseguito dal neurochirurgo Bon Vewejj, con una protesi su misura, costruita con stampante 3D, per la giovane ragazza, utilizzando una particolare resina di plastica molto resistente e duratura. Dopo la difficile operazione, la paziente ha recuperato interamente la vista e non ha avuto alcun problema. A livello estetico è stato eseguito un lavoro perfetto, in pratica un impianto invisibile alle altre persone. Questa metodologia, utilizzata già in altri interventi ma con parti di cranio più piccole, apre un nuovo mondo nella medicina e nuove prospettive chirurgiche a favore di persone rimaste vittime di gravi incidenti o malattie.

La stampa 3D ha moltissimi impieghi anche in altri rami della medicina, a partire dall'odontoiatria. La stampa 3D trasferisce le efficienze della progettazione digitale alla fase di produzione. Coniugando scansione orale, progettazione CAD/CAM e stampa 3D, i laboratori odontoiatrici possono produrre in modo accurato e rapido corone, ponti, modelli dentali in porcellana e una vasta gamma di strumenti odontoiatrici.



Figura 3.15 Modello dentale in porcellana

Grazie al lavoro più impegnativo svolto da una stampante 3D, i laboratori odontoiatrici sono in grado di eliminare il collo di bottiglia rappresentato dalla modellazione manuale e di concentrarsi maggiormente sulla crescita dell'attività. Per coloro che attendono con impazienza il giorno in cui tutte le operazioni, dalla pianificazione alla ricostruzione finita, possono essere eseguite automaticamente in modo digitale, il futuro è già arrivato.

Secondo gli esperti del settore, la prospettiva è sicuramente vantaggiosa anche per il paziente, poiché è possibile ridurre le lunghe liste d'attesa delle migliaia d'interventi chirurgici, tallone d'Achille della sanità italiana.

Insomma accanto ai bisturi, in corsia, non sarebbe improbabile vedere un giorno comparire anche le stampanti 3D, pronte a fornire pezzi di ricambio ad hoc e modelli di

studio, per sviluppare una migliore comprensione dei rapporti anatomici e imparare a pianificare con cura accessi e spazi di manovra. Di pari passo potrebbero sorgere nuove figure professionali, con profili ibridi, anch'essi modellati con cura a metà tra quello puramente scientifico e quello invece più tecnico-pratico.

3.1.11 Robotica

Con la stampa 3d e un po' di competenze tecniche si può arrivare a costruire un autentico Robot. L'inventore è il francese Gael Langevin che ha stampato la testa, le spalle, le braccia e le mani. Per il tronco del corpo ha utilizzato un manico di scopa e la base di una sedia da scrivania che fungono da stand per il progetto. Il Robot "InMoov" è capace di compiere vari movimenti con le braccia e con le mani: può afferrare una palla e passarla da una mano all'altra. Può sollevare le braccia sopra la testa o allargarle. Il progetto è open source, così tutti i suoi file sono disponibili per il download gratuito.



Figura 3.16 Il robot "InMoov" realizzato da Gael Langevin

Un altro esempio è tutto italiano. Alcuni studenti dell'Istituto di Istruzione Superiore "I. Newton" di

Camposampiero (PD), hanno realizzato una mano robotica a controllo remoto usando una stampante 3D della serie Cube. Dopo aver modellato in digitale tutti i componenti, questi sono stati stampati senza particolari difficoltà. Per quanto riguarda la robotica, la mano usa una scheda Arduino come cervello e una serie di micro motori elettrici. Sul guanto in seta sono stati posti degli estensimetri elettrici, cioè degli strumenti di misura utilizzati per rilevare piccole deformazioni dimensionali di un corpo sottoposto a sollecitazioni meccaniche. Muovendo le varie falangi e il polso, la mano robotica è in grado di compiere una stretta forte abbastanza da afferrare una palla da tennis.

Se consideriamo una stampante 3D come una sorta di robot, teoricamente potrebbe essere essa stessa prodotta attraverso questa tecnica. Il progetto RepRap prevede proprio di rendere concreta questa teoria. RepRap, abbreviazione di Replicating Rapid-prototyper, free desktop 3D printer è una stampante, collegabile a un normale computer, in grado di stampare oggetti tridimensionali, ma soprattutto di replicare la maggior parte

degli elementi necessari a costruire un'altra stampante 3D. È, in pratica, una macchina in grado di replicarsi. Il team sviluppa e distribuisce gratuitamente i progetti e tutte le informazioni a chiunque sotto la licenza GNU General Public Licence (acronimo ricorsivo di "GNU's Not Unix"), seguendo cioè i principi del movimento Free Software, per realizzare la macchina RepRap. In questo modo può essere disponibile per comunità o per individui, sia nei paesi in via di sviluppo che nei paesi più sviluppati. Il Progetto RepRap ha dato inizio alla rivoluzione delle stampanti 3D open source. Inoltre è, attualmente, la stampante 3D più usata tra i makers, essendo anche tra le più economiche.

3.1.12 Automotive

Stampa 3D e industria automobilistica sono ormai da tempo promessi sposi, ma al di là dell'utilizzo di questa tecnologia per la produzione di alcuni componenti (soprattutto in fase di prototipazione) o per la creazione di progetti dimostrativi difficilmente "stampabili in serie" a prezzi che il mercato accetterebbe, questo matrimonio d'interesse non sembra ancora vicino. Eppure la tecnologia della manifattura additiva ha tutte le potenzialità per risollevarle le sorti di un'industria che dell'innovazione ha fatto da sempre la propria bandiera, ma che da anni in molte parti del mondo soffre di un'enorme pressione competitiva che spinge in basso i fatturati. Qualcosa in questo senso si sta assolutamente muovendo.

Facendo l'esempio italiano, marchi come Ferrari e Lamborghini sono all'avanguardia anche in questo campo, sfruttando al massimo varie collaborazioni con quelle aziende del settore della stampa 3D che più di altre hanno saputo cogliere le sfide e comprendere le opportunità offerte dall'industria automotive, ad esempio Stratasys. I due storici brand italiani conosciuti in tutto il mondo fanno largo uso di tecnologie all'avanguardia nel campo della manifattura additiva, come ad esempio la stampa di parti in metallo. Non è un caso che a tracciare la strada siano due aziende come Ferrari e Lamborghini: produzione di grandi volumi e contenimento dei costi sono due limiti che chi produce auto di lusso non ha, o quantomeno non sono pressanti obblighi ai quali ottemperare.

Questo è anche il motivo per il quale la stampa 3D sta facendo capolino anche nel mondo delle corse: già nel 2012 il team Australian V8 Supercar di Nissan Motorsports si rese conto a stagione in corso di dover apportare delle rilevanti modifiche sia al

sistema di raffreddamento per il pilota che all'aerodinamica della parte posteriore della vettura. La risposta in quel caso fu quasi obbligata: stampa 3D. Grazie alla collaborazione con Evok3D, gli ingegneri del team riuscirono a passare dalla progettazione all'avere fisicamente in mano i nuovi componenti nel giro di poche settimane, in tempo per poterli sfruttare nelle successive gare della stagione. Oltre a vetture di lusso e auto sportive, la stampa 3D ha tutte le potenzialità per imporsi anche nel settore della produzione in grandi volumi, grazie a tecnologie come la fusione laser selettiva.

Anche in questo settore la possibilità di non avere limitazioni dal punto di vista delle forme e delle strutture, che sono invece tipiche dei tradizionali metodi di produzione, è fondamentale. Altro indubbio vantaggio è la possibilità di ottenere leghe efficienti per lo



Figura 3.17 “Swim/Sport”, modello della Local Motors i cui componenti sono stati realizzati con stampanti 3D

scopo desiderato, "sperimentando" la combinazione di materiali con proprietà differenti come titanio, alluminio, nickel, acciaio. I metodi tradizionali difficilmente permettono una tale flessibilità nello sviluppo, e se lo fanno questo accade con costi che rendono l'intero procedimento anti-economico.

E proprio l'aspetto dei costi è quello che dovrebbe maggiormente ingelosire i produttori di automobili: la stampa 3D tramite fusione di metalli permette di realizzare componenti con un risparmio di energia e materiali notevole rispetto ai comuni metodi di produzione. Se a questo aggiungiamo la possibilità di accorciare notevolmente il tempo necessario per passare dalla progettazione alla realizzazione del prodotto finito è evidente come la stampa 3D possa essere la "terra promessa" dell'industria automotive, e non solo.

Oltre all'utilizzo nelle varie fasi di design, progettazione e prototipazione, la stampa 3D ha permesso a designer e responsabili di realizzare alcuni componenti della nuova Alfa Giulia, presentata al grande pubblico al 66esimo Salone di Francoforte. Grazie a questa innovativa tecnologia, infatti, è possibile valutare e testare in tempi rapidi, impensabili fino a pochi anni fa, varie soluzioni di progetto e offrire al cliente prodotti sempre più

all'avanguardia, dove l'unico limite è la fantasia del progettista. I vantaggi non riguardano soltanto tempistiche e qualità, ma hanno interessanti sviluppi anche sul fronte della sostenibilità. L'uso della stampa 3D riduce notevolmente l'impatto ambientale con la riduzione di materia prima e la diminuzione delle emissioni di Co2.

Non solo i nuovi modelli di automobili potranno godere dei vantaggi della stampa 3D. Il fascino delle auto d'epoca è senza tempo, cosa che purtroppo non si può dire per i pezzi che le compongono. Datati e usurati dal tempo, una volta che danneggiati, per quanto piccoli o apparentemente ininfluenti, rischiano di mettere KO l'intero veicolo, impedendone la circolazione. Sostituirli non è semplice come per le auto di oggi, molti sono ormai fuori produzione o, se fabbricati su misura, difficili da replicare oltre che in grado di raggiungere cifre esorbitanti.

Esiste un progetto, finanziato dalla neonata partnership tra Associazione Industriale Bresciana e 1000 Miglia S.r.l., chiamato "MUSP Garages", presentato da tre giovani talenti: Stefano Tirelli, Elio Chiappini e Serena Costa. Il loro progetto si rivolge a collezionisti, amatori e restauratori di auto e moto d'epoca e riguarda l'avvio di un'attività manifatturiera destinata alla produzione di ricambi per auto d'epoca. Operazioni e studi di reverse engineering delle parti da sostituire permetteranno di realizzare modelli tridimensionali in cera (o materiale plastico a bassa temperatura di fusione) destinati alla micro fonderia, ottenendo così componenti meccanici molto personalizzati e di forma complessa, che, attualmente, non sono più disponibili nei cataloghi dei produttori.

Se la risposta a tutti i problemi pratici è la stampa 3D, per quelli concettuali bisogna invece ricorrere al reverse engineering, che per ritracciarne la corretta geometria di un pezzo usurato, di cui difficilmente avremo il disegno. Ci si affida allo scanner 3D o comunque a ricostruzioni in ambiente virtuale.

E proprio il mercato dei pezzi di ricambio sembra trovare giovamento da questa nuova possibilità di produzione. Un'azienda americana leader nel restauro di auto d'epoca, Motion Products Inc. del Wisconsin, ha un intero team che si occupa delle riproduzioni 3D e utilizza già questo sistema innovativo per realizzare alcune parti introvabili delle vecchie auto.

Altro esempio di azienda dedita al restauro è l'Emory Motorsports che ha restaurato auto da corsa Porsche. Queste auto, per la loro combinazione di componenti di design e meccanica, sono pezzi unici. A causa delle sempre maggiori richieste e la sempre

maggiore precisione necessaria per i processi di produzione, il team creativo di Rod Emory ha avuto bisogno di unire alle tecniche di fabbricazione del vecchio mondo i più recenti strumenti 3D.

3.1.13 Sport

La stampante 3D debutta in ambito sportivo e lo fa con lo snowboard. La maggior parte delle tavole da snowboard sono realizzate in legno, resina e altri materiali plastici.

Utilizzando la nuova tecnologia della stampante 3d, lo studio americano Signal ha realizzato uno snowboard con materiali a base di polvere di carbone. Cambiando scenario, le tavole da surf fabbricate su misura, per decenni sono state costruite con materiale espanso con il bordo plasmato manualmente



Figura 3.18 Tavola da surf stampata dal surfista australiano Gary Elphick

fino a ottenere la forma desiderata. Oggi, l'imprenditore e surfista australiano, Gary

Elphick ha lanciato un'azienda Disrupt Surfboards che permette ai navigatori di plasmare il proprio surf utilizzando strumenti online. Per creare il bordo della tavola, il cliente determina semplicemente i dettagli di ciò che vuole ottenere con la progettazione della tavola da surf e la società lo trasforma in un modello 3D. Una volta che tutte le decisioni di progettazione sono state determinate, il file finale viene caricato in una macchina da sagomatura con cui viene tagliato, rinforzato in fibra e verniciato. Mentre il marchio ha sede in Australia, un recente viaggio in California ha ispirato Elphick a espandere ulteriormente la sua attività a San Francisco, dove molti lavoratori impegnati nella tecnologia amano fuggire sulle spiagge vicine a surfare nei fine settimana. La scelta sembra quanto mai azzeccata poiché San Francisco e la valle circostante sono sicuramente tra i luoghi migliori per gli imprenditori che lavorano nella tecnologia.

A novembre scorso New Balance ha annunciato di aver sviluppato una scarpa la cui intersuola può essere creata e personalizzata tramite stampa 3D, in collaborazione con la specialista americana 3D Systems. L'intersuola è la parte di scarpa posta fra la suola, che tocca il terreno, e la parte superiore della scarpa, cioè quella a contatto col piede. Si tratterà di un'edizione limitata di scarpe per il running. Nel 2013 New Balance aveva

già fatto correre uno dei suoi atleti, Jack Bolas, con scarpe i cui chiodi erano stati personalizzati con stampanti 3D.

New Balance non è il solo grande nome degli articoli sportivi ad aver investito nella scarpa 3D, anche se è stato il primo a oltrepassare la fase di sperimentazione e a lanciarla sul mercato. Adidas ha un suo prototipo denominato Futurecraft 3D, presentato a ottobre 2015. Il prototipo è stato sviluppato tramite una collaborazione open source con Materialise, azienda belga specializzata nelle tecnologie di stampa 3D. Anche in questo caso la stampa 3D riguarda l'intersuola, che nell'idea del prototipo dovrebbe essere stampata su misura dopo una breve corsetta del cliente su un tapis roulant in negozio, corsetta durante la quale verrebbero raccolti i dati del piede da trasmettere poi alla stampante. Secondo Adidas, ogni cliente in questo modo potrebbe ottenere una sua intersuola, e quindi scarpa, personalizzata a tal punto da conformarsi ai punti di pressione precisi del piede durante la corsa e al contorno specifico del suo piede.

