



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale (*ordinamento ex
D.M. 270/2004*)
in Sviluppo Economico e dell'Impresa

Tesi di Laurea

—
Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Additive manufacturing e le filiere 2.0

Implicazioni economiche e impatti sul sistema
aziendale, geografico e sociale

Relatore

Prof. Roberto Santolamazza

Laureando

Dejan Pejcic

Matricola 832371

Anno Accademico

2014 / 2015

Sommario

Abstract	3
1. Scenario generale	5
1.1. Portata economica dell'Additive manufacturing	8
1.2. Tecnologie e materiali impiegati	32
1.3. Settori economici coinvolti	44
1.4. Scenari futuri	55
2. Implicazioni economiche	69
2.1. Impatti sulla supply chain	69
2.2. Economia della conoscenza	79
2.3. Imprenditorialità e impresa	93
2.4. Occupazione e competenze	106
2.5. Indicazioni di policy	118
3. Case studies	133
3.1. Settore illuminotecnico	133
3.2. Settore della gioielleria	141
4. Conclusioni	149
Aziende coinvolte	155
Bibliografia	157
Siti web di riferimento	163

Abstract

L'additive manufacturing ha tutte le potenzialità per essere la vera *disruptive technology* del nostro secolo. I campi di applicazione di queste tecnologie sono numerosi: dal settore automobilistico alla gioielleria, dalle protesi mediche all'aerospaziale e così via. Il settore è in continua evoluzione e cresce a ritmi elevati, sebbene i valori assoluti non possano ancora competere con la manifattura tradizionale. Ciononostante tutte le grandi aziende, ma non solo, si stanno attrezzando per cogliere le numerose opportunità che l'utilizzo di queste forme di produzione innovativa offre. Gli interrogativi aperti che meritano di essere discussi sono molti e riguardano diverse sfere della realtà economica, non solo aziendale ma anche sociale e geografica. Quali conseguenze ha l'utilizzo della manifattura additiva sull'organizzazione aziendale? Quali competenze sono necessarie per sfruttare appieno i vantaggi che ne derivano? Come sarà la nuova geografia delle imprese? La nuova manifattura creerà posti di lavoro o metterà in ulteriore difficoltà i sistemi già fragili, come quello italiano? Quale sarà il ruolo delle istituzioni in questa nuova realtà? Quali sono le nuove competenze e figure professionali richieste? Le aziende sono pronte a ripensare il proprio modello di business?

1. Scenario generale

“A process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies”: è la definizione di *additive manufacturing* (AM) fornita da ASTM International¹.

La manifattura sottrattiva è il tipo di produzione a cui siamo abituati a pensare solitamente e che ha rivestito un'enorme importanza nello sviluppo della storia umana, economica e non. Si tratta di un processo attraverso cui il prodotto finale (o il semi-lavorato, a seconda dei casi) viene ottenuto rimuovendo parti del materiale per ottenere la forma desiderata. I primi esempi di questa “tecnologia” sono riscontrabili già nella preistoria, all'epoca in cui i primi *homo habilis* iniziarono a lavorare ed utilizzare rudimentali utensili di legno e pietra². La differenza tra i pezzi di pietra scheggiati per costruire le punte di lance e le moderne produzioni industriali dei nostri tempi è abissale. Ciononostante l'idea di base è la stessa: così come i nostri antichi antenati sottraevano pezzi di pietra per ottenere armi e utensili primitivi, allo stesso modo i tavoli e sedie che usiamo ogni giorno sono prodotti sottraendo pezzi di legno e/o altro materiale finché non viene ottenuta la forma dell'oggetto voluto.

Per contro, la manifattura additiva consiste nella fabbricazione di un oggetto attraverso aggiunta di strati successivi. Si caratterizza, inoltre, per l'utilizzo di macchinari particolari, come stampanti 3D, e di modelli tridimensionali digitali creati grazie a particolari software e gestiti dai computer. Va da sé che questa tecnologia si è sviluppata solo recentemente, avendo bisogno di una solida base tecnologica e scientifica. Volendo cercare un precursore di questa tipologia possiamo individuarlo nelle piramidi costruite dagli antichi egizi. Queste venivano costruite adagiando gli enormi blocchi di pietra uno sopra l'altro e ogni strato aveva una base minore di quello

¹ ASTM International è acronimo di *American Society for Testing and Materials International*. Si tratta di uno dei più noti organismi di normalizzazione mondiali.

² La comparsa del *homo habilis* si fa risalire a circa 2 milioni di anni fa.

immediatamente sottostante. Così la piramide veniva completata appunto “*layer upon layer*” e assumeva la ben nota forma visibile tuttora³.

La nascita delle moderne tecnologie utilizzate nell’AM è fatta risalire addirittura al 19 secolo⁴.

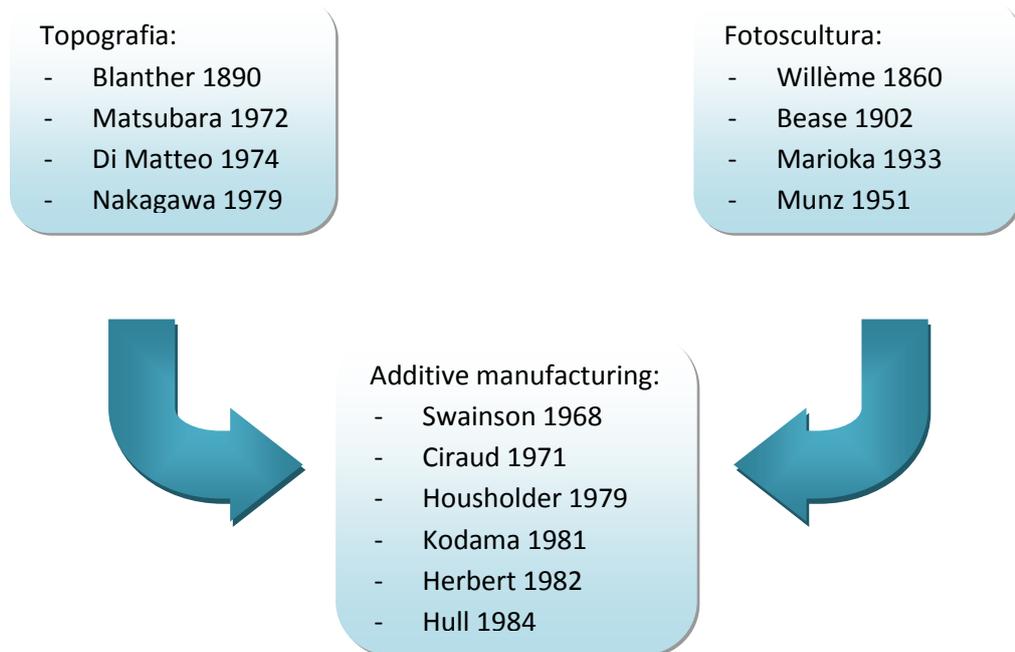


Figura 1.1 - I principali brevetti depositati presso l'ufficio brevetti statunitense legati alla nascita dell'AM. Sono indicati il cognome dell'inventore e l'anno di deposito.

Nel 1890 Joseph E. Blather propose una tecnica innovativa per la realizzazione di stampi che successivamente sarebbero stati utilizzati per la creazione di rilievi topografici. Ciascuna isoipsa veniva disegnata su delle diverse lastre di cera, queste ultime poi venivano tagliate seguendo il disegno. Dopodiché i pezzi tagliati venivano uniti e si formavano due superfici tridimensionali corrispondenti al terreno rappresentato dalle isoipse. A questo punto una lastra di cartone veniva pressata tra queste due superfici e veniva ottenuto il profilo topografico. La tecnica poi è stato

³ Questa è la teoria storicamente più accettata sulla costruzione delle piramidi, ma ce ne sono molte altre e profondamente diverse. Qua si tratta solo di un esempio quindi prendiamo come buona quella più condivisa.

⁴ Bourell, Beaman, Leu e Rosen (2009) hanno ricostruito la storia dell’AM attraverso l’analisi storica dei brevetti statunitensi. I cenni storici qua presenti di basano sul loro lavoro.

oggetto di miglioramenti e trasformazioni. In ogni caso, ciò che conta per la storia dell'AM è il fatto che sviluppando queste tecniche il professor Nakagawa dell'Università di Tokio ha iniziato a produrre macchinari come diversi tipi di presse ed altri.

Anche la fotoscultura si è avvalsa di tecniche additive già nel 19° secolo. Il francese François Willème nel 1860 utilizzava un sistema di 24 camere fotografiche per ricavare sagome di uno stesso oggetto (o spesso anche di persone) da diverse angolazioni. Successivamente un artigiano scolpiva le diverse sagome, che poi venivano unite per dare la forma finale dell'oggetto. Negli anni successivi la tecnica è stata sviluppata e si è passati prima alla realizzazione di sagome attraverso l'uso di gelatine fotosensibili, e successivamente alla realizzazione dell'intero oggetto attraverso l'esposizione a determinati agenti chimici. Successivamente furono perfezionate tecniche che permettevano prima la creazione attraverso solidificazione di polimeri fotosensibili grazie a due fasci laser (Swainson) e poi anche attraverso la solidificazione di altro materiale (Ciraud). Negli anni seguenti sono stati teorizzati ed eseguiti i primi esperimenti delle tecniche additive in uso anche oggi, che utilizzano principalmente i raggi ultravioletti per solidificare il materiale. Dagli anni ottanta in poi tutte queste tecniche sono state perfezionate ed estese ad una varietà di materiali (le tecniche principali verranno discusse più avanti in questo lavoro). Una tappa fondamentale della storia dell'AM è senza dubbio il deposito del brevetto per la stampante 3D, avvenuto nel 1984 da Chuck Hull. Questa tecnologia, però, ha avuto un impatto dirompente solamente a partire dal 2005, cioè dopo la scadenza del brevetto. Negli ultimi anni, infatti, sono nati dei progetti open source come *RepRap* e *MakerBot* che permettono a tutti di costruirsi ed assemblarsi in autonomia una stampante 3D, con costi molto contenuti.

L'impatto economico delle tecnologie AM è per il momento ancora limitato, seppur con tassi di crescita molto elevati. Ciononostante le potenzialità sono enormi, tanto che da diverse parti si invoca una terza rivoluzione industriale⁵. L'AM ha le carte in regola per diventare la vera *disruptive technology* del nostro secolo, con profondi

⁵ Tra i lavori più famosi c'è sicuramente quello del *The Economist*, che include la stampa 3D tra le tecnologie del *digital manufacturing* in grado di cambiare i paradigmi produttivi e cambiare le catene di valore dell'economia moderna.

impatti su molti aspetti della vita economica e sociale: dalle *supply chain* al mondo di lavoro, dalle dimensioni d'impresa alla redistribuzione della ricchezza a livello mondiale, dalla formazione alle politiche di sviluppo. Lo scopo di questo lavoro è di individuare le principali caratteristiche delle tecnologie AM, analizzarne i punti di forza e debolezza e gli impatti attesi sulla sfera economica, sociale e geografica. Come cambia la catena degli approvvigionamenti? Quali conoscenze saranno fondamentali per sfruttare le numerose opportunità che si stanno presentando? Come cambierà il mondo del lavoro? Quali politiche sono necessarie per favorire lo sviluppo dell'AM? L'analisi sarà svolta sia a livello generale che settoriale, anche con l'analisi di alcuni *case studies* di diversi settori e con ottime prospettive future e che hanno un ruolo significativo nell'economia italiana. Il lavoro si concentrerà principalmente sulla realtà economica italiana, ma verranno fornite anche indicazioni generali applicabili ad altri sistemi economici.

1.1. Portata economica dell'additive manufacturing

Attualmente i numeri relativi all'AM sono piuttosto limitati.

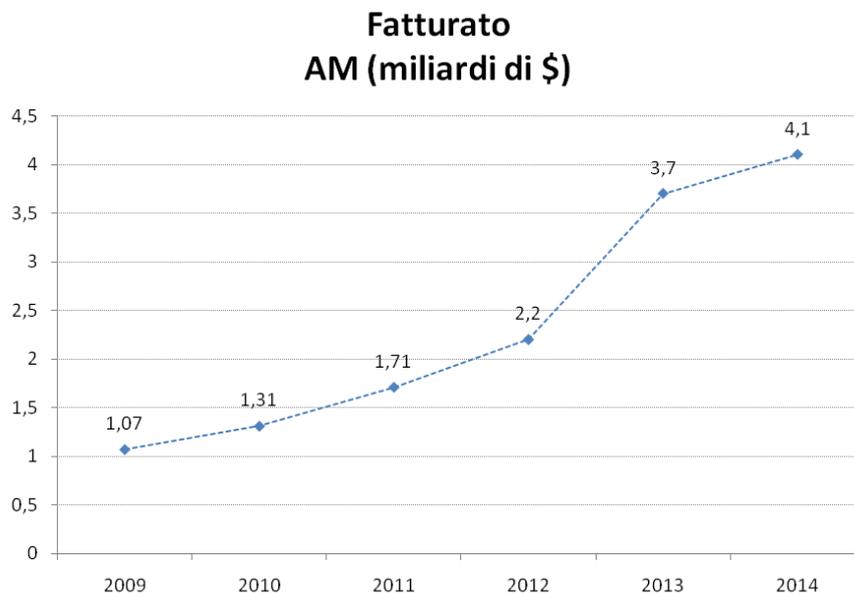


Grafico 1.1 - Fonte: Wohlers report

Il fatturato totale delle attività legate alle tecniche additive era pari a \$ 4,1 miliardi nel 2014, una cifra molto limitata rispetto al valore della manifattura

mondiale che supera gli 11.000 miliardi di dollari. Come si può vedere dal grafico 1.1, però, c'è una crescita costante e il settore è in aumento soprattutto negli ultimi anni.

È in crescita anche il fatturato dei materiali legati all'AM. In questo caso c'è stata un'impennata della crescita dal 2009 in poi (si veda grafico seguente), con un picco tra 2011 e 2012 dove il settore è cresciuto quasi del 30%.

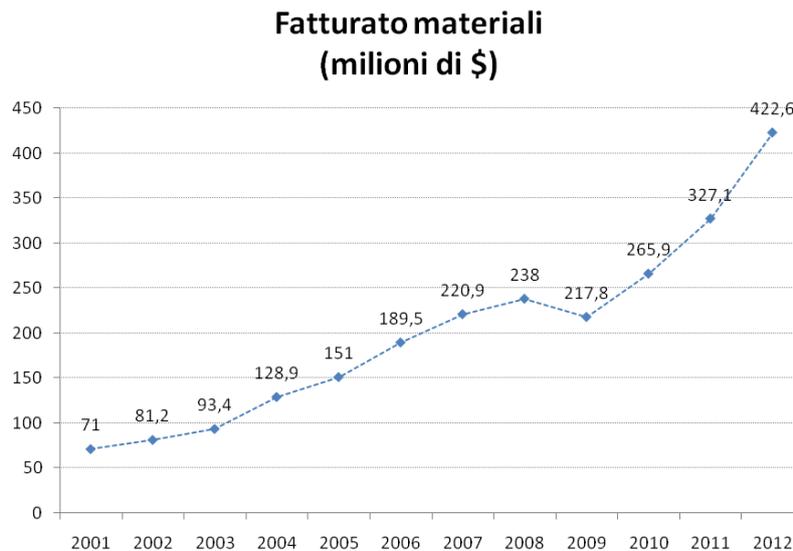


Grafico 1.2 - Fonte: Wohlers report

Attualmente gli sviluppi più interessanti vanno proprio nella direzione dei materiali, quindi è ipotizzabile un ulteriore aumento del valore nei successivi anni.

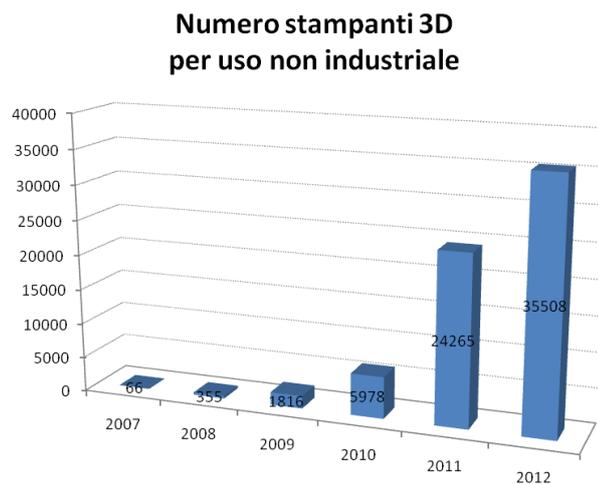


Grafico 1.3 - Fonte: Wohlers report

Negli ultimi anni si è visto un boom nella crescita delle stampanti 3D per uso non industriale, cioè quelle stampanti con un costo sotto i \$5.000 utilizzate dai *makers*

e liberi professionisti come architetti o designer. Tra il 2010 e 2011 il numero di queste stampanti è più che triplicato.

L'aumento del numero di stampanti per uso non industriale può essere spiegato facilmente dall'andamento dei prezzi di questi macchinari, che hanno registrato una discesa vertiginosa negli ultimi anni.

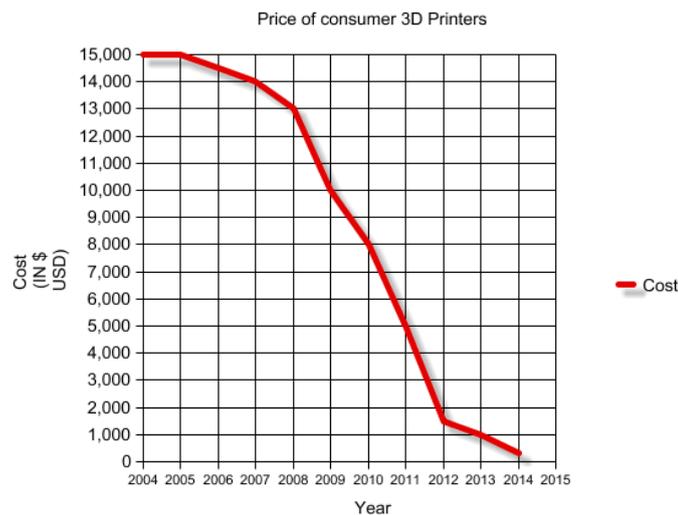


Grafico 1.4 - Fonte: www.wize3d.com

L'aumento dei numeri di queste tecnologie è dovuto alle ampie possibilità del loro utilizzo. Le previsioni per gli anni successivi sono molte diverse tra loro, a seconda della valutazione soggettiva di chi le fa. Il *Wohlers report* stima il fatturato legato all'AM a 6 miliardi di dollari nel 2017 e quasi 11 miliardi entro il 2021. Se si considera, però, l'impatto che le tecnologie additive possono avere sul totale del fatturato delle PMI si hanno previsioni più ottimistiche. L'associazione Prometeia stima che il fatturato delle PMI italiane di 29 microsettori può crescere di oltre 16 miliardi di euro in un anno grazie all'impiego della stampa 3D. Trattandosi di una tecnologia in continua evoluzione è difficile fornire delle stime precise, anche perché i campi di applicazione sono tra i più vari. Molto spesso le tecnologie impiegate in un settore possono essere facilmente trasferibile in un altro, che magari tradizionalmente non è mai stato collegato con il primo. Un esempio di questa contaminazione è il caso del settore del gioielli e di quello dentale. Le stampanti 3D usate nella produzione di gioielli possono essere adattate per la stampa di protesi dentarie, trattandosi in entrambi i casi di settori in cui la precisione e l'accuratezza della forma svolgono un ruolo fondamentale.

Principali vantaggi

Questa rapida espansione della manifattura additiva è dovuta ai grandi vantaggi che ne derivano. La possibilità di stampare gli oggetti *on demand* è una delle caratteristiche principali delle metodologie additive. Si è già visto come l'intero processo dell'AM è basata su modelli 3D digitali. Ne deriva che questo può essere inviato in tutte le parti del mondo ad un costo pressoché nullo e l'oggetto può essere stampato nel luogo del suo utilizzo. Questo comporta una sostanziale riduzione delle scorte fisiche e la loro sostituzione con una sorta di magazzino virtuale dove conservare i diversi file già pronti per la stampa. In alcuni casi si può assistere anche ad una eliminazione totale delle scorte. Si pensi soprattutto a prodotti che non possono essere fabbricati e consumati in grande serie, come i pezzi di ricambio per le auto d'epoca. Un'officina dotata di una stampante 3D può stampare il pezzo quando se ne presenta la necessità e cambiarlo immediatamente. Produzioni di questo tipo possono avere un costo non indifferente se gli oggetti devono essere stoccate per lunghi periodi. Questo comporta sia una riduzione dei costi, sotto forma di risparmio per l'affitto/ammortamento dello spazio fisico e del personale impiegato, sia una riduzione dei tempi di consegna. Gli effetti ricadono non solo sull'azienda, che deve necessariamente adeguare le proprie strutture e il sistema finanziario interno, ma anche sul consumatore finale, che può vedere sia una riduzione del costo del prodotto finale che una maggior velocità di risposta da parte dell'azienda. La riduzione del prezzo, in ogni caso non è del tutto ovvia, ma questo sarà discusso più avanti in un'ottica più generale. La miglior velocità di risposta, invece, è indubbia.

L'uso più efficiente dei materiali è già insito nella definizione di additive manufacturing presentata all'inizio di questo lavoro. Fabbricando oggetti strato su strato è possibile utilizzare la minima quantità necessaria del materiale, riducendo sensibilmente gli sprechi e abbassando i costi. Il minor consumo di materia prima può essere davvero rilevante, in termini di costo per l'azienda, se si lavora con materiale costoso o non facilmente reperibile. Le imprese che utilizzano metalli preziosi, come l'oro, possono ridurre notevolmente l'impiego di queste risorse scarse. L'uso ottimale dei materiali, comunque, si accompagna ad una serie di problematiche. In primo luogo, la lavorazione di alcuni materiali usati dalle stampanti 3D richiede un consumo

di energia maggiore di quello usato nei processi tradizionali. Per unità di massa di materia prima i processi di fusione delle polveri possono avere un consumo di energia molto maggiore rispetto ai processi tradizionali. Nel caso delle plastiche il consumo energetico può essere superiore fino a 50 volte, mentre nel caso dei metalli anche fino a 100 volte. Inoltre, il maggior consumo energetico si può avere anche nella fase di produzione delle polveri, con una ripercussione significativa sul prezzo finale del materiale. Per esempio, la produzione di un lingotto di titanio usato per la produzione tradizionale costa 90 €/kg mentre la produzione delle polveri utilizzate dalle stampanti 3D arriva a costare 190 €/kg⁶.

Grazie alle tecniche additive è possibile lavorare con materiali nuovi, non usati dalla manifattura sottrattiva. Le stampanti 3D depositano il materiale grazie ad un ugello. La maggior parte delle stampanti attualmente in uso si avvale solamente di uno, quindi creano oggetti con un materiale unico. Esistono, però, anche dei modelli dotati di due o più ugelli in grado di lavorare più materiali diversi, permettendo una maggior varietà nella produzione. La soluzione più semplice è quella di lavorare uno stesso materiale di due colori diversi. Ciò permette di ottenere una grande serie di sfumature, allontanandosi da una produzione monocolora. Un processo del genere aggiunge un valore puramente estetico, senza incidere in nessun modo nelle caratteristiche fisiche e chimiche dei materiali. Su quest'ultimo punto si può agire in maniera diversa, ossia combinando materiali diversi. Con la combinazione di due o tre materiali di base si potrebbe ottenere una gamma quasi infinita di materiali nuovi, con caratteristiche e proprietà diverse da quelle di partenza. Una cosa analoga si osserva nei colori: partendo dai tre colori base come blu, giallo e rosso è possibile ottenere una serie praticamente infinita di sfumature intermedie. Nel caso delle stampanti 3D il processo è un po' più complicato e presenta alcuni problemi. Nel caso di fusione delle polveri il ruolo fondamentale è svolto dalla temperatura di fusione. Le plastiche possono avere una temperatura di fusione sostanzialmente diverse da quella dei metalli, per esempio. Ancora, il tempo di solidificazione di un materiale può essere più lungo di quello di un altro e così via. Si tratta quindi di trovare soluzioni per superare

⁶ I dati qui riportati sono ripresi da Beltrametti e Gasparre (2014), che citano come fonte il *Wohlers Report* 2013.

questi problemi o quantomeno di combinare materiali compatibili. In questo senso la ricerca di base e sperimentazioni in laboratorio sono essenziali. Come punto di arrivo questa possibilità di mescolare i materiali si potranno stampare sistemi più o meno complessi. Per esempio, parti meccaniche potranno essere fabbricate già dotate di circuiti elettronici. Ne deriva che dalla stampante potranno uscire oggetti complessi già pronti per l'uso, come un cellulare. Al momento attuale delle cose si è ancora lontani dal poter stampare oggetti di questo tipo, ma un filone della ricerca va in questa direzione quindi credo che in futuro questo tipo di produzione diventerà la norma.

Un'altra proprietà, collegata a quanto appena descritto, delle stampanti 3D è la capacità di fabbricare oggetti senza la necessità di assemblare i pezzi. Questo permette di accorciare la filiera produttiva e incide sulla qualità del capitale umano impiegato. Va da sé che in questo modo il lavoro manuale di assemblaggio va sostituito con un lavoro più specializzato in fase di progettazione. L'oggetto deve avere un design più complesso per essere resistente e poter funzionare correttamente, quindi sono richieste elevate capacità di chi opera alla base del processo. Inoltre, prodotti fabbricati senza dover essere assemblati sono di norma più resistenti di quelli ottenuti unendo più pezzi diversi. I punti di saldatura, per esempio, possono essere punti deboli e più soggetti a rotture che causano il malfunzionamento del prodotto. L'AM consente di superare queste problematiche ed ottenere oggetti più resistenti e più performanti.