Anche Nike immagina che in un futuro prossimo le sneakers potranno essere stampate direttamente dai consumers, o che il cliente potrà recarsi in un negozio con un file e chiedere di stamparle. Il cliente potrà personalizzare la scarpa on-line andando sul sito Nike e, dopo aver acquistato da Nike un file con le istruzioni, ne definirà direttamente la misura esatta, il colore e lo stile. Con il file potrà poi andare in negozio per stampare la scarpa, o farlo direttamente



Figura 3.19 Dettagli della scarpa da calcio “Vapor HyperAgility Cleat” realizzata da Nike attraverso la stampa 3D.

a casa, se dispone di una stampante 3D. Nike utilizza già un principio analogo per la Flyknit, in cui la parte superiore della scarpa viene creata con una macchina da maglieria, come se fosse un maglione per il piede, a partire da un file. Discorso diverso per le scarpe da calcio che sono già state stampate. In occasione dei mondiali in Brasile 2014, inoltre, Nike ha prodotto in edizione limitata una borsa da calcio e i parastinchi Mercurial FlyLite Guar, che grazie alla tecnologia 3D possiedono una particolare struttura, in grado di garantire un assorbimento degli impatti efficacissimo, nemmeno paragonabile a quelli oggi in circolazione. Nike considera il 3D tanto importante da aver

deciso di svilupparlo in-house. L'azienda di Beaverton ha, infatti, annunciato il 14 ottobre 2015, in occasione del Nike Investor Day, il progetto di costruzione dell'Advanced Product Creation Center, un hub sull'innovazione di circa 38.000 mq., presso la sua sede, che sarà la casa delle sue tecnologie di design e di produzione più avanzate, compresa la stampa 3D. Restano però le difficoltà legate al know-how tecnologico. Fra opzioni di calibrazione, impostazioni del software, impostazioni di stampa, estrusori intasati e altro, far funzionare una stampante 3D non è cosa per tutti. Una volta superate le difficoltà, il 3D nell'articolo sportivo potrebbe avere un ruolo importante, con importanti ripercussioni, e l'investimento di Nike in un suo proprio hub tecnologico lo testimonia.

Parlando di wearables, sistemi estremamente portatili, in grado di camuffarsi tra gli indumenti accompagnando con funzionalità smart gli esercizi fisici, di grande importanza il prodotto presentato da Reebok: il sistema di sicurezza Checklight, un dispositivo indossabile in grado di rilevare la gravità di una lesione alla testa in tempo reale. Tra i rischi che gli atleti si contendono su base giornaliera, spiccano, infatti, al primo posto i traumi cerebrali che possono a volte rivelarsi debilitanti se non addirittura



Figura 3.20 Il sistema di sicurezza Checklight elaborato da Reebok

mortali. Con la realizzazione di questo prodotto, si aprono le porte allo sviluppo di una nuova gamma di soluzioni per controllare le condizioni fisiologiche seguite a urti della testa durante le attività atletiche, fungendo da ausilio per prevenire e intervenire in caso di incidenti sportivi. Il dispositivo, già vincitore dell'International Design Award unendo praticità e utilità, è costituito da una cuffia sensorizzata indossabile sotto i normali caschi di protezione. I sensori posizionati all'interno registrano le accelerazioni cui è sottoposta la testa segnalando attraverso degli indicatori luminosi di diverso colore la forza dell'impatto. La stampa 3D ha aiutato nella progettazione del prodotto finale, ma anche nella realizzazione di modelli personalizzati per verificarne l'adattamento alla fisiologia umana. Non è difficile pensare all'applicazione di questo dispositivo anche in

ambiti diversi da quello prettamente agonistico, basti pensare semplicemente ad attività comuni come andare in moto o in bicicletta.

Che la stampa 3D sia sinonimo di personalizzazione è cosa nota. E dunque non stupisce che essa trovi sempre più applicazione nel mondo dei giochi come ad esempio il “classico” calcio balilla. Gioco amatissimo qui in Italia, ma l’idea di personalizzarlo con la stampa 3D è venuta ad alcuni makers di Shangai e Hong Kong. L’idea è tanto semplice quanto geniale; scannerizzare i volti di persone reali e stamparli in 3D, per poi applicarle sui corpi dei calciatori. In futuro potremmo magari utilizzare il volto di alcuni campioni famosi. Volendo esagerare, tutto il giocatore può essere stampato in 3D, senza limitarsi a personalizzare solo la testa.

L’ultima frontiera attraversata dalla stampa 3D nello sport è stata la creazione di un pallone da gioco. In occasione del XLIX Superbowl, Stratasys 3D ha stampato con metodo Polyjet multimateriale il primo pallone da football. Ha miscelato diversi materiali per creare la cucitura e la struttura. Per dare una sensazione più realistica al tatto la, è stata realizzata una superficie esterna leggermente rialzata in alcuni punti. Il risultato finale pesa come un ovale regolamentare. Non è ancora chiaro se questo potrebbe mai diventare un metodo per produrre veri palloni per le partite ufficiali. Una cosa, però, è certa: non ci sarebbero più polemiche come quelle avvenute dopo la semifinale del Superbowl 2015, dove i palloni si sono “magicamente” sgonfiati da soli durante la pausa della partita.

3.1.14 Armamenti

Anche il settore delle armi è stato investito dalla tecnologia additiva. Per gli esperti del settore c’è un nome che risalta su tutti: Liberator. Cody Wilson, fondatore della Defense Distributed, non solo ha ricevuto il via libera per produrre armi ma con Liberator ha dimostrato che funzionano pure, il primo colpo,



Figura 3.21 Liberator

infatti, è andato a segno senza il minimo intoppo. Liberator, battezzato in onore di un modello prodotto negli Stati Uniti durante la Seconda Guerra Mondiale per la resistenza francese, si differenzia dall’originale perché è riunito da quindici elementi di plastica. È quindi una pistola funzionante e letale che spara un solo colpo, ma che tutti possono

tranquillamente costruirsi a casa, senza grandi conoscenze tecniche poiché chiunque avrebbe potuto scaricare dal sito di DEFCAD.org il modello CAD dell'arma. Il governo degli Stati Uniti ha, infatti, fatto rimuovere dal sito di Defense Distributed i file per programmare la stampante 3D, per evitare una massiccia autoproduzione. Nel frattempo, però, erano già state scaricate 100.000 copie delle istruzioni e tuttora il modello è rintracciabile navigando in internet.

In Europa la produzione di armi con stampanti 3D è vietata da una direttiva dell'Unione Europea, ma la sfida consiste nel trovare modi per rendere effettivo il bando. A mostrare preoccupazione è soprattutto il ministero degli Interni austriaco, che nei mesi scorsi ha condotto un'indagine per verificare se le armi stampate possono o meno essere letali. L'esito del test, condotto su un blocco di gelatina simile per densità a un corpo umano, è affermativo: i quattro proiettili da nove millimetri sparati contro il target con una pistola stampata in 3D erano penetrati sufficientemente in profondità da far catalogare la pistola come "arma mortale". Altre autorità, dalla Germania alla Danimarca, stanno facendo le loro verifiche. L'obiettivo è quello di arrivare sufficientemente preparati per il momento in cui le stampanti 3D saranno sempre più economiche, e le istruzioni per fabbricare questo genere di armi sempre più facili da trovare. Il timore è che l'intero processo possa diventare sempre più un gioco da ragazzi. Uno dei problemi principali è quello che le armi prodotte in plastica passano indisturbate a molti controlli dei metal detector, "il sogno di tutti i terroristi e i criminali di tutto il mondo". A prova di questo, ci sono le testimonianze di due giornalisti del Mail On Sunday che sono riusciti a fare un intero viaggio indisturbati a bordo di un Eurostar gremito di passeggeri da Londra a Parigi e di un reporter del network televisivo israeliano Channel 10, che è riuscito a introdurre una pistola stampata in 3D all'interno del Parlamento di Israele, proprio mentre il presidente Benjamin Netanyahu stava tenendo un discorso.

Oggi i modelli a disposizione sono aumentati a dismisura. C'è un sito in particolare, FossCAD.org che ne ospita diversi, inclusi fucili e mitraglie, pronti per essere stampati e testati, come la «Pentagun», pistola a cinque bocche. Il sito declina ogni responsabilità, tutto è per scopi meramente educativi e, comunque, in molti paesi per poter possedere un'arma servirebbe un porto d'armi.

Come per qualsiasi arma forgiata in modo tradizionale, il rischio di eventi negativi è alto, ma la colpa non può essere della tecnologia, né dello strumento in sé, resta di chi lo impugna.

3.1.15 Uso domestico

Ci sono stati vari sforzi per sviluppare stampanti 3D adatte all'uso domestico, e per rendere questa tecnologia disponibile a prezzi accessibili a molti utenti finali individuali. Molto di questo lavoro è stato guidato da e focalizzato su comunità di utenti fai da te, entusiasti, precoci, con legami con il mondo accademico.

Per capire cosa si possa fare con questo dispositivo, basta collegarsi al sito Thingiverse.com che permette di scaricare gratuitamente quasi 30.000 diversi oggetti e progetti, pronti per essere stampati, oppure prima modificati e poi creati in casa. Questi modelli sono le idee di migliaia di utenti che, dopo aver sperimentato una stampante 3D, si sono lanciati nel processo creativo di modellazione. Le categorie sono le più disparate e si inizia con le parti per assemblare un orologio meccanico da parete, fino ad arrivare a vasi artistici con cui decorare casa, passando da complessi supporti per macchine fotografiche e smartphone, senza dimenticare le forme per tagliare i biscotti di pasta frolla, pupazzi snodati per i più piccoli o le riproduzioni di statue e sculture provenienti da importanti musei internazionali.

Capitolo 4

Costi e benefici della tecnologia

Introduzione

La scelta della stampante 3D da acquistare e utilizzare è fondamentale per l'azienda che decide di entrare in questo campo. Diverse sono le cose da considerare: le caratteristiche tecniche della stampante, la capacità di utilizzo di tale e il rapporto costi/benefici conseguenti l'investimento. In questo capitolo verranno analizzati inizialmente chi sono i produttori delle stampanti 3D nel mondo e successivamente quali quelli in Italia, valutando i costi delle varie stampanti e le tecniche che utilizzano. Si passerà poi all'analisi del mercato dando una valutazione riguardante i benefici stimati e realmente sentiti dalle aziende. Verrà infine effettuato un focus sulle criticità relative alla non ancora elevata diffusione di tale tecnologia.

4.1 I maggiori paesi produttori della tecnologia

Si dia, inizialmente, una visione geografica dei produttori.

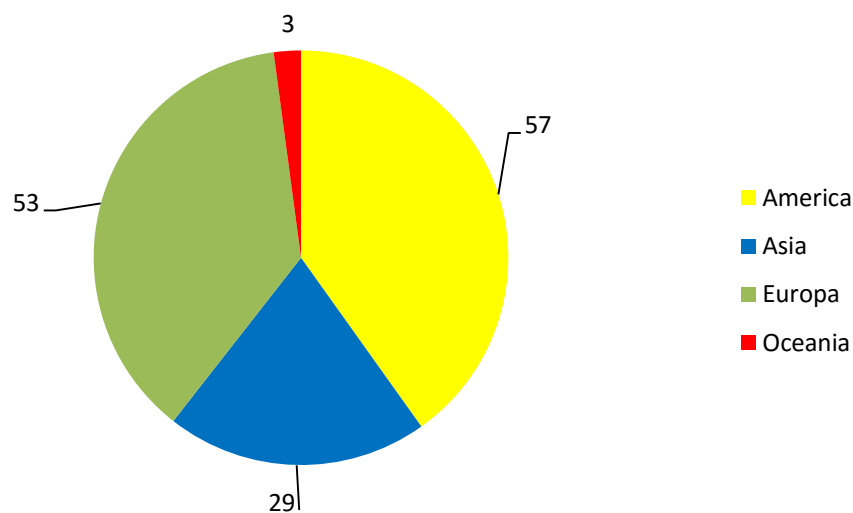


Figura 4.1 Distribuzione geografica dei produttori per continenti

Come si può notare, i produttori sono distribuiti un po' in tutto il mondo tranne che in Africa. L'America è oggi il continente che presenta più produttori al mondo, circa il 40%, seguono l'Europa con il 37.3%, l'Asia con il 20.4% e, appena affacciata alla nuova tecnologia, l'Oceania con il 2.1%. Prendiamo in considerazione solo i produttori e non il numero di stampanti prodotte, quindi il mercato potrebbe non seguire fedelmente questi dati.

L'America e l'Europa hanno un elevato numero di produttori perché quando è nato il 3D printing, negli anni ottanta, paesi come gli Stati Uniti, la Spagna, la Francia, la Germania e l'Italia erano le nazioni economicamente più forti e quindi erano incentivati a investire in ricerca e sviluppo.

Nel grafico a torta seguente si può osservare la percentuale di produttori di stampanti 3D presenti in uno stato, in modo da capire quali Stati sono più attivi nel 3D Printing.

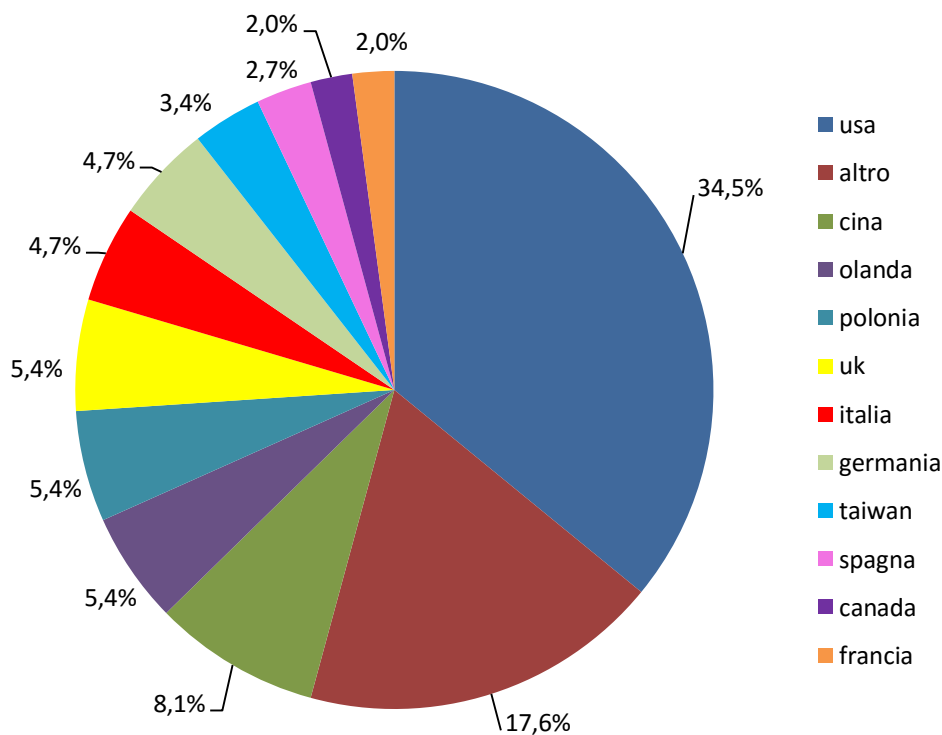


Figura 4.2 I principali paesi produttori di stampanti 3D

Si nota che gli USA riportano il numero più alto di case produttrici, il 34.5% del totale. Negli Stati Uniti, infatti, è presente il maggior numero di centri di ricerca e sviluppo a livello mondiale ed è qui che molte tecniche di produzione di stampa 3D sono state create. All'inizio degli anni ottanta gli USA furono i primi a testare lo sviluppo e la

commercializzazione dei sistemi di manifattura additiva. Tutt'oggi si riscontra che gli USA sono avanti per quanto riguarda le innovazioni tecniche, i materiali e le applicazioni manifatturiere della produzione additiva. Il distacco con gli altri paesi è elevato, che registrano percentuali notevolmente più basse.

In seconda posizione troviamo la Cina che, con lo sviluppo tecnologico ed economico degli ultimi anni, ha incrementato il numero dei produttori arrivando all'8.1%.

Seguono Olanda, Regno Unito e Polonia con il 5,4%, la Germania con il 4.7% Taiwan con il 3.4%, Spagna con il 2.7% e Canada e Francia con il 2%. In altro sono stati raggruppati tutti gli stati sotto il 2%, che sono Australia, Israele, Giappone, Korea, Argentina, Malesia, Ungheria, India, Nuova Zelanda, Brasile, Belgio, Libano, Finlandia, Repubblica Ceca, Portogallo, Cipro, Svizzera e Danimarca.

L'Italia è situata circa a metà classifica, al pari della Germania con il 4.7% con ben sette case produttrici di stampanti 3D. In Italia i fondi per la ricerca e lo sviluppo sono forniti dalla spesa pubblica, anche se occupano solo circa lo 0.2% della spesa. Nonostante questo, la presenza di imprese impegnate in settori tecnologicamente avanzati e all'avanguardia come quello delle stampanti 3D, è un segno positivo per la cultura e la ricerca italiana.

4.2 Il prezzo

In questo paragrafo viene effettuato un confronto tra i prezzi delle stampanti 3D. Sull'asse verticale sono presenti tutti gli stati in cui è presente almeno un produttore. Sull'asse orizzontale sono riportati invece gli intervalli di prezzo. All'interno della cella sono presenti i nomi delle aziende produttrici (e non il modello della macchina) e il tipo di tecnica produttiva relativa.

Prezzo	< 400	401-600	601-800	801-1000	1001-1200
Stato					
USA	LIX (FFF) New Matter (FFF) Cobblebot (FFF) M3D (FFF) Printrbot (FFF)	Invent Apart (FFF) Plastic Scribbler (FFF) Makerfarm (FFF) Eventorbot (FFF) Solidoodle (FFF) Printrbot (FFF)	Blue Eagle Labs (FFF) Zion3D (FFF) NWRepRap (FFF) ZeGo (FFF) Invent Apart (FFF) Solidoodle (FFF) MOTA (FFF) Robo 3D (FFF)	Deezmaker (FFF) 3D Botic (FFF) Solidoodle (FFF) mUve 3D LLC (DLP) 3D Systems (FFF) SeeMeCNC (FFF)	mUve 3D LLC (SLA) 3D Systems (PJP) 3D Systems (FFF)
China		Weistel (FFF) Mbot-3D (FFF)	Mostfun (FFF) Flashforge (FFF) Mbot-3D (FFF)	PP3DP (FFF) Flashforge (FFF) QSQM Corporation (DLP) Mbot-3D (FFF)	Weistel (FFF) Dreammaker (FFF) Boots Industries (FFF)
Netherlands		Conrad (FFF)			MyMatics (FFF)
Italy		Store Open Electronics (FFF)			
Poland		Jelwek (FFF) GADGETS3D (FFF) Pirx (FFF)		Mojregrap (FFF)	
UK			RepRapPro (FFF)	Active 3D (FFF) RepRapPro (FFF)	
Canada				Eckertech (FFF) Tinkerine Studio (FFF)	Eckertech (FFF)
Germany			German RepRap GmbH (FFF) Reprapsource (FFF)	PEARL (FFF) German RepRap GmbH (FFF)	Reprapsource (FFF) Irapid (FFF)
Taiwan		XYZprinting (FFF)	XYZprinting (FFF)		Intelligent Machine Inc. (FFF)
Spain					
Singapore	Portabee (FFF)	Portabee (FFF)		Pirate 3D	
Australia			3D Stuffmaker (FFF)	Hardcotton (SLA)	
Japan					Hot Proceed Inc (FFF)
France		eMotionTech (FFF)			
Hungary			CraftUnique (FFF)		
South Korea			Stellamove (FFF)		
India			Makemendel (FFF)		
Korea			WillyBot Cafe (FFF)		

Tabella 2 Produttori di stampanti 3D nel mondo con prezzo da 0 € a 1200 €

Prezzo	1201-1400	1401-1600	1601-1800	1801-2000	2001-3000
Stato					
USA	Pryntech (SLA) SeeMeCNC (FFF) Deezmaker (FFF) Afinia (FFF) Piecemake (FFF) Printbot (FFF) 3D Systems (FFF)	3D Systems (PJP) Maker's Tool Works (FFF) Sedgwick (DLP)	Lulzbot (FFF) Makergear (FFF) Acuity Design (FFF)	Airwolf 3D (FFF) Kudo3D (DLP-SLA) Sasan Seyedi (FFF) Makerbot (FFF) Zion3D (FFF) Hyrel 3D (FFF)	Hyrel 3D (FFF) Lulzbot (FFF) Airwolf 3D (FFF) Isis3D (FFF) Hyrel 3D (FFF) AIO Robotics (FFF) 3D Systems (FFF) Type A Machines (FFF) Makerbot (FFF) B9Creations (DLP)
China			PP3DP (FFF) Makex (DLP - SLA)		Dreammaker (FFF) KAST (SLA)
Netherlands	Ultimaker (FFF) Felix Printers (FFF)	Mendel Parts (FFF)	Builder (FFF) Leapfrog (FFF)		Leapfrog (FFF) Ultimaker (FFF) MaukCC (FFF)
Italy	Sharebot (FFF)		Kentstrapper (FFF) Sharebot (FFF)	Sharebot (FFF) WASP Project (FFF)	Kentstrapper (FFF)
Poland	Mojregrap (FFF)			Zortrax (FFF) Omni3D (FFF)	Zmorph (FFF) Omni3D (FFF) CB-Printer (FFF)
UK	Sumpod (FFF)		IT IS 3D (FFF) York 3D Printers (FFF)		York 3D Printers (FFF)
Canada	Tinkerine Studio (FFF)	Tinkerine Studio (FFF)	ORD solutions Inc (FFF)	Tinkerine Studio (FFF)	ORD solutions Inc (FFF)
Germany			Fabbster (SDM)		
Taiwan				Atom 3dp (FFF)	Miicraft (SLA)
Spain	Natural Machines (FFF)			Stalactite (DLP)	3D Kits (FFF) Marcha technology (FFF)
Australia	3D Stuffmaker (FFF)				
Malaysia				Vagler (FFF)	Vagler (FFF)
Israel					Something3D (FFF)
France		Spiderbot (FFF)	Extru3D (FFF)	Spiderbot (FFF)	Extru3D (FFF)
Korea		ROKIT (FFF)			
New Zealand	MindKits (FFF)				
Brazil				Matemàquina	
Belgium				TripodMaker (FFF)	
Libano				Shark (FFF)	
Finland					MiniFactory (FFF)
Czech Republic					be3D (FFF)
Argentina					Kikai Labs (FFF)
Portugal					Beeverycreative (FFF)

Tabella 3 Produttori di stampanti 3D nel mondo con prezzo da 1201 € a 3000 €

Prezzo	3001-5000	5001-10000	>10001
Stato			
USA	Hyrel (FFF) Formlabs (SLA) InDimension3 (FFF) Makerbot (FFF) Fabicator (FFF) Airwolf 3D (FFF) Botobjects (FFF) Essential Dynamics (FFF) 3D Systems (SLA) Old World Laboratories (SLA) B9Creations (DLP) Mark Forged (FFF) Autodesk (SLA)	re.3d.org (FFF) InDimension3 (FFF) Asia (SS) Acuity Design (FFF) Makerbot (FFF) Mark Forged (FFF) SolidModel USA (Polyjet)	Stratasys (FFF) Stratasys (FDM) Solidscape (SCP) Piecemake (FFF)
China	Zbot (FFF) AOD (FFF)		
Netherlands	Builder (FFF) MaukCC (FFF)	Leapfrog (FFF)	
Italy	WASP Project (FFF) Robot Factory (FFF) 3ntr (FFF) DWS Lab (SLA)	WASP Project (FFF) Robot Factory (DLP)	
Poland	Omni3D (FFF)	Omni3D (FFF)	
UK	Choc Edge (FFF) IonCoreLtd (FFF)	Sumpod (FFF)	Mcor Technologies (SDL)
Canada		Eckertech (FFF)	
Germany	German RepRap GmbH (FFF)	Kuhling&Kuhling (FFF) German RepRap GmbH (FFF)	EnvisionTEC (DLP)
Taiwan	EZ 3D printers (FFF)		
Israel			Objet (Trilpe-jetting)
Japan			Matsuura Machinery (SLS)
Argentina	Trimaker (FFF)		
Portugal			
Cyprus	Ilios 3D Shop (SLA)		
Switzerland	Delta Tower (FFF)		
Denmark			Blue Printer (SHS)

Tabella 4 Produttori di stampanti 3D nel mondo con prezzo superiore di 3000 €

In Italia possiamo notare la presenza di diverse aziende produttrici di stampanti 3D, leader non solo del metodo FFF ma anche di altre tecniche. È presente inoltre nel mercato con prodotti che variano da poche centinaia di euro fino a decine di migliaia. Nel grafico seguente, è rappresentato il focus della gamma italiana.

	400 € - 600 €	1200 € - 1400 €	1600 € - 1800 €	1800 € - 2000 €	2001 € - 3000 €	3001 € - 5000 €	5000 € - 10000 €
FFF	- STORE OPEN ELECTRONICS	- SHAREBOT	- KENTSTRAPPER - SHAREBOT	- SHAREBOT - WASP PROJECT	- KENTSTRAPPER	- WASP PROJECT - ROBOT FACTORY - 3NTR	- WASP PROJECT
SLA						- DWS LAB	
DLP							- ROBOT FACTORY

Tabella 5 Focus sui produttori italiani

4.3 Il punto sul digital making italiano

Il primo rapporto sull'impatto delle tecnologie di produzione digitale sul sistema produttivo italiano è stato redatto da Make in Italy, una ONLUS la cui mission è quella di supportare i FabLabs italiani in ogni fase della loro vita, dalla creazione alla crescita. Questo documento è stato creato attraverso l'analisi di survey proposte alle società di capitali con ricavi superiori a un milione di euro nel 2013. L'universo di riferimento è costituito quindi da 42.096 imprese, poco più del 10% del totale delle imprese manifatturiere in Italia. Queste aziende sono sparse in modo disomogeneo sul territorio italiano, infatti, circa il 60% delle imprese risiedono al nord. Altra distinzione presente nell'elaborato è stata fatta tra intervalli di valore economico, da 1 a 10 milioni, da 10 a 50 e maggiore di 50. È interessante al fine di questo elaborato esaminare però i dati

aggregati. Nonostante siano disomogenei, i dati offrono comunque un quadro d'insieme della situazione attuale.

Le tecnologie digitali considerate sono quattro: 3D printing e scanning, robotica, macchine a controllo numerico (CNC) e taglio laser. L'impatto della diffusione delle tecnologie del digital manufacturing sui settori del Made in Italy è stato stimato in termini di valore della produzione e occupazione. La stima è stata calcolata su dati che si riferiscono al triennio 2012-2014.

Il grafico seguente riporta la situazione in Italia.

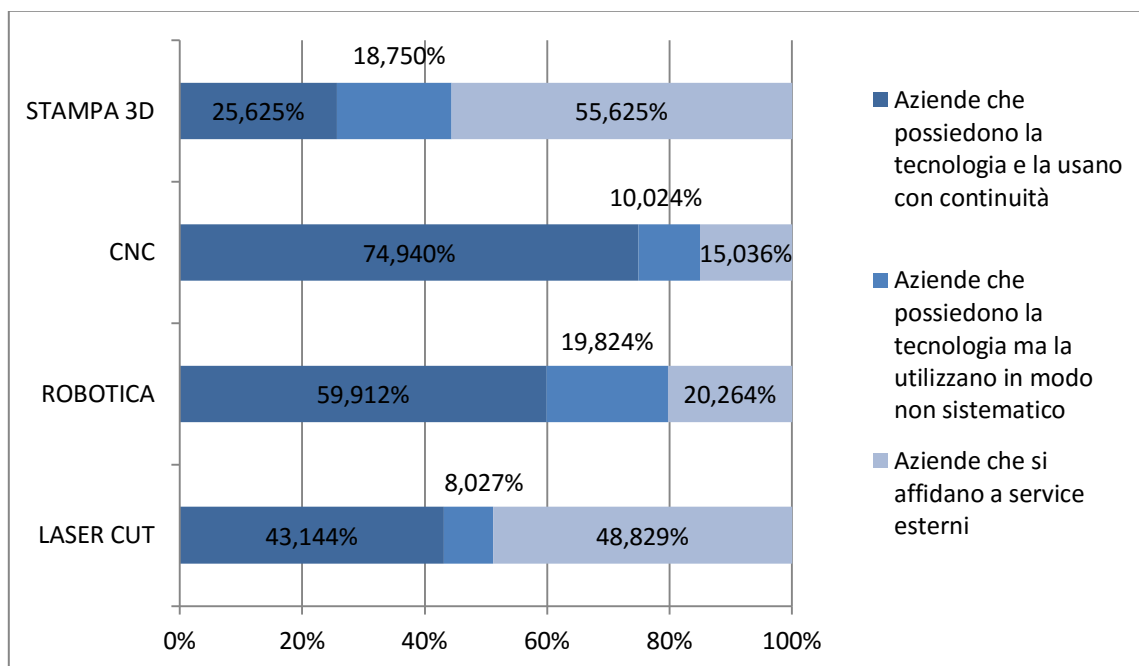


Figura 4.3 Utilizzo delle tecnologie utilizzate in Italia

Nelle analisi successive, il rapporto ha scelto di individuare il sottoinsieme delle aziende che hanno adottato almeno una soluzione tra la stampa 3d e la robotica e il sottoinsieme di chi ha adottato almeno uno tra laser e CNC. È opportuno prima fare qualche precisazione. Il 3d printing può essere considerato una tecnologia di recente introduzione per le aziende di piccole e medie dimensioni. La robotica, invece, è usata in Italia con una certa costanza dall'ultimo dopoguerra. Sarebbe stato opportuno che Make in Italy avesse messo a disposizione dati e grafici disaggregati per le due tecnologie perché i valori dei robot sono migliori rispetto a quelli ottenuti dalla stampa 3D. Considerando però che la robotica si è resa disponibile nelle piccole e medie

imprese in modo capillare, può sembrare una scelta giustificabile in un contesto più ampio l'aggregazione delle due diverse tipologie. I dati aggregati sono i seguenti:

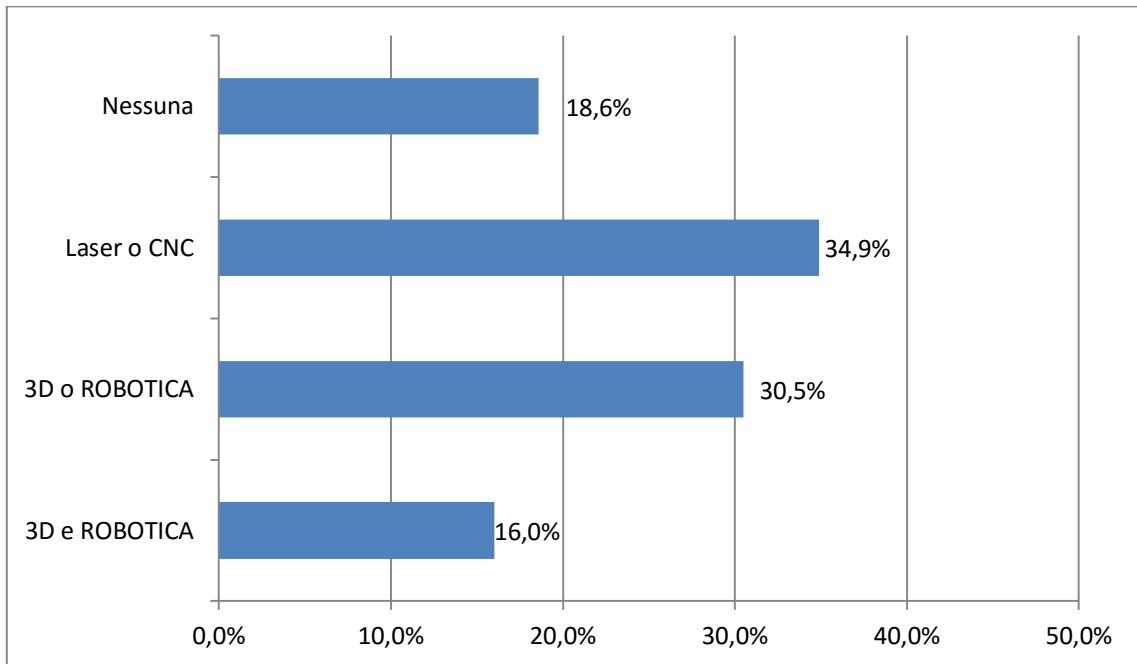


Figura 4.4 Confronto tra la percentuale di aziende che utilizza almeno una tra robotica e 3d Printing e le altre tecnologie

Si può notare che più della metà delle imprese italiane nel 2015 non si affida ad almeno una tra il 3d printing e la robotica. Le motivazioni per entrambe sono identiche e pure le percentuali non si discostano molto.

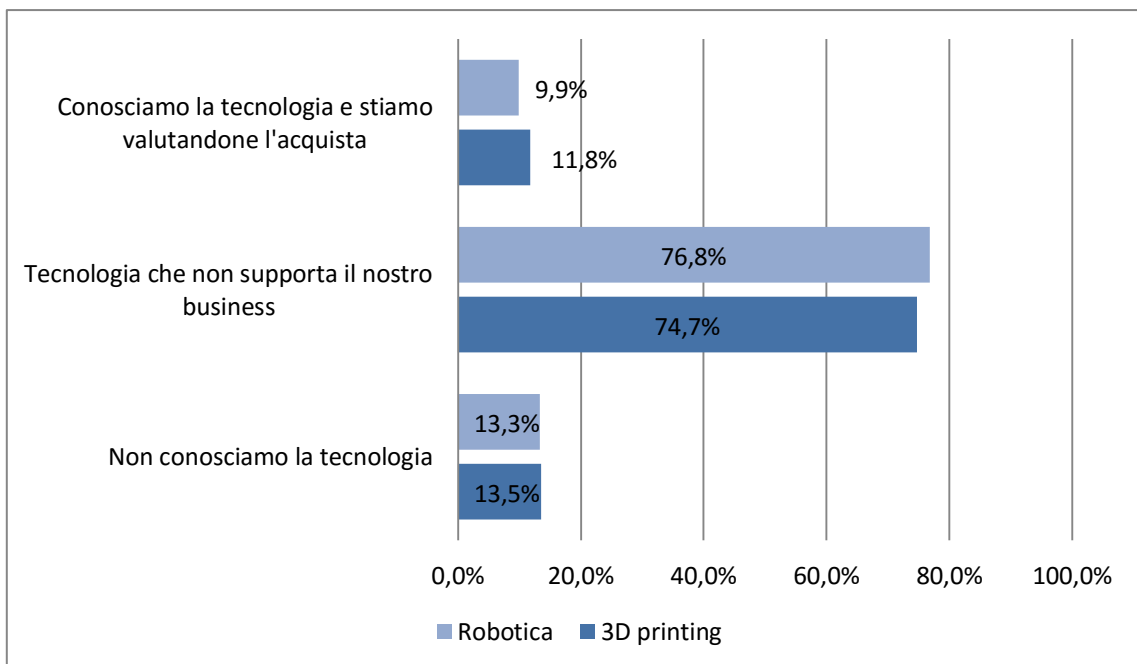


Figura 4.5 Le motivazioni che le aziende danno sul mancato utilizzo di 3d Printing o robotica

Possiamo notare come le aziende che non conoscano le tecnologie di cui sopra sono solo una piccola percentuale. La percentuale più “preoccupante” oggi è quella che descrive l’atteggiamento della maggior parte delle aziende italiane nei confronti dell’innovazione, cioè un forte senso di arretratezza e resistenza al cambiamento.

Altro punto fondamentale è la disaffezione del mercato italiano per l’e-commerce. Questo, nel confronto internazionale, è sconcertante, soprattutto per le principali motivazioni: il senso di inutilità dell’e-commerce, il pensiero che non porterebbe ad un incremento del fatturato e il senso di complessità nell’utilizzo. Il trend è però positivo. Nel corso del 2015 si è verificato un incremento del 20% di registrazioni da parte dei venditori italiani con fatturato pari o superiori a un milione di euro sul principale sito di e-commerce mondiale, eBay. Ovviamente non solo le fabbriche gioverebbero dell’e-commerce ma anche gli stessi FabLabs. Questi dovrebbero, infatti, diventare esperti di quest’approccio, individuando i prodotti ripetibili e vendibili in piccole serie da proporre nel contesto internazionale.

4.4 I benefici presenti del 3D Printing

Il 3D printing presenta caratteristiche completamente nuove, diverse dai processi produttivi già conosciuti. Nonostante lo si definisca erroneamente come un’innovazione incrementale delle stampanti 2D, la stampa 3D è in realtà un’innovazione di tipo radicale. Questa “rivoluzione” porta a una serie di benefici tangibili.

Una delle innovazioni principali riguarda la fase di processo. La tecnica di produzione di beni è cambiata radicalmente dai metodi tradizionali.

A partire da un file CAD, infatti, la manifattura additiva permette di realizzare pezzi unici o di piccola serie dove e quando lo si desidera, senza avere la necessità di eseguire complesse lavorazioni e di elaborare in modo preliminare i manufatti dedicati. Gli elementi prodotti possono essere personalizzati con caratteristiche specifiche e soluzioni su richiesta, frutto del fatto che è una tecnica ad alta flessibilità. Non esistono vincoli di forma e la possibilità di richiedere modifiche frequenti ai prodotti è ormai all’ordine del giorno. I pezzi realizzati attraverso le stampanti 3D sono per la maggior parte delle volte dei pezzi unici o, per lo meno, composti da un numero ridotto di componenti, con conseguente riduzione del peso.

Una riduzione figlia del tipo di produzione è anche quella relativa allo scarto di materie prime utilizzate, si ricordi, infatti, che il 3D printing è una tecnica additiva e non

sottrattiva. Questo potrebbe portare alla scelta di produrre con materiali più pregiati e performanti, poiché il principio su cui si basa il 3D printing è “meno materiale utilizzo, meno costa”. Lo stato originario dei materiali utilizzati nella manifattura additiva cambia rispetto alle lavorazioni tradizionali. Nel caso dei metalli, si passa da lingotti a polveri fini, che devono essere intenzionalmente prodotte e poi lavorate. Nel caso delle plastiche, invece, la manifattura additiva richiede la produzione ad hoc di materiali specifici di qualità controllata che si presentano sotto forma di polveri, resine o filamenti. In termini positivi agiscono il minor utilizzo di materia prima, la maggiore efficienza della filiera logistica. In termini potenzialmente negativi agisce invece il fatto che i processi di fusione delle polveri hanno un consumo di energia superiore rispetto ai processi tradizionali; inoltre, la produzione di polveri di metallo richiede più energia rispetto alla produzione tradizionale di lingotti: ciò ovviamente si riflette sul costo della materia prima, per esempio, nel caso del titanio, si passa da circa 90 euro al kg per i lingotti a circa 190 euro al kg per le polveri.

La stampa 3D è un metodo di costruzione che va a pari passo con la lean production in quanto permette la razionalizzazione delle scorte e l’ottimizzazione della logistica interna. Nella manifattura additiva, infatti, diminuisce di molto la necessità di detenere scorte di pezzi di ricambio se essi potranno essere “stampati” just in time, soprattutto nei casi in cui i pezzi da produrre abbiano un alto valore economico o si abbia urgenza di disporne in tempi brevi. I benefici sono molteplici: in termini finanziari si ha una riduzione dei capitali immobilizzati in magazzino, in termini di area utilizzata si ha una potenziale riduzione delle superfici dei magazzini.

La produzione non è più centralizzata ma distribuita. Si consideri che nel caso dei metodi tradizionali, la logistica dei materiali prevede una fase di trasporto delle materie prime sul luogo di produzione, una di trasporto degli scarti dal luogo di produzione a quello di smaltimento e una di movimento dei prodotti finiti presso i distributori. Nel caso della manifattura additiva, invece, la produzione può avvenire nel luogo di distribuzione, lo scarto è minimo e i costi economici e ambientali del recupero degli scarti di lavorazione sono quindi ridotti.

Esistono vantaggi anche lato cliente. I consumatori, infatti, vista la possibilità di accedere al mercato delle stampanti da parte di tutti, possono avere la soddisfazione di essere loro stessi produttori, o attraverso la creazione dell’oggetto partendo da una propria idea, o attraverso lo sharing, gratuito o a pagamento, di modelli già esistenti. La

possibilità di poter creare i propri prodotti, inoltre, permette ai clienti di sentirsi coinvolti nella produzione, proponendo i propri modelli alle aziende che successivamente valuteranno e produrranno le idee migliori.

Il rapporto redatto da *Make in Italy* riporta in due grafici quali sono i benefici attesi dalle imprese e quali quelli effettivamente ottenuti.