La possibilità di ottenere prodotti complessi saltando la fasi assemblaggio è dovuta anche alla grande libertà di forme in fase di progettazione e stampa. Le tecniche additive permettono una varietà di forme che non sono possibili con la manifattura tradizionale, soprattutto per le difficoltà in fase di realizzazione fisica dell'oggetto. Con l'AM è possibile costruire oggetti cavi all'interno, per fare un esempio. Questi tipi di oggetti sono quindi più leggeri di quelli ottenuti con la manifattura sottrattiva. Considerando che il peso può svolgere un ruolo significativo, si capisce come questa cosa non sia del tutto indifferente. Si stima che la riduzione di 100 kg nel peso di un aereo possa determinare un risparmio annuo in termini di

carburante di circa \$2,5 milioni per aerei impegnati su tratte brevi⁷. Inoltre, alcuni oggetti hanno bisogno di un circuito di raffreddamento nel loro interno. Solitamente questi circuiti vengono ottenuti o facendo dei fori sul prodotto finito o assemblando pezzi diversi per far sì che l'oggetto una volta finito contenga il circuito. In entrambi i casi si ottengono dei circuiti che contengono degli angoli, che rallentano lo scorrere del liquido usato per il raffreddamento. Grazie all'AM è possibile progettare questi circuiti in modo da ottimizzare le proprietà fluidodinamiche dei liquidi, migliorando di conseguenza la fase di raffreddamento e l'efficienza complessiva del prodotto. Altri esempi si possono trovare nelle proprietà aerodinamiche. La totale libertà di forme permette di progettare veicoli più aerodinamici, sia migliorando le prestazioni della macchine sportive, per esempio, che consentendo un risparmio energetico di auto, moto, aerei ecc. Tutto questo è possibile perché gli oggetti vengono fabbricati strato su strato. Il processo è gestito dal computer quindi è sufficiente dare degli input precisi e la macchina esegue senza particolari problemi, raggiungendo livelli di complessità e precisione non ottenibili con le tecniche tradizionali e le abilità manuali. Ad ogni modo, anche la libertà di forme dell'AM presenta dei limiti. Ci sono, in primo luogo, limiti di spessore di stampa dovuti alla grandezza dell'ugello o del fascio laser che solidifica il materiale. Questi non sono facilmente superabili, se non riducendo la grandezza dell'ugello, e rappresentano per così dire un limite "naturale" della stampa 3D. In secondo luogo, il materiale ha bisogno di un determinato tempo per solidificarsi, quindi sorgono dei problemi per parti orizzontali che non si appoggiano ad uno strato inferiore. C'è il rischio che in questo caso la parte crolli prima di solidificarsi interamente. Questo è un problema che può essere superato creando delle strutture di supporto che poi verranno eliminate manualmente una volta che l'oggetto è stampato. In questo caso si ha del materiale di scorta che difficilmente potrà essere riutilizzato. Alcuni limiti ci sono, ma nonostante questi le tecniche additive permettono numerose possibilità che i metodi tradizionali non presentano.

Da quanto appena visto e dal modo in cui l'AM opera derivano altre due conseguenze collegate e molto rilevanti: la complessità della manifattura è gratis e la varietà è gratis. Per complessità non intendo solo quella della forma fisica appena

⁷ Beltrametti e Gasparre (2014)

descritta, ma anche e soprattutto quella legata alla personalizzazione dei prodotti. Dal momento che la produzione di un oggetto non richiede stampi per produzioni di grande serie, si possono fabbricare piccoli lotti in base alle specifiche esigenze di un cliente o di una nicchia di clienti. Il costo marginale in questo caso è sicuramente più alto di quello che si avrebbe con una produzione di milioni di pezzi, ma trattandosi di un prodotto personalizzato il cliente riconosce un valore aggiunto ed è disposto a pagare di più per averlo. La tendenza di uno spostamento dai consumatori da un mercato di massa a una serie di mercati di nicchia è stata ampiamente discussa in letteratura⁸ e trova riscontro in molti settori. Inoltre, i dati sulle esportazioni italiane degli ultimi anni confermano una tendenza dei consumatori a preferire i prodotti di qualità, in cui la concorrenza non è basata esclusivamente sul prezzo⁹. La qualità può essere reale (fattori di produzione di qualità) o percepita (spesso dovuta al marketing del prodotto), ma in ogni caso il consumatore è disposto a pagare di più. La stessa cosa si ha anche con la personalizzazione; una grande quantità di consumatori tende a preferire prodotti di lusso o unici, che non possono essere ottenuti in modo redditizio con le produzioni di massa. Le tecnologie additive, invece, permettono di soddisfare questa domanda. I lotti ottenuti con le stampanti 3D possono stampare una serie di oggetti identici oppure una serie contenente prodotti completamente diversi tra loro ad un prezzo identico¹⁰. La varietà nella produzione, quindi, è pressoché gratuita. Un modello di business basato sulle tecnologie dell'AM non ha bisogno di produrre grandi quantità per poter competere sul prezzo, ma può specializzarsi su un segmento più piccolo del mercato dove la personalizzazione è l'elemento predominante. Nel campo delle protesi mediche, per esempio, si possono abbattere in modo sensibile i prezzi. Le protesi devono necessariamente essere costruite su misura di chi poi le porterà. Easton LaChappelle, un diciannovenne americano, ha sfruttato la stampa 3D per creare un braccio bionico che può essere assemblato in casa ad un costo di \$ 500. Il braccio è dotato di chip e sensori e in grado di essere controllato dalla mente. L'intero

⁸ Si veda Anderson (2006)

⁹ Il CSC calcola un indicatore di qualità (come rapporto tra i valori medi unitari delle esportazioni e i prezzi alla produzione per i beni venduti all'estero) che per l'Italia è cresciuto del 25% tra il 2000 e il 2014.

¹⁰ Più precisamente, il prezzo dipenderà soprattutto dalla quantità di materiale consumato. Quindi, i prodotti che necessitano di più materiali avranno inevitabilmente un costo maggiore.

progetto è *open source* e il processo di fabbricazione può essere scaricato gratuitamente da www.unlimitedtomorrow.com. Il prezzo di una protesi analogica costruita con metodi tradizionali è di circa \$ 60.000¹¹. Si tratta di un esempio lampante di come la manifattura additiva, insieme ad altri progetti *open source*, può cambiare radicalmente il costo e la varietà dei prodotti in circolazione.

Da quanto appena visto si può osservare come l'uso dell'AM non richieda particolari abilità manifatturiere. Gli oggetti realizzati possono essere commercializzati immediatamente. Inoltre, si è anche visto che c'è la possibilità di ottenere oggetti particolarmente complessi, la cui realizzazione è impegnativa (se non impossibile) anche per gli artigiani più esperti. Naturalmente questo non significa un totale annullamento della forza lavoro. Il lavoro manuale viene sostituito con un lavoro più intellettuale. Il capitale umano impiegato è quello che progetta l'oggetto, lo lavora con programmi di modellazione tridimensionale e lo prepara per la stampa finale. In alcuni settori, però, il lavoro manuale può ancora avere un ruolo decisivo. Nel settore del gioiello, per fare un esempio, si possono avere oggetti stampati che poi verranno rifiniti da un artigiano. In questo modo il prodotto acquista qualità e genere valore aggiunto. Questa unione tra tradizione e sapere artigianale e le nuove tecnologie può avere successo per i prodotti di lusso, moda e simili. In generale, tutti i prodotti che non sono adatti per la produzione di massa possono beneficiare da questa sinergia.

Va ricordata anche la dimensione "portatile" della manifattura additiva. Le stampanti 3D sono spesso di dimensioni ridotte e possono essere trasportate facilmente. Quelle *desktop* usate da appassionati e liberi professionisti sono grandi quanto un apparecchio da cucina. Le stampanti industriali hanno dimensioni maggiori ma comunque inferiori ai grandi impianti utilizzati nella produzione di massa. Inoltre, confrontando le dimensioni degli oggetti prodotte dalle stampanti 3D con quelle degli oggetti ottenuti con tecnologie tradizionali, si osserva come il rapporto è maggiore nel primo caso. Le stampanti possono fabbricare oggetti di poco inferiori alle proprie dimensioni, mentre i grandi macchinari delle produzioni di massa producono oggetti sensibilmente più piccoli. Tutto questo si riflette sui costi dello spazio fisico in cui i

¹¹ Gli articoli *on line* che ne parlano sono numerosi. Si segnala, tra gli altri, <http://www.focus.it/tecnologia/innovazione/easton-lachappelle-il-nuovo-genio-della-robotica>.

macchinari sono collocati. L'AM consente una riduzione dello spazio necessario, a parità di volume fisico della produzione.

Infine, bisogna menzionare il ruolo che la manifattura additiva può avere nella riproduzione di oggetti già esistenti. Si è visto come l'AM trae le proprie radici nella fotoscultura, cioè riproduzione di oggetti o persone grazie alle immagini. Attualmente la realtà può essere catturata grazie agli scanner, in uso già da diversi anni. In particolare, gli scanner 3D sono in grado di riportare in un file tridimensionali tutte le informazioni necessarie per riprodurre un oggetto fisico. Questo file può successivamente essere sistemato (se necessario) e stampato. Il passaggio dal mondo fisico al digitale e poi dal digitale al fisico è molto breve e la precisione nella duplicazione è senza precedenti. Le applicazioni di queste tecniche sono numerose. Nel campo delle geologia o dell'archeologia, per esempio, è possibile scannerizzare dei reperti e poi riprodurli per studiarli meglio, oppure ricostruire quelli danneggiati e avere una riproduzione più fedele. La scannerizzazione può essere usata anche nel settore della moda, dove gli accessori possono essere prodotti su misura del cliente: il braccio del consumatore viene scannerizzato e poi un braccialetto viene progettato e stampato per adeguarsi perfettamente al cliente. Si possono fare numerosi altri esempi, ma in generale si può dire la fedele riproduzione della realtà porta a significativi vantaggi non solo nel campo commerciale ma anche in quello delle scienze, della medicina e nella vita di tutti i giorni.

Terza rivoluzione industriale

Quando si parla di rivoluzione in ambito economico si intende un processo in grado di esercitare un'influenza profonda sull'intera realtà economica e che porta ad un radicale cambiamento dei paradigmi produttivi. Questo processo generalmente richiede un determinato periodo di tempo; non avviene all'improvviso da un giorno all'altro. C'è bisogno di un'invenzione radicale che poi sarà la tecnologia portante della rivoluzione, ma questa da sola non basta. Finché non si crea un mercato sufficiente l'invenzione rimarrà fine a sé stessa. Probabilmente verrà utilizzata solo in ambiente accademico e/o sperimentale. Sono necessarie, inoltre, anche delle conoscenze

tecniche per sfruttare la nuova tecnologia e un sistema aziendale in grado di adottarla e funzionare in modo efficiente. Infine, c'è bisogno di servizi di supporto e di assistenza che riguardano l'invenzione a cui si fa riferimento. Una volta che tutti questi fattori sono presenti la tecnologia entrerà a far parte dei sistemi produttivi aziendali. Prima solo in alcune aziende e a fianco delle tecnologie già consolidate e poi penetrando sempre di più, fino a diventare essa stessa il punto centrale del processo aziendale. Man mano che questo accade l'invenzione viene migliorata e il suo utilizzo viene esteso ad altri settori, potenzialmente molto diversi dal settore di origine. A questo punto si può parlare di cambiamento dei paradigmi produttivi e quindi di rivoluzione industriale ed economica.

Nel caso dell'AM questo processo è tuttora in atto. Il motivo per cui si parla di rivoluzione è che queste tecnologie hanno le potenzialità per essere applicate in quasi tutti i settori economici, con delle dinamiche che possono cambiare radicalmente il modo in cui l'economia opera. Naturalmente l'AM da sola difficilmente sarebbe in grado di operare un cambiamento così drastico, ma grazie ad altre tecnologie ciò sembra essere possibile. Queste tecnologie "di supporto" sono in primo luogo l'ICT e le nanotecnologie.

Per capire i potenziali cambiamenti della manifattura additiva è utile fare un confronto con il paradigma produttivo dominante nell'economia odierna, cioè quello delle economie di scala.

	Economie di scala	Economie di personalizzazione
Fonti di vantaggio competitivo	Bassi costi, alti volumi, elevata varietà	Personalizzazione
Catena di approvvigionamento	Relazioni sequenziali tra pochi grandi produttori con ruoli e responsabilità ben definite	Collaborazioni destrutturate tra molti piccoli produttori con ruoli e responsabilità in parte indefinite
Distribuzione	Costi di trasporto coperti dagli alti volumi	Interazione diretta tra consumatori locali/clienti e

		produttori
Modello economico	Costi fissi + costi variabili	Costi variabili dominanti
Progettazione	I vincoli produttivi si traducono in minore libertà progettuale	Il quasi totale annullamento dei vincoli produttivi libera le geometrie costruttive e rende economica la personalizzazione
Concorrenza	Concorrenti ben definiti	Concorrenti in continuo cambiamento

Tabella 1.1 - Fonte: elaborazione sulla base di Petrick e Simpson, 2013

Nella tabella 1.1 la colonna a destra descrive le caratteristiche di un'economia basata sull'AM. Si osserva come nelle economie di scala la principale fonte del vantaggio competitivo sia la possibilità di produrre grandi volumi a costi marginali molto bassi. Questo consente di ottenere una grande varietà di beni, anche se poi ciascun bene è identico e destinato ad un consumo di massa. Il grande numero di prodotti ottenuti dai singoli processi permette, inoltre, di coprire facilmente i costi di trasporto. Di conseguenza, la produzione può essere spostata in luoghi dove i fattori costano meno e poi la merce può essere trasportata sul mercato di destinazione. In quest'ottica i ruoli tra i soggetti coinvolti sono ben definiti. Solitamente il fulcro del sistema è la grande azienda multinazionale che commercializza il prodotto finito. A questa si aggiungono altri fornitori o sub fornitori con compiti molto precisi ed eventualmente degli intermediari che fanno da collegamento con il consumatore finale. Va da sé che non ci sono molte imprese in grado di produrre su scala internazionale, quindi i concorrenti sono limitati e ben definiti. È una situazione che a volte può tradursi nella creazione di oligopoli, come nel caso delle estrazioni petrolifere per esempio. Nei sistemi che sfruttano le economie di scala c'è bisogno di grandi investimenti iniziali per avviare la produzione. Quindi, si hanno alti costi fissi che devono essere ammortizzati nel tempo. A questi naturalmente si aggiungono i costi variabili, direttamente legati al volume effettivo della produzione. I macchinari impiegati vengono impostati all'inizio della produzione e hanno bisogno di lavorare grandi quantità per diventare redditizi: gli alti costi devono essere divisi per il più alto

numero di prodotti possibile. Inoltre, ci sono anche vincoli tecnici che devono essere rispettati, altrimenti si rischia di ottenere un prodotto diverso da quello voluto o non funzionante. Tutto questo porta ad avere precisi vincoli in fase di progettazione del prodotto, che vincolano le possibilità e le potenzialità dei designer.

Nelle economie basate sull'AM, dall'altra parte, la fonte principale del vantaggio competitivo è la possibilità di personalizzazione. In questo caso si è in presenza di un network di tanti piccoli produttori, che non hanno responsabilità ben definite ma interagiscono tra di loro per rispondere in maniera più efficace alle esigenze di clienti specifici. Essendo la personalizzazione l'elemento predominante, la produzione avviene nelle vicinanze del consumatore. Quest'ultimo spesso interagisce anche nella fase di produzione, quindi diventa esso stesso uno dei fattori che concorrono a dare forma e utilità finale al prodotto. L'elemento di discriminazione non è il prezzo finale, quindi non c'è la necessità di produrre dove i fattori costano meno. Questo non conviene anche per un secondo motivo; si parla di lotti piccoli, anche di un solo prodotto nel caso limite, quindi i costi di trasporto diventano significativi e rischiano di gravare pesantemente sul prezzo finale. Di conseguenza la produzione può essere spostata il più vicino possibile al consumatore finale. In questo modello i costi variabili sono dominanti. Le stampanti 3D hanno costi molto più contenuti rispetto ai grandi macchinari usati nelle produzioni di massa, quindi il loro ammortamento richiede quote più piccole e tempi più brevi. L'attenzione si sposta di conseguenza ai costi direttamente legati al volume della produzione. Questa riduzione dei costi fissi comporta un abbassamento delle barriere all'entrata in un mercato. Quindi, c'è l'incentivo per nuovi soggetti ad entrare sul mercato, il che porta ad una continua variazione dei concorrenti. Questi ultimi non sono ben definiti e spesso si tratta di aziende di piccole dimensioni, che magari si concentrano solo su una nicchia di mercato. Infine, la libertà di forme di cui si è parlato consente di rimuovere quasi totalmente i vincoli progettuali, permettendo una varietà ben maggiore rispetto alle produzioni tradizionali.

Le differenze tra i due paradigmi sono molto significative. I cambiamenti che l'AM porta nelle strutture aziendali e sociali possono essere profondi ed è proprio per questo che si parla di rivoluzione. Dal momento in cui un'economia passa dalla

produzione di massa alla produzione di piccoli lotti personalizzati si rende necessario un adeguamento delle strutture aziendali e non solo. Le imprese devono adeguare i loro modelli di business, aggiornare e assumere personale con conoscenze nuove, creare network in grado di gestire sistemi sempre più complessi ecc. Dall'altra parte, le istituzioni devono agevolare e incentivare questo passaggio. L'istruzione può svolgere un ruolo fondamentale nel fornire quella conoscenza di cui le imprese hanno bisogno, il sistema giuridico deve essere in grado di gestire le nuove problematiche legate alla stampa 3D che stanno nascendo e così via. In ogni caso, questo non vuol dire che nel breve periodo si assisterà ad un abbandono delle grandi fabbriche e un totale riversamento sulle tecnologie additive. Sicuramente questo avverrà, in misura più o meno accentuata, in molti settori, ma in altri la produzione di massa resterà la regola ancora per molto tempo. Finché i prodotti standardizzati potranno essere prodotti a prezzi molto bassi, continueranno ad essere un'esclusiva delle multinazionali. I paesi in cui il costo del lavoro è molto basso ci sono ancora e ce ne saranno ancora per parecchi anni. Se è vero che il costo della manodopera si sta alzando in Cina, è altrettanto vero che l'intero continente africano sta aspettando il suo turno per diventare la destinazione dell'*offshoring* delle aziende occidentali. Considerando, poi, che al momento attuale le stampanti 3D non possono neanche essere paragonate ai grandi macchinari in quanto a velocità di produzione, è chiaro che le fabbriche continueranno a svolgere un ruolo molto importante ancora per molto tempo.

Quello che si definirà sarà una distinzione tra mercati che si baseranno sulle grandi produzioni e quelli che si baseranno sull'AM. La discriminante tra i due modelli saranno i costi marginali di produzione. Si può osservare il loro andamento nel grafico 1.5.

Nelle produzioni di massa si osserva un costo marginale decrescente, dati gli elevati investimenti iniziali e quindi la necessità di ammortare i costi fissi. In questo caso, a titolo esemplificativo, il costo marginale (curva blu sul grafico) è dato dalla funzione $c = 100/Q$ dove Q è la quantità prodotta. Il costo marginale della manifattura additiva, invece, è assunto costante, poiché i costi iniziali dei macchinari sono

irrilevanti ai fini del calcolo. In questo caso il costo è assunto pari a 2 (linea rossa sul grafico).

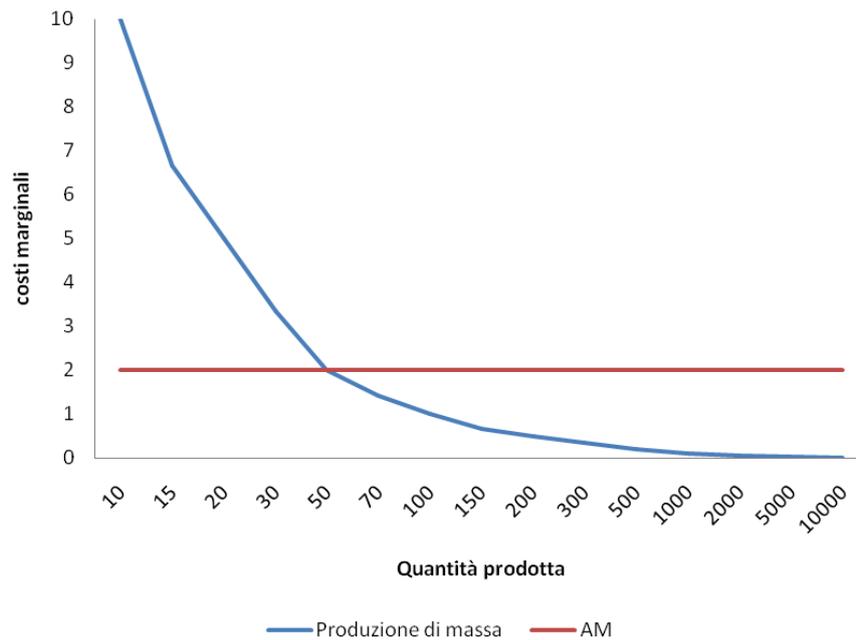


Grafico 1.5

Un produttore che deve scegliere tra questi due modelli si baserà sulla quantità che vuole produrre. In corrispondenza della quantità scelta è più conveniente la produzione che presenta il costo marginale più basso. In questo caso si vede come per $Q=50$ le due opzioni si equivalgono: in entrambi i casi il costo marginale è pari a 2 e il produttore è indifferente nel scegliere una o l'altra. Per quantità inferiori conviene affidarsi all'AM, mentre per volumi di produzione superiori è più conveniente utilizzare produzioni di massa. Al di là dei numeri, presentati a titolo di mero esempio, si capisce che per mercati contenuti e di nicchia, dove si producono pochi prodotti altamente specializzati, le tecnologie additive sono più vantaggiose e consentono un margine di guadagno migliore. Nel caso di un pezzo unico, come esempio limite, si avrebbero dei costi enormi se non si fa ricorso alle tecniche additive. Dall'altra parte, per produzioni più numerose vale il discorso contrario. Dove c'è la possibilità di sfruttare economie di scala conviene farlo. Il punto di equilibrio, dove i due metodi si equivalgono, varia da settore a settore. In generale, più il prodotto è complesso e specifico tanto più grande sarà questa quantità di equilibrio. Per prodotti fortemente personalizzati conviene sempre scegliere l'AM, perché nel caso contrario

l'ammortamento dei macchinari avrebbe un grande peso sul prezzo del prodotto, visto che un alto costo deve essere suddiviso tra una piccola quantità di prodotti. Al contrario, per prodotti standardizzati conviene scegliere una produzione di massa, per sfruttare le economie di scala e ridurre drasticamente il costo marginale.

Un produttore potrebbe essere interessato all'ammontare dei costi totali o dei costi medi, invece che al costo marginale. Estendendo il ragionamento appena fatto otteniamo i due grafici seguenti, dove il costo totale è dato da $100 \cdot \log(Q)$ nel caso della produzione di massa e $2 \cdot Q$ nel caso dell'AM.

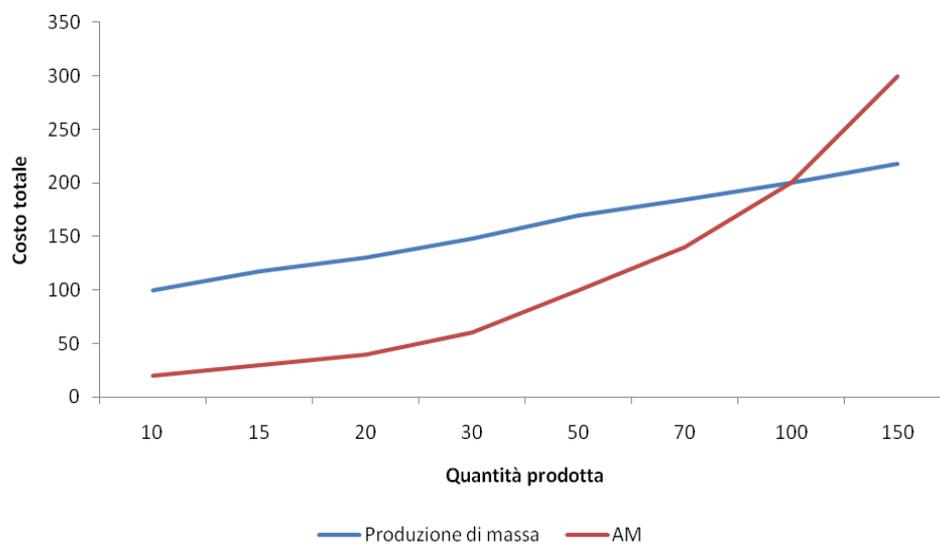


Grafico 1.6

Il costo medio è naturalmente il rapporto tra il costo totale e la quantità prodotta.

In questo caso il punto di equilibrio cambia e passa a $Q=100$. Questo perché, nel caso della produzione di massa, il costo marginale diminuisce più velocemente di quanti aumenti il costo totale. Nel primo caso l'alto costo degli investimenti iniziali viene ripartito su un numero sempre più grande di prodotti, quindi il suo peso diminuisce velocemente. Nel secondo caso, invece, il costo complessivo è meno sensibile alla quantità prodotta, poiché all'ammontare dei costi fissi iniziali si aggiungono solo le quantità di costo variabile imputabili ad ogni prodotto in più. Questo poi si riflette come conseguenza naturale anche sui costi medi. Le conclusioni generali, però, non cambiano. Se un imprenditore ha bisogno di produrre lotti

contenuti sarà incentivato ad affidarsi alla manifattura additiva, altrimenti gli converrà optare per le grandi produzioni. Sceglierà, cioè, la produzione che gli consente di avere il costo totale o medio più basso. Quindi, il ragionamento fatto con i costi marginali resta perfettamente valido.

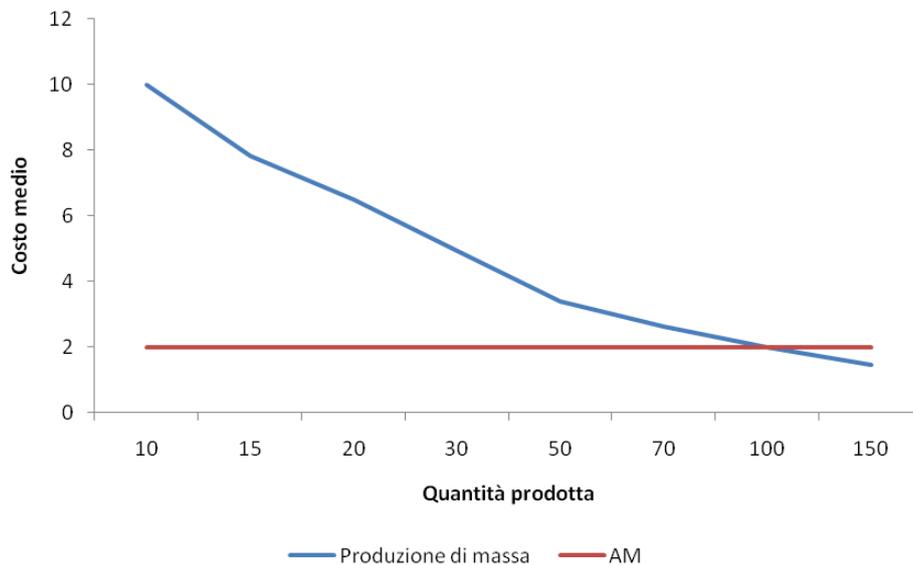


Grafico 1.7

In conclusione si può dire che finché le stampanti 3D non avranno tempi e capacità di produzione dei grandi macchinari si assisterà a questo sistema duale. Oltre a modelli basati interamente su uno dei due metodi, ci sono già e continueranno ad esistere dei sistemi produttivi misti. Nulla vieta di produrre componenti standardizzate in grandi lotti e avvalersi dell'AM per parti personalizzate o limitate. Questo metodo è già utilizzato frequentemente nell'industria automobilistica e aerospaziale, dove ci sono piccole componenti che possono essere più efficienti se realizzate con stampante 3D, mentre la maggior parte della produzione è svolta in modo tradizionale. Basta pensare al telaio di un'automobile o all'ala di aereo; per il momento le stampanti 3D in grado di realizzarle hanno dei costi molto alti e quindi non convenienti dal punto di vista economico. Si può sicuramente parlare di rivoluzione con riferimento alla manifattura additiva, ma questo processo è tuttora in atto e ci vorranno ancora molti anni prima che sia completato. In ogni modo, è difficile pensare che le produzioni di massa scompariranno del tutto, principalmente per due motivi. Il primo è che al momento attuale non c'è il minimo segno di cedimento delle grandi

produzioni delle multinazionali, come si è visto dai numeri presentati all'inizio di questo capitolo. L'AM rappresenta solo una minima parte della produzione manifatturiera mondiale. Il secondo motivo è ci sono prodotti standardizzati che difficilmente potranno essere oggetto di una personalizzazione. Si pensi alle forchette o alle bottiglie. Queste ultime sono utilizzate in grandi quantità dalle industrie, che necessitano di grandi quantità e pezzi identici. Probabilmente in un futuro più o meno lontano i macchinari utilizzati per queste produzioni saranno anche essi delle stampanti 3D, ma questo non cambia il paradigma produttivo: alti volumi di prodotti standardizzati con costi marginali bassi. La manifattura additiva non spazzerà via le grandi produzioni, proprio come l'avvento della fabbrica non ha cancellato il lavoro artigianale (nonostante le paure dei luddisti).