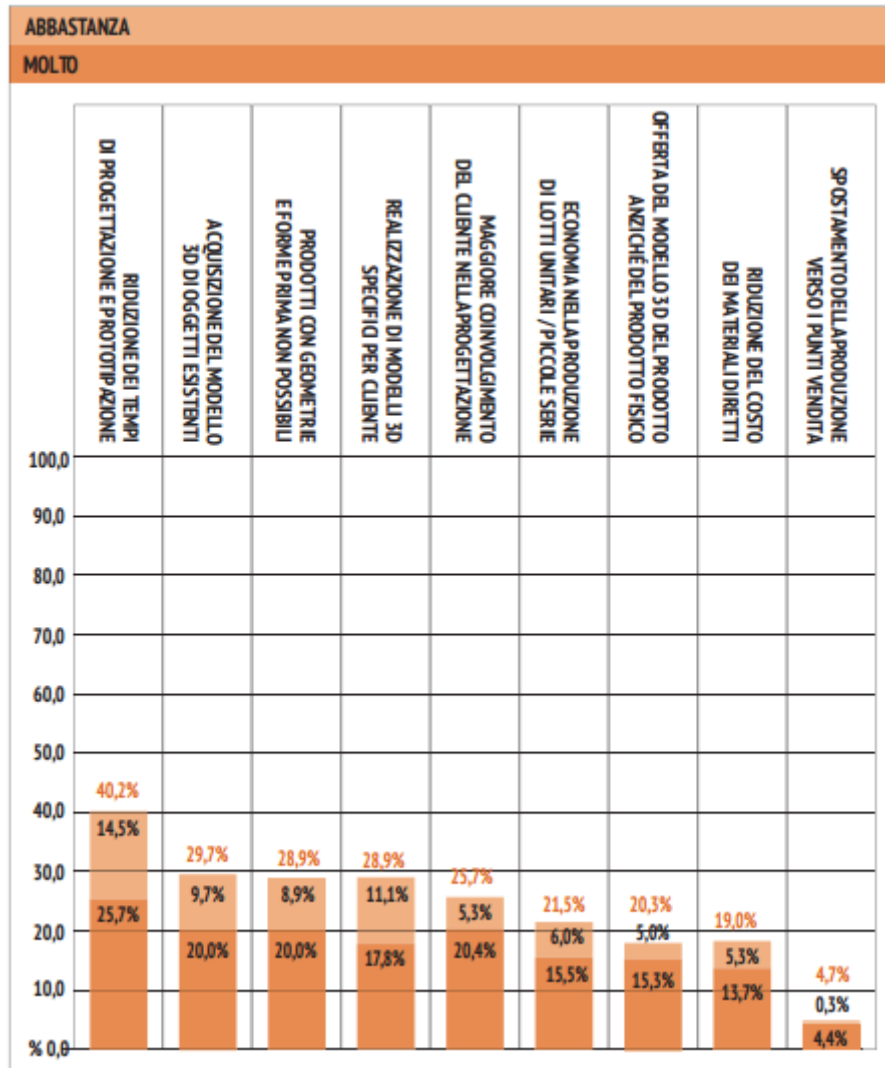


Figura 4.6 Benefici attesi dalle imprese riguardo al 3D Printing

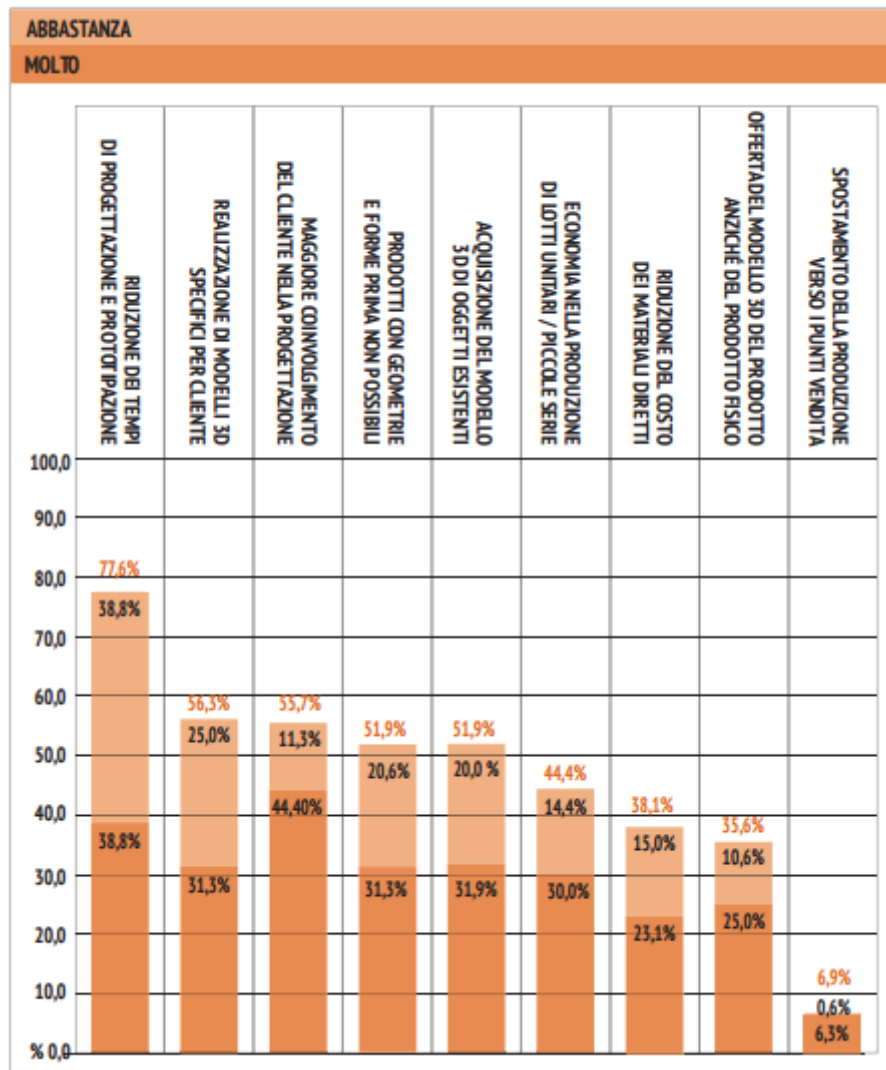


Figura 4.7 Benefici riscontrati dalle imprese a seguito dell'utilizzo del 3D Printing

Possiamo notare quindi che effettivamente i benefici attesi dalle aziende sono stati tutti riscontrati, con addirittura performance migliori rispetto a quelle stimate.

4.5 I possibili vantaggi futuri del 3D Printing

Come già più volte affermato, il 3D printing è in continua fase di studio e sviluppo e i vantaggi che si potranno avere nel futuro sono solo ipotizzabili seguendo il trend odierno.

La velocità di innovazione sarà sempre maggiore. La continua introduzione di tecniche e nuovi materiali permetterà l'invenzione di nuovi prodotti o la reingegnerizzazione di quelli già esistenti ma non ancora toccati da questa tecnologia. Il tempo d'ingresso di un nuovo prodotto nel mercato sarà sempre più ridotto grazie alla possibilità di fare

prototipazione rapida e produrre anche solo piccoli lotti di tale prodotto. Nuovi prodotti porteranno alla possibilità di nuove applicazioni nei vari settori, punto che sarà trattato nel capitolo 5 di questo lavoro.

Nasceranno inoltre, quindi, nuove opportunità di business e si potranno diffondere nuovi tipi di lavoro.

4.6 Le criticità del 3D Printing

Dopo aver analizzato i benefici, può venir spontaneo chiedersi perché la diffusione del 3D Printing non sia avvenuta in modo capillare.

Esistono oggi diverse importanti motivazioni. La criticità principale è legata alla conoscenza della tecnologia stessa. Un'azienda che si affaccia al 3D Printing deve capire quale sia la tecnica più adatta alla sua catena di produzione, quali i materiali da utilizzare per rendere al meglio ciò che produceva con le tecniche tradizionali. Altro punto negativo è legato al reparto software che è forse il punto di maggiore criticità del mondo della stampa 3D. La realizzazione del modello 3D attraverso i software dedicati non è per nulla scontato, anzi necessita di personale in grado di realizzare perfettamente ciò che è richiesto. Questo comporta per l'azienda spese di aggiornamento per i suoi lavoratori o addirittura la ricerca nel mercato del lavoro di figure qualificate. Conseguente a questi motivi è anche l'alto costo d'investimento per l'acquisto di macchinari e attrezzature.

Nella grande industria la stampa 3D fatica a prendere piede poiché i tempi di lavorazione sono più lunghi rispetto ai metodi tradizionali. La tecnologia additiva, infatti, oggi dà più possibilità alle piccole e medie imprese rispetto alle grandi in quanto, per le sue caratteristiche, non è competitiva sul piano dei costi di produzione su larga scala, mentre è un punto di forza nella costruzione di pezzi singoli o piccoli lotti.

Per quanto riguarda l'uso domestico, la prima perplessità riguarda la violazione dei copyright. Qualsiasi possessore di una stampante 3d potrebbe riprodurre oggetti presenti sul mercato e questo rende perplessi i produttori. Esiste, inoltre, il rischio che la macchina venga utilizzata in modo errato come la produzione di oggetti potenzialmente pericolosi (privi di qualsiasi controllo da parte di un'autorità predisposta) o armi.

Nel trattato di *Make in Italy* è riportato il grafico relativo ai fattori che impediscono o rallentano la diffusione della tecnologia del 3D printing visti dalle aziende.

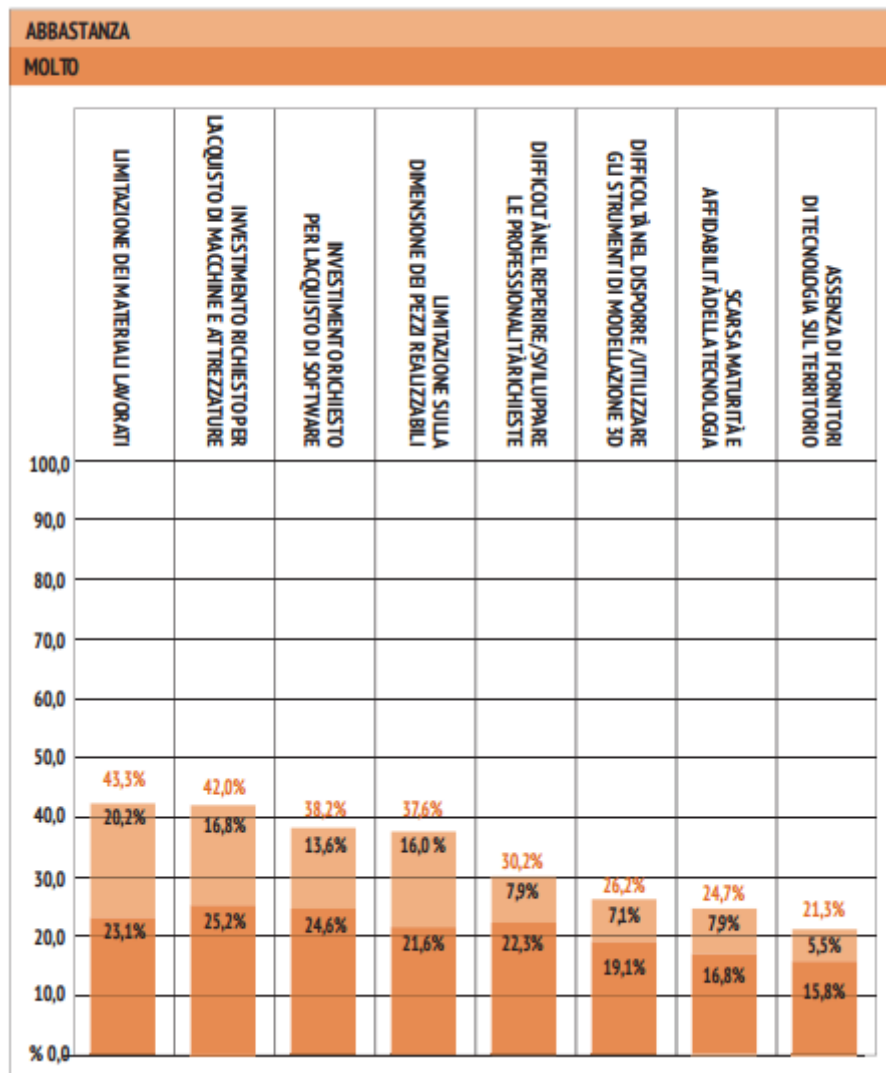


Figura 4.8 Fattori che impediscono o rallentano la diffusione del 3D printing secondo le aziende

4.7 I punti chiave

Le tecnologie per la manifattura additiva, nonostante siano utilizzate da oltre vent'anni, sono entrate solo da pochi anni nelle attività di produzione di beni per uso finale. La rapida evoluzione di tecniche, materiali utilizzabili, le dimensioni degli oggetti realizzabili e i tempi di produzione rendono l'analisi del futuro ancora incerta. È però già da ora chiaro che si tratta di una tecnologia di ampia portata con effetti molto importanti sui costi di produzione, sull'efficienza dei processi produttivi, sulla logistica e sull'organizzazione del lavoro. Alcune caratteristiche di questa nuova tecnologia sono già ben evidenti mentre altre, come l'impatto sulla logistica, sull'organizzazione del lavoro, sull'impronta ecologica delle produzioni, devono essere verificate alla luce dei

prossimi sviluppi tecnologici e verificate sulla base di dati raccolti sul campo e non solo sulla base di modelli astratti.

Solo il tempo ci dirà se queste innovazioni tecnologiche determineranno un effettivo cambio di marcia dei processi produttivi e se saranno sfruttate in pieno le potenzialità di nuovi modelli relazionali resi possibili dalla rete.

Capitolo 5

Trend futuri da qui al 2020

Introduzione

La cosa più affascinante del futuro è che nessuno è in grado di predirlo in modo certo, ma allo stesso tempo tutti possiamo farci un'idea di quello che potrebbe essere. Dalla rivoluzione industriale in avanti, però, questo esercizio è diventato ancora più difficile, perché le cose oggi cambiano in modo molto più rapido e imprevedibile. L'evoluzione della tecnologia segue un processo esponenziale, non lineare (The Law of Accelerating Returns), cosicché ogni singolo progresso innesca cambiamenti molto più rapidi e di maggiore impatto rispetto a quelli che erano stati necessari per compiere il passo precedente.

La stampa 3D come la conosciamo oggi è una tecnologia che viene da un passato relativamente prossimo, ma che sta subendo un'incredibile accelerazione, negli ultimi anni. La rete internet, lo studio e l'applicazione di nuovi materiali, oltre alla diffusione di una nuova consapevolezza e di un nuovo modo di concepire il lavoro, la società e la produzione, stanno lanciando questa tecnologia verso un futuro che oggi appare estremamente promettente, ma molto difficile da prevedere. La sola cosa che possiamo fare, a oggi, è prendere atto di quante tipologie di oggetti si possano realizzare con queste macchine e dei rapidissimi progressi che stanno coinvolgendo i materiali di stampa, vero limite dello stato dell'arte di questa tecnologia.

La stampa 3D avrà probabilmente un impatto molto elevato sulla vita delle persone, che sempre più potranno rendersi indipendenti dalla produzione industriale o cambiarne le caratteristiche. Non significa però che cambierà il mondo da sola, ma che permetterà alle persone di guardarlo con occhi diversi, recuperando indipendenza e capacità di produrre in proprio un numero molto elevato di oggetti. Potremmo, infatti, essere in grado di stamparci in casa (o in appositi centri stampa o macchine presenti in luoghi pubblici) tutto quello che ci serve, dalle scarpe ai pezzi di ricambio per qualsiasi macchina o attrezzatura.

Sarà la fine delle industrie come le conosciamo? Troppo presto per dirlo con certezza, ma di sicuro le nuove tecnologie cambieranno completamente il rapporto che abbiamo con loro e con gli oggetti, che non ci saranno più imposti dalle aziende e dalla distribuzione, ma saranno parte di un nuovo processo di elaborazione della realtà, delle nostre necessità e dei nostri desideri.

5.1 Le previsioni del mercato

Esistono diverse società di analisi che hanno effettuato stime sul futuro del mercato del 3D Printing. Analizziamo due di queste per confrontare le previsioni.

Le stime Prometeia, azienda di Consulenza Software e Ricerca Economica, di maggio 2015 prevedono che il digital manufacturing crescerà del 2,8% annuo nel triennio 2015-2017. La crescita del valore della produzione addizionale generabile a fronte di un upgrade tecnologico è quantificabile in 26 miliardi di euro nell'arco del triennio, pari all'aumento del 4,3% annuo per i tre anni. La crescita addizionale ha effetti espansivi anche sull'occupazione con incrementi stimabili attorno alle 39mila unità su base annua. I numeri sono interessanti. Le aziende che si rinnovano crescono a un tasso superiore a quel 4,3% stimato, con la capacità di generare valore aggiunto superiore di oltre 3 punti percentuali. Si stima che se l'intero settore della manifattura usasse 3D e robotica si potrebbe generare un valore aggiunto addizionale pari a ulteriori 4,3 miliardi di euro su base annua, per cui i 26 miliardi triennali diventerebbero 39.

Secondo IDC (International Data Corporation), gruppo mondiale specializzato in ricerche di mercato, consulenza e organizzazione di eventi in ambito IT e TLC, la spesa per la stampa 3D in Europa Occidentale nel 2015 è stata di 2,6 miliardi, questa andrà incontro a una crescita a tasso annuale che porterà nel 2019 a una spesa complessiva di 7,2 miliardi. La maggior concorrenza tra aziende produttrici, infatti, porterà il prezzo delle stampanti a un livello sempre più accessibile e quindi alla portata di tutti. Le ragioni chiave che porteranno all'innalzamento del tasso di crescita della tecnologia sono i benefici descritti in precedenza, che attrarranno sempre più aziende verso un investimento nel 3D printing.

5.2 Le applicazioni nel prossimo futuro

I principali mercati di sviluppo per la stampa 3D in Europa previsto da IDC saranno quello automobilistico e quello aerospaziale, che però rappresentano solo la cima

dell'iceberg. Anche il settore sanitario raggiungerà quote sempre più importanti, soprattutto nel campo dentale. Anche il settore della moda non sarà esente da cambiamenti, con aziende che introdurranno sempre più spesso accessori o oggetti vestibili prodotti con la stampante 3D.

Le stampanti 3D hanno un potenziale enorme in ogni ambito della produzione e possono diventare un elemento fondamentale anche nel mercato del lavoro, dove sempre più aziende saranno alla ricerca di tecnici specializzati nell'utilizzo di queste tecnologie e nella modellazione 3D avanzata. Di seguito l'analisi di ogni settore seguendo la suddivisione utilizzata nel capitolo 3.

5.2.1 Ingegneria aerospaziale e aeronautica

Questo settore ha un enorme potenziale di crescita in quanto oggi è molto attiva soprattutto in fase di ricerca. Molti osservatori prevedono, infatti, che il mercato per i pezzi stampati 3D nel settore aerospaziale potrà raggiungere i 2.000 milioni di dollari entro il prossimo decennio. Con una tale proliferazione, le sue applicazioni in futuro sembrano essere sempre più promettenti.

Boeing, che come accennato prima sviluppa già parti più piccole in aereo prevede la stampa di un'intera ala di un aereo. Le attuali tecniche di stampa 3D hanno limitazioni quando si tratta di



Figura 5.1 La prima stampante 3D sulla Stazione Spaziale Internazionale

stampare oggetti di grandi dimensioni, perché l'aumento delle dimensioni porta alla possibile formazione di tensioni interne, con conseguente distorsione. Tuttavia, attraverso una recente tecnica sviluppata da BAE Systems che consiste nel bombardare ripetutamente con ultrasuoni ogni strato metallico che viene stampato, si è riusciti ad alleviare le tensioni interne del materiale, preparando così il terreno alla stampa di grandi dimensioni, come appunto le ali degli aerei.

Boeing sta sviluppando, in collaborazione con GE, un ricambio per il motore GE9X, che è motore di jet più grande del mondo progettato per il Boeing 777. Sono inoltre quasi in fase di lancio ben diciannove elementi stampati integrati nei nuovi motori montati sui modelli 737MAX di Boeing e sugli Airbus A320neo.

La Stampa 3D on-demand è ciò su cui, in questo momento, stanno investendo gruppi come Made in Space. A oggi, infatti, la prossima esplorazione spaziale della NASA si compone di circa 70 parti stampate in 3D, ma tutte sviluppate a terra, il che allunga drasticamente la catena di approvvigionamento. La stampa di ciò che occorre direttamente nello spazio ridurrebbe sensibilmente i cicli di costo e di pianificazione necessari per inviare un razzo nello spazio con gli strumenti necessari di sostituzione e riparazione. In collaborazione con la NASA, made in Space sta conducendo test a gravità zero per sperimentare la stampa 3D sulla Stazione Spaziale Internazionale, che consentirebbe quindi agli astronauti di stampare strumenti o parti di essi in caso di necessità.

5.2.2 Arte e cultura

La stampa 3D di argilla o di altri materiali fluidi è oggi un grande tema di ricerca nel mondo della manifattura additiva. E su questo filone di attività è nata recentemente una collaborazione tra l'azienda WASP di Massa Lombarda e l'artista Francesco Pacelli, allo scopo di approfondire la conoscenza del processo LDM, ampliare il numero di potenziali materiali ceramici estrudibili, definire le dosi corrette e i parametri di stampa per ottenere oggetti funzionali in ceramica stampati in 3D.

WASP ha recentemente prodotto uno speciale estrusore per la stampa 3D che consente maggiore precisione e accuratezza in fase di modellazione degli oggetti di ceramica, attraverso un sistema che



Figura 5.2 Particolare di una stampante 3D della Wasp durante la deposizione di argilla

permette a tale materiale di non subire danni durante la stampa. Se, infatti, polimeri e termoplastiche si possono stampare più facilmente, perché solidificano a temperatura ambiente dopo il loro riscaldamento e non danno particolari problemi di collassi o crolli, con l'argilla, al contrario, si pongono diversi limiti strettamente connessi alla natura e alle caratteristiche stesse del materiale.

La menzionata collaborazione tra WASP e Francesco ha portato all'apertura di un nuovo laboratorio, un luogo esclusivamente dedicato alla tecnologia LDM per la stampa 3D della ceramica, di cui presto condivideremo gli aggiornamenti relativi agli esperimenti e ai risultati ottenuti.

5.2.3 Indagini e ricerche scientifiche

La stampa 3D potrà essere una risorsa sempre più utile in archeologia, perché permetterebbe di riprodurre reperti archeologici partendo da originali sempre più frammentati o crearne solo dei pezzi mancanti. Ciò consentirebbe agli studiosi delle civiltà antiche di capire usi e costumi dei popoli che ci hanno preceduto. Altra applicazione sarà quella di poter inserire dei nuovi reperti all'interno di musei in ogni parte del mondo.

Altra applicazione riguarderà i modelli topografici. MineBridge ha collaborato con 3D whiteclouds, fornitore di servizi di stampa 3D full color, per la realizzazione di un modello topografico generato con la stampa 3D. La sezione



Figura 5.3 Esempio di modellino topografico stampato in 3D dalla MineBridge

del terreno studiato è il Nevada settentrionale. Nello sviluppo di impianti minerari, diventa sempre più difficile scegliere i siti giusti. Si deve essere a conoscenza di tutti gli impatti ambientali che le proprie operazioni potranno causare, il posizionamento di costruzioni e strutture, devono essere in grado di pianificare per la conservazione o la rimozione dei rifiuti in eccesso. Il software di visualizzazione usato genera superfici dai dati dell'indagine e dalle immagini aeree che possono essere convertite in un modello topografico adatto alla stampa 3D in scala naturale. In futuro si potranno realizzare anche modelli di grotte e gallerie.

5.2.4 Abbigliamento

Nell'abbigliamento siamo in piena fase sperimentale, quella che stimola la creatività ma anche il dibattito tra i fautori della novità e i più scettici. Gli entusiasti vedono nel connubio stampa 3d e moda una vera e propria rivoluzione. Tutto potrà essere realizzato su misura, senza più bisogno di ritocchi sartoriali. Anzi, taglie e numero di scarpa

diventeranno superflui e basterà rivolgersi a un negozio che stampa abbigliamento 3d per acquistare un capo unico, realizzato sulle nostre misure. Si potranno creare abiti fai da te ma anche calzature e accessori vari e ognuno di noi potrà diventare un vero artista. Per realizzarne uno occorreranno software appositi, accessibili a tutti, oppure utilizzare un modello 3d già esistente, scaricabile, rinunciando però all'originalità del pezzo. Di contro, soprattutto gli artisti difendono l'eccellenza e l'impossibile riproduzione di un prodotto disegnato e realizzato a mano. Sono posizioni estreme.

La qualità dei prodotti, soprattutto dei materiali, è ancora bassa. I vestiti realizzati con questa tecnica danno più importanza al design più che alla portabilità. Il futuro prevedrà

lo studio di materiali adatti a un vestito. La prima bioplastica a base di canapa sta per essere prodotta in Sicilia dalla startup catanese, la Kanèsis. Questa plastica ecosostenibile, ottenuta proprio da scarti della lavorazione industriale di vegetali, tra cui la canapa, è un materiale composito termoplastico, con proprietà riconducibili alle plastiche petrolchimiche convenzionali.



Figura 5.4 Bobina di canapa utilizzata dalla Kanèsis

Rispetto alla bioplastica tradizionale è, però, più leggera e presenta una resistenza alla trazione migliorata del 30%. Inoltre, ha un costo notevolmente inferiore a quello della più economica bioplastica in commercio, il PLA.

5.2.5 Gioielleria e articoli di lusso

La stampa 3D applicata al gioiello è un'innovazione che porta l'immaterialità tecnologica alla fisicità degli oggetti del mondo reale, qualcosa che nasce digitale e diventa reale e che con il tempo diventerà sempre più accessibile, intuitiva, facile da usare e definita. Questa è in grado di dare forma a un'idea, all'immaginazione e consente di unire le possibilità produttive tipiche dei sistemi di produzione di massa, in grado di produrre alti volumi a bassi costi, con processi flessibili per la produzione di prodotti e servizi studiati ad hoc per il singolo individuo.

Secondo molti analisti del settore la stampa in 3D potrebbe, quindi, essere il futuro del comparto orafa. A Vicenza Oro, la fiera più importante relativa al settore orafa in Italia, sono stati presentati i lavori di alcuni designer di gioielli, lavori che hanno destato

davvero molto interesse. I dubbi però circa questa possibilità sono ancora molti. La qualità e la perfezione dei prodotti sono eccellenti e di sicuro si tratta di prodotti che potranno essere venduti a prezzi molto bassi. Questa riduzione, raggiunta tramite la riduzione di materia prima utilizzata nella realizzazione, ha permesso di competere con i produttori di gioielli cinesi e turchi che, a parità di costo dei materiali, hanno costi di manodopera molto più bassi. Il “problema” è che la tradizione in queste creazioni viene meno senza dimenticare poi che si tratta di prodotti realizzati in serie che quindi non hanno quell’originalità che invece i prodotti di alta gioielleria riescono ancora oggi a garantire.

5.2.6 Oggettistica e artigianato

Come già accennato in precedenza, il 3D printing non ucciderà gli artigiani. Anzi, si può dire che per i piccoli imprenditori si tratta di rinascita o evoluzione. La stampante 3D è uno strumento in più per imprese e design che aiuta a fare alcune cose, ma non è detto che sia lo strumento ideale per fare tutto quello che serve. L’unica cosa certa è che senza innovazione non c’è futuro. E questo vale anche per le piccole imprese.

Gli artigiani devono rendersi conto che ormai è la collaborazione tra teste diverse, con competenze diverse, a fare la differenza. Il vantaggio per tutti è quello di arrivare a studiare prodotti nuovi con uno stile diverso, con forme e materiali differenti, amalgamando le potenzialità delle nuove tecnologie all’esperienza pratica degli artigiani più tradizionali. Sempre più utili nel futuro saranno i FabLabs, un luogo dove designer e artigiani si possono incontrare per provare e disfare, fare test senza pensare di avere già la soluzione. Non si può ancora, quindi, dire esattamente quali saranno i prodotti del futuro di questa partnership, ma di sicuro saprà dare ottimi risultati.

Per quanto riguarda l’oggettistica, il futuro è ormai più che presente. La prototipazione e la realizzazione di modellini e giocattoli sono già, infatti, una realtà in essere e, quindi, si può solo pensare che per il futuro si prevedranno l’utilizzo di nuovi materiali e la possibilità di incrementare sempre più i dettagli degli oggetti in produzione. Il probabile grande passo in questo settore avverrà quando le stampanti saranno presenti sul mercato con un prezzo accessibile a tutti e quindi ognuno di noi potrà realizzare “fai da te”, il proprio modellino.

5.2.7 Architettura e edilizia

Sul fatto che la stampa 3D sia destinata a diventare uno dei pilastri dell'edilizia del futuro possono esserci pochi dubbi: si può eventualmente discutere se questo avverrà come tecnologia a sé stante o come elemento complementare ai tradizionali metodi di costruzione.

Spesso e volentieri la forma e la complessità di un progetto sono tra gli elementi che poi influiscono moltissimo sul budget ed anche sulla realizzabilità. La stampa 3D rappresenterà un grande vantaggio perché il costo sarà dovuto puramente al volume di materiale che viene stampato, e non alla forma. Oltre ai vantaggi di riduzione dei costi e delle materie prime usate, questa tecnologia porterà alla riduzione di consumi energetici e delle emissioni e all'aumento di rapidità di realizzazione e adattabilità a locazioni differenti. La ricerca si sta muovendo anche nell'elaborazione di nuove soluzioni relative a materiali costruttivi più ecologici e sostenibili in sostituzione del cemento.

Un esempio viene da uno dei più autorevoli "maestri contemporanei" di architettura, Norman Foster, che si è aggiudicato un concorso internazionale indetto dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) per realizzare, attraverso una stampante 3D, una base lunare per quattro persone, impiegando come materiale edilizio la regolite, ossia la polvere che ricopre la superficie del satellite.

Fin tanto che la costruzione completa di un edificio non verrà effettuata con la stampa 3d, si stanno studiando nuove tipologie di mattoni da utilizzare. Un esempio è il sistema progettato dalla Emerging Objects, e si tratta di un mattone in ceramica stampato 3D che permette il raffrescamento dell'aria negli ambienti chiusi attraverso il principio del raffreddamento evaporativo garantito dalla ceramica porosa di cui sono costituiti. In realtà tale tecnologia, non è nuova, ma fonda le proprie origini circa 3.300 anni fa nelle zone dell'Africa settentrionale e del mondo arabo. Questo sistema è caratterizzato da aperture schermate da una grata in legno, caratterizzata da una trama più o meno fitta che ha la funzione di filtrare la luce solare, ma soprattutto il legno con cui è costruita è in grado di intrappolare l'umidità presente nell'aria che la attraversa durante la notte, per cederlo durante il giorno quando il sole irraggia la superficie. Utilizzando la stampa 3D, è stato possibile creare un mattone costituito da una grata ceramica chiamato "Cool Bricks" che può essere riempito con acqua come fosse una spugna. Quando l'aria calda e secca attraversa le cavità del mattone, assorbe l'acqua per evaporazione trasformandosi in aria umida raffreddata.

Altra novità in fase di studio e prototipazione è un nuovo tipo di parete. La Branch è stata in grado di creare intricati pezzi delle mura stampati in 3D. La progettazione di queste pareti è basata su forme naturali e sulla sapiente combinazione dell'architettura leggera con l'ingegneria. Il materiale utilizzato è un composto di 5% di fibra di carbonio e 95% di plastica ABS, ma il team sta sperimentando altre combinazioni di materiali, comprese le miscele di fibra di vetro e ritardanti di fiamma bromurati. Questa tecnica di produzione, chiamata *Cellular Fabrication*, permette una libertà di progettazione praticamente illimitata utilizzando materiali da costruzione economici. Tutti i progetti di costruzione potranno godere così di libertà di progettazione. Attualmente, la Branch è focalizzata principalmente sulla progettazione e la stampa 3D di spazi interni unici, nonché di strutture adatte alle mostre e alle installazioni d'arte, ma in un prossimo futuro si prevede di usare questa tecnica per la realizzazione di pareti portanti e pareti esterne, così come addirittura d'interi edifici.