Non si tratta, in sintesi, di qualcosa che prenderà il posto di tutte le tecnologie attuali. Si parla di rivoluzione industriale perché questi nuovi macchinari saranno il centro del sistema produttivo dell'economia di domani, ma gli attuali paradigmi produttivi continueranno ad esistere. Il lavoro artigianale si trasformerà e dovrà prendere atto dei cambiamenti in corso, le produzioni di massa verranno utilizzate per alcuni prodotti, mentre per altri si assisterà ad una personalizzazione di massa. I cambiamenti saranno profondi, questo è certo, ma non si assisterà ad un fantascientifico mondo in cui tutto il lavoro sarà svolto dai computer e dove il lavoro umano svolgerà un ruolo secondario. Le conoscenze e la qualità del capitale umano saranno fondamentali per trarre massimo vantaggio dalle tecnologie additive.

Principali limiti

Tra i principali limiti della stampa 3D si ha la velocità di stampa degli oggetti. Questa può variare in modo significativo in base a diversi fattori. Makershred.com, la piattaforma di e-commerce di *Make* (la rivista e blog di riferimento per tutto il movimento *maker*), fornisce le velocità di stampa dei diversi modelli presenti per la vendita sul sito. Il *range* delle singole stampanti varia anche da 30 a 300 mm/secondo e tra tutte le macchine disponibili va da un minimo di 10 a un massimo di 300 mm al secondo. Non sempre ad un minor tempo di stampa corrisponde una qualità inferiore.

Si scende sotto il 0.05 mm per stampanti che hanno tempi più veloci, intorno ai 200 mm/sec, per arrivare fino a 0.4 mm per quelle più lenti. In linea di massima la velocità di stampa dipende da tre diversi fattori:

- 1) Complessità geometrica del oggetto
- 2) Densità e numerosità degli oggetti
- 3) Tecnologia impiegata

La complessità dell'oggetto stampato influisce perché tanto più il pezzo è complesso tanti più movimenti la macchina deve eseguire per ottenere la forma. Quel che conta sono principalmente le dimensioni x e y, cioè le due parallele al area di lavoro, mentre l'altezza (la dimensione z) non gioca un ruolo molto significativo. Infatti, l'ugello si sposta in alto o in basso solamente una volta completato lo strato precedente, quindi il movimento è sempre piccolo e non necessita di tempi particolarmente lunghi. In linea generale si può dire che la complessità degli oggetti, che si è visto essere uno dei vantaggi principali dell'AM, è inversamente proporzionale con la velocità di produzione. Naturalmente, più oggetti sono presenti in un lotto più tempo sarà necessario per completarli tutti. Inoltre, è importante anche la "densità" degli oggetti stampanti. Per densità si intende il volume effettivo dell'oggetto. Quindi, stampare un cubo cavo al suo interno richiede meno tempo che stampare lo stesso cubo completamente pieno all'interno. Infine, la velocità cambia anche a seconda delle tecnologie impiegate. Uno studio dell'Università di Maribor mostra come i tempi medi di lavorazione di una macchina che si avvale della tecnologia *laser sintering* sono più lunghi rispetto alle tecnologie come FDM e stereolitografia. I risultati possono variare da macchina a macchina ma è interessante notare come la scelta della stampante non è irrilevante e può influenzare i tempi della fabbricazione. A titolo d'esempio si consideri che una stampante in grado di stampare 15 mm al secondo impiega circa tre ore per stampare una statuetta di 5 cm per 2.5 cm¹².

La dimensione dei pezzi è un altro elemento da non sottovalutare quando si sceglie un modello basato sulla stampa 3D. La maggior parte delle stampanti non industriali ha delle dimensioni limitate, che si riflettono direttamente sulla grandezza

¹² I dati sono presi da www.3d-printers.toptenreviews.com.

degli oggetti che sono in grado di ottenere. Parlando di stampanti industriali il discorso non cambia più di tanto. Il mercato offre macchinari di dimensioni diverse, ma solitamente ad un piano di lavoro più grande corrisponde un prezzo più alto. Quindi è necessario tener conto di questo *trade-off* negativo. Per molti settori, come quello della gioielleria per esempio, dove si lavora solitamente con pezzi piccoli questo non rappresenta un limite particolare. Un'azienda che produce anelli, collane e bracciali personalizzati potrebbe sfruttare senza problemi anche una piccola stampante con area di lavoro di 14cm x 14 cm x 14cm. Dall'altra parte, un produttore di ricambi per auto d'epoca si potrebbe trovare in difficoltà davanti a dimensioni così ridotte. In sostanza, la dimensione della macchina scelta va basata sul tipo di attività a cui sarà destinata. La grandezza delle stampanti è un problema che si sta affrontando, tanto che esistono già diversi tentativi più o meno ingegnoso per superarlo (di questo si parlerà più avanti). In ogni caso i limiti di dimensioni possono essere superati attualmente ricorrendo alla stampa di pezzi più piccoli che poi vengono assemblati successivamente.

La qualità di stampa varia a seconda della tecnologia e della stampante impiegata. In alcuni casi i prodotti ottenuti hanno bisogno di una fase successiva di lavorazione, prima di essere commercializzati o utilizzati. La lavorazione più banale nella fase di post produzione è quella di rimozione di eventuali strutture di sostegno (create direttamente dalle macchine per far sì che il pezzo non colassi e possa essere stampato correttamente) o pulitura di polvere in eccesso, a seconda delle tecnologie impiegate. Le stampanti più sofisticate sono in grado di svolgere molte di queste azioni in autonomia, riducendo il lavoro manuale necessario in seguito. Per esempio, alcune stampanti di *3D Systems* usano getti di aria per rimuovere la polvere in eccesso che si accumula durante il processo di lavorazione. Nel caso della produzione di stampi i problemi legati alla rifinitura dei pezzi possono essere irrilevanti e non necessitano di lavorazioni particolari. In casi di prodotti che devono essere commercializzati immediatamente, però, questa può diventare una fase significativa. Gli interventi da fare possono essere diversi. In alcuni casi si deve intervenire per uniformare la superficie dell'oggetto, eliminando le imperfezioni dovute ai diversi strati della stampa. Oppure si interviene per lucidare o colorare una parte dell'oggetto, in caso di stampa

con un colore unico. Per altre produzioni, invece, possono essere richiesti lavorazioni più complesse. Vengono utilizzati, per esempio, prodotti chimici per rifinire i pezzi stampati, come le resine da laminazione. Queste vengono applicate mentre sono in forma liquida sull'oggetto ed eliminano le imperfezioni dovute alla stampa degli strati. In sostanza, la fase di post produzione assume una rilevanza diversa a seconda delle tecnologie impiegate e dell'utilizzo degli oggetti ottenuti. È necessario, quindi, tenere conto anche di questo: una volta stampato il pezzo potrebbe ancora avere bisogno di una lavorazione manuale.

Legato a quanto appena discusso è il tema dei materiali. Attualmente la maggior parte delle stampanti in commercio è in grado di lavorare un solo materiale alla volta. Questo non impedisce ad uno stesso macchinario di utilizzare materiali diversi, ma semplicemente è necessario sostituire manualmente il materiale ogni volta che la lavorazione lo richiede. In questo caso ci sono anche questioni legate all'impostazione della macchina, poiché non tutti i materiali hanno temperature di fusione identiche o vengono lavorati nello stesso modo. In tutti questi casi si rende necessario un intervento umano. Ci sono, in realtà, stampanti dotate di due o più ugelli che sono in grado di utilizzare più materiali contemporaneamente. Questo, però, risolve il problema solo parzialmente perché ci sono tematiche legate ai diversi problemi di comportamento dei materiali, come i tempi di solidificazione di cui si è già fatto riferimento. Quindi, per pezzi che devono essere composti da più materiali spesso si rende necessaria una fase di assemblaggio. Poiché è difficile, se non impossibile, stampare il pezzo già finito, è necessario stampare separatamente le diverse componenti e assemblarle in seguito. Questo problema si pone per prodotti che devono contenere un circuito elettronico o di raffreddamento, che deve necessariamente essere fatto di un materiale con caratteristiche particolari che magari sono diverse da quelle delle altre parti dell'oggetto. In casi del genere la stampa 3D può essere uno strumento utile per ottenere le singoli componenti, ma non riesce ad eliminare del tutto la fase di assemblaggio.

Anche in una situazione opposta a quella appena descritta, cioè nell'ipotesi che l'oggetto possa essere ottenuto senza il minimo impiego di lavoro manuale, sorgono alcune questioni da affrontare. Se l'intero processo di produzione viene gestito dai

macchinari vengono a mancare inevitabilmente quelle fasi ad alto impiego di manodopera, più o meno specializzata. Immaginando un modello di business basato esclusivamente sulle tecnologie AM, si intuisce come il capitale umano impiegato è solo quello che sta a monte del processo, quello che genera l'idea e dà gli ordini alla macchina per eseguire determinati comandi. La fase di lavorazione manuale, assemblaggio, rifinitura, stoccaggio ecc viene a mancare e con esse i posti di lavoro collegati. Questa è la preoccupazione più grande di chi è scettico nei confronti di queste e simili tecnologie. Dal momento che tutto è svolto dalle macchine e da pochi tecnici altamente specializzati, cosa resta per i lavoratori meno qualificati? È una domanda non banale e la risposta non né scontata né semplice. Il tema è molto delicato e richiede una discussione a livello macroeconomico che per il momento non c'è ancora, probabilmente perché l'impatto della manifattura additiva è ancora molto limitato. Man mano che quest'ultima assumerà più importanza, non si potrà che affrontarlo e cercare di dare delle risposte adeguate. Questa problematica verrà discussa in modo più approfondito più avanti in questo lavoro.

Infine, va menzionato anche il problema dell'impatto ambientale. Oltre alle questioni, già citate, di consumo di energia in fase di lavorazione delle stampanti, non sono da sottovalutare gli sprechi che possono derivare dalla stampa di oggetti inutili, incompleti o di prove sbagliate. Vista la facilità di ottenere l'oggetto a casa o in ufficio, nulla vieta ad un designer di stamparsi numerose prove di quello a cui sta lavorando. Tutte le copie a parte l'ultima probabilmente non serviranno a nulla e finiranno per essere buttate via. In misura ancora maggiore questo si potrebbe avere nel mondo delle stampanti desktop. La facilità di stampare i propri pezzi può portare ad un uso eccessivo ed aumentare i già enormi sprechi dell'economia. Questo si riflette direttamente sullo smaltimento dei rifiuti. I materiali usati dalle stampanti 3D hanno gli stessi problemi dei materiali tradizionali. In alcuni casi hanno bisogno di tempi e processi di lavorazione degli scarti non indifferenti. Finché non sarà possibile riciclare completamente i materiali bisogna tenere presente anche queste problematiche, che non riguardano tanto le singole aziende o il singolo *maker*, bensì l'intero sistema economico e sociale. Quindi è una questione che riguarda anche chi non è direttamente coinvolto in questi processi.

FabLab

Una considerazione a parte va fatta per i FabLab (dal inglese *fabrication laboratory*). Si tratta sostanzialmente di una struttura che si pone a metà tra un'officina artigianale e uno studio di design. È uno spazio di fabbricazione digitale dove le persone possono coprogettare e realizzare le proprie idee, spesso con l'aiuto del personale del FabLab e anche di altri soggetti esterni. Una tipica struttura di questo tipo si avvale di macchinari quali stampanti 3D, tagli laser, scanner 3D e macchine a controllo numerico, a seconda ovviamente della dimensione del singolo FabLab.

La funzione svolta da questi laboratori ha una duplice natura:

- 1) Supporto all'attività aziendale
- 2) Supporto all'educazione

La prima è un'attività rivolta al mondo delle imprese. In sostanza è un'azione di supporto volta a innovare i processi produttivi grazie all'utilizzo di tecnologie di fabbricazione digitale. Un'azienda che si rivolge a un FabLab lo fa per rinnovare i propri processi e prodotti, migliorando il proprio processo di innovazione. Il vantaggio di questo tipo di approccio sta nel fatto che non è necessario avere all'interno dell'azienda una figura professionale in grado di gestire tutte le questioni legate alla fabbricazione digitale. Ci si appoggia a un soggetto esterno e si cerca di capire dove possono esserci dei margini di miglioramento. Il punto fondamentale è proprio questo: capire dove la manifattura additiva può portare benefici e dove invece conviene continuare a usare tecniche tradizionali. Questo approccio è vantaggioso specialmente nella fase iniziale, cioè quando l'azienda si affaccia per la prima volta al mondo della fabbricazione digitale e non riesce ancora a capirne la portata effettiva e gli utilizzi pratici. Successivamente, invece, qualora le tecnologie digitali dovessero entrare a far parte quotidianamente del processo produttivo, l'azienda può valutare la convenienza di gestire al proprio interno anche questa fase.

La funzione più interessante, però, è quella rivolta al mondo dell'istruzione. Grazie a questo tipo di spazi è possibile progettare e sviluppare idee in un modo diverso, dove è possibile realizzare in tempi rapidi un progetto e ampliare gli strumenti didattici a disposizione degli insegnanti. L'idea di base è che gli studenti imparano

provando a fare effettivamente le cose. Questo tipo di servizio è rivolto soprattutto a istituti tecnici e artistici, ma ovviamente non sono escluse neanche altre tipologie. La cosa interessante è soprattutto questa possibilità di affiancare persone con un *background* diverso, in modo da creare contaminazioni che altrimenti non sarebbero possibili. Progetti nati in questo modo possono svilupparsi con modalità del tutto imprevedibili. In questo senso si tratta di un vero e proprio laboratorio, dove grazie alla sperimentazioni possono nascere idee innovative e magari successivamente applicabili anche nelle realtà aziendali. A questo proposito si parla di avere un FabLab in ogni scuola. Al momento questo forse risulta troppo eccessivo. Un giusto compromesso potrebbe essere un laboratorio a cui facciano riferimento più scuole. Al limite un FabLab per città o poco più, in relazione anche alla numerosità degli istituti presenti sul territorio. Questo proprio per permettere questa contaminazione di cui si è appena detto. L'idea che ogni scuola abbiamo il proprio laboratorio è accattivante ma rischio di diventare controproducente. C'è il rischio che poi ogni istituto si limiti a realizzare progetti strettamente legati al proprio ambito. Permettendo, invece, progettazioni a fianco di studenti con formazioni diverse le possibilità aumentano sensibilmente. È proprio questo il campo dove questi laboratori sembrano avere uno sviluppo maggiore. Sempre più spesso nascono progetti che coinvolgono le scuole. Il poter fare e realizzare facilmente il proprio lavoro svolge quella funzione di formazione sulle tecniche digitali che manca al momento e quindi non può che essere accolta favorevolmente.

Un ultimo cenno va fatto sulla creazione di una rete italiana di FabLab. Al momento questo *network* non esiste, benché se ne stia già parlando. La sua realizzazione non è semplice per via dei molteplici interessi coinvolti. I soggetti sono numerosi e spesso hanno visioni e necessità diverse. In più, manca anche una figura che si prenda carico di portare avanti un progetto sicuramente molto ambizioso, ma che risulterebbe positivo per numerosi aspetti. In primo luogo, una rete permetterebbe un trasferimento orizzontale di conoscenze che porterebbe vantaggi a tutti i soggetti coinvolti. Molto spesso i diversi FabLab, anche geograficamente vicini tra di loro, sono gestiti da personale con una formazione culturale diversa e che quindi hanno conoscenze diverse. Si va dagli architetti agli ingegneri, per esempio. Se questi

due fanno parte di una rete comune possono completarsi a vicenda e accelerare il processo di formazione e apprendimento. Come seconda cosa, la rete risulta essere utile anche perché permette un maggior utilizzo di tecnologie. Nessun FabLab può avere a disposizione tutte le tecnologie digitali in circolazione. Grazie a un'organizzazione comune una struttura può avvalersi di tecnologie presso altre strutture, mettendo naturalmente a disposizione le proprie per altri soggetti. Anche questo migliora sensibilmente le performance e gli impieghi che questi centri possono avere. Infine, una rete di FabLab può permettersi di fare investimenti comuni. Acquistare certi macchinari può comportare una spesa notevole che magari i singoli laboratori non possono permettersi, ma che con uno sforzo di gruppo può essere profittevole. Per questi motivi una rete nazionale o quanto meno regionale è più che auspicabile. Permetterebbe a tutti i soggetti di raggiungere una visibilità maggiore ed espandere il proprio raggio d'azione.

1.2. Tecnologie e materiali impiegati

Il processo alla base di tutte le tecnologie additive è lo stesso: il pezzo viene ottenuto strato per strato. Ci sono, però, diversi modi di applicare questo principio. Alcune stampanti applicano un processo *bottom-up*, cioè depositano prima lo strato inferiore e poi man mano quelli successivi, altre invece utilizzano il *top-down*, quindi depositano prima lo strato superiore e poi quelli inferiori. Le tecnologie, poi, cambiano anche in base al materiale utilizzato. I processi di fusione delle polveri richiedono un approccio diverso da quello di solidificazione di materiali liquidi e così via. Gli stessi materiali sono tra i più vari e vengono utilizzati in modo diverso a seconda dell'oggetto e del risultato che si vuole ottenere. Si va dai materiali più tradizionali, come le plastiche, per arrivare alla lavorazione di metalli preziosi, come oro e argento.

Tecnologie

In linea di massima le tecnologie utilizzate dalle stampanti 3D si possono distinguere in tre categorie diverse, in base alla forma del materiale utilizzato. Nella

tabella seguente sono sintetizzate le tecnologie principali, con distinzione di quelle che impiegano materiale liquido, solido o polveri.

Tipologia	Tecnologie principali
Stampanti a polvere	Sinterizzazione laser selettiva (SLS)
	Microfusione laser selettiva (DMLS)
	Fusione a fascio di elettroni (EBM)
	Polveri e legante (SLM)
	Plaster-based (PP)
Stampanti a materiale liquido	Stereolitografia (SLA)
	PolyJet
	Digital Light Processing (DLP)
Stampanti a materiale solido	Modellazione a deposizione fusa (FDM)
	Laminated Object Manufacturing (LOM)
	Multi Jet Modeling (MJM)

Tabella 1.2

La sinterizzazione laser selettiva è una tecnologia sviluppata dal ricercatore Carl R. Deckard dell'Università del Texas in collaborazione con DARPA (Agenzia governativa del Dipartimento della Difesa degli Stati Uniti). Questa tecnologia si avvale di un laser per fondere polveri di diversi materiali: soprattutto nylon, nylon caricato vetro, elastomeri e metallo. La macchina stende le polveri strato dopo strato su una tavola che si abbassa progressivamente una volta solidificato il materiale, fino a completare la forma dell'oggetto. Il principale vantaggio di questa tecnologia sta nel fatto che si possono impiegare vari tipi di materie prime (anche in grado di restituire elevate rese meccaniche e termiche). I prototipi ottenuti con la tecnica SLS sono più resistenti di quelli ricavati con altre modalità, come la stereolitografia, ma l'aspetto finale risulta essere piuttosto grezzo e non gradevole perché la superficie tende a essere porosa. Per questi motivi si rende necessario un intervento in fase di post produzione, procedendo ad esempio alla stuccatura e verniciatura. La SLS viene solitamente usata da chi ha

esigenze di creazione di prototipi strutturali, per verifiche di montaggio, test di ingombro e di forma ecc, anche in virtù della sua precisione. Con questa tecnologia, infatti, gli strati raggiungono uno spessore di circa 0,1 mm.

Come sviluppo ulteriore di questa tecnologia abbiamo la DLMS (Microfusione laser selettiva), che consiste in un laser ad alta temperatura che crea il pezzo fondendo metalli in polvere. Con questa tecnica è possibile realizzare prototipi e parti funzionali direttamente in metallo, con un grado di precisione molto alto che arriva anche fino a 0,05 mm, e un buon livello di dettaglio. I prodotti così ottenuti hanno proprietà meccaniche superiori a quelli prodotti con sistemi tradizionali da barre, fusione o forgiatura. Tra i settori in cui questa tecnologia viene sfruttata con più successo troviamo quello orafa e quello medicale. In particolar modo, la capacità di lavorare materiale come titanio e l'acciaio inox permette di realizzare con questa tecnologia protesi medicali e dentali. Inoltre, prestazioni molto buone si ottengono anche per gli inserti degli stampi a iniezione e per componenti definitivi per i settori automobilistico e aerospaziale. I punti critici della DLMS sono la scadente finitura superficiale e i rischi di deformazioni. L'aspetto esteriore può essere lavorato in post produzione e grazie alla lucidatura e sabbiatura, per esempio, la qualità del prodotto può essere migliorata sensibilmente. I rischi di deformazione, invece, sono tanto più grandi quanto più l'oggetto è complesso e presenta delle parti o dei settori con poco spessore.

La società svedese Arcam ha sviluppato una tecnologia analoga alla DLMS, solamente che al posto del laser ad alta temperatura utilizza un fascio di elettroni. Questa tecnica, chiamata per l'appunto EBM (*Electron Beam Melting*), funziona esattamente come quella appena vista, con esclusione della sorgente che solidifica le polveri. Rispetto alla precedente, la tecnologia EBM risulta essere più veloce e quindi più competitiva per la produzione di lotti numerosi. Dall'altra parte, però, ciò si ottiene a scapito della precisione, il che porta ad avere una fase di rifinitura del pezzo più lunga. Essendo il processo di produzione totalmente in assenza di aria, ciò permette di utilizzare anche materiali che altrimenti reagirebbero immediatamente con l'ossigeno producendo composti potenzialmente pericolosi e dannosi.

Un'altra tecnica che utilizza un fascio laser per ottenere la forma dell'oggetto è quella a polveri e legante (SLM, dall'inglese *Selectiv Laser Melting*). In questo caso, a

differenza di quanto accade con la SLS, la solidificazione dei granuli di polvere avviene fondendo totalmente il materiale in modo selettivo e non solidificando i granelli di polvere. Questa tecnologia permette di utilizzare materiali come leghe di titanio, acciaio e alluminio. Tra i principali punti di forza delle SLM si ha il mantenimento delle stesse proprietà meccaniche e fisiche che l'oggetto avrebbe di fronte ad una lavorazione tradizionale. Tutto questo, però, si ottiene senza le criticità tipiche dei processi tradizionali, come i punti di fragilità dovuti a saldature o altre lavorazioni.

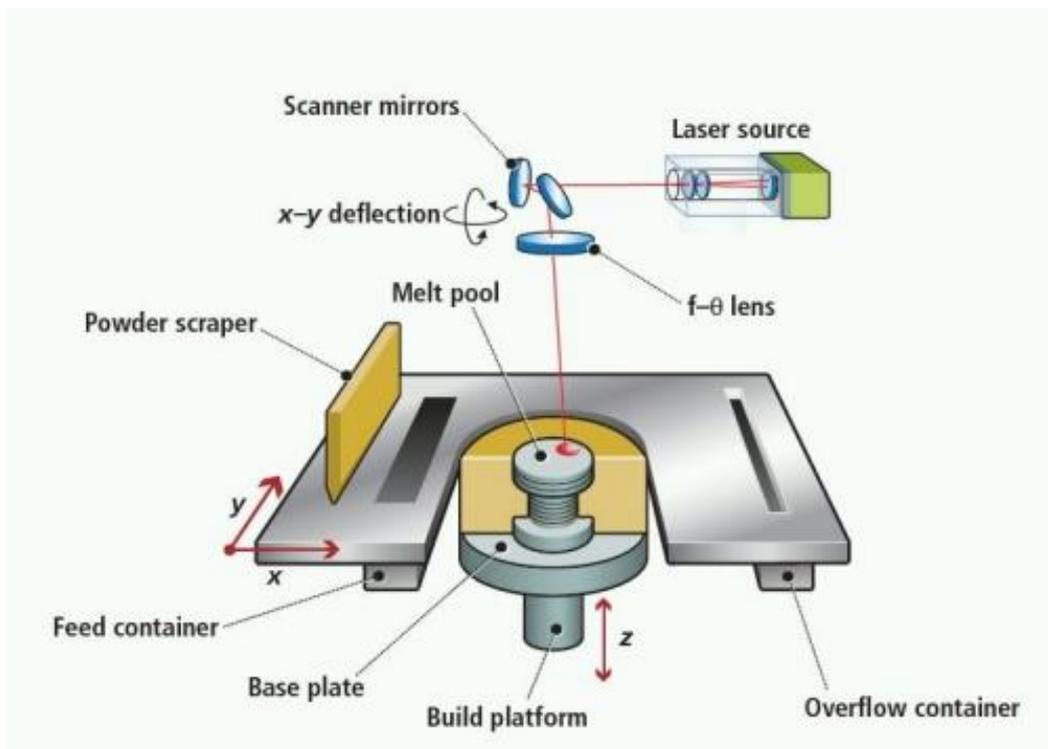


Figura 1.2 - Schema di funzionamento di una stampante SLS. Fonte: www.stampa3d-forum.it

Infine, come ultima delle tecnologie di lavorazione delle polveri qui trattate, si ha la PP (Plaster-based). Questa tecnologia consiste nell'utilizzare una testina *InkJet* che stampa su un letto di polvere un legante, solidificando strato su strato fino al completamento del modello. Il pezzo viene ottenuto spargendo uno strato di materiale (tra quelli più usati si trovano il gesso e le resine) e aggiungendo con il getto d'inchiostro un legante nella sezione trasversale della parte, ripetendo l'operazione fino al completamento del prodotto. La PP permette anche di realizzare sporgenze, poiché la polvere non raggiunta dal legante fa da supporto al modello; cosa che non è possibile con tante altre tecnologie. Tra i principali vantaggi di questa tecnica c'è la possibilità di combinare del colore al legante, creando oggetti con una vasta gamma di

colori. Inoltre, la PP ha dei tempi di realizzazione degli oggetti superiori ad altre tecniche, il che rappresenta un altro indubbio vantaggio. L'aspetto poroso delle superfici dei modelli creati e la scarsa resistenza meccanica rappresentano, dall'altra parte, i limiti di questa tecnica. Anche in questo caso si rende necessaria una fase di rifinitura dopo la stampa del pezzo.

La Stereolitografia (SLA) è stata la prima tecnica di prototipazione rapida a essere stata immessa sul mercato. Non è una tecnologia che appartiene a un solo produttore e quindi è relativamente competitiva rispetto ad altre tecnologie industriali per la stampa 3D. Si basa sulla polimerizzazione di una resina liquida per effetto di un laser che provvede a costruire il pezzo strato dopo strato.

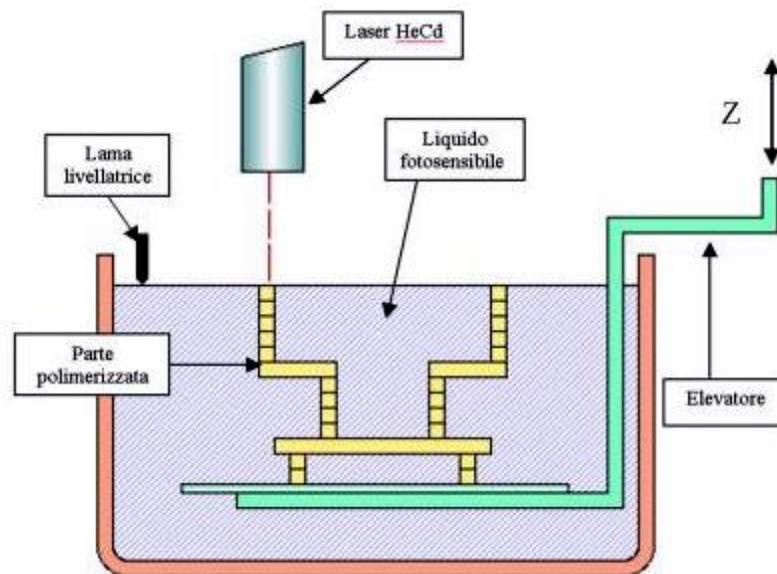


Figura 1.3 - Schema di funzionamento di una stampante SLA. Fonte: www.consorziotecnopolo.it

La SLA consente di produrre pezzi con geometrie complesse e con finiture di superficie migliori rispetto ad altri processi additivi. I pezzi prodotti con questa tecnica si contraddistinguono soprattutto per un elevato livello di finitura e per la definizione accurata dei dettagli. Tuttavia, nel tempo i pezzi diventano fragili se rimangono esposti a fonti luminose. Questo succede perché il processo iniziale di polimerizzazione, che avviene mediante raggi ultravioletti, prosegue successivamente con la normale luce dell'ambiente. Tra le controindicazioni bisogna nominare la resistenza dei pezzi stampati, che sono più delicati rispetto a quelli realizzati con resine industriali e di conseguenza non sono particolarmente adatti per collaudi funzionali. Da segnalare,

poi, anche la potenziale tossicità e l'elevato costo delle resine fotosensibili. Uno degli impieghi più interessanti della SLA è senza dubbio quello della produzione di modelli master per la realizzazione di stampi.

La PolyJet è un metodo avanzato di produzione additiva che consiste in testine simili a quelle delle stampanti a getto d'inchiostro che depositano fotopolimeri su strati sottilissimi che poi vengono solidificati con la luce UV. Le macchine stampano con strati da 16 micron e un livello di precisione fino a 0,1 mm per superfici lisce, pareti sottili e geometrie complesse. È una tecnologia in grado di supportare un'ampia gamma di materiali con proprietà diverse: dalla gomma ai materiali rigidi, dai materiali opachi a quelli trasparenti. Tra i suoi punti di forza va menzionata la possibilità di realizzare oggetti di forme molto complesse, anche con dettagli trasparenti e parti morbide. Inoltre, questa tecnologia è caratterizzata dall'elevata precisione e dalla velocità di stampa. Come punti deboli si ha la resistenza dei pezzi prodotti, che è inferiore a quelli realizzati con la stereolitografia. Per il momento questa è l'unica tecnologia presente sul mercato in grado di combinare diversi materiali in un'unica sessione di stampa, permettendo quindi la produzione di pezzi più complessi e con maggiori funzionalità rispetto ad altre tecnologie.

La tecnologia *Digital light processing* (DLP) sfrutta un semiconduttore ottico per manipolare la luce digitale. Il cuore del processo è il microchip DMD (*Digital Micromirror Device*), il quale è ricoperto di milioni di specchi che si muovono indipendentemente l'uno dall'altro. Lo stesso sistema viene utilizzato anche nell'ambito della stampa 3D, esponendo alla luce di un proiettore DLP un polimero liquido posto in una vasca che si solidifica strato per strato. Questa tecnologia permette di realizzare pezzi ad alta risoluzione, fino a più di 3 volte superiore alla tecnologia SLA¹³. Questa maggiore risoluzione si traduce in finiture superficiali di alta qualità, che risultano più gradevoli al tatto e richiedono meno lavorazioni in fase di post produzione rispetto ad altre tecnologie. Oltre alla buona risoluzione la DLP si distingue anche per brevi tempi di stampa, in particolare modo per parti complesse.

¹³ Il rapporto sulla manifattura additiva di 3D Printing Creative riferisce che con la SLA si possono arrivare a dimensioni dei voxel (pixel volumetrici) nell'ordine dei 100 micrometri, mentre le stampanti con tecnologia DLP sono in grado di creare voxel di soli 30 micrometri.

Per tale processo si può impiegare una vasta gamma di materiali stampabili per produzione diretta e prototipazione rapida, come ceramiche e metalli.

La tecnologia di Modellazione a deposizione fusa (FDM) è stata sviluppata alla fine degli anni 80 ed è la più diffusa tra le tecnologie di stampanti *consumer* e *maker*, anche se in alcuni casi viene utilizzata anche nelle produzioni industriali. I pezzi vengono ottenuti strato per strato tramite la deposizione di un termoplastico che proviene dalla fusione di un filamento. I materiali maggiormente usati sono i diversi tipi di plastiche, come ABS, PLA e così via. Si tratta di una tecnologia alla portata di tutti perché può essere usata anche in ambienti dove non c'è uno specifico trattamento dell'aria, il che spiega la grande diffusione nel mondo non industriale. Gli oggetti prodotti con questa tecnologia hanno caratteristiche molto utili, poiché sono resistenti al calore, agli agenti chimici, allo stress meccanico e a variabili come l'umidità e la secchezza. Inoltre, le parti realizzate con la FDM non hanno bisogno di finitura, anche in molti casi si perfezionano esteticamente con verniciatura o sabbiatura, per accrescerne le qualità estetiche.

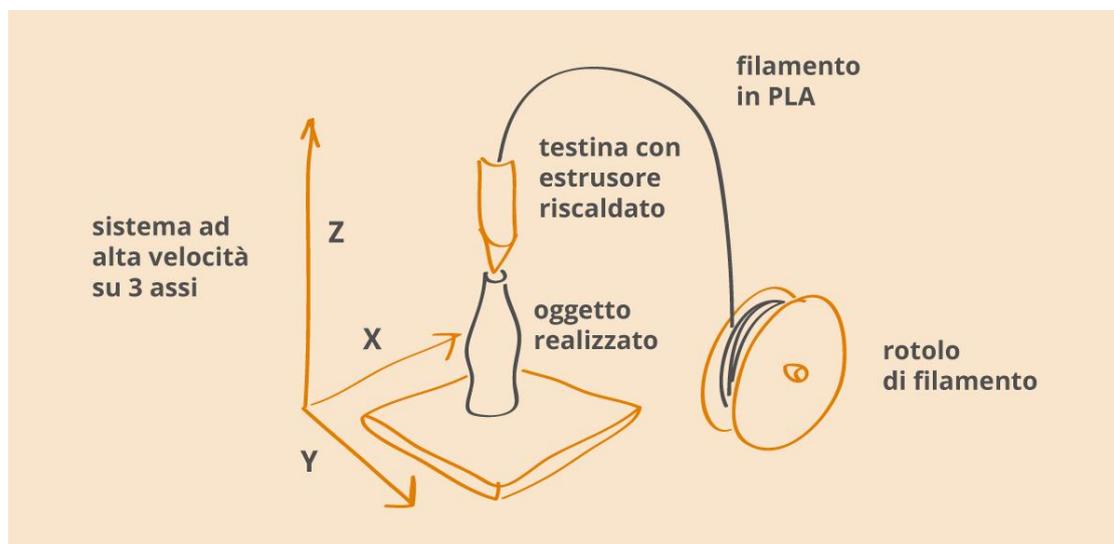


Figura 1.4 - Uno semplice schema di funzionamento di una stampante FDM. Fonte: www.3ditaly.it

Utilizzando alcuni materiali particolari, come ad esempio il policarbonato, con le stampanti FDM professionali si possono realizzare anche prototipi funzionali e piccole produzioni definitive. In particolare, è possibile costruire prodotti e attrezzature avanzate per i settori medicale, automobilistico, aerospaziale e alimentare. Le sue certificazioni di biocompatibilità e idoneità al contatto con gli

alimenti permettono l'uso della fabbricazione additiva in applicazioni quali utensili personalizzati per la lavorazione degli alimenti e dispositivi medicali sterilizzabili.

La tecnica di produzione mediante oggetti laminati (LOM) non è tra le più diffuse al momento. Impiega fogli di carta comune tagliati e incollati strato su strato. Ha il vantaggio di poter costruire oggetti finali di dimensioni elevate, maggiori della gran parte delle tecnologie attuali di stampa 3D, ma il trattamento successivo è impegnativo perché è complessa l'estrazione del materiale in eccesso. Il prodotto finale ha aspetto e caratteristiche simili al compensato, per cui deve essere impermeabilizzato e trattato con carta abrasiva. I punti di forza comprendono certamente una buona finitura superficiale, nessuna deformazione dovuta alle tensioni interne e un processo molto veloce. La scarsa utilizzazione di questa tecnologia è dovuta soprattutto al materiale usato, che non ha grandi proprietà funzionali e non può essere utilizzato nella maggior parte dei settori.

Multi Jet Modeling (MJM) è un procedimento concettualmente molto simile a quello della stampa a getto d'inchiostro, solamente che in questo caso la testina contiene una resina termoplastica simile alla cera che viene disposta sulla tavola di lavoro e sottoposta a raggi ultravioletti fino a creare l'oggetto desiderato e le eventuali strutture di sostegno. Tra i vantaggi di questa tecnologia vanno nominati l'elevata velocità di stampa rispetto alle tecnologie meno performanti, l'ottima finitura delle superfici e l'elevata definizione di stampa. La MJM viene molto usata soprattutto nel comparto delle microfusioni a cera persa o per realizzare modelli per stampi in silicone. Le sue applicazioni più recenti si estendono anche alla gioielleria e alla moda, sia per la realizzazione di prototipi che consentono di verificare l'oggetto prima della produzione di serie sia per vere e proprie microproduzioni di pezzi unici o di piccole tirature. Il processo, quindi, risulta molto utile per le produzioni in cui l'elemento della personalizzazione è rilevante.

Materiali

I materiali utilizzati dalle stampanti 3D sono numerosi e in continua evoluzione ed espansione. Quelli principali maggiormente utilizzati per il momento sono i seguenti:

- Plastiche
 - ABS
 - PLA
- Resine
- Metalli
 - Metalli preziosi
 - Rame
 - Titanio
 - Acciaio
- Nylon
- Cera
- Silicone
- Argilla
- Sabbia
- Ceramiche

ABS è l'acronimo di acrilonitrile – butadiene – stirene. Si tratta di un materiale plastico fra i più utilizzati, insieme al PLA, dalle stampanti desktop. È il materiale più economico presente sul mercato, il che spiega in parte il suo ampio utilizzo. Un altro fattore vantaggioso che lo caratterizza è l'elevata resistenza al calore, il che permette di realizzare componenti piuttosto durevoli, soprattutto in confronto ad altri materiali simili. L'ABS, però, presenta anche alcune problematiche che vanno tenute in conto. In primo luogo, durante il procedimento di stampa vengono rilasciati fumi potenzialmente pericolosi ed è, quindi, necessario un adeguato sistema di ventilazione. Inoltre, il materiale tende a deformarsi con il raffreddamento, quindi è essenziale un piano di lavoro riscaldato che permetta di mantenere la forma finale del pezzo. Questo

tipo di plastica viene lavorato ad una temperatura che va dai 215°C ai 250°C e la velocità media di stampa è dai 30 agli 80 mm/sec, a seconda delle macchine impiegate. Ci sono, poi, alcune varianti del materiale base che permettono di ottenere delle prestazioni migliori, a fronte di un costo più elevato. Per esempio, ABS DeLuxe permette di migliorare la precisione della stampa e Smart ABS consente di migliorare la resistenza meccanica degli oggetti stampati.

PLA, o acido polilattico, è il secondo dei materiali più comunemente usati per stampanti *consumer*. Tra i vantaggi di questo materiale si ha sicuramente il basso costo, resistenza meccanica e assenza di alcune delle problematiche legate all'ABS. Il PLA, infatti, può essere ottenuto da alcune sostanze vegetali, come l'amido di mais o le patate, ed è quindi tendenzialmente più compatibile con l'ambiente e biodegradabile. Inoltre, durante il processo di stampa non viene rilasciata nessuna sostanza particolare e non si presentano problemi nel mantenimento della forma dei pezzi. Quindi, nell'utilizzo del PLA non sono richiesti accorgimenti particolari come per la stampa a base di ABS. Dall'altra parte, proprio perché si tratta di un materiale biodegradabile c'è il rischio che questo si deteriori molto rapidamente, sia perché assorbe l'umidità presente nell'aria sia per l'esposizione ai raggi ultravioletti. Ulteriore problema è rappresentato dalla fragilità dei pezzi, soprattutto per parti complesse e di poco spessore, per le quali c'è il rischio di danneggiamento o spaccatura. Il PLA viene lavorato ad una temperatura che va dai 160°C ai 220°C e si può stampare a velocità piuttosto elevate, dai 60 ai 200 mm/sec. Anche in questo caso, come per l'ABS, ci sono delle varianti che permettono di ottenere una maggior qualità di stampa. Per esempio, *PLA Pro Series* è un filamento che viene utilizzato per le stampe professionali di alta qualità e assicura una maggior precisione negli oggetti ottenuti. Naturalmente il costo cresce in modo proporzionale. Questo tipo di plastica può venire a costare più del doppio rispetto ad un comune filamento PLA.

Ci sono, poi, altre tipologie di plastiche utilizzate, anche se le due appena descritte sono le più utilizzate. Alcune plastiche, come PVA, vengono utilizzate per costruire delle parti di supporto, quando l'oggetto principale è stampato in un altro materiale. In questo particolare caso si tratta di un materiale idrosolubile, particolarmente utile per i supporti proprio perché si dissolve se viene immerso

nell'acqua. Esempi di oggetti stampati con questi materiali sono molto numerosi. Si va dai modellini stampati da designer e architetti all'oggettistica del mondo *consumer*, dalla realizzazione di prototipi alla bigiotteria e così via.

Un'altra tipologia di materiali molto interessanti per la stampa 3D sono le resine, anche se il loro utilizzo può essere limitato perché necessità di eventuali strutture di supporto degli oggetti durante il processo di fabbricazione. Sostanzialmente, la resina è un materiale viscoso capace di indurirsi a freddo o a caldo. Si tratta di un grande numero di polimeri differenti e complessi, che possono essere ottenuti con una grande varietà di metodi e materie prime. Solitamente gli oggetti stampati con questi materiali hanno un elevato livello di dettaglio e precisione. Questo, però, si riflette sul costo dei macchinari che sono in grado di utilizzarli, che richiedono tecnologie più sofisticate e di conseguenza sono più costosi rispetto a quelli che utilizzano altri materiali. In particolare, la resina permette di stampare pezzi resistenti, con una ottima precisione e dotati di parti mobili. Quest'ultima caratteristica è sicuramente molto importante, perché permette di espandere sensibilmente il campo di applicazione della stampa 3D.

L'utilizzo dei metalli nella manifattura additiva è più recente rispetto alle plastiche e resine, ma le applicazioni sono potenzialmente molto più numerose e significative per diversi settori economici. Stampare parti in metallo permette di ottenere pezzi solidi, con determinate proprietà (come per esempio parti conduttori dell'elettricità) che possono avere più funzionalità rispetto alle parti in plastica. Nella maggior parte dei casi i metalli utilizzati dalle stampanti sono sotto forma di polvere, ma non mancano anche esempi di utilizzo di materiale liquido. Questi ultimi sono più limitati e ancora in fase sperimentale. Per esempio, una lega di galio e indio in forma liquida è stata utilizzata per stampare dei circuiti elettronici¹⁴. Il materiale in polvere, invece, è quello storicamente più utilizzato e presenta una vasta gamma di metalli. Vengono utilizzati i metalli preziosi (oro e argento su tutti), titanio, acciaio, rame, bronzo, cobalto, tantalio e così via. Il vantaggio di utilizzare questa tipologia di materiali nella stampa 3D è strettamente legato con quello che si è visto essere due dei vantaggi principali dell'AM, cioè la libertà di forme e l'assenza di scarti di

¹⁴ Ladd, So, Muth, Dickey (2013)

produzione. La possibilità progettare i pezzi nel modo più funzionale permette un grande risparmio di materiale e, quindi, nel caso dei metalli un grande risparmio di costi. Per contro, però, i macchinari in grado di ottenere parti in metallo non sono tra i più economici. Attualmente è difficile trovare dei validi macchinari sotto i \$70.000, però ci sono numerosi progetti in atto (alcuni di quali anche *open source*) che stanno cercando di abbassare il costo di queste tecnologie.

Il Nylon è un materiale della famiglia delle poliammidi sintetiche, tradizionalmente utilizzato per produrre tessuti con caratteristiche simili alla seta. Questo materiale è dotato di proprietà meccaniche particolarmente interessanti. Permette, infatti, di produrre oggetti resistenti e flessibili. Viene spesso usato anche nel settore aerospaziale perché in grado di resistere a forti vibrazioni e sollecitazioni ripetitive. Presenta però, alcune problematiche: è sensibile all'umidità, c'è il rischio di deformazione durante il processo di stampa, viene lavorato a temperature spesso superiori ai 250°C e quindi non può essere lavorato dalle macchine più economiche. La qualità dei pezzi ottenuti può essere migliorata dopo la stampa, attraverso l'utilizzo di colori per tessuti a base acida.

I materiali appena descritti sono quelli più utilizzati, sia perché i primi ad essere usati sia perché hanno trovato un'immediata applicazione economica, essendo utilizzati anche nelle produzioni tradizionali. Ci sono, poi, altri materiali che vale la pena nominare e che vengono impiegati nei settori più vari. La cera, per esempio, viene impiegata per modernizzare i processi di costruzione degli stampi. La facilità di lavorazione, insieme alla libertà di forme di cui si è parlato, permette di stampare facilmente dei pezzi in cera che poi vengono trasformati in stampi. Un esempio interessante di questa applicazione si ha nel campo della gioielleria, dove gli stampi vengono costruiti grazie a pezzi stampati in cera che poi vengono immersi nel gesso liquido. Quest'ultimo si solidifica e poi essere utilizzato come stampo per produrre gioielli in metallo. Recentemente sono state sviluppate tecnologie in grado di lavorare il silicone. Questo può essere impiegato in una molteplicità di settori. L'applicazione più interessante riguarda soprattutto il settore medicale. Il silicone può essere impiegato nella realizzazione di protesi e anche per la ricostruzione di tessuti umani. Altri materiali, come l'argilla e la sabbia, sono in fase di sperimentazione nel campo

dell'edilizia e potranno rivoluzionare in modo profondo il settore quando saranno messi a punto. Lo sviluppo di tecnologie in grado di utilizzare questi materiali rappresenta uno dei principali campi di sviluppo delle tecnologie additive e verrà discusso più nel dettaglio nei prossimi paragrafi.

1.3. Settori economici coinvolti

I settori in cui le tecnologie della manifattura additiva sono impiegabili sono davvero numerosi, tanto che potenzialmente potrebbero essere utilizzate in ogni campo dell'attività economica. Naturalmente la portata effettiva cambia da settore a settore, così come le tecnologie e i materiali. Ciononostante, gli impatti sono significativi e portano con sé cambiamenti sempre maggiori. È verosimile immaginare un utilizzo sempre più intensivo dell'AM, visti i significativi vantaggi che ne sono collegati. Si sta già creando un circolo vizioso: le tecnologie attuali consentono di migliorare la produttività, questo miglioramento si traduce in maggiori incentivi a sviluppare ed estendere le tecnologie che diventano sempre più competitive e produttive e il ciclo riprende. Per comprendere la portata effettiva delle tecnologie additive si esaminerà brevemente i principali settori coinvolti. Un'analisi più dettagliata di alcuni settori verrà svolta più avanti.

Design

Tra le applicazioni più semplici e immediate della stampa 3D ci sono tutte quelle attività collegate al mondo dei designer, modellisti e in generale tutti i liberi professionisti che hanno a che fare con la modellazione e progettazione degli oggetti. Una stampante consumer (quindi con un costo inferiore ai \$5.000) può essere sufficiente per stampare l'oggetto progettato e capirne meglio le caratteristiche, che poi potranno essere migliorate rapidamente. Non a caso una delle applicazioni storiche dell'AM è proprio quella della prototipazione. Passare dal disegno digitale al pezzo fisico diventa molto più semplice e veloce grazie alle stampanti tridimensionali. Lavorare con i file digitali permette di apportare modifiche in maniera piuttosto

semplice, eliminare i difetti di progettazione, migliorare la funzionalità del pezzo e così via. Disporre con facilità della rappresentazione di quello che si sta progettando risulta essere molto utile per molti professionisti. Si pensi ad un architetto che può stampare il proprio progetto semplicemente dando l'input ad una macchina, invece di impiegare parecchio tempo e materiali per costruire modelli di legno o simili. In questo modo è più facile relazionarsi con il cliente, mostrare effettivamente il risultato della progettazione, discuterne i cambiamenti e in ultima istanza velocizzare l'intero processo e renderlo più produttivo sia per il cliente che per il designer.

Nel caso di stampa di modelli che hanno uno semplice scopo rappresentativo l'investimento richiesto è piuttosto limitato. Può essere sufficiente una semplice stampante economica che la utilizza materiali come l'ABS o il PLA. Ovviamente nel caso di prototipi che devono superare prove termiche, urti o altre sollecitazioni si rende necessario un materiale adeguato e la tecnologia in grado di usarlo. In ogni caso i benefici sono sensibili, perché si rende possibile un grande risparmio di costi dovuto alla facilità di cambiare le caratteristiche dell'oggetto e quindi perfezionarlo prima dell'effettiva immissione sul mercato.

Settore automobilistico

Il settore automobilistico è stato tra i primi ad impiegare le tecnologie additive. Inizialmente come metodo di prototipazione rapida per sviluppare nuove componenti e successivamente per stampare parti sempre più complesse fino ad arrivare a macchine prodotte quasi interamente con stampanti 3D. L'uso iniziale è rimasto tuttora e non si limita solo ad essere una valida soluzione per sperimentare parti nuove, ma anche un ottimo modo per produrre i pezzi di ricambio solamente quando sono necessari. Con riguardo alla progettazione di parti innovative bisogna tenere presente quello che si è menzionato all'inizio, tra i vantaggi principali dell'AM. La possibilità di ottenere pressoché qualsiasi forma permette agli ingegneri di sperimentare e mettere in atto soluzioni che qualche anno fa non erano pensabili. È possibile creare nuovi circuiti di raffreddamento, stampare le singole parti del motore per vedere come interagiscono tra di loro e cosa succede quando il motore è in

funzionamento, stampare prototipi di sedili per verificare come si adattano alle diverse forme del corpo umano, stampare pezzi già assemblati per migliorare le prestazioni e così via. Un'ulteriore applicazione si ha con riguardo alla forma delle macchine. Progettare e poi stampare forme aerodinamiche permette di migliorare le prestazioni e risparmiare energia, il che trova impieghi sia nel settore delle macchine da corsa che in quelle da strada. Altra questione sono i pezzi di ricambio. Stamparli *on demand* permette di eliminare del tutto le scorte fisiche, con tutti i vantaggi che ne derivano. Inoltre, il cliente è in grado di personalizzare i pezzi e vivere più intensamente l'esperienza della macchina a 360°. Infine, un cenno va anche ai pezzi di ricambio per le macchine d'epoca. Naturalmente questi non vengono più prodotti in grande serie perché la domanda non è sufficiente. Grazie alla stampa 3D il problema può essere superato, poiché è possibile produrre ogni pezzo singolarmente. Pezzi stampati su richiesta sono ancora un'idea futuristica, almeno per quanto riguarda la situazione italiana, ma credo che non ci vorrà molto tempo prima che diventi realtà. Le tecnologie e i materiali utilizzabili sono già disponibili, quindi non sono presenti grandi ostacoli all'utilizzo di queste forme di modelli aziendali.

All'*International Manufacturing Technology Show (IMTS)* di Chicago è stata presentata, nel settembre 2014, la prima macchina stampata in 3D. Il prototipo è stato realizzato dall'americana *Local Motors* ed è stampata come pezzo unico in circa 44 ore. Successivamente è stata assemblata utilizzando componenti meccaniche di diversi fornitori, tra cui anche un motore elettrico della *Renault*. L'azienda conta di mettere in commercio la macchina nel 2015, con un prezzo compreso tra gli € 18.000 e € 30.000. Tuttavia questo non è ancora avvenuto e non c'è una data ufficiale di uscita, sebbene sia già possibile prenotare la propria Strati (questo il nome della macchina)¹⁵. Un secondo esempio arriva dalla Cina, dove l'azienda *Sanya Si Hai 3D* ha recentemente presentato la *Shuya*, una macchina elettrica a due posti interamente stampata in 3D. Il prototipo può raggiungere i 40 km/h e l'azienda cinese dichiara che il costo dei materiali stampati e dell'assemblaggio è di poco oltre i € 1.600. Si tratta di un prototipo non ancora in commercio, ma che ha già fatto dei test su strada ed è in fase di sviluppo. Queste due vetture sono dei pionieri per quello che sembra possa essere il

¹⁵ www.localmotors.com/3d-printed-car

modello produttivo del futuro, non sono per quel che riguarda i materiali e le tecnologie produttive, ma anche il modello di produzione. La *Local Motors* presenta chiaramente, sul proprio sito, il modello di micro-fabbrica su cui baserà la produzione della *Strati*, che verrà stampata e assemblata il più vicino possibile al cliente. Nonostante si tratti ancora di macchine in fase sperimentale, questi esempi sono molto significativi e mostrano la strada che probabilmente seguiranno anche i giganti delle quattro ruote, in un futuro che non sembra essere tanto lontano.

Settore aerospaziale

Questo settore è particolarmente sensibile al peso dei veicoli, specialmente per il rapporto diretto tra diminuzione del peso e risparmio di energia (e quindi del carburante e dei costi). Si è già fatto cenno ai vantaggi che il settore aerospaziale può trarre dall'utilizzo della manifattura additiva. Qua si riporta qualche esempio per comprendere con più chiarezza la portata dell'AM e le sue applicazioni effettive. Il caso più eclatante è quello di *Avio Aero*, un'azienda italiana che fa parte del gruppo di *General Electric*, che utilizza principalmente stampanti 3D per produrre componenti per motori aeronautici. Lo stabilimento di Cameri è dotato di più di 60 stampanti industriali e lavora diversi materiali metallici, tra cui anche l'alluminio. Oltre a questo caso vale la pena menzionare il fatto che anche le due principali aziende del settore come *Airbus* e *Boeing* fanno ampio uso di tecnologie additive nella propria produzione. La prima, per esempio, stampa le strutture di supporto per televisori che vanno inseriti nei sedili, risparmiando peso e ottenendo pezzi più resistenti allo stesso tempo. La seconda, invece, utilizza la stampa 3D per produrre attrezzature per assemblare le centine delle ali.

Un'applicazione molto simile ma un po' più "fantascientifica" riguarda l'esplorazione spaziale. La NASA fa ampio uso delle tecnologie additive nei suoi progetti, principalmente grazie alla possibilità di avere pezzi più leggeri ma più resistenti rispetto alle tecniche tradizionali. Il primo esempio di questo utilizzo consiste nel poter ottenere i pezzi necessari (di ricambio o altro) direttamente nelle basi spaziali, accorciando in maniera drastica i tempi di intervento e ponendo le basi

per missioni più lunghe e complesse. Inoltre, i veicoli utilizzati per le esplorazioni di pianeti del sistema solare spesso contengono parti ottenute con stampanti 3D. Il *Desert RATS* è un veicolo in base di sperimentazione che dovrebbe servire per l'esplorazione umana di Marte e contiene circa 70 pezzi prodotti con la manifattura additiva.

Edilizia

Nel 2012 è stata costruita la prima casa interamente stampata in 3D. Si tratta di Villa Asserbo, un'abitazione costruita in quattro settimane e assemblata da pezzi ottenuti con una stampante 3D. Questo è forse il primo e più famoso esempio di AM applicata al settore edilizio. Da allora ci sono stati enormi miglioramenti. Sono nati progetti in grado di stampare l'argilla o la sabbia, di lavorare il calcestruzzo e stampare delle abitazioni strato su strato. Ancora una volta un esempio molto interessante arriva dalla Cina, dove la *Winsun Decoration Design Engineering* ha dichiarato di essere riuscita a costruire dieci case in 24 ore, utilizzando una stampante di grandi dimensioni (lunga 150 metri, larga 10 metri e alta 6 metri). Secondo l'azienda il costo di una singola costruzione è intorno ai € 3.500. In questo caso si parla solo di parti strutturali, quindi il tetto, pavimento e finiture interne sono escluse. Una casa abitabile costruita con questa tecnica costerebbe di più naturalmente, ma in ogni caso molto meno rispetto ai prezzi attuali. Tra i maggiori benefici nell'utilizzo di questa tecnica la *Winsun* nomina la riduzione degli scarti di costruzione tra il 30% ed il 60%, riduzione dei tempi dal 50% al 70%, e risparmio del costo del lavoro dal 50% all'80%, grazie all'utilizzo di materiali riciclati e di scarto, riduzione degli sprechi e alta automazione del processo di costruzione.

Alla base della tecnologia usata dall'azienda cinese c'è la tecnica del *contour crafting*¹⁶, messa appunto da Behrokh Khoshnevis. Il funzionamento di questa tecnica è spiegato nell'immagine seguente:

¹⁶ www.contourcrafting.org

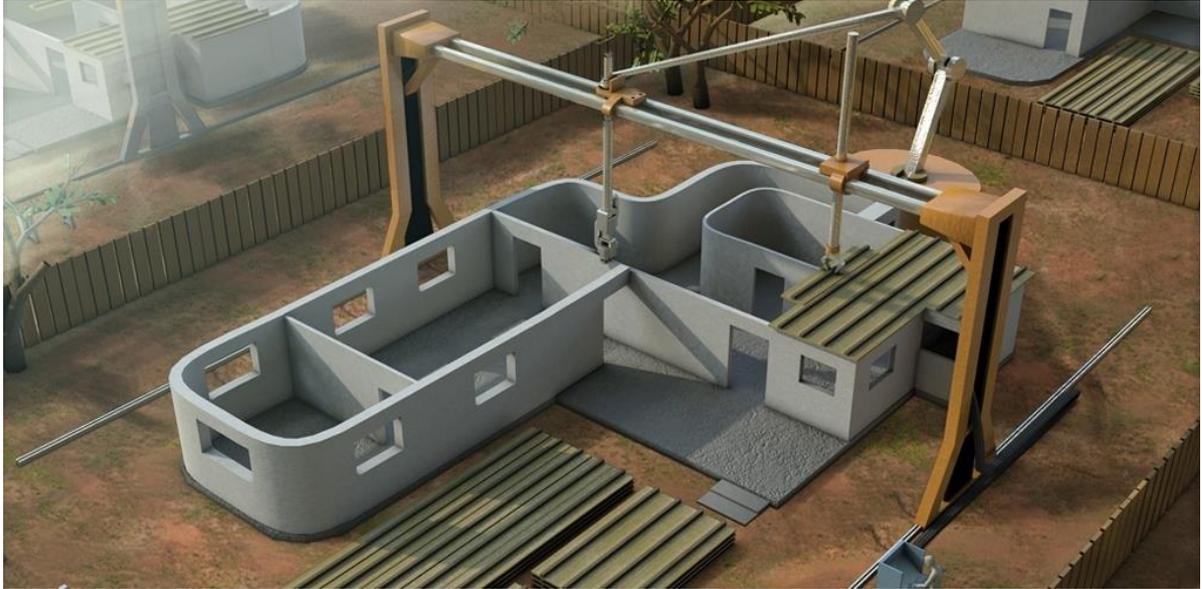


Figura 1.5 - Fonte: www.contourcrafting.org

In sostanza, la tecnologia consiste in una grande struttura che viene montata direttamente sul posto dove si troverà la costruzione. Questa struttura utilizza un grande ugello per rilasciare materiale strato su strato che poi si solidifica e forma le pareti dell'edificio. L'intero processo è gestito dal computer e basato su un modello 3D digitale. Tra i vantaggi c'è la possibilità di progettare e realizzare tubature per l'acqua, elettricità, gas, aria condizionata e simili già in fase di stampa dell'edificio. Lo stesso sito internet dedicato a questa tecnologia riporta i principali utilizzi e sviluppi futuri: "*As for the future development direction of CC, a relatively large multidisciplinary research team at the University of Southern California will be investigating the application of the technology in construction of modern civil structures, construction of structures on the moon and Mars, and in fine arts on the creation of large ceramic sculptures.*"

In sintesi, si tratta ancora di applicazioni in fase di sperimentazione ma una volta che saranno sul mercato l'effetto sarà senza dubbio dirimpente. Oltre agli utilizzi più immediati nell'ingegneria civile, il *contour crafting* potrà essere utilizzato anche in casi di emergenza. Basta pensare al enorme numero di sfollati nel mondo a causa di calamità naturali; grazie a questa tecnologia sarà possibile costruire in tempi rapidi degli edifici di accoglienza e soccorso molto funzionali e resistenti. Per fare ciò è necessario superare alcune problematiche rilevanti, come la grandezza delle stampanti impiegate e l'elevata quantità del materiale utilizzato. Con riguardo a quest'ultimo

punto si pone la questione di che materiali utilizzare e di come la stampante debba gestire gli stessi, poiché è impensabile che tutto il materiale sia contenuto all'interno del macchinario. Il peso sarebbe così elevato da mettere a dura prova la resistenza della stampante stessa. La soluzione ipotizzata per il momento è un contenitore esterno, diverso dalla stampante, che viene regolarmente riempito con le betoniere. Infine, la stessa NASA ha individuato in questa tecnica il *modus operandi* per la costruzione di basi sulla Luna e su Marte. Scenario che per il momento sembra da film di fantascienza ma che tutto sommato forse non è così lontano.

Settore casa

La locuzione settore casa comprende tutti quei prodotti che vanno dal mobilio e arredamento, all'illuminazione e oggettistica riguardanti le unità abitative. La manifattura additiva può essere utilizzata in molteplici casi collegati a questo macro settore. Le applicazioni più immediate si hanno per oggetti di piccole dimensioni, come maniglie o rubinetti. I materiali attualmente usati nella produzione additiva si prestano ad essere usate efficacemente in questi casi e la dimensione degli oggetti non richiede stampanti di grosse dimensioni. Il settore della piccola oggettistica sta riscontrando ampi consensi anche nel mondo dei *maker*, cioè i consumatori che per proprie esigenze o passioni diventano inventori. Un esempio eloquente è *Ikea Hackers*, un sito indipendente dal celebre marchio svedese, gestito da appassionati e che propone modifiche e miglioramenti fai da te per tutti quei prodotti che hanno a che fare con il mondo *Ikea*. All'interno del loro sito c'è una sezione dedicata alla stampa 3D¹⁷ da cui è possibile scaricare il file 3D dell'oggetto desiderato. Si possono trovare supporti per le bottiglie, supporti per fissare i cestini sul muro, ricambi per lampade, coperchi per barattoli e così via.

Un campo di applicazione molto interessante è quello che riguarda l'illuminazione. L'azienda italiana *.exnovo*, per fare un esempio, propone un'ampia gamma di lampade realizzata con una stampante 3D. La possibilità di progettare pressoché qualsiasi forma permette di avere design innovativi e ottenere particolari

¹⁷ www.ikeahackers.net/category/hacks/3d

giochi di luce non pensabili con la produzione tradizionale. Gli impieghi possibili di questi prodotti non si limitano solamente all'utilizzo per le case, ma sono facilmente estendibili anche a locali pubblici, come teatri, cinema, ristoranti, discoteche ecc.

All'*Appliance & Electronics World Expo 2015* di Shanghai è stato presentato il primo climatizzatore la cui scocca è stampata interamente in 3D. Questo è stato prodotto da un'azienda cinese, anche se il design è stato realizzato da un gruppo di designer italiani. I benefici di questa produzione stanno nel fatto che ciascun climatizzatore può essere prodotto su richiesta e in base alle specifiche esigenze del cliente. Quindi la forma della scocca, così come la posizione del display LCD che indica la temperatura e altre informazioni, possono essere progettati in base al preciso ambiente in cui il prodotto verrà inserito. I miglioramenti riguardano sia la funzionalità del prodotto, perché la forma si adatta all'ambiente e di conseguenza migliora l'efficienza, sia l'esperienza complessiva del cliente, perché aumenta la personalizzazione.

Gioielleria

Nel campo della gioielleria la manifattura additiva può essere usata in molteplici modi. In primo luogo, la stampa 3D viene usata per modernizzare la realizzazione degli stampi utilizzati nella produzione dei gioielli. Storicamente questi vengono ottenuti attraverso il processo "a cera persa", che prevede la creazione di un stampo in negativo di cera che viene impiegato per l'ottenimento di una matrice che successivamente si usa per ottenere il gioiello finale. Questo processo, di origini molto antiche, è piuttosto lungo e laborioso. Grazie alle tecniche attuali è possibile ottenere la matrice o il stampo partendo dalla stampa di prototipi, spesso realizzati in resine, e successivamente impiegarlo nella fusione del metallo. A ciò si aggiunge anche una maggior libertà nella progettazione del gioiello, grazie ai benefici di cui si è già parlato.

Una seconda applicazione della stampa 3D riguarda la produzione di gioielli già commercializzabili. Si parla sia di prodotti stampati con materiali plastici, quindi adatti ad un largo consumo, sia di lavorazione di materiali preziosi come oro e argento. Nel primo caso si tratta di oggetti di basso valore economico che possono essere ottenuti

facilmente anche senza dover ricorrere a stampanti particolarmente costose e performanti. I prodotti di cui si parla sono braccialetti, colane, anelli e simili, cioè tutto quello che può essere racchiuso sotto il termine “bigiotteria”. Il secondo caso, invece, riguarda la produzione di gioielli di fascia alta. Grazie a stampanti in grado di lavorare i materiali preziosi è possibile ottenere produzioni di piccoli lotti o pezzi unici con un consistente valore economico. Considerando, poi, anche la possibilità di personalizzazione offerte dall’AM, si capisce come questa tecnologia possa creare un’ulteriore valore aggiunto.

Sempre con riferimento al fattore della personalizzazione si parla del cosiddetto “gioiello digitale”. Si tratta di coinvolgere il cliente in tutte le fasi della produzione del gioiello, grazie all’utilizzo delle tecnologie digitali. Alcune aziende offrono sul proprio sito internet la possibilità di crearsi un gioiello personalizzato, scegliendo la forma, i materiali e il colore. Un esempio è l’italiana *Ecos Jewel*¹⁸, che oltre al servizio appena descritto utilizza nella propria produzione anche materiali come il legno, tradizionalmente non usati in questo settore. Se poi ad un servizio del genere viene abbinata una produzione additiva si ha un’esperienza digitale a 360 gradi.

Biomedicale

Nel settore medicale la manifattura additiva ha trovato un ampio impiego grazie soprattutto alla possibilità di ottenere protesi su misura del paziente. Partendo da una TAC o da una risonanza magnetica è possibile ottenere facilmente un modello 3D e utilizzarlo per stampare la protesi in tempi rapidi. I campi principali di applicazione sono quelli riguardanti l’ortodonzia, implantologia facciale e cranica e produzione di protesi d’anca e simili. Sviluppi recenti riguardano anche le protesi da applicare in caso di rottura del polso o braccio. Queste protesi, stampate in materiale plastico resistente, garantiscono la stessa robustezza del gesso ma sono meno invasive, spesso con dei fori che consentono il passaggio dell’aria e permettono interventi riabilitativi. Anche in questo caso è fondamentale la possibilità di realizzare

¹⁸ www.ecosjewel.com

velocemente protesi che si adattano perfettamente alla parte del corpo a cui vengono applicate.

C'è, inoltre, una forte sperimentazione in tutto quello che riguarda la stampa di tessuti umani, cartilagine e perfino organi. Si tratta di campi anche all'inizio e spesso con risultati ancora più teorici che pratici, ma che possono avere un impatto profondo sul settore. Più che sulle stesse tecnologie, in questo caso la ricerca è orientata allo sviluppo dei materiali. Sono quest'ultimi l'ostacolo principale alla buona riuscita delle sperimentazioni. I filoni di ricerca sono numerosi e le potenzialità veramente enormi, anche se per i primi risultati concreti bisognerà aspettare ancora qualche anno sicuramente.

Alimentare

L'uso della stampa 3D nel settore alimentare è ancora in una fase iniziale. Uno degli esempi di stampante per la lavorazione dei cibi è *Foodini*, sviluppato dall'azienda spagnola *Natural Machines*. L'azienda punta a immettere le prime stampanti sul mercato nel 2015, con un costo che si aggira intorno ai € 1.000. *Foodini* è in grado di stampare pietanze strato su strato, sfruttando come materiale i cibi base che vengono inseriti nelle capsule della macchina. L'azienda punta a proporre un metodo alternativo ai cibi surgelati e *fast food*, permettendo la stampa di una vasta gamma di cibi in tempi contenuti.

Nonostante si sia ancora in una fase poco più che sperimentale, i potenziali impatti sull'attuale industria alimentare sono ben visibili anche alle grandi aziende. *Barilla*, per fare un esempio, ha di recente promosso un contest per scegliere la forma di una pasta pensata per essere stampata in 3D. In quell'occasione l'azienda italiana ha scelto 3 design tra gli oltre 250 arrivati da ogni parte del mondo. Quando le stampanti per il settore alimentare saranno sul mercato probabilmente rivoluzioneranno il modo di pensare alla cultura del cibo. Se un giorno ci sarà una stampante 3D in ogni casa è facile che sia di questo tipo.

Scienza

La stampa 3D può essere un validissimo strumento di supporto in diversi campi scientifici, come la geologia, archeologia, medicina, astronomia e così via. È possibile riprodurre reperti archeologici permettendo lo studio a diverse persone in diverse parti del mondo. Il livello di dettaglio che può essere raggiunto con la stampa 3D è molto alto e permette uno studio accurato senza perdita di particolari. In più, è possibile sottoporre la riproduzione a test ed esami senza mettere a rischio il reperto originale, spesso esemplare unico. Inoltre, è possibile riprodurre e studiare in laboratorio tutti quelli reperti che non possono essere spostati dal luogo del ritrovamento. In altri campi, come quello della geologia e astronomia, si possono riprodurre i modelli tridimensionali per studiarli e comprenderli meglio.

Si tratta di applicazioni senza un grande valore economico diretto, ma tuttavia sono impieghi importanti e da non sottovalutare. È uno strumento che può dare una spinta importante per la ricerca scientifica, permettendo ai ricercatori di osservare i loro lavori in maniera diversa e magari risolvere questioni rimaste aperte da tempo.

Arte

La possibilità di ottenere pressoché qualsiasi forma trova facile applicazione nel campo artistico. Esistono numerosi esempi di creazioni artistiche ottenute attraverso la stampa 3D. In questo caso il vero lavoro dell'artista è quello di progettazione e del design dell'opera, mentre la stampa tridimensionale è uno mero strumento per la realizzazione delle stesse. L'artista californiano John Edmark, per esempio, utilizza la stampa 3D per creare opere che creano particolari effetti ottici se messi in movimento a velocità elevate e interagendo con una luce stroboscopica. Inoltre, le tecniche di scannerizzazione e poi di conversione in modelli tridimensionali possono permettere la riproduzione di statue o opere esistenti, contribuendo alla loro diffusione. Anche in questo caso, come per le applicazioni scientifiche, si possono fare numerosi altri esempi. Ma quel che conta è l'impulso che le tecnologie additive possono dare nel campo artistico, incentivando nuove forme d'arte e facilitando la diffusione di quelle già esistenti.

1.4. Scenari futuri

Il mondo della manifattura additiva sta vivendo un momento di straordinaria espansione. Non è per niente semplice definire quella che sarà la situazione nei prossimi anni. I settori in cui queste tecnologie trovano applicazione sono sempre più numerose, così come sono numerosi i materiali e i processi che vengono utilizzati. Si tratta di un tema che sta coinvolgendo persone da tutto il mondo, da ingegneri che hanno seguita la stampa 3D dalle origine fino agli appassionati che crescono sempre di più. Tracciare un quadro di questa evoluzione può portare a fare ipotesi più o meno fantasiose sui sviluppi che l'AM avrà, lasciando passare in qualche caso informazioni fuorvianti e creando falsi miti che di certo servono a ben poco. Quindi bisogna stare attenti nel fare previsioni, tenendo ben presente quella che è la realtà e non lasciarsi prendere troppo dall'entusiasmo che spesso accompagna questo tema. Detto ciò si può provare a delineare una direzione di massima in cui la ricerca sta andando.

Per chiarezza espositiva si può dividere la ricerca in due macro temi: tecnologie e materiali. Questi spesso seguono direzioni simili e sono interdipendenti, ma conviene descriverli separatamente per capirne meglio la portata. Ciascuna di queste due aree presenta all'interno diversi temi di ricerca e sviluppo, come si può vedere nello schema seguente, dove sono rappresentati alcuni degli sviluppi più interessanti:

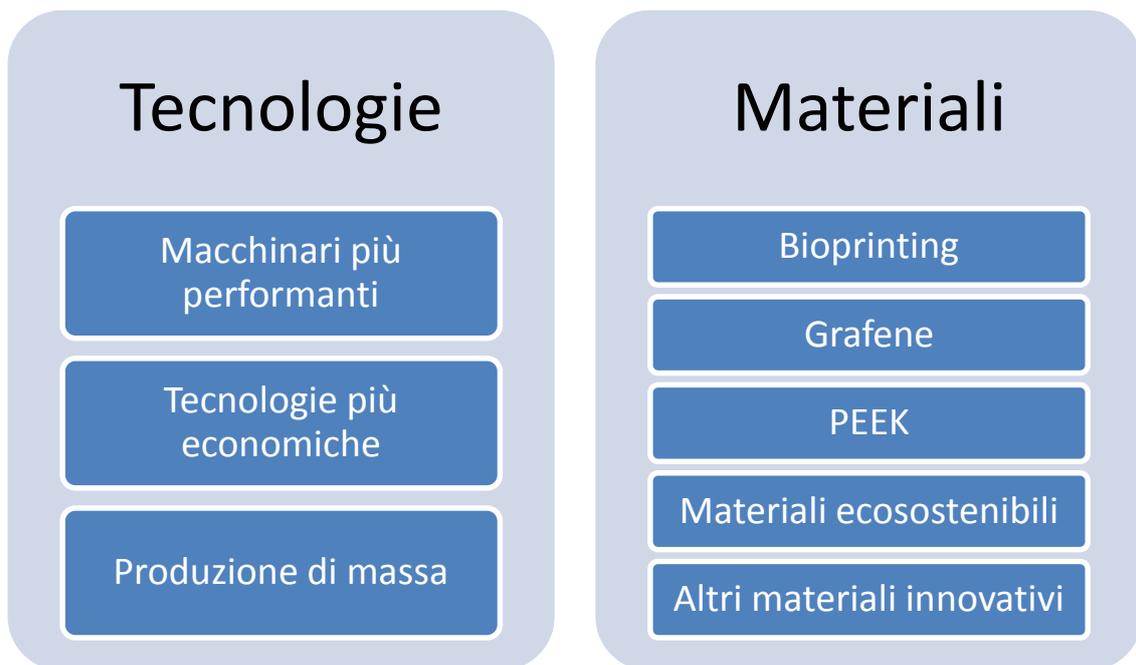


Figura 1.6

Gli sviluppi più facili da individuare sono quelli che vanno verso il superamento delle attuali problematiche dell'AM. Ricercatori e aziende che si occupano dei diversi problemi sono davvero numerosi e risulta impossibile analizzarli tutti nel dettaglio. Ad ogni modo, è possibile fare un riassunto veloce con le tematiche più importanti che si stanno affrontando.

Si è visto come uno dei problemi riguarda la velocità di stampa degli oggetti. Questo è un elemento che a volte può portare a preferire metodi di produzione alternativi alla manifattura additiva, anche se il rendimento delle macchine è spesso proporzionale al suo costo. Quindi, le stampanti più costose hanno di norma tempi di lavorazione più brevi di quelle economiche. Ad ogni modo, la problematica potrebbe essere superata molto velocemente visti i numerosi progetti di ricerca che stanno lavorando in questa direzione. Tra i casi più interessanti c'è l'*Aligator Board*, una scheda di controllo per stampanti 3D messa a punto da un gruppo di ricercatori di Perugia¹⁹. L'hardware è gestito da un processore a 32 bit, contro gli 8 bit usati dalla maggior parte dei processori sul mercato. Questo permette di aumentare sensibilmente la velocità della macchina e migliorarne l'efficacia. Inoltre, il sistema permette anche la gestione di tre ugelli contemporaneamente e il team prevede anche un'espansione che consente di aggiungere altre tre ugelli. La componente dovrebbe essere sul mercato entro la fine del 2015. Una volta in azione i miglioramenti saranno sicuramente sensibili, dalla già menzionata velocità superiore di stampa alla possibilità di gestire più materiali e quindi produrre oggetti molto più complessi e con un maggiore livello di dettaglio. Un secondo esempio, questa volta riguardante in particolare la lavorazione di resine liquide, è *Carbon3D*, una start-up americana. L'azienda sta mettendo a punto una tecnica di lavorazione dei materiali liquidi chiamata CLIP, che dovrebbe ridurre sensibilmente i tempi di stampa dei materiali. I risultati dei test ottenuti dall'azienda sono i seguenti:

¹⁹ www.3dartists.org

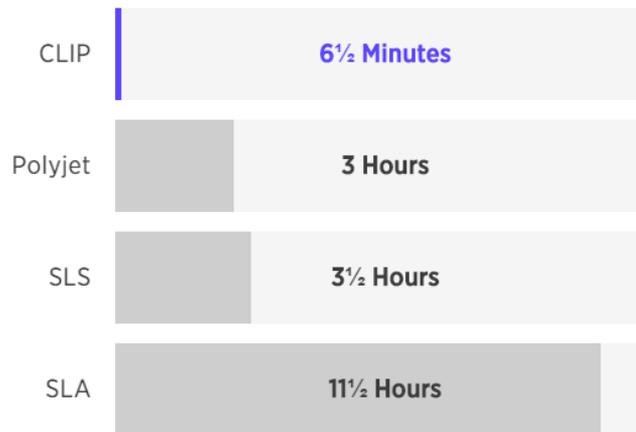


Figura 1.7 - Fonte: carbon3d.com

Il processo migliora sensibilmente da quelli attualmente in uso per la lavorazione dei liquidi, nonostante in entrambi i casi vengano usati i raggi UV per solidificare il materiale. In questo caso, a differenza di quanto avviene nelle tecniche esistenti, si usa una specifica concentrazione di ossigeno tra la base del area di lavoro e la resina che effettivamente viene solidificata, evitando così che l'oggetto stampato venga a contatto con il macchinario. Come si vede dal grafico i tempi di lavorazione migliorano drasticamente. Una seconda tecnica per velocizzare la stampa delle resine liquide è attualmente in fase di valutazione ed è elaborata da *Gizmo 3D*²⁰. L'azienda ha sviluppato una tecnologia che si applica a un processo *top-down*, cioè dove l'oggetto viene stampato partendo dal strato superiore, e permette al liquido in eccesso di scorrere via velocemente, non dovendo mai interrompere il fascio di raggi UV. Non ci sono dati precisi sui tempi di lavorazione, ma dai video dimostrativi forniti dall'azienda si può apprezzare una velocità non indifferente. Quindi senz'altro si tratta di un passo importante nel migliorare i tempi di stampa. Man mano che gli impieghi dell'AM aumentano, crescono anche le ricerche e miglioramenti delle tecnologie già esistenti. Dagli esempi appena visti si capisce come i tempi di produzione si possono ridurre sensibilmente. È più che plausibile ipotizzare un aumento di questo tipo di miglioramenti e sviluppi, avvicinando sempre più i tempi di stampa alle esigenze della realtà odierna. L'impatto che questo avrà sui sistemi di produzione sarà senza dubbio significativo. Un numero sempre maggiore di aziende troverà conveniente basare le proprie produzioni sulle stampanti 3D, almeno in parte se non totalmente.

²⁰ www.gizmo3dprinters.com.au/#!/blog/

Anche la grandezza dei prodotti ottenibile con le stampanti 3D può risultare un ostacolo per molte aziende. Esistono alcuni tentativi per superare questo problema. L'olandese Rooie Joris ha sviluppato un'estensione per la famosa *Ultimaker* in grado di permettere la stampa di oggetti alti fino a 3 metri. Si tratta di una specie di elevatore su cui la stampante viene montata e che permette di aumentare a dismisura l'altezza raggiungibile. Oltre a miglioramenti di questo tipo, dove si aggiunge uno strumento esterno che aumenta l'efficienza della macchina, sono presenti anche numerose stampanti di grandi dimensioni. Anche qui si nota come ad un aumento degli impieghi effettivi corrisponde un aumento delle migliori tecniche. In fin dei conti la grandezza delle stampanti è più una questione da macchinari di fascia medio-bassa. Al contrario, grandi macchinari per stampare parti in metallo, per esempio, esistono già da diverso tempo. Quindi gli sviluppi in questo settore riguardano soprattutto gli uso *desktop* e piccoli professionisti. Non è, però, uno scenario da sottovalutare. Al momento in cui le stampanti permetteranno di ottenere oggetti di dimensioni piuttosto elevate, si verificherà un incremento del uso "casalingo" di queste tecnologie, che avrà impatti significativi in diversi settori: si pensi soprattutto all'oggettistica per la casa.

Un altro progetto interessante è quello di *Metalysis*, azienda inglese che punta a sviluppare un nuovo metodo di lavorazione dei materiali che dovrebbe essere più economico e ecosostenibile di quelli già in commercio. La nuova tecnica è chiamata SIS (*Selective Inhibition Sintering*) e il costo delle nuove stampanti dovrebbe essere inferiore ai \$ 5.000. È una riduzione notevole se si considera che attualmente il prezzo minimo di una stampante in grado di lavorare i pezzi in metallo è intorno ai \$ 70.000. Il processo SIS si differenzia da quelli già esistenti, SLS in primis, per il differente metodo di lavorazione. Vengono stesi i singoli strati di polvere di metallo, dopodiché una soluzione chimica in forma liquida viene applicata andando a formare il contorno della sezione da stampare. Successivamente, il blocco comprensivo di tutti gli strati viene inviato alla fornace, dove viene solidificato e si forma il prodotto finale. I miglioramenti sono diversi: viene aumentata la velocità di stampa perché vengono depositati solamente gli strati esterni e non tutta la parte interna della sezione, la grandezza complessiva della stampante sarà inferiore a quelle già esistenti a parità dell'area di lavoro, i pezzi avranno una qualità superiore perché non verranno fusi direttamente e

trattati in altri modi e non c'è bisogno di costruire strutture di supporto. Quando questa e simili tecnologie saranno disponibili, aumenterà l'accesso alla manifattura additiva. Macchine più economiche, ma non per quello meno performanti, verranno certamente impiegate maggiormente dalle aziende. Questo porterà a ridefinire i modelli di business in diversi settori, con importati riflessi anche su tutte le industrie di supporto. L'abbassamento dei prezzi dei macchinari può contribuire in modo significativo alla diffusione dell'AM nelle realtà aziendali e nel mondo dei *maker*.

Si sta già affrontando anche la questione della stampa multi colore. I primi tentativi in questa direzione sono stati quelli di cambiare manualmente il filo (nel caso delle stampanti FDM) tutte le volte in cui è necessario cambiare colore o utilizzare due estrusori. Queste soluzioni si sono dimostrate piuttosto scadenti. In primo caso l'oggetto finale solitamente presenta delle evidenti sbavature di colore che rovinano completamente l'aspetto esteriore; nel secondo oltre alla problematica appena citata si aggiunge anche la riduzione dello spazio in cui ogni singolo estrusore può agire. L'azienda canadese *Mosaic Manufacturing* sta cercando di superare questo problema, sviluppando una tecnologia in grado di gestire fino a quattro colori attraverso un singolo estrusore e che si applica alla tecnica FDM. Alla stampante 3D viene aggiunto uno strumento che calcola la lunghezza dei fili per ogni colore e poi li unisce creando un filamento unico. Successivamente questo filamento viene lavorato dalla stampante, con il risultato di ottenere pezzi in più colori con un alto livello di dettaglio e precisione. Questa tecnologia aumenterà sensibilmente le opportunità di stampa di prodotti già commercializzabili. Inoltre, alcune fasi di post produzione potranno essere eliminate e inglobate nella fase di stampa, accorciando i tempi di messa sul mercato del prodotto e riducendo il lavoro manuale.

Dal momento in cui le problematiche appena nominate saranno risolte si andrà sempre di più verso un utilizzo della stampa 3D su grande scala. Stampanti in grado di produrre grandi quantità in tempi contenuti consentiranno di unire i vantaggi della produzione di massa con quelli della personalizzazione tipici dell'AM. Proprio questo è l'obiettivo della collaborazione tra *3D Systems* e *HP*, che hanno avviato un progetto comune per lo sviluppo di una stampante in grado di velocizzare il processo FDM di dieci volte e permettere la stampa di oggetti di grandi dimensioni. È chiaro che in

questo modo la manifattura additiva troverà un maggiore impiego nel settore industriale, ma viene difficile ipotizzare un impiego di queste tecnologie per grandi produzioni di massa. La natura stessa dell'AM riguarda a libertà di forme e la possibilità di produrre oggetti completamente personalizzati. Questo sistema può essere applicato alle produzioni standardizzate di massa solo quando i costi e i tempi di produzione delle stampanti saranno migliori di quelli dei sistemi tradizionali, ma questo sembra essere ancora molto lontano. Il problema non riguarda l'impossibilità di pareggiare le performance dei grandi macchinari delle fabbriche fordiste; con lo sviluppo sempre maggiore che è lecito attendersi in futuro questo potrebbe essere realizzabile. Caso mai la questione riguarda gli sviluppi e le direzioni in cui la ricerca si sta muovendo al giorno d'oggi. Ciò che importa per gli addetti ai lavori è sfruttare e incrementare le vere caratteristiche della manifattura additiva, quindi la personalizzazione e la complessità degli oggetti. Di conseguenza, questo avvicinamento dell'AM alla produzione di massa non avverrà mai totalmente a mio modo di vedere. Quanto mai ci sarà un impiego delle stampanti 3D nella produzione di un grande numero di pezzi più o meno personalizzati, sia prodotti finiti che componenti intermedie. Sfruttamento della stampa 3D nella produzione di massa di oggetti standardizzati non è facilmente realizzabile, poiché mancano gli incentivi per sviluppare le tecnologie che lo consentano. Per produrre grandi quantità di pezzi identici esistono già i macchinari efficienti e fortemente competitivi.

Un ultimo cenno sulle tecnologie va fatto in merito al formato di file utilizzato per dare l'input alla stampante. Per il momento il formato utilizzato è il STL. Questo, però, presenta diverse difficoltà nel gestire le stampanti attuali, che sono molto più avanzate rispetto a quelle dell'epoca di creazione del formato. Gli aspetti più problematici riguardano il colore e la struttura della superficie, informazioni difficilmente gestibili da STL ma sempre più importanti con lo sviluppo delle tecnologie. Proprio per questo motivo la *Microsoft* sta sviluppando un nuovo formato che superi queste problematiche e sia semplice e pratico da usare. Il formato, che dovrebbe essere supportato dalle prossime versioni del sistema operativo *Windows*, dovrebbe permettere una totale comunicazione tra il software e hardware e permettere di cogliere tutte le complessità dei file 3D. Certamente è un importante passo avanti per

definire degli standard funzionali che permettano alle diverse ricerche di completarsi e interagire tra loro. Avere degli standard di riferimento aiuta e sarà sicuramente una marcia in più nell'adozione di queste tecnologie. Lavorare con un formato comune per tutte le stampanti vuol dire poter scegliere con più libertà quella più idonea alle proprie necessità, senza doversi anche preoccupare di come dare gli input alla macchina, se il software di modellazione è in grado di dare gli ordini corretti e così via.

Un tema che si pone a metà tra le tecnologie e gli materiali è quello delle nanotecnologie. Quest'ultime hanno avuto un ruolo fondamentale nello sviluppo di diversi settori, primi tra tutti quello elettronico ed informatico. Per quel che riguarda l'uso dei nanomateriali nella manifattura additiva, c'è da dire che il loro uso è ancora molto limitato a causa di alcuni problemi. Tra gli ostacoli principali ci sono i costi piuttosto alti, il loro impatto ambientale, la tendenza ad agglomerarsi e quindi perdere le caratteristiche tipiche delle nanoparticelle e la necessità di impostare le stampanti per lavorare in modo ottimale i materiali di così piccole dimensioni. Per permettere una corretta lavorazione dei nanomateriali è necessario utilizzare alcuni materiali di supporto come gel o simili, che permettano di mantenere le proprietà meccaniche delle nanoparticelle. La ricerca in questo campo è all'inizio e sarà necessario del tempo prima di riuscire ad ottenere dei risultati efficienti. Ciononostante, sono stati fatti diversi esperimenti che hanno dimostrato i benefici dell'aggiunta di nanomateriali nella stampa 3D. Per esempio, nella stampa di oggetti in argento, l'aggiunta di alcune nanoparticelle di argento riesce a migliorare le qualità del prodotto finale, portando ad una maggior definizione di stampa e resistenza del pezzo finale. In generale si può dire che l'aggiunta di nanomateriali migliora le proprietà meccaniche, aumenta la conduttività termica ed elettrica, abbassa la temperatura di fusione e migliora la definizione di stampa. Sarà necessario ancora del tempo prima che questa tecnologia sia utilizzata nell'AM, ma è chiaro già adesso che il potenziale è notevole. I miglioramenti tecnici permessi dall'uso dei nanomateriali permetteranno un più vasto impiego delle tecniche additive, contribuendo alla stampa di oggetti più complessi e funzionali (pezzi conduttori di elettricità, più resistenti ecc).

I filoni di ricerca più significativi sono quelli che riguardano i materiali. La stampa 3D si è avvalsa storicamente soprattutto di materiali plastici, che sono versatili

per alcuni impieghi ma limitano o escludono del tutto l'utilizzo in molti settori. Per questo motivo l'uso dei metalli amplia notevolmente il raggio di utilizzo della manifattura additiva. I metalli sono già utilizzati in diverse lavorazioni additive e i miglioramenti in questo campo sono ancora in corso. È più che lecito aspettarsi una sempre maggiore qualità nella lavorazione di questo materiale e un conseguente aumento degli impieghi. Oltre ai materiali metallici, ci sono numerose altre sperimentazioni con materiali che in futuro potrebbero avere un impatto non indifferente in diverse applicazioni. Di interesse particolarmente significativo è tutto quello che riguarda il c.d. *bioprinting*, cioè stampa 3D applicata a tutto ciò che è biologico. Si tratta principalmente di lavorazioni di cellule e tessuti animali e umani, ma anche di produzione di elementi organici e lavorazione di cibi. Di quest'ultimo punto si è già parlato prima e non ci sono grandi cose da aggiungere. In questo campo la ricerca è agli inizi e ci sono numerose opportunità inesplorate. Non viene difficile immaginare una vasta propagazione di stampanti per la cucina, considerato che le testimonianze di chi ha assaggiato i cibi stampati sono molto positive. Tornando invece alle applicazioni legate al campo medicale, c'è da dire che le potenzialità sono enormi. È importante sottolineare come gli addetti ai lavori abbiano come obiettivo la stampa di organi perfettamente funzionali. Alcuni esperimenti in questo senso sono già stati eseguiti e hanno dato risultati positivi. Oltre a questo punto di arrivo gli usi delle tecniche additive permetteranno la ricostruzione di tessuti danneggiati, sostituzione di parti del corpo, aumenteranno le possibilità della sperimentazione dei farmaci senza dover condurre test su persone e animali e così via. Ci vorrà qualche anno in più rispetto ad altre applicazioni ma gli esperti sono ottimisti sulle possibilità che la stampa 3D offre in questo campo.

Tra i materiali che hanno il potenziale maggiore non va dimenticato il grafene. Questo materiale, "scoperto" nel 2004, presenta delle caratteristiche che lo portano ad essere considerato il materiale del futuro. In pratica si tratta del materiale più sottile al mondo, composto da un singolo strato regolare di carbonio. Per ottenere lo spessore di un millimetro di grafene sono necessari tre milioni di singoli strati. Ciononostante, un singolo foglio (cioè un strato) è cento volte più resistente dell'acciaio e sei volte più elastico di quest'ultimo. Inoltre, questo materiale è anche un

ottimo conduttore termico ed elettrico e ha un peso molto ridotto (16 grammi al metro cubo). Gli impieghi potenziali sono innumerevoli: dal campo elettronico all'automobilistico, dagli attrezzi sportivi agli usi in campo militare e così via. Nel campo della manifattura additiva è stato da poco rilasciato il primo filamento contenente il grafene. Messo a punto da *Graphene 3D*, si tratta di un filamento misto di grafene e PLA. Essendo prevalente la parte di plastica, la rese finale è ovviamente inferiore a quella potenziale. Gli esempi portati dall'azienda di oggetti stampati con questo nuovo materiale riguardano diversi settori. Si va dai bulloni, che sfruttano la resistenza del materiale, a parti conduttori di elettricità che permettono di accendere una piccola lampadina. Proprio il settore dell'illuminazione potrebbe trarre vantaggi da questo materiale, ma non si tratta certamente dell'unico campo di applicazione. Man mano che la ricerca avanza sarà possibile ottenere prestazioni sempre migliori. Vista la versatilità dell'AM e la propensione a sperimentare soluzioni sempre nuove, è plausibile aspettarsi un uso sempre maggiore del grafene. Le sue caratteristiche lo rendono un materiale con grandi potenzialità. Una volta che potrà essere usato in modo ottimale con le tecnologie additive si verificherà un aumento degli impieghi stessi dell'AM e anche della qualità degli oggetti. Sarà possibile stampare un numero più elevato di prodotti finali e di componenti complesse con caratteristiche (come quella di conduzione elettrica) non possibili al momento.

Il PEEK, ossia polietereeterchetone, è un materiale solitamente usato nel settore aeronautico e aerospaziale ma con applicazioni anche in campo odontoiatrico (a volte usato al posto del titanio). Le caratteristiche principali di questo polimero sono l'elevata resistenza e rigidità, ottima resistenza sia alle temperature alte che basse, ottima resistenza all'usura, bassa infiammabilità e bassa tendenza alle deformazioni. Come si vede è un materiale con ottime qualità e che può essere impiegato in diversi settori. Come principale aspetto negativo bisogna nominare un alto costo, che ne preclude l'utilizzo per determinati prodotti. Nel campo della manifattura additiva questo materiale è stato introdotto recentemente dalla tedesca *Indmateg*. L'azienda oltre a fornire il filamento di PEEK, mette a disposizione anche un speciale estrusore in grado di fonderlo e lavorarlo. Come già detto, il costo del materiale non è indifferente. Il prezzo di un kg di filamento è di € 700. Ad ogni modo, si tratta di un altro esempio di

un materiale performante applicato alla stampa 3D. Le sue qualità ampliano le possibilità dell'AM e si tratta certamente di una novità positiva. Nei prossimi anni c'è da aspettarsi un numero sempre crescente di materiali che troveranno impiego nel settore dell'*additive*.

Un tema molto interessante e trasversale a diverse tipologie di materiali è quello dell'ecosostenibilità. I progetti nell'ambito della stampa 3D sensibili a questo tema sono molti. Nel campo dell'edilizia, per esempio, si ha l'azienda italiana *WASP*. L'obiettivo di questo progetto è quello di stampare una casa in argilla, completamente ecosostenibile. L'idea è quella di utilizzare solamente i materiali reperibili *in loco*, in modo che la costruzione una volta dismessa non lasci tracce e sia in un certo modo "assorbibile" dall'ambiente. *WASP* sta cercando di risolvere diversi problemi nel realizzare questo ambizioso progetto. Tra le difficoltà principale c'è quello del restringimento dell'argilla una volta che si è seccata. Uno dei metodi che si stanno sperimentando per superare questo problema è quello di introdurre all'interno delle parti stampate dei semi di piante, che crescono all'interno del pezzo, assorbono l'acqua e quindi evitano il restringimento e nello stesso momento formano una sorta di struttura naturale di supporto. Il tipo di piante che va inserito all'interno dell'abitazione varia in base all'ambiente, poiché tutto il progetto vuole essere in perfetta sintonia con l'ambiente in cui la casa va inserita. Si tratta di una soluzione piuttosto fantasiosa ma che non sembra irrealizzabile. Secondo i responsabili del progetto, l'AM deve utilizzare materiali nuovi e sperimentare soluzioni innovative. Stampare abitazioni in cemento rischierebbe di avere un impatto ambientale disastroso, visti i ridotti tempi di costruzione di cui potenzialmente i macchinari saranno dotati. Quindi è necessario trovare strade nuove che sfruttino pienamente le potenzialità della manifattura additiva e siano più *green*. È un pensiero che mi trova d'accordo al 100%. La ricerca in questo senso è ancora lunga ma le possibilità ci sono ed è necessario sfruttarle. Un altro esempio significativo è quello del *Solar Sintering*²¹. Il progetto avviato da Markus Kayser ha sviluppato una stampante in grado di funzionare utilizzando solamente l'energia solare e la sabbia come materiale. Il primo video dimostrativo è stato girato nel deserto del Sahara e mostra come la macchina sia

²¹ www.markuskayser.com

in grado di funzionare perfettamente e produrre oggetti piuttosto complessi. Questo processo utilizza energia completamente rinnovabile e materiale presente in grande quantità sulla Terra e spesso inutilizzato. Lo stesso autore suggerisce come si tratti ancora di una fase di sperimentazione, ma le potenzialità sono già palesi. È una dimostrazione in più come le tecnologie additive possono essere sfruttate per superare quelli che sono gli aspetti negativi delle produzioni manifatturiere: spreco di materiale, inquinamento e consumo di risorse non rinnovabili. Inoltre, tecniche che lavorano la sabbia permetterebbero di creare oggetti in vetro, il che troverebbe ampi impieghi in diversi settori economici.

Oltre agli esempi appena citati, ci sono numerosi altri materiali e progetti che portano delle innovazioni più o meno importanti. Esistono diversi sviluppi che puntano alla stampa di tessuti. Uno di questi è l'italiana *TreeD Filaments* che ha messo a punto *Textile pro*, un filamento in grado di riprodurre l'effetto di un tessuto grezzo. In questo campo ha fatto parlare di sé anche la ricerca di Bradley Rothenberg, che usa tecniche additive per creare accessori e vestiti indossabili. Anche in questo caso si tratta di un'imitazione del tessuto, ma nonostante ciò il mondo della moda sembra accogliere positivamente la novità. I lavori di Rothenberg sono stati indossati anche durante le sfilate della *New York Fashion Week*. È un settore ancora inesplorato e quindi con enormi opportunità per la stampa 3D. Si parla anche della possibilità di stampare in casa i propri vestiti, ma la strada è ancora lunga. È disponibile anche un filamento che imita le caratteristiche del vetro. Si tratta di un filamento sviluppato dall'olandese *Formfutura*. Secondo l'azienda è la miglior approssimazione del vetro presente sul mercato. È un materiale resistente e che lascia passare il 99% della luce. Le sue applicazioni spaziano dall'arredamento della casa all'illuminazione e altre lavorazioni tradizionali del vetro. Infine, anche il legno ha la sua corrispondente imitazione per gli usi dell'AM. Il materiale questa volta è sviluppato da *Rinkak* ed è interessante soprattutto per la resa estetica, non avendo grandi qualità meccaniche. Il prodotto stampato con questo materiale ha l'aspetto di una produzione di legno e può essere impiegato soprattutto per parti ornamentali.

Un ultimo cenno va fatto alla cosiddetta stampa 4D, con riferimento alla lavorazione di materiale in grado di cambiare le proprie caratteristiche nel tempo.

Solitamente questo avviene quando l'oggetto viene sottoposto a cambiamenti di temperatura o a particolari agenti chimici. La tecnologia non è del tutto nuova e riguarda soprattutto la scienza dei materiali, ma anche in questo caso la stampa 3D può essere un alleato molto valido. Unire tutti i vantaggi della manifattura additiva che si sono esaminati con le peculiarità della stampa 4D porta ad un incremento esponenziale di queste tecniche. Lo scenario più interessante è quello medico. La possibilità di stampare tessuti e organi che si adattano e crescono insieme al corpo avrebbe un impatto senza uguali nella storia della medicina. È una possibilità ancora lontana nel tempo ma certamente non irrealizzabile. Oltre a questo le applicazioni sono numerose. Si pensi ai vestiti in grado di adattarsi ai cambiamenti del corpo, a sistemi di irrigazione che si attivano in base a determinate condizioni atmosferiche, a sistemi elettronici che regolano il proprio funzionamento in base alla temperatura e così via. Senza dubbio è una via verso un *Internet of things* senza precedenti.

Gli sviluppi della manifattura additiva sono davvero numerosi ed è impossibile elencarli e descriverli tutti. Qui sono stati presentati alcuni casi tra i più noti e più interessanti, a mio modo di vedere. Bisogna dire che la ricerca è concentrata soprattutto nel campo dei materiali. Man mano che questa va avanti si verificherà un incremento degli impieghi dell'AM in tutti i settori economici, sia quelli già coinvolti che quelli attualmente esclusi. C'è chi ipotizza anche un mondo futuro dove tutto si può liberamente stampare in casa. È vero che l'AM permette in un certo senso la democratizzazione delle tecnologie produttive, ma è difficile immaginare la scomparsa delle aziende manifatturiere. Caso mai, è più che plausibile un aumento delle stampanti desktop che producono oggetti progettati da terzi e acquistati su internet. Gli impatti della stampa 3D saranno significativi e le imprese dovranno per forza di cose rivedere i propri modelli di business. È un settore ancora poco significativo in confronto alla manifattura tradizionale, visti anche i numeri, ma con grandi opportunità. Tuttavia, ciò che conta è la difficoltà di fare previsioni. Gli sviluppi e gli impieghi futuri saranno definiti dal mercato, secondo le logiche dei costi e benefici. Personalmente credo che in futuro non tanto lontano queste tecnologie saranno alla base della maggior parte dei processi produttivi. Però non bisogna farsi prendere dall'entusiasmo e profetizzare una totale scomparsa delle aziende e una nuova forma

di autosufficienza moderna, dove tutti sono in grado di produrre tutto in casa. Il mondo della manifattura additiva è vasto e le tecnologie sono numerose, con importanti differenze da utilizzo a utilizzo. Certamente si tratta di un insieme di tecnologie in grado di rivoluzionare la realtà di domani. L'AM rende possibile una produzione di ecosostenibile, con materiali innovativi e senza sprechi. Per questo motivo credo si tratti di una tecnologia in grado di superare molte delle problematiche globali del mondo attuale.

2. Implicazioni economiche

2.1. Impatti sulla supply chain

La manifattura additiva porta le aziende ad adottare un nuovo paradigma produttivo. Cambia il modello di business e di conseguenza si rende necessario ripensare a tutta la struttura di supporto all'attività dell'azienda. Risulta evidente come sia essenziale ripensare a una nuova forma della *supply chain*, che sia in grado di gestire le nuove complessità della manifattura. Naturalmente le relazioni che formano la catena degli approvvigionamenti non possono essere ridotte ad uno standard preciso, poiché dipendono dalle singole realtà aziendali che sono molto variegata. Cionondimeno è possibile impostare uno schema di base per individuare i collegamenti principali che consentano un'adeguata interazione tra gli agenti di questa nuova tipologia di produzione. Quanto verrà esaminato si riferisce soprattutto alle attività manifatturiere e verrà indicato in che misura il ragionamento può essere esteso anche alle aziende di servizi.

Per comprendere quali saranno le differenze principali con il modello attuale, cioè quello di produzione di massa, risulta utile partire proprio da quest'ultimo. Nelle grandi produzioni vengono prodotti uno o pochi beni standardizzati, che poi verranno commercializzati in diversi mercati. Il design di un tipico prodotto di questo tipo solitamente viene fatto in un paese diverso da quello in cui avverrà la produzione fisica. In più, il mercato di destinazione può essere un altro paese ancora. Si può rappresentare questa catena globale in modo schematico. Per semplicità vengono tralasciati alcuni aspetti, soffermandoci solo su quelli essenziali per il ragionamento.

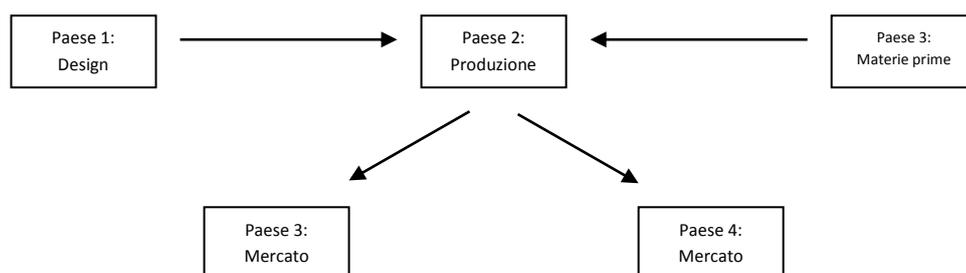


Figura 2.1

Dallo schema si nota che i paesi coinvolti possono essere numerosi. Va da sé come questo comporta un impiego di risorse non indifferenti, sia per i costi economici di trasporto che dal punto di vista ambientale. La convenienza di questo tipo della *supply chain* sta negli alti volumi produzione. La produzione stessa viene spostata in paesi dove i fattori costano meno, principalmente la manodopera. In più, si cerca di spostare la produzione nei pressi di paesi con materie prime più economiche, per ridurre l'incidenza degli input sul prezzo finale. Infine, i beni così ottenuti vengono spostati ulteriormente e piazzati su mercati esteri o anche sul mercato della azienda madre (nella schema si tratta di paese 1). Ciò che risulta evidente da questo modello è la molteplicità delle relazioni messe in atto e la distanza fisica tra le diverse fasi della filiera. Il primo punto richiede un'elevata capacità di gestione di reti complesse e coordinamento tra i numerosi soggetti coinvolti. In più, risulta evidente anche la necessità di ricorrere a diversi intermediari per raggiungere i mercati di sbocco. Questo comporta un allungamento della catena del valore, dove ogni soggetto in più che viene coinvolto cattura una parte del valore aggiunto creato. Gli impatti di questa situazione ricadono sia sulla gestione aziendale, che risulta ancor più complessa, che sul controllo effettivo della catena. In uno schema come quello che si sta esaminando è difficile per un'azienda gestire tutte le fasi della filiera. Ricorrere a soggetti esterni vuol dire perdere una parte del controllo e gestire rischi che dipendono da fattori esogeni all'azienda. Infine, in quest'ottica hanno un ruolo rilevante anche i costi di trasporto. Più la distanza fisica tra le varie parti della filiera è grande, più l'incidenza di questi costi aumenta.

Adottando uno schema analogo per un modello di business basata sulla manifattura additiva è possibile giungere a conclusioni diverse.



Figura 2.2

Si nota immediatamente come, grazie all'AM, sia possibile spostare la produzione nei mercati di destinazione. Questo consente, in primo luogo, di eliminare alcune fasi e accorciare sensibilmente l'intera *supply chain*. Si riduce il numero di

intermediari, si migliora il controllo lungo la filiera e aumenta il tempo di raggiungimento del mercato. Inoltre, diminuiscono i costi di trasporto. Questo è interessante soprattutto se si considera che il primo passaggio, cioè quello dal design alla produzione, è praticamente senza costi, trattandosi di un file che può essere trasmesso facilmente via internet. Quindi, i costi di trasporto di cui si parla qui sono semplicemente quelli di trasferimento delle materie prime al luogo di produzione, dove queste non siano disponibili *in loco*. In quest'ultimo caso si assisterebbe ad una eliminazione quasi completa di questa tipologia di costo, il che non ha effetti solo sul costo economico del prodotto. Bisogna tenere in mente anche l'impatto ambientale positivo che questo comporta, considerando che la quasi totalità dei trasporti consuma fonti energetiche non rinnovabili.

Risulta utile esaminare anche uno schema leggermente diverso, che si focalizza sulle relazioni e prescinde dalla composizione geografica della filiera. Possiamo rappresentare una *supply chain* tradizionale nel modo seguente:

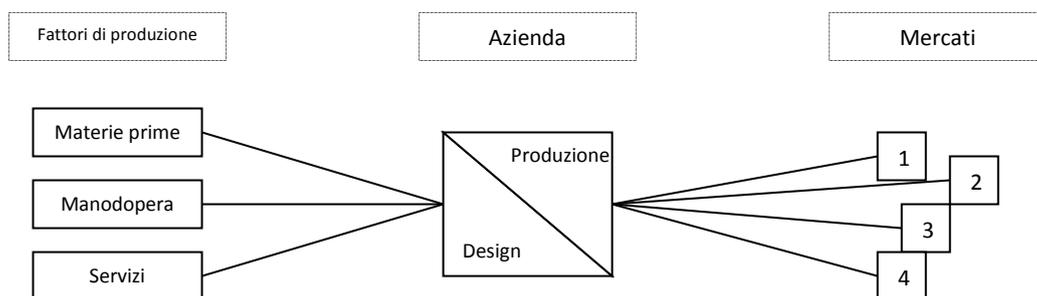


Figura 2.3

Dallo schema si nota come l'azienda assuma il ruolo centrale di questo sistema. Da una parte raccoglie tutti i fattori necessari alla produzione. Le relazioni che interessano la parte sinistra dello schema sono, quindi, quelle con i fornitori, dipendenti e prestatori di servizi che l'azienda decide di non svolgere al proprio interno. Naturalmente è una fase essenziale per il funzionamento dell'intera filiera e che rende necessario un controllo puntuale da parte dell'azienda madre. L'azienda, poi, progetta e sviluppa il proprio prodotto e lo produce in grande serie. A questo punto si procede verso i mercati di sbocco, la parte destra dello schema. I mercati obiettivo sono diversi tra di loro e necessitano a volte di strategie diverse. Su questo punto è importante fare una precisazione. Nel ragionamento che si sta sviluppando si assume

implicitamente che l'azienda produca un bene standardizzato e destinato a una molteplicità di mercati diversi. Si tratta ovviamente di una semplificazione, poiché le aziende solitamente adattano i loro prodotti ai mercati principali, per meglio rispondere alle esigenze specifiche delle diverse tipologie di clientela. In ogni caso, si tratta di un assunto che semplifica il ragionamento ma che tuttavia non pregiudica le conclusioni finali.

In quest'ottica la grande azienda è il fulcro del sistema. Decide cosa e quanto produrre in base alle proprie aspettative di vendita e agisce di conseguenza sui mercati di approvvigionamento. La fase più critica dell'intero processo sta proprio nel fare le previsioni in modo corretto e programmare la produzione. La grande varietà dei gusti dei consumatori e il sempre crescente numero di informazioni disponibili, grazie innanzitutto alle ICT, possono mettere in crisi questo sistema. È proprio per questo che le aziende tendono a modellare i loro prodotti per mercati specifici, in base ai gusti e preferenze di un numero più ristretto di clienti. Partendo da queste considerazioni essenziali si può esaminare uno schema analogo, dove però il modello di business è basato sull'AM.

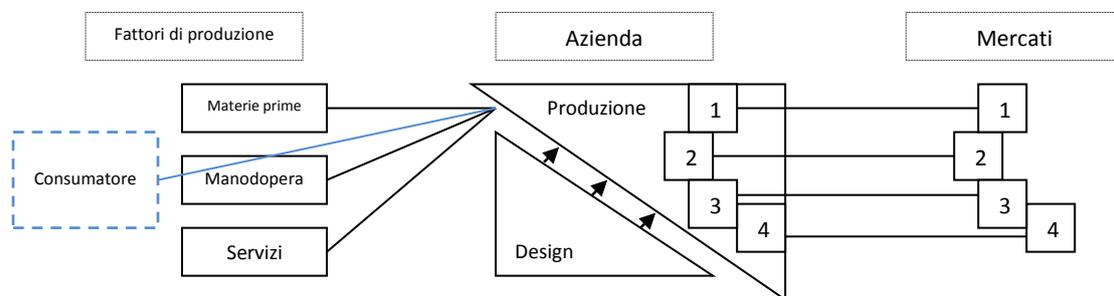


Figura 2.4

Anche in questo caso il centro del sistema sembra essere proprio l'azienda. Partendo anche questa volta dalla parte sinistra dello schema si nota come sia stato aggiunto un elemento ulteriore tra gli input. Essendo la personalizzazione una delle caratteristiche principali della manifattura additiva, un ruolo molto significativo è riservato al consumatore finale. Questo fornisce molte informazioni all'azienda e concorre esso stesso nel definire la forma e le funzionalità del prodotto. Questa figura del "prosumer" è sempre più comune anche nelle produzioni tradizionali. La grande quantità di dati che le aziende si trovano a gestire forniscono strumenti particolarmente utili per capire meglio le vere preferenze dei consumatori. La gestione

dei *big data* sta diventando ogni giorno più importante e spesso può influenzare fortemente il successo o meno di un prodotto. Nelle filiere basate sull'AM la relazione tra cliente e produttore è ancora più stretta. Quest'ultimo può produrre su indicazioni dirette del cliente, portando ad una totale personalizzazione. L'azienda, di conseguenza, necessita di un'adeguata struttura che sia in grado di gestire tutte le relazioni con i clienti e fornire le informazioni necessarie alla produzione in tempi utili. Potenzialmente si viene a creare un flusso di informazioni ancora maggiore di quelli disponibili alle grandi aziende. In questo senso sono uno strumento valido le piattaforme web, dove i cliente possono ordinare il prodotto con le caratteristiche desiderate e fornire all'azienda informazioni preziose per il futuro. Tutto questo si riflette anche alle dinamiche aziendali interne. Il design del singolo prodotto verrà eseguito solamente quando l'ordine è stato ricevuto (o quando il cliente ha espresso la propria preferenza). Dall'insieme degli ordini trattati le aziende possono determinare delle caratteristiche standard che la maggior parte dei clienti richiede e preparare dei progetti base che poi verranno completati di volta in volta. Questo permette di velocizzare i tempi di risposta e aumentare l'efficienza complessiva, senza tuttavia rinunciare a quella fetta di mercato che chiede prodotti con caratteristiche diverse dallo standard. L'ultimo caso è piuttosto comune nelle grandi produzioni, poiché è necessario scremare e optare per la produzione in grado di raggiungere il più vasto bacino di consumatori. In questo senso la manifattura additiva risulta essere più efficiente delle produzioni basate sulle economie di scala.

La seconda differenza con quello che si osserva nei modelli tradizionali è la fase di produzione. Non si è più davanti a un sistema dove il bene viene prodotto in un unico luogo in grandi quantità e poi trasferito nei mercati di destinazione. Ogni mercato di sbocco ha un suo punto produttivo. Le peculiarità dei singoli mercati permettono alle aziende di spostare la produzione vicino a ciascuno di essi. Si eliminano i costi di trasporto e aumenta ancora di più la stretta relazione con il consumatore finale. Questo comporta un duplice riflesso sulle dinamiche interne. Da una parte aumenta la complessità delle relazioni aziendali perché non si ha più un reparto produttivo singolo, ma una molteplicità di reparti più piccoli con caratteristiche potenzialmente diverse. Dall'altra parte, però, si snellisce il canale di distribuzione.

Ciascuna produzione è destinata ad un particolare mercato, che può essere esplorato e raggiunto con maggiore efficienza.

A questo punto è possibile fare un ulteriore passo in avanti. Finora si sono analizzati due sistemi in cui la produzione è svolta dall'azienda. Grazie alla manifattura additiva, però, sarà possibile stampare alcuni prodotti direttamente in casa. L'impatto non è indifferente poiché una funzione tipicamente aziendale come la produzione diventa di competenza del consumatore. Si osservi per iniziare uno possibile schema di questa nuova tipologia di relazioni.

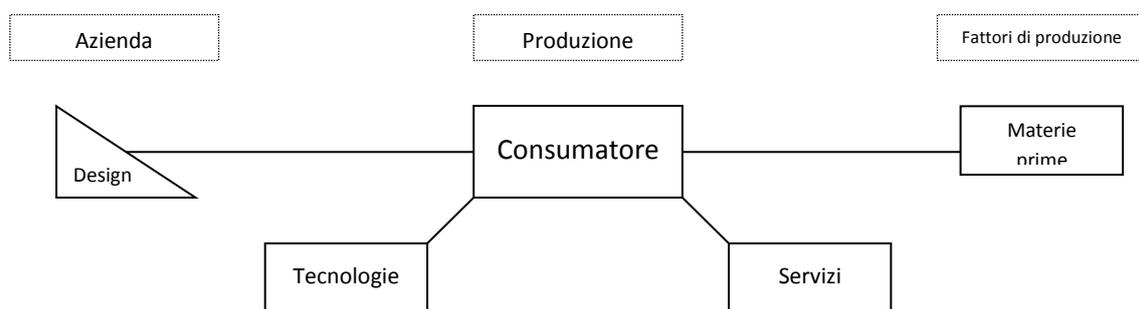


Figura 2.5

Il modello risulta essere chiaramente centrato sul consumatore finale. Quest'ultimo acquista il progetto del prodotto dall'azienda e procede in autonomia alla fase di produzione. Per fare ciò ha bisogno di acquisire le tecnologie, i servizi di supporto (come l'installazione e l'assistenza dei macchinari) e i materiali da utilizzare nella stampa. Quella che si viene a creare è una rete che unisce potenzialmente più imprese e non si basa unicamente sulla grande impresa multinazionale. Allo stato attuale delle cose i soggetti che forniscono le tecnologie di stampa sono spesso quello che forniscono anche i materiali, mentre i servizi di assistenza sono di solito affidati a partner esterni. Allo stesso modo il design è a carico di soggetti diversi da quelli che forniscono tecnologie e servizi di supporto. Ad ogni modo, ciò che risulta evidente è uno svuotamento di alcune funzioni tipiche delle aziende tradizionali. In un sistema del genere le aziende devono ripensare alla propria posizione nella filiera e organizzarsi di conseguenza. Invece di essere il centro delle relazioni, come visto nello schema delle produzioni tradizionali, esse diventano solo uno dei soggetti con il consumatore attivo e informato interagisce. Non si tratta certamente di un ruolo marginale, poiché la fase

di progettazione resta fondamentale ed è in grado di generare un importante valore economico (questo tema verrà discusso più avanti). Bisogna notare come in questo modello i costi di trasporto risultino ancora meno significativi. Il consumatore sarà sicuramente propenso ad acquistare le tecnologie e i servizi sul mercato locale, ricorrendo al mercato internazionale limitatamente ai materiali di stampa, dove questi non siano disponibili localmente. Poiché questo schema può riguardare un vasto numero di consumatori, si capisce come la *supply chain* diventi un insieme complesso di tante piccole catene. La frammentazione della catena obbliga le aziende a gestire in modo ottimale tutti i dati di cui viene in possesso, attivando canali specifici di gestione della clientela che potenzialmente possono essere unici per ciascun cliente.

Il ruolo centrale del consumatore è sintetizzato bene da Reeves, il cui ragionamento può essere rappresentato schematicamente nel modo seguente.

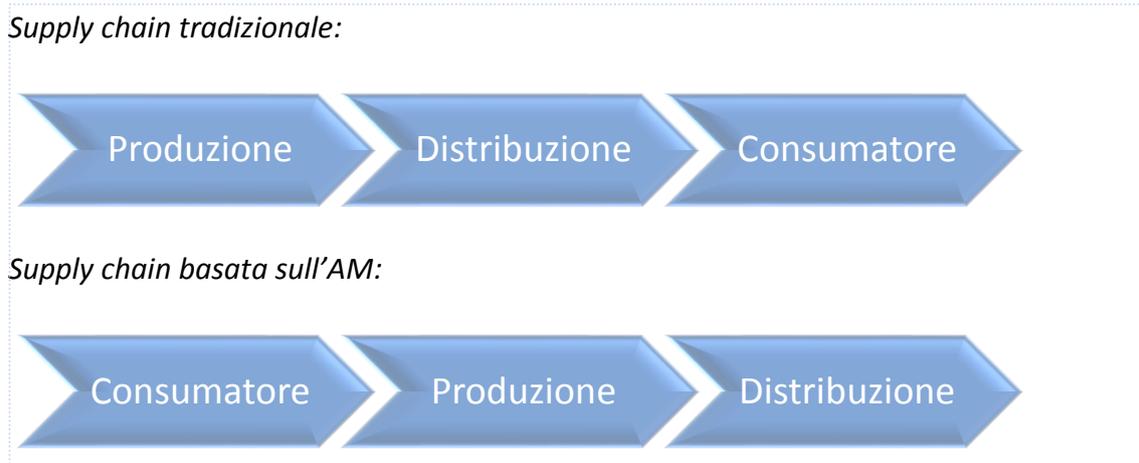


Figura 2.6 - Fonte: Reeves, 2008

Il consumatore si pone all'inizio della filiera produttiva, fornendo l'input alla fase di produzione. Non è più, quindi, un soggetto passivo che si limita a scegliere tra quello che offre il mercato. Bensì, si è di fronte ad una figura in grado di determinare cosa offre il mercato. È un salto di qualità notevole senza ombra di dubbio. Un'azienda non in grado di adattarsi a questo cambiamento parte certamente in posizione svantaggiata rispetto alla concorrenza. Da questo deriva la necessità di generare e gestire un grande flusso di dati, come già detto in precedenza. Uno strumento utile possono essere le reti d'impresa, che condividono le informazioni acquisite singolarmente e migliorano la capacità di previsione della domanda per tutti i soggetti del *network*.

Impatti sulle dinamiche interne

Oltre alle relazioni con soggetti terzi di cui si è appena discusso, la manifattura additiva ha impatti significativi anche sulle dinamiche aziendali interne. Questi riguardano sia l'organizzazione aziendale nel suo complesso che alcuni aspetti specifici di una linea di prodotti o di un prodotto particolare.

Partendo proprio da quest'ultimo punto, si nota come l'AM permette di rinnovare più velocemente le linee di prodotto. Ciò è possibile grazie sia ai miglioramenti in fase di prototipazione, di cui si è già parlato, che in fase di fabbricazione del prodotto finale, dovuti a tutti quei vantaggi esaminati all'inizio del lavoro. Lo si nota facilmente osservando il famoso schema sul ciclo di vita del prodotto, proposto ancora nel 1965 da Levitt.

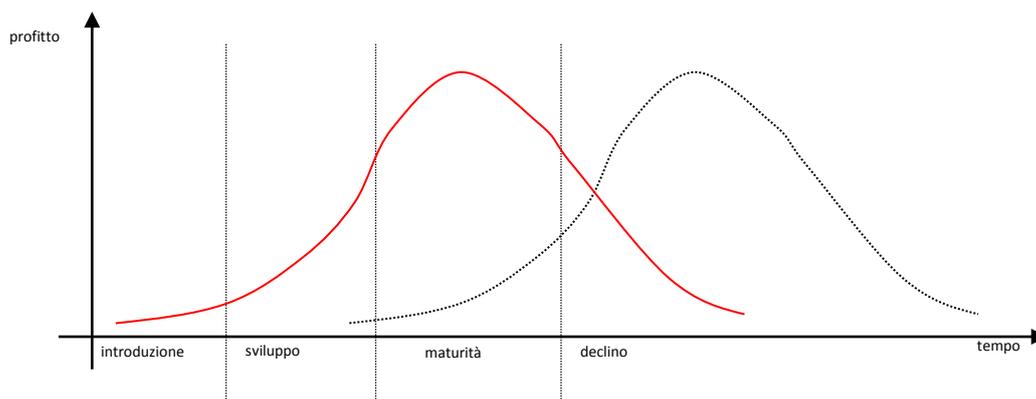


Grafico 2.1

Nel grafico osserviamo come la vita di un prodotto sul mercato possa essere divisa in più fasi. Nella prima fase il prodotto viene introdotto sul mercato, spesso attraverso un'azione di marketing volta a dare un'identità propria al prodotto. In questo momento si verificano i primi acquisti, spesso anche d'impulso, e le spese sostenute sono tali da annullare quasi completamente (e talvolta del tutto) i profitti delle vendite. Segue, poi, una fase di crescita e sviluppo, dove il prodotto acquista quota sul mercato e si verifica un'importante aumento dei ricavi di vendita. Successivamente, si giunge alla fase di maturità. Qui le vendite tendono a stabilizzarsi e i profitti raggiungono il picco, grazie anche alla reputazione del prodotto che non ha più bisogno di investimenti perché già ben conosciuto dai consumatori. Infine, il

mercato di orienta su altri prodotti e quello in esame comincia a subire un declino e l'azienda è costretta a rinnovarsi per rimanere competitiva.

Considerata questa situazione, l'azienda sa che prima o poi deve rinnovare per forza le proprie linee di prodotto, altrimenti rischia di uscire completamente dal mercato. Il tempo necessario per fare questo cambia sensibilmente da azienda a azienda e da prodotto a prodotto. Nel grafico possiamo vedere l'introduzione sul mercato di un secondo prodotto (linea tratteggiata) che avviene quando ormai il primo è in una fase di maturità. Tenendo in mente la situazione attuale, però, si capisce come questo tempo di rinnovo deve essere il più rapido possibile. È accettato praticamente da unanimità che il tempo di permanenza sul mercato si sia ridotto sensibilmente dai tempi in cui questo schema è stato introdotto e discusso. In ogni caso, il modello resta valido per discutere la questione e anche in questo caso risulta essere uno strumento utile. Quindi, riconosciuta la necessità di rinnovare i prodotti, si pone il problema della tempistica. La manifattura additiva sposta la linea tratteggiata del grafico precedente e riduce i tempi di rinnovo del prodotto, come si può vedere dal grafico seguente.

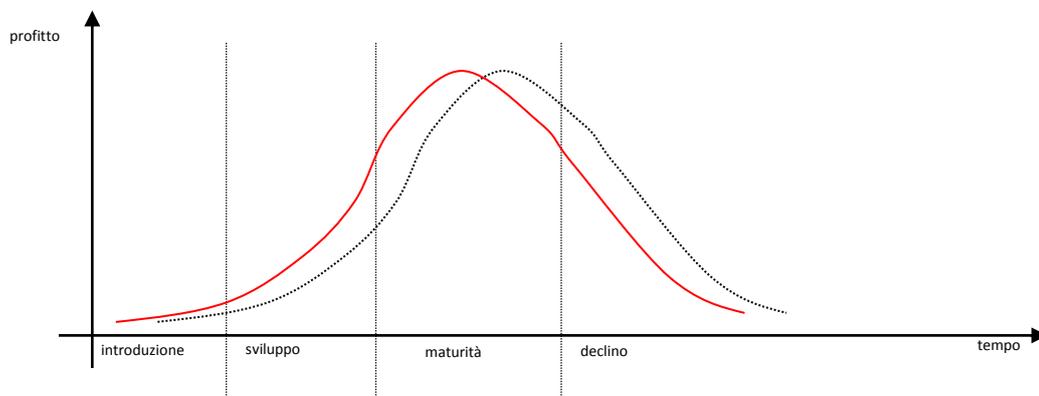


Grafico 2.2

Ferma restando la valenza puramente teorica del modello, non potendo fornire dei tempi standard vista la eterogeneità dei mercati, si è in grado, ciononostante, di fare alcune conclusioni. Lo spostamento della curva tratteggiata a sinistra significa una riduzione dei tempi di rinnovo delle linee di prodotto. Si nota come questa comporti dei cambiamenti a livello delle politiche aziendali. Nel grafico precedente la fase di introduzione del nuovo prodotto coincideva con la fase di maturità di quello vecchio, mentre in questo caso le diverse fasi sono quasi coincidenti. Ciò significa che l'azienda

deve seguire un approccio diverso nella gestione dei due prodotti. I flussi di cassa devono essere ottimizzati per sostenere la fase di lancio di più prodotti in un periodo di tempo minore rispetto a quanto accadeva in assenza dell'AM. La riduzione del tempo necessario per arrivare sul mercato è senza dubbio un vantaggio, oltre che una necessità, ma può portare ad alcuni cambiamenti nel modo di operare di cui le aziende devono tenere conto. Inoltre, avere sul mercato diversi prodotti nel pieno della fase di maturità, quindi nel momento di maggiori entrate di casse, permette di tutelarsi da eventuali contrazioni della domanda di un prodotto specifico. Il momento di difficoltà di un mercato viene coperto dal successo in altri mercati, grazie al ricorso alla ben nota diversificazione per la riduzione dei rischi. L'ultimo grafico mostra una situazione con due soli prodotti. Immaginando uno scenario in cui il rinnovo del prodotto viene fatto di continuo allo stesso ritmo di quello rappresentato, emerge come l'azienda possa trovarsi in una situazione in cui le fasi di maturità dei diversi prodotti si susseguono in un tempo molto limitato tra una e l'altra. Questo permette di evitare fasi in cui i profitti sono assorbiti completamente dalle fasi di introduzione o declino, portando ad un livello di tutela molto alto. Una situazione del genere si può rappresentare in modo seguente.

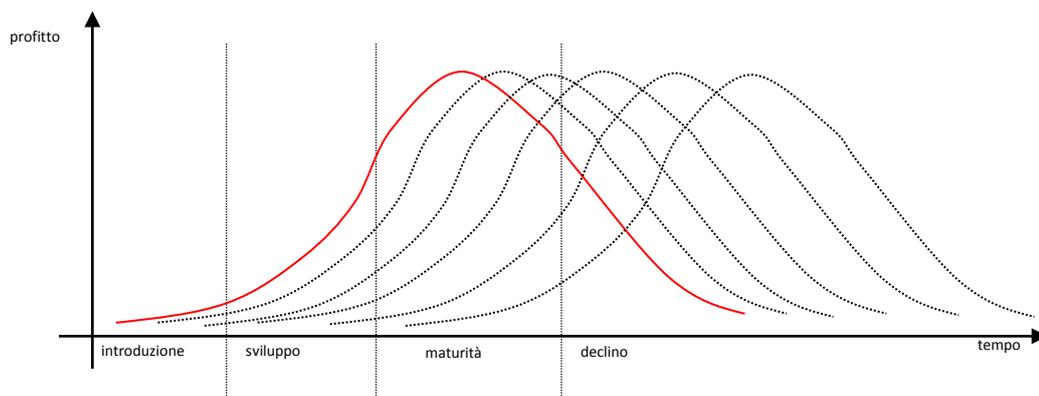


Grafico 2.3

Si tratta di un esercizio grafico, ma che fa ben capire come la manifattura additiva, riducendo sensibilmente il *time to market*, permette alle aziende di diversificare la loro offerte e garantirsi una certa sicurezza sul mercato, non dovendo dipendere dalle sorti di uno o di un numero limitato di prodotti.

Infine, un discorso più ampio va fatto in merito a tutta la struttura aziendale. Un'impresa che basi il proprio modello di business sulle tecnologie della manifattura additiva deve necessariamente adattare le proprie strutture interne alle necessità di tali tecnologie. Per sfruttare appieno i vantaggi che l'AM offre in fase di progettazione è necessario che l'intero design sia portato avanti con l'ottica additiva. Sviluppare un prodotto in maniera tradizionale, quindi rispettando quelli che sono i vincoli e standard dei processi tradizionali, può diventare controproducente perché vengono a mancare gli elementi che contraddistinguono la stampa 3D. Le caratteristiche delle stampanti che verranno utilizzate nella produzione devono essere tenute in mente già nella fase di progettazione. Inoltre, tutta la struttura di supporto deve essere organizzata in funzione di una gestione ottimale delle tecnologie impiegate. Per esempio, l'intera struttura di magazzino deve essere progettata per permettere un efficiente funzionamento delle tecnologie. Le vie in cui il materiale vengono portati e utilizzati da una stampante 3D sono sostanzialmente diversi da quelli usati dai grandi macchinari tradizionali. In più, diventa indispensabile una corretta gestione dei dati digitali. Si va dalla già nominata gestione dei dati acquisiti allo stoccaggio virtuale dei file 3D. Per fare tutto questo sono necessarie sia tecnologie di supporto che personale adatto. Questi sono temi che trascendo un po' la dimensione delle *supply chain* che qui si è trattata e che verranno esaminati più a fondo nei capitoli successivi.

2.2. Economia della conoscenza

La conoscenza svolge un ruolo molto importante nell'economia moderna. Analizzando la catena del valore dei prodotti più innovativi è facile notare come i soggetti che catturano la maggior parte del valore aggiunto sono quelli impiegati nella parte immateriale del prodotto. Come uno dei tanti esempi si consideri che il costo dei materiali e dell'assemblaggio di un *iPhone 6* è meno del 30% del costo al dettaglio del prodotto finale²². Ciò che conta, quindi, non è l'elemento materiale del prodotto, ma l'idea e il progetto che stanno alla base e la capacità di comunicare questa idea. Il

²² I siti specializzati stimano il costo di produzione di un iPhone 6 plus a \$242,5 (€ 214 al cambio corrente), mentre il prezzo al dettaglio in Italia dello stesso è tra gli € 840 e € 1060 (a seconda della capacità di memoria).

concetto è espresso bene da un pensiero di Rullani, che sostiene che il vero significato dell'economia della conoscenza è "spostare la visione dell'economia dal processo di produzione a quello di propagazione, ossia dal consumo razionale dei fattori disponibili alla creazione di reti che facilitino la propagazione intelligente, nello spazio e nel tempo, di quanto la società sa e sa fare". Ecco che in quest'ottica il focus non viene più posto sul costo di produzione ma bensì su un più complesso sistema di informazione e comunicazione del prodotto, senza prescindere dalla qualità del prodotto stesso naturalmente. Aumenta la complessità delle relazioni poste in atto per gestire una rete sempre più complessa, che sia in grado non solo di raggiungere il mercato in tempo utile, ma anche di raccontare il prodotto. Non si parla più solamente della capacità materiale di costruire l'oggetto, che resta tuttavia molto importante, ma soprattutto di creare valore immateriale che il consumatore finale sia in grado di apprezzare e per il quale sia disposto a sostenere un maggior sacrificio economico.

Partendo da queste considerazioni si possono distinguere due diversi tipi di conoscenza:

- Conoscenza replicabile
- Conoscenza non replicabile o generativa

La prima è contraddistinta dal fatto che può essere codificata e quindi facilmente trasferita nel tempo e nello spazio, per poi essere appunto replicata ad un costo molto più basso di quello di creazione. Questa tipologia di conoscenza ha avuto (e ha tuttora) un alleato molto importante nelle tecnologie ICT. La possibilità di codificare il sapere e poterlo trasferire in un qualsiasi luogo diverso da quello di origine permette lo sviluppo di industrie e la fabbricazione di prodotti in ogni parte del mondo, anche in zone in cui la qualità del capitale umano risulta piuttosto scarsa. Grazie principalmente a queste caratteristiche è stato possibile lo sviluppo globale dell'ultimo secolo. Nonostante tutti i problemi legati alle produzioni di massa, di cui si parla quotidianamente, la grande industria ha permesso a un grande numero di persone di superare la soglia della povertà e migliorare le condizioni di vita. Questa possibilità di copiare quello che funziona e trasferirlo in un luogo diverso da quello di origine ha permesso uno trasferimento tecnologico da paesi sviluppati a quelli che lo sono meno.

Nella realtà economica odierna si osserva come tutti i processi che fanno ampio uso di conoscenza codificata tendano a spostarsi dove trovano risorse complementari per il proprio uso, spesso ad un costo più basso di quello del paese di creazione della conoscenza. Proprio per questo motivo le grandi imprese internazionali hanno trasferito le proprie produzioni di massa in paesi come la Cina, dove il costo di lavoro e di altri fattori produttivi è sensibilmente più basso; tutti i processi sono standardizzati e non necessitano di manodopera particolarmente specializzata. L'elemento predominante è la minimizzazione del costo di produzione. Si capisce facilmente come in quest'ottica sia un'utopia cercare di fermare la delocalizzazione delle produzioni verso i paesi con fattori produttivi meno costosi. Non si tratta solamente di una scelta aziendale per massimizzare gli utili, ma anche e soprattutto di una necessità per restare sul mercato. Se l'impresa X decide di mantenere la produzione nel proprio paese invece di spostarla in un paese estero, sostenendo per questo un costo del lavoro di dieci volte più alto, nulla vieta a un'impresa concorrente di spostare la produzione nel paese con il costo più basso e prendersi la fetta di mercato dell'impresa X. Si è, quindi, di fronte a una dinamica globale che non può essere invertita. Bisogna prenderne atto e agire di conseguenza.

Dall'altra parte si ha la conoscenza non replicabile o generativa, cioè conoscenza che genera altra conoscenza. Questa è legata strettamente al luogo di origine e/o ad una persona in particolare. Esempi di conoscenza generativa sono il design di un prodotto, la capacità di risolvere problemi complessi e sempre nuovi, la capacità di un artigiano di lavorare un certo materiale, un'opera artistica e così via. Il trasferimento di conoscenza generativa, ovviamente, è possibile, ma spesso ha costi molto alti ed esiti incerti. Si è di fronte, quindi, a un elemento che non può essere ridotto ad un codice e riprodotto a piacimento in qualsiasi luogo. In questo caso la conoscenza, che ha bisogno di determinate qualità ed abilità, non si sposta in cerca di risorse complementari. Al contrario, resta in luogo di origine ed è in grado di creare un alto valore aggiunto (come si è visto nel caso del *iPhone*), nonché altra conoscenza, innestando in questo modo un circolo virtuoso in grado di creare un elevato valore aggiunto. Il radicamento sul territorio di questo tipo di conoscenza permette di sfruttare le unicità del territorio stesso. Il *know-how* acquisito grazie ad anni di

esperienza diventa parte integrante di una determinata zona. Diventa un vero e proprio fattore di produzione immateriale, che c'è ma non può essere racchiuso in uno standard e portato altrove. Un esempio tipico di questo fenomeno sono i distretti, che svolgono un ruolo significativo nell'economia italiana.

Come conseguenza naturale di questi fenomeni la filiera produttiva tende a diventare globale. In questo sistema le conoscenze codificate si spostano verso paesi in cui i fattori complementari sono meno costosi e le conoscenze generative sono localizzate nei paesi di origine. Questo significa che siamo di fronte a un nuovo paradigma produttivo. Per restare competitive, le imprese hanno bisogno di riorganizzarsi e di riposizionarsi, trovando spesso una nuova identità sul mercato che sia in grado di sfruttare il bagaglio storico dell'azienda e cogliere le nuove opportunità che si presentano. Il processo non è sicuramente facile ma risulta essenziale per assicurare la sopravvivenza sul mercato globale. Si tratta di un processo che deve essere necessariamente basato sulla economia della conoscenza appena discussa, ma che deve essere anche in sintonia con il mondo esterno all'impresa.

LE CINQUE GRANDI ONDE CHE STANNO PLASMANDO IL CAPITALISMO GLOBALE DELLA CONOSCENZA

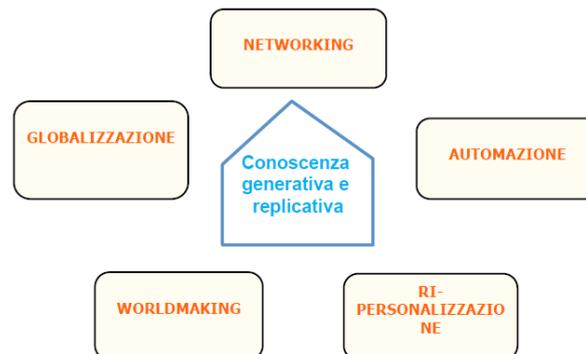


Figura 2.7 - Fonte: Rullani 2014

Il modello d'impresa ha bisogno di agganciare le c.d. cinque "grandi onde", cioè i fenomeni principali che plasmano la realtà attuale:

- Networking
- Automazione

- Ripersonalizzazione
- Worldmaking
- Globalizzazione

L'implosione della distanza e le possibilità offerte dall'ICT rendono necessaria una rete globale, in cui l'impresa interagisce con un numero sempre crescente di fornitori, clienti, concorrenti, consulenti ecc. Questa rete permette una forte specializzazione in un'unica funzione, ricorrendo ad altre imprese per il resto del processo produttivo. Naturalmente si rende necessaria una gestione efficiente di un sistema che si presenta piuttosto complesso. Si è di fronte, poi, a una sempre crescente automazione. Le macchine sono in grado di interagire non solo con l'uomo ma anche tra di loro, formando quel "internet delle cose" di cui si parla sempre più spesso. Inoltre, un numero sempre più crescente di funzioni può essere codificato e affidato al lavoro dei robot, con la conseguenza che il lavoro umano ha un bisogno crescente di capacità altamente qualificate, che siano idonee a creare e gestire le interazioni poste in essere. Un'altra caratteristica sempre più importante è l'aumento della domanda di personalizzazione dei beni. L'offerta deve essere in grado di rispondere alle molteplici esigenze dei clienti ed adattare il proprio processo produttivo nel minor tempo possibile, costruendo quindi anche un rapporto di fiducia con il cliente. Il cambiamento del paradigma produttivo risulta evidente proprio analizzando questo elemento. Il mercato non chiede più beni standardizzati a bassi costi, ma anche e sempre più beni che siano unici nel loro genere e che rispecchino le necessità dell'utente. Inoltre, c'è una crescente necessità di costruire dei nuovi mondi. Il vero valore non è quello del prodotto in sé, ma nella capacità di comunicare quel prodotto, di raccontare una storia e trasmettere delle sensazioni. Il consumatore diventa esso stesso parte della filiera produttiva e deve essergli messa a disposizione un'esperienza a 360 gradi. La figura non è più quella del consumatore passivo, ma di un "prosumer" che influenza in modo sensibile le scelte produttive dell'azienda, ancora prima che la produzione fisica avvenga. Si è già detto, infine, che la filiera diventa globale. È necessario, di conseguenza, sfruttare al meglio i diversi vantaggi che le due tipologie di conoscenza offrono, pensare ed agire in modo globale e non locale.

Social innovation

Tutto questo ha riflessi importati anche dal punto di vista dell'organizzazione lavorativa. La riduzione della distanza offerta dall'ICT permette e incentiva nuove forme di organizzazione. I gruppi di lavoro non devono più essere composti da persone sedute intorno ad uno stesso tavolo che lavorano costantemente fianco a fianco. Prendono piede sempre più forme di collaborazione a distanza, dove i diversi soggetti interagiscono in via digitale e possono portare avanti progetti anche senza avere mai la necessità di incontrarsi fisicamente. *Mail, social network, webinar, skype call* ecc. sono tutti strumenti che permettono di superare le distanze fisiche tra i diversi attori.

Un esempio tipico di questi processi è dato dalle aziende che offrono servizi per permettere la collaborazione tra aziende terze e conoscenze di privati da tutto il mondo. Si immagini l'azienda X che affida l'elaborazione di un progetto all'azienda Y. Quest'ultima lancia una "gara" a cui possono partecipare designer da tutto il mondo. Sarà cura delle azienda Y seguire l'intero processo, stabilire i requisiti di partecipazione, elementi base che i progetti devono avere, impostare un metodo di valutazione e premiazione dei vincitori e così via. Tutto questo viene naturalmente seguito su direttive di X che chiede e finanzia il progetto. A questo punto Y può attingere a un bacino di designer provenienti dalle Americhe, dall'Australia, dalla Cina, dalla Svezia, dal Sud Africa e via dicendo. Le diverse competenze dei designer verranno sfruttate in base ai diversi progetti richiesti. Questo processo ha un duplice aspetto. Da una parte l'azienda X sfrutta la professionalità di Y per disporre di un bacino di capitale umano impossibile da raggiungere con metodi tradizionali, riuscendo di fatto a trovare le abilità necessario per ogni progetto. Dall'altra parte, i singoli designer possono venire i contatti con aziende da tutto il mondo e impiegare le proprie conoscenze su temi che sono realmente di loro interesse, senza dover circoscrivere i possibili impieghi sul territorio dove risiedono e senza doversi spostare fisicamente in un altro paese.

Additive manufacturing e conoscenza replicabile

L'impatto di un modello di business basato sulle tecnologie additive è facilmente collegabile a quanto si è visto essere la conoscenza replicabile. La

codificazione rappresenta una delle caratteristiche intrinseche dell'AM, essendo la base di partenza dell'intero processo l'elaborazione di un modello tridimensionale digitale. Di conseguenza, è immediato associare questa tecnica alla conoscenza codificata e replicabile. Il file elaborato con il computer è codificato per definizione e può essere trasferito ovunque praticamente in tempo reale ad un costo pressoché nullo. Un file creato in Italia può essere mandato via internet in Cina o India e stampato là, con un costo di trasporto praticamente pari a zero. Questo problema della facile replicazione dei file di stampa può trovare risvolti anche nelle violazioni dei diritti d'autore. Un fenomeno analogo lo si è vissuto (e lo si vive tuttora) nel mondo della musica e del cinema, dove il mondo della c.d. pirateria è tutt'altro che insignificante. Una volta che il file viene immesso in rete è difficile bloccarne la circolazione. Per l'autore del progetto questo può portare danni significativi, poiché viene a mancare il flusso di reddito originato dalla vendita di quel design o progetto. Il problema è accentuato dal fatto che non sono necessarie abilità di nessun tipo per fabbricare fisicamente quell'oggetto: è sufficiente disporre di una stampante 3D adeguata.

La meccanizzazione è un secondo aspetto della manifattura additiva che può essere collegato alla conoscenza replicabile. Avendo a che fare con macchinari quali le stampanti 3D viene a non essere più necessaria l'abilità manuale per fare le cose. L'intero processo di creazione fisica dell'oggetto è svolto dalla macchina, che è in grado di fabbricare forme molto complesse senza particolari difficoltà. Quello che viene minacciato, a prima vista, è il lavoro artigianale. I beni prodotti da artigiani sono storicamente quelli più complessi, con un alto valore creativo e non adatti a essere prodotti a livello industriale. La nuova forma di produzione che qui si sta esaminando rischia di mettere in difficoltà queste produzioni, permettendo elaborazioni ancora più complesse e riducendo i costi di produzione nello stesso momento. È chiaro quindi che il focus si sposta dal saper fare manuale al saper fare intellettuale. Il nuovo artigiano è quello che elabora l'idea e prepara un file tridimensionale e non solamente colui che è in grado di trasformare un disegno in un prodotto finito. In ogni caso, il lavoro artigianale inteso in senso tradizionale non è destinato a scomparire. La manifattura additiva può essere un valido alleato per produzioni di questo tipo. Spesso oggetti

ottenuti con le stampanti 3D hanno bisogno di lavorazioni ulteriore, per ridefinire e perfezionare il prodotto. In questa fase il saper fare manuale, accumulato attraverso l'esperienza, risulta molto rilevante. Se è vero che la montatura per un paio di occhiali può essere stampata a un costo molto basso, diciamo 10€ a titolo d'esempio, è altrettanto vero che una lavorazione artigianale su quella montatura può moltiplicare il valore del prodotto finale di diverse volte, portandolo a 100€ o 150€. Il valore aggiunto in questo modo va a pagare qualche stipendio e aumenta i posti di lavoro. In sintesi, il problema della meccanizzazione è reale nella manifattura additiva e bisogna tenerne conto. Non si tratta, tuttavia, di un questione ben chiara e definita. Da una parte c'è il problema di una trasformazione che potenzialmente sottrae lavoro al capitale umano e, dall'altra parte, questa stessa trasformazione crea nuove opportunità. Al momento non ci sono studi che diano indicazioni precise su questo tema. Una ricerca in questo senso sarebbe molto utile ed è senz'altro auspicabile.

Additive manufacturing e conoscenza generativa

Si è già detto che in un sistema produttivo basato sull'AM l'elemento predominante per il vantaggio competitivo è la possibilità di personalizzare i prodotti; non si compete sulle economie di scala ma sulle economie da personalizzazione. Quello che conta è l'idea alla base del prodotto ed è esattamente questo l'elemento che caratterizza anche la conoscenza generativa. Come si è appena visto la fabbricazione del prodotto non ha bisogno di essere spostata in paesi con un costo di lavoro più basso, ma può avvenire direttamente nelle vicinanze del consumatore. Se si considera, poi, la sempre crescente interazione del cliente finale nella fase di realizzazione del prodotto, si capisce come spesso il luogo di creazione dell'idea è vicino al consumatore finale. In quest'ottica la riproducibilità del prodotto assume meno importanza. Il prodotto personalizzato è di norma più complesso dei prodotti realizzati su larga scala per il consumo di massa, quindi l'imitazione diventa sia più complessa a livello tecnico che meno profittevole a livello economico. L'attività creativa a monte del processo di produzione è quella che assorbe la maggior parte del valore aggiunto. Questa stessa attività, cioè di progettazione e sviluppo del prodotto,

non può prescindere da una stretta interazione con il cliente, come già detto più volte. Il rapporto azienda – consumatore che viene a crearsi è tanto più efficiente quanto è minore la distanza tra questi due soggetti. Non conta solamente la distanza fisica, che risulta tra l'altro sempre più ridotta dall'ICT. Influisce su questo punto anche l'aspetto culturale. La stessa lingua e lo stesso modo di pensare facilitano la comunicazione tra i soggetti coinvolti e migliorano l'efficienza dell'intero processo. Quindi, l'avvicinamento della produzione ai mercati di sbocco è importante anche in questo senso. La personalizzazione necessita di una relazione continua tra chi produce e chi consuma e la riduzione della distanza, sia fisica che culturale, non può far altro che ottimizzare tali relazioni.

Nasce come conseguenza naturale la necessità di gestire questa crescente complessità. I poli specializzati sono quelli che più facilmente sono in grado di farlo, essendo possessori di un storico *know-how* del loro settore. I distretti, per esempio, possono essere un luogo dove la conoscenza generativa può essere sviluppata ed alimentata anche dalle tecnologie AM. I saperi tradizionali sono senza dubbio una fonte di vantaggio competitivo e possono essere integrati con le nuove tecnologie per sfruttare nel migliore dei modi le grandi onde di cui si è parlato. In questo senso l'automazione non è solo quella dei grandi macchinari industriali in grado di produrre migliaia di pezzi al giorno, ma anche la stampante 3D in grado di stampare il prodotto finito o il semilavorato. L'AM sposta il focus sui costi variabili di produzione, mettendo in primo piano la capacità di adattare i macchinari alle specifiche esigenze del cliente o del singolo prodotto. Queste esigenze sono in continuo cambiamento e non ci può essere un codice o un algoritmo in grado di gestirle. C'è bisogno di capacità umane in grado di gestire situazioni sempre diverse e le capacità richieste sono proprio quelle che scaturiscono dalle conoscenze generative. La gestione riguarda sia la rete esterna che quella interna. La prima è quella che riguarda non solo le relazioni con il cliente, appena discusse, ma anche altre interazioni con soggetti quali fornitori, intermediari e così via. Il *network* posto in essere deve essere flessibile e in grado di gestire situazioni molto diverse tra di loro. La capacità di chi gestisce questa complessità deve essere tale da garantire un corretto funzionamento dell'intera struttura e permettere la produzione *just in time* che caratterizza la manifattura additiva. C'è, poi, tutta la

questione delle dinamiche interne. La *supply chain* discussa nel capitolo precedente deve essere in grado di supportare in maniera più efficiente la fase produttiva. I soggetti interni all'azienda devono essere coordinati in modo da ottimizzare i tempi di interazione e produzione. Per fare questo c'è necessità di creare canali di comunicazione efficienti e fluidi. Appare evidente come all'aumentare delle relazioni cresce la complessità effettiva del sistema. Tanto quest'ultimo è più grande, tanto più si rende necessario un lavoro efficiente di coordinamento e controllo. Questo tipo di attività è legato inevitabilmente alla qualità del lavoro umano. Le tecnologie che consentono di stabilire comportamenti predeterminati per alcune situazioni o che permettono di analizzare una grande quantità di dati sono un valido strumento per chi gestisce l'intero sistema. In ogni caso, però, il fulcro del processo resta la capacità e conoscenza della persona, o gruppo di persone, che sta al vertice.

Tra le caratteristiche dell'AM nominate all'inizio di questo lavoro si parla di meno vincoli alla progettazione. Dove per vincoli si intendono sia quelli tecnici che creativi. In entrambi i casi c'è una ricaduta sulla conoscenza generativa. La maggior libertà tecnica nella progettazione permette di cercare soluzioni nuove e più efficienti, rafforzando ulteriormente non solo la qualità dell'oggetto in sé ma soprattutto il valore immateriale del prodotto. Ancora una volta siamo di fronte all'uso di conoscenza generativa legata alle tecniche additive. La capacità di un ingegnere di mettere a punto soluzioni di questo tipo non può essere ridotta ad un codice e trasferita altrove. Essa è legata piuttosto al luogo dove questo opera, al territorio con le proprie conoscenze maturate sia nel tempo e con la pratica che grazie ad un sistema educativo di supporto. Stesso discorso vale anche per la rimozione di vincoli creativi. Inoltre, i settori caratterizzati anche da una componente artistica, come per esempio la moda o il design, possono beneficiare da un maggiore spazio di manovra dei propri artisti e progettisti. Meno vincoli significa più spazio per la creatività, più possibilità di trasformare l'idea dell'artista in valore economico. Sicuramente queste idee verranno poi rappresentate in un disegno o in un modello CAD che poi può essere facilmente trasferibile, ma è chiaro che non è questo l'elemento predominante. Il vero valore è l'idea stessa, la conoscenza generativa che si avvale dell'AM e non può essere trasferita facilmente. In un sistema economico come quello italiano, caratterizzato da

una vocazione creativa storica, questo diventa un elemento di vantaggio competitivo. La manifattura additiva diventa un mezzo ulteriore per trasformare le idee in oggetti di alto valore. Chiaramente, parlando di beni in cui il valore artistico assume una fetta importante del valore totale, risulta evidente come la porzione di mercato su cui inevitabilmente si posiziona è quella di prodotti di media e alta fascia. Il saper fare artigianale italiano, ben apprezzato all'estero, può trovare un modo nuovo per manifestarsi e svilupparsi ulteriormente. Questa specie di *upgrade* tecnologico risulta possibile non solo grazie alle nuove tecnologie e capacità di modellare in 3D e preparare i file per la stampa. Non si può prescindere dalla capacità presente sul territorio, che per tanti anni ha prodotto oggetti di grande valore. In questo ragionamento la manifattura additiva non è un fine a cui il processo aziendale è rivolto; non si progetta solamente per stampare in 3D e vendere il prodotto così ottenuto. L'AM diventa un mezzo che si inserisce in un sistema già avviato. Alcune fasi vengono cambiate e le tecnologie additive si impiegano dove effettivamente possono dare un qualcosa in più rispetto alle soluzioni tradizionali. La stampa 3D è uno strumento ulteriore, con tutti i vantaggi e potenzialità di cui si è discusso, a disposizione di una conoscenza presente già da tempo e saldamente radicata nel territorio e nelle persone che vi operano.

Processi di localizzazione

Quanto appena visto ha un forte riflesso sui processi di localizzazione delle imprese. In uno scenario globale le aziende sceglieranno di posizionarsi in luoghi che sono in grado di trovare le conoscenze di cui hanno bisogno. Una fase produttiva che sfrutta ampiamente conoscenze codificate verrà spostata dove i fattori sono più economici, mentre le attività di conoscenze generative si sposteranno altrove. Quindi, la tipologia dell'azienda e le sue competenze di base hanno un forte legame con quello che è il processo di localizzazione e geografia delle imprese. Le diverse fasi aziendali generano un diverso valore aggiunto. Di conseguenza, i territori in cui queste fasi sono localizzati traggono un beneficio maggiore o minore a seconda di quello che riescono ad offrire al tessuto economico ed aziendale. Un territorio che dispone di conoscenze

generative uniche è in grado di attrarre imprese e quindi di beneficiare del valore aggiunto ivi creato.

Le quote di valore aggiunto attribuibili alle diverse fasi del ciclo produttivo di un prodotto sono oggetto di discussione e non c'è una corrente di pensiero unica. Una lettura che ha accolto ampi consensi è quella proposta da Mudambi nel 2007, nota come *"smile of value creation"*. La rappresentazione grafica è la seguente:

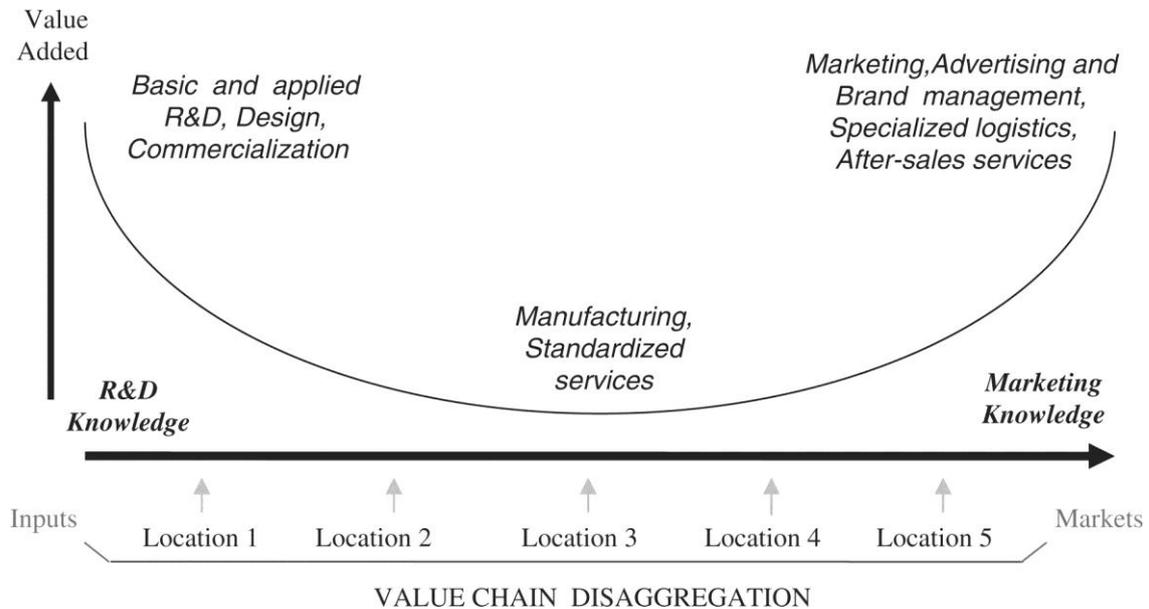


Grafico 2.4 - Fonte: Mudambi, 2007

L'autore individua tre diverse fasi aziendali:

- 1) Fase legata prettamente ad attività creative: design, ricerca e sviluppo, ecc.
- 2) Fase di produzione vera e propria
- 3) Fase di promozione del prodotto e assistenza post vendita

Queste tre fasi non seguono necessariamente questo ordine. Per esempio, la fase di marketing e gestione del marchio può avvenire anche prima della fase di produzione. Si tratta quindi di tre momenti ideali dell'attività aziendale, che non per forza hanno una prefissata sequenza temporale. Gli studi empirici condotti da Mudambi²³ dimostrano che queste tre fasi catturano e generano un diverso valore aggiunto. In particolare, l'attività manifatturiera è quella che crea un minor valore

²³ Tra i casi studiati dall'autore ci sono per esempio la Nike e il caso specifico dell'iPhone.

aggiunto. Mentre le altre due fasi, caratterizzate soprattutto dalle attività intellettuali, sono in grado di generare un valore più alto. Utilizzando come chiave di lettura la distinzione tra le due forme di conoscenza appena vista, si nota come è la conoscenza generativa quella in grado di catturare più valore. La conoscenza codificata viene sfruttata principalmente nella fase di produzione. Le conoscenze richieste non sono elevate e i fattori di produzione (compresa la manodopera) possono essere facilmente cambiati o rinnovati. Di conseguenza, questa fase risulta quella dove i ricavi tendono ad avvicinarsi sempre di più ai costi, generando quindi un valore piuttosto basso. Bisogna, però, dire che in letteratura non tutti sono d'accordo con questa tesi, anche in presenza di studi empirici a sostegno. C'è una corrente di pensiero che sostiene che la manifattura crei anch'essa un valore aggiunto pari, se non superiore, alle altre due fasi. Quindi il dibattito rimane aperto, anche se personalmente il ragionamento di Mudambi mi sembra quello più corretto al momento.

Inoltre, è stato osservato come la fase uno e la fase tre generalmente vengono localizzate in paesi ricchi, mentre la fase produttiva tende a spostarsi