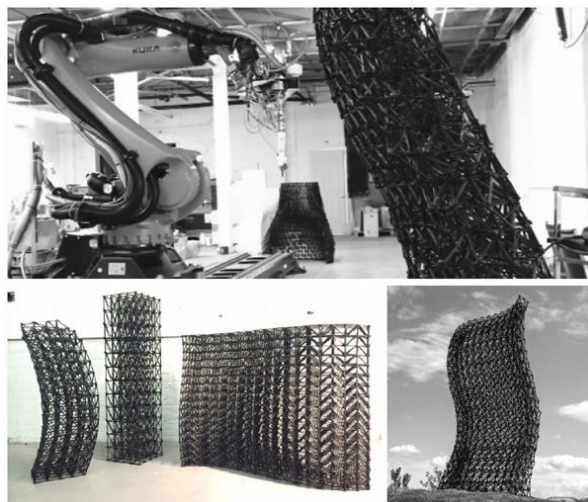


Figura 5.5 Stampante 3D della Branch ed esempi di applicazione della tecnica Cellular Fabrication

5.2.8 Arredamento

Il futuro del settore sarà sempre più influenzato dalla stampa 3D. Dopo aver riportato gli esempi della poltrona con una particolare struttura e i giunti per le ante, possiamo solo immaginare dove si spingerà la fantasia dei designer. Come per ogni settore, la fantasia è l'unico limite che la stampa 3D ci pone di fronte. In futuro potremo vedere differenti oggetti di arredamento nelle nostre case realizzati con questa tecnica. Con la stampa 3D si potranno creare differenti versioni dello stesso oggetto, in modo da valutare quale sia il colore o il materiale più adatto alla situazione. A proposito di materiali, nel futuro potremo vedere realizzare creazioni con materiale di recupero in modo da poter sfruttare a pieno le possibilità del riciclaggio.

5.2.9 Alimentazione

Stampare il cibo in 3D sarà il futuro dell'alimentazione. L'ipotesi è avanzata dalla NASA, che sta definendo nuovi sistemi di alimentazione per gli astronauti che dovranno viaggiare alla volta di Marte. Una soluzione che a quanto pare potrebbe giungere, presto o tardi, anche nelle cucine "terrestri".

L'obiettivo è riuscire a rifornire gli equipaggi che compiranno i primi viaggi su Marte, a partire dal prossimo decennio, sempre che le tabelle di marcia vengano rispettate. Le missioni marziane avranno una durata di circa 15 anni, un periodo di tempo piuttosto lungo che ha spinto la NASA a studiare soluzioni alternative riguardo all'alimentazione. L'approvvigionamento alimentare è, infatti, uno dei problemi da risolvere e la NASA ha deciso di finanziare la ricerca dell'ingegnere meccanico Anan Contractor, della Systems and Materials Research Corporation di Austin (Texas). L'idea è di utilizzare i nutrienti, come proteine, carboidrati e vitamine, disidratati e combinarli insieme tramite una stampante 3D che poi li stratifichi, cucinandoli, in un piatto commestibile. Il cibo sarà preparato a partire da cartucce di nutrienti che, grazie all'assenza di acqua, dureranno circa trent'anni. Secondo i primi studi potrebbe essere possibile per gli utilizzatori mescolare i singoli ingredienti, così da realizzare menu studiati per soddisfare le differenti esigenze di genere e in grado di tenere conto anche di fattori quali l'età o lo stato di salute.

La stampante 3D per il cibo sarebbe in linea teorica in grado, secondo Contractor, anche di cucinare una pizza. Basterebbe inserire uno strato di carboidrati come base, che il modellatore si occuperebbe di "cuocere", un secondo di pomodoro e un terzo con i grassi e le proteine di origine animale o vegetale. Non è assicurato al momento il rispetto del gusto originale, ma si tratta di un aspetto su cui si potrà ancora lavorare.

Anan Contractor però è convinto che l'applicazione spaziale della stampante 3D sia solo "la cavia" per lo studio di un uso di massa. Gli esperti delle Nazioni Unite prevedono che entro il 2100 la popolazione mondiale avrà superato la soglia dei dodici miliardi persone. Le risorse naturali, che già oggi scarseggiano, si saranno quasi del tutto esaurite. Le peschiere mondiali che sono già allo stremo si saranno quasi del tutto esaurite e l'aria sarà notevolmente più tossica di quella che respiriamo adesso, particolarmente nei paesi emergenti, mentre il tasso di obesità della popolazione avrà raggiunto livelli stratosferici. Immaginare come sfamare così tante persone, nelle condizioni che si prospettano, è probabilmente la sfida maggiore con la quale l'umanità

dovrà confrontarsi nel prossimo futuro. Se il riciclo e la riduzione dei consumi sono misure che possono contribuire a evitare questo scenario apocalittico, in assenza di alternative al corrente modello di sviluppo economico, diventano solo palliativi che dilazionano nel tempo il disastro ecologico-alimentare verso il quale stiamo procedendo.

E proprio la stampa 3D sembra destinata, quindi, a giocare un ruolo di rilevanza nell'alimentazione del futuro. I soldati saranno muniti di sensori biometrici. Inseriti sotto la pelle, i sensori spediranno i dati biometrici ottenuti dal soldato sul campo di battaglia alle stampanti che realizzeranno così pietanze contenenti la giusta mistura di nutrienti e stimolanti necessari a sostenerlo.

Una novità, però, ha fatto discutere più di altre: la carne coltivata in laboratorio. Il valore principale delle fattorie di carne non deve essere misurato dal punto di vista monetario immediato, o per la loro capacità di produrre profitti, ma soprattutto per la loro capacità di ridurre l'insicurezza alimentare a livello globale e preservare l'ambiente usando meno acqua e terra del modello animale tradizionale. Una tonnellata di carne coltivata richiede, infatti, 376 volte meno ettari di terra di quanti ce ne vogliono per pascolare una tonnellata di carne tradizionale e consuma solo il 10% d'acqua di quanta ne consumano gli animali. Un dato che fa riflettere ulteriormente è poi quello relativo all'inquinamento atmosferico. Al confronto con una tonnellata di carne animale, la produzione di una tonnellata di carne di laboratorio riduce le emissioni di anidride carbonica in un percentuale che varia dall'80 al 95%.

5.2.10 Medicina

Cuore, reni, fegato ma anche pelle, valvole, ossa, occhi e chissà, magari anche nervi sono gli organi che potranno essere stampati con le moderne tecnologie in 3D e usati, in un futuro prossimo, per colmare la carenza di organi per i trapianti. La tecnica di produzione è una delle più avanzate in medicina rigenerativa ed è chiamata bioprinting, in quanto al posto di plastiche e polimeri usa cellule umane per riprodurre organi e tessuti. Questa potrebbe essere una soluzione alla cronica richiesta di organi che affligge tutto il mondo e non risparmia il nostro paese: a fronte di 12387 persone in lista di attesa, infatti, nel 2015 sono le persone che hanno subito un trapianto sono state 3.317 persone, insomma, uno su tre ce la fa, gli altri, sperano.

In fase di studio troviamo Osteoid, un tutore, progettato dal designer turco Denis Karashin che ha lo scopo di migliorare il comfort del paziente durante la convalescenza e abbreviare il più possibile i tempi di guarigione.



Figura 5.6 Osteoid

Potrebbe essere il futuro dell'ingessatura, infatti, rispetto a quella tradizionale comporta vantaggi notevoli: è realizzato in materiale plastico, leggero, impermeabile e presenta una struttura a buchi che lo rende più traspirante del gesso, di cui supera così i problemi legati a una scarsa ventilazione della zona colpita, dal cattivo odore all'abrasione della pelle. Inoltre, Osteoid integra al proprio interno un sistema di ultrasuoni chiamato LIPUS (low-intensity pulsed ultrasound stimulation), che, secondo alcune ricerche scientifiche, accelera la ricomposizione di una frattura ossea. Per realizzare un tutore perfettamente aderente alla pelle del soggetto, l'area interessata è sottoposta a un 3D body scanning. I dati raccolti sono inviati a un software di modellazione, che realizza il modello personalizzato, il sistema di blocco e la rete di buchi in base alla situazione medica del paziente e la sua struttura corporea.

Le principali nuove frontiere che si stanno varcando sono la possibilità di stampare strati di pelle da sovrapporre, ad esempio, sulle ustioni e il 3D bioprinting e la possibilità di stampare in 3D veri e propri organi, dalle reni al fegato. Non organi artificiali, come già succede, ma organi veri

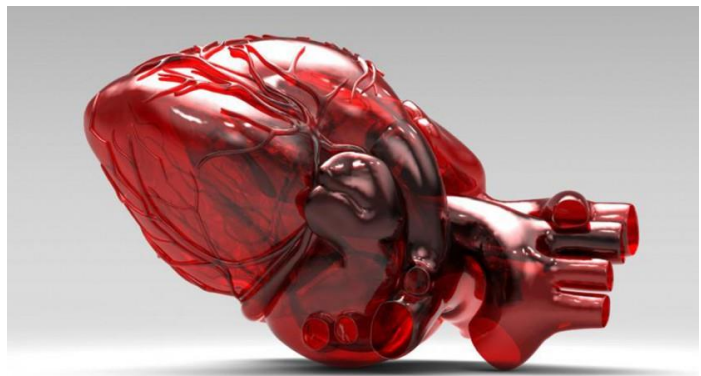


Figura 5.7 Modello di cuore stampato in 3D funzionante

e propri, realizzati a partire da cellule vive. Esistono già esperimenti in questa direzione, tra i più noti quelli di alcuni centri di ricerca e, a livello aziendale, della startup Organovo. Il meccanismo del 3D bioprinting prevede che si usino delle cellule e altri materiali organici come materia prima da trasformare in organi solidi tridimensionali. Se tutto va come ci si aspetta, sarà possibile creare organi a partire dalle cellule del

paziente, eliminando così i problemi di rigetto. L'obiettivo di questo progetto è arrivare a poter letteralmente costruire organi per trapianti, o materiale utile a curare parti danneggiate. La difficoltà maggiore è quella che, a differenza delle altre creazioni realizzate con le stampanti 3D, il materiale di partenza da utilizzare è vivo. Organovo sta comunque producendo i primi risultati: in attesa di riuscire a creare interi organi, a breve comincerà la vendita di strisce di tessuto epatico alle case farmaceutiche, da utilizzare per testare la tossicità di potenziali trattamenti.

La stampa 3D ha quindi tutte le potenzialità per rivoluzionare il campo medico. Grazie all'abbattimento dei costi, la situazione sanitaria potrà migliorare a livello mondiale, arrivando anche in Paesi in cui oggi la situazione economica è più critica. Inoltre, come nel caso del tutore per le fratture, i prodotti realizzabili non sacrificheranno la praticità e il comfort al minor prezzo, ma potranno essere addirittura più funzionali rispetto a quelli oggi in uso.

5.2.11 Robotica

Il futuro della robotica sarà quello di sviluppare androidi in un unico stampo e non, come avviene adesso, integrando diverse parti. Un gruppo di ricercatori dell'università di Harvard ha brevettato un "soft robot" che integra materiali elastici e rigidi in un guscio realizzato in una singola stampa 3D: vengono utilizzati nove differenti strati di materiali, partendo da un materiale molto soffice e simile alla gomma e arrivando fino a un guscio protettivo rigido, simile a una termoplastica. Due sono i componenti principali del robot: un corpo morbido con tre gambe pneumatiche, e un cuore rigido che contiene i componenti principali, tra cui una batteria e un compressore. Il robot si muove grazie a una combustione interna di butano e ossigeno, mentre il corpo morbido ha la funzione di assorbire gli impatti: gli strati di rigidità differente servono appunto a ridurre gli sforzi nella zona in cui i componenti elettronici si collegano al corpo. La particolare tecnica di locomozione del robot permette di evitare completamente la presenza di parti che scrono o ruotano: i giunti tradizionali sono completamente assenti, migliorandone l'affidabilità e rendendolo ideale per l'utilizzo in ambienti ostili. Il robot gonfia alcune delle sue gambe pneumatiche in modo da puntarlo nella direzione desiderata; l'ossigeno e il butano vengono quindi miscelati e incendiati, lanciando il robot in aria. La costruzione del robot permette di sopravvivere a ciascun atterraggio, senza nessun danno alla struttura e all'elettronica. La produzione tramite stampa 3D

multimateriale rappresenta un passo importante nella fabbricazione dei “soft robots”, finora poco sviluppati a causa della necessità di assemblaggi complessi.

Alcuni esperti del settore credono che l'utilizzo della stampa 3D sarà un avvicinamento alla creazione della prima vera e propria intelligenza artificiale.

5.2.12 Automotive

Il futuro dell'auto passa sempre più attraverso la stampa 3D. Si può affermare che la stampa 3d ha assunto un ruolo fondamentale nel processo produttivo automobilistico da un lato per la creazione di prototipi e dall'altro per la costruzione di veri e propri ‘stampi’ di parti della vettura. A livello di design, il primo aspetto è senza dubbio quello più affascinante. Con la stampa 3d si ha la possibilità di creare rapidamente prototipi di parti d'auto, verificarne l'aspetto reale e compiere pure test fisici. Per il secondo aspetto, invece, entra a pieno titolo nel processo definitivo della creazione di un modello di serie, producendo quegli stampi dai quali verranno poi ricavate le parti d'auto.

È un'opinione quasi unanime, però, che la "next big thing" dell'industria automotive sarà rappresentata dalle vetture a guida autonoma. La stampa 3D permetterà di passare dalla progettazione alla creazione di un prototipo in un tempo molto più breve delle tecniche tradizionali.

Local Motors, grazie ad una partnership con la University of Michigan, sta cercando di sviluppare un sistema di trasporto interno al campus basato su veicoli a guida autonoma. L'obiettivo di creare un sistema di trasporto di questo tipo in un'area ristretta sembra essere un obiettivo alla portata, certamente molto più che quello di utilizzare i veicoli a guida autonoma su strade aperte al traffico, come ad esempio sta provando a fare Google. I ricercatori potrebbero, infatti, pensare a una serie di segnali lungo la strada, o addirittura di dipingere delle strisce blu lungo il percorso che le auto a guida autonoma dovrebbero seguire. La scocca del veicolo è stata stampata in 3D utilizzando una lega plastica rinforzata simile a quella usata per i mattoncini Lego. Il vantaggio è nella velocità di progettazione e produzione.

Anche le concept cars, modelli di automobili realizzati sulla base di uno o più temi specifici, destinati a definire un nuovo concetto di utilizzo saranno influenzate dalla stampa 3d. Sarà, infatti, molto più semplice e rapido produrre dei concepts sempre più articolati e ricchi di dettagli.

5.2.13 Sport

Nello sport l'applicazione futura della stampa 3D porterà all'ampliamento della gamma dei prodotti proposti.

Dopo l'esempio del sistema di sicurezza Checklight di Reebok, nel futuro si potranno realizzare accessori indossabili in grado di offrire vantaggi in termini di prestazione e di monitoraggio delle condizioni fisiche di un atleta in tempo reale, ad esempio dopo una contusione.

Anche gli oggetti utilizzati nei vari sport potranno essere prodotti con questa tecnica, partendo da palle di ogni genere e dimensione, fino alla realizzazione di racchette di tennis, o di biciclette con caratteristiche sempre più competitive.

Anche il settore della realizzazione dei trofei, in cui l'Italia è riconosciuta a livello mondiale, potrebbe subire un'importante modifica: la stampa 3D si presterebbe, infatti, perfettamente nella realizzazione di coppe e medaglie. La qualità sarà sempre più elevata, il consumo di materie prime ridotto e di conseguenza ci sarebbe riduzione dei costi, a discapito però delle qualità artigianali di chi oggi le realizza.

5.2.14 Armamenti

In guerra, nessuno vuole farsi trovare impreparato. Nonostante sia una delle potenze più forti al mondo, gli Usa hanno il problema di essere lenti; a prova di quanto detto si può riportare l'esempio dell'F-22 raptor, pensato come strategico nella guerra fredda nel 1983 e consegnato all'esercito solo nel 2005, ventidue anni dopo la richiesta. Ben FitzGerald, Senior Fellow e direttore del Technology and National Security Program presso il Center for a New American Security (CNAS), crede che la soluzione a questo problema sia il connubio tra stampanti 3D e catene di montaggio robotizzate. Invece di costruire piccole quantità di grossi e costosi caccia con equipaggio, vorrebbe costruire migliaia di droni personalizzati. I singoli pezzi del drone verrebbero stampati in 3D e fatti assemblare dalla catena di montaggio robotizzata, che lavora 24 ore al giorno. Il CNAS, come tutti del resto, crede che il futuro del settore militare americano sarà fatto di velivoli da combattimento senza pilota. I jet come gli F-22 verranno ridotti a poche unità e rimpiazzati da caccia a comando remoto, ancora più agili e resistenti dei droni armati attualmente in uso. Gli Stati Uniti avranno bisogno di robot da guerra per mantenere la propria superiorità militare e strategica.

Se l'idea dello sciame di droni stampabili sembra ancora un po' troppo futuristica e difficile da realizzare oggi, il motivo è che la tecnologia disponibile non è ancora così all'altezza del compito.

FitzGerald ha anche ipotizzato che i soldati potrebbero portarsi sul campo delle stampanti 3D per produrre i pezzi di ricambio nel bel mezzo dell'azione.

Insomma, il mondo della guerra nei prossimi anni subirà cambiamenti che oggi non sono ancora nemmeno immaginabili, ma la guerra non è l'unica a fruire degli armamenti prodotti con la tecnica del 3d printing.

Oggi sono in fase di studio e realizzazioni prodotti, come silenziatori, da poter abbinare alle già stampabili pistole. Inoltre, la possibilità di poter lavorare con la creatività, porterà alla produzione di armi sempre più strane e particolari, che potranno avere grande valore per i collezionisti del genere.

5.2.15 Uso domestico

Le possibilità che la stampa 3d nel futuro nelle case di ognuno sono pressoché infinite. Ogni qualvolta avremo bisogno di qualcosa, avremo la possibilità di scegliere tra l'acquisto di determinato oggetto oppure l'autoproduzione di esso. Si può dire quindi che l'ambito domestico è quello che nel futuro riuscirà a sfruttare a pieno le possibilità della stampa 3D, perché ognuno potrà diventare creatore di qualsiasi cosa, migliorare modelli di altri e avrà la possibilità di condividere le proprie idee con il resto del mondo. La stampa 3D è in continua evoluzione e grandissima crescita sia dal punto di vista dell'interesse che della domanda. Nei prossimi anni ci sarà una sempre più adozione di stampanti 3D professionali e questo porterà all'incremento di lavoro per gli sviluppatori di software, scanner e anche per le aziende che offrono servizi di stampa.

L'entusiasmo intorno all'uso domestico fa, però, spesso dimenticare che la stampa 3D coinvolge un complesso ecosistema di software, hardware e materiali il cui utilizzo non è così semplice come premere il tasto stampa in una stampante a getto di inchiostro. Ognuna delle svariate tecnologie ha i propri pro e contro e ogni stampante ha dimensione e necessita di materiali differenti.

Nasce quindi il dibattito riguardo alla possibilità che questo possa essere effettivamente il vero futuro. L'incremento esponenziale dell'utilizzo domestico potrebbe, infatti, cambiare radicalmente il mercato, perché se ognuno potesse essere in grado di produrre

da se qualsiasi cosa di cui possa avere bisogno, i consumatori si trasformerebbero in veri e propri concorrenti delle aziende, le quali reazioni sono ancora inimmaginabili.

Capitolo 6

Conclusioni

In questo elaborato si è fatto riferimento a diversi aspetti fondamentali riguardanti sia il tipo di tecnologia, sia la diffusione, sia l'applicazione dell'additive manufacturing nei vari settori. Essendo una tecnologia particolarmente innovativa, seppur nata nei primi anni del 1980, è difficile prevedere quale sarà lo sviluppo e quindi l'evoluzione sia in ambito consumer sia in ambito aziendale. Tuttavia si possono già evidenziare alcuni probabili sviluppi che possono portare a favorirne l'adozione nei vari ambiti di utilizzo. Si è evidenziato come il 3D printing sia in grado di fornire vantaggi in molte fasi aziendali, dalla personalizzazione del prodotto alla fase di post-vendita svolta dall'azienda, e favorendo anche l'autoproduzione da parte del soggetto privato, che si trasforma da consumer a maker vero e proprio.

Il perfezionamento tecnologico e la crescente disponibilità di materiali potrà sicuramente ampliare gli ambiti di utilizzo individuati: il rapid prototyping e il rapid manufacturing. Mentre la prototipazione rapida si riferisce alla creazione di modelli per le imprese, il rapid manufacturing indica la realizzazione di beni finiti ed è qui che troviamo una delle particolarità intrinseche della stampa 3D: la flessibilità nella personalizzazione. Sempre più industrie stanno facendo ricorso alla tecnologia del 3D printing proprio grazie alla sua capacità di realizzare prodotti che si adattano alle caratteristiche specifiche dell'utente finale. Altri benefici rilevanti sono la capacità di realizzare strutture complesse, l'elevata precisione nei dettagli, la possibilità di modificare il progetto e nessuno spreco di materiale. Nel futuro, i beni potrebbero, inoltre, essere fabbricati vicino al punto di acquisto. Anche se il costo unitario di produzione dovesse essere maggiore, sarebbe poi più che compensato dall'eliminazione dei costi di spedizione e di magazzino. Questo potrebbe consentire di risolvere alcuni dei problemi come la mancanza di posti lavoro a causa della delocalizzazione degli stabilimenti all'estero. Inoltre, come detto più volte nell'elaborato, il 3D printing potrebbe dare risalto al lavoro intellettuale, alla creatività e all'originalità, arte in cui gli italiani sono maestri.

Nella produzione su larga scala, la stampa 3D non riesce però ancora a entrare in competizione con il sistema della catena di montaggio a causa dei tempi di produzione

troppo lunghi e dei costi elevati. Per quanto riguarda invece la realizzazione di beni su piccola scala, ci sono molti casi in cui è stata dimostrata l'efficienza della stampa 3D e la sconvenienza dei metodi tradizionali.

Si può affermare con certezza che l'adozione di queste tecnologie avverrà con successo e porterà importanti vantaggi nella produzione aziendale, ma anche nella creazione di oggetti creati dai soggetti privati. Per quanto riguarda i consumatori, questa adozione sarà inevitabilmente più lenta a causa del costo dell'investimento iniziale, problema che le aziende non hanno avendo a disposizione maggiori risorse per adottare l'innovazione rispetto ai singoli soggetti. La condivisione dei modelli, sia gratuita sia a pagamento, potrà essere uno stimolo importante all'acquisto delle stampanti 3D perché permetterà di superare le difficoltà di progettazione, ma una semplificazione dei software è sicuramente auspicabile. In azienda, invece, i vantaggi sono molto più concreti e derivano dall'affiancamento dell'additive manufacturing ai sistemi tradizionali, permettendo un miglioramento generale del processo produttivo.

Permangono in entrambi i casi delle criticità, alcune proprie della tecnologia, altre intrinseche nelle caratteristiche della manifattura italiana, ma che difficilmente bloccheranno la diffusione del 3D printing.

Alcune domande sorgono spontanee: riuscirà la stampa 3D a contribuire ad accrescere il valore del Made in Italy e ad aiutare il paese a risollevarsi dalla crisi economica? Riuscirà ad avere le caratteristiche necessarie per essere realmente il motore per una quarta rivoluzione industriale?

Ovviamente questo è tutto da vedere ma, se sfruttata nella maniera adeguata, le probabilità che la stampa 3D riesca a dare importanza ed esaltare il Made in Italy sono più che buone.

Bibliografia

1. AA.VV., “3D Printing Creative”, luglio 2015
2. AA.VV., “3D Printing Creative”, settembre 2015
3. AA.VV., “3D Printing Creative”, ottobre 2015
4. AA.VV., “3D Printing Creative”, dicembre 2015
5. AA.VV., “3D Printing Creative”, marzo 2016
6. AA.VV., “Il progettista industriale”, marzo 2016
7. M. Zanardini, A. Bacchetti, *Quando conviene la stampa 3D?*, in “SISTEMI&IMPRESA”, settembre 2015
8. M. Zanardini, *Quando conviene veramente la stampa 3D?*, in “SISTEMI&IMPRESA”, novembre 2015
9. M. Zanardini, A. Bacchetti, *Se la stampa 3D rivoluziona anche la supply chain*, in “SISTEMI&IMPRESA”, marzo 2015
10. M. W. Naing, C.K. Chua, K. F. Leong, Y. Wang, *Fabrication of customized scaffolds using computer-aided design and rapid prototyping techniques*, in “Rapid Prototyping Journal”, marzo 2005
11. S. Sambu, Y. Chen, D. W. Rosen, *Geometric Tailoring: a design for manufacturing method for rapid prototyping and rapid tooling*, in “Journal of Mechanical Design”, luglio 2004
12. T. Rayna, L. Striukova, *From rapid prototyping to home fabrication: how 3d printing is changing business model innovation*, in “Technological Forecasting & Social change 102”, 2016, 214-224
13. D. Dimitrov, K. Schreve, A. Taylor, B. Vincent, *Rapid prototyping driven design and realisation of large components*, in “Rapid Prototyping Journal”, febbraio 2007
14. R. Wang, S. Yang, *The design of a Rapid Prototype Platform for ARM Based Embedded System*, in “IEEE Transaction on Consumer Electronics”, vol. 50, Maggio 2004

Sitografia

1. C. Carelli, *Stampa 3D: L'industria è davvero pronta alla rivoluzione?*,
<https://www.ridible.com/stampa-3d>, consultato il 04.06.15
2. P. Di Salvo, *La stampa 3D è la prossima rivoluzione industriale?*,
http://gadget.wired.it/news/mondo_computer/2013/05/09/3d-printing-stampa-maker-repubblica-456794.html, consultato il 04.06.15
3. 3D Printing, https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing, consultato il 04.06.15
4. Stampa 3D, https://it.wikipedia.org/wiki/Stampa_3D, consultato il 04.06.15
5. A. Tassinari, *3DPrint Hub Milano – La fiera italiana sulla stampa 3D*,
<http://www.stampa3d-forum.it/3dprint-hub-milano-fiera-stampa-3d>, consultato il 05.06.15
6. <http://www.3discover.it>
7. <http://3dprintingindustry.com/>
8. <http://www.prototipazionerapida3d.it>
9. <http://3dprinthead.it/>
10. <http://www.stampa-3d.com/>
11. <http://latuastampante3d.it/>
12. Soiel International, *Stampa 3D: quando conviene e a chi*,
<http://www.soiel.it/news/dettaglio/stampa-3d-quando-conviene-e-a-chi/>, consultato il 17.06.15
13. C. Ghidotti, *Stampanti 3D: disegna, modella, crea*,
<http://www.webnews.it/speciale/stampanti-3d-disegna-modella-crea>, consultato il 19.06.15
14. S. Cosimi, *Guida alle stampanti 3D*,
<http://www.wired.it/gadget/accessori/2014/02/10/guida-stampanti-3d>, consultato il 05.06.15
15. Buy 3D Printer, *Plastic Jet Printing – PJP*,
<http://www.buy3dprinter.org/3dprintingtechnologies/plastic-jet-printing-pjp>,
consultato il 05.06.15
16. <http://www.3dsystems.com>
17. <http://www.3ders.org>
18. <https://www.asiga.com>

19. <http://www.stratasys.com>
20. HRS Flow, *Tasselli SLM – Selective Laser Melting*,
<http://www.hrsflow.com/ita/prodotti/tasselli-slm-selective-laser-melting/tasselli-slm-selective-laser-melting.php>, consultato il 05.06.16
21. 3ders.org, *Price compare – 3D printers*,
<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>, consultato il 07.07.15
22. <http://www.makerbot.com/>
23. <http://www.fabathome.org/>
24. <http://kentstrapper.com/>
25. <https://sharebot.it/>
26. <http://www.wasproject.it/>
27. <http://www.3ntr.eu>
28. <http://www.robotfactory.it/>
29. <http://dwslab.com>
30. <http://www.avioaero.com>
31. <http://www.3ditaly.it>
32. <http://www.corriere.it/>
33. <http://www.lastampa.it>
34. <http://www.repubblica.it>
35. <http://www.thetimes.co.uk/>
36. <http://www.ft.com/home/uk>
37. <http://www.nytimes.com/>
38. <https://www.washingtonpost.com/>
39. J. Slick, *Preparing a Model for 3D Printing*, <http://3d.about.com/od/Creating-3D-The-CG-Pipeline/ss/Preparing-A-Model-For-3d-Printing-Model-To-3d-Print-In-5-Steps.htm#step1>, consultato il 15.07.15
40. <http://www.wired.com>
41. <http://www.ilsole24ore.com>
42. Fondazione Make in Italy CDB, *Il 1° rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali nel Sistema manifatturiero italiano*, http://www.makeinitaly.foundation/wp-content/uploads/2015/10/make_in_italy_rapporto_completo_impatto_tecnologie_digitali_nel_sistema_manifatturiero_italiano.pdf

43. Stampa 3D Store, *Ricercatori giapponesi annunciano nuovo metodo di stampa 3D*, <http://www.stampa3dstore.com/ricercatori-giapponesi-annunciano-nuovo-metodo-di-stampa-3d/>, consultato il 03.03.16
44. Stampa 3D Store, *ColorFabb – il nuovo filamento 3D Ngen a base di copoliestere*, <http://www.stampa3dstore.com/colorfabb-in-nuovo-filamento-3d-ngen-a-base-di-copoliestere/>, consultato il 03.03.16
45. G. Vozzi, *Rapid Prototyping*, <http://dionisio.centropiaggio.unipi.it/gvozzi/Shared%20Documents/terapie%20mini-invasive/metodiche3D.pdf>, consultato il 4.02.16
46. <http://www.lpwtechnology.com/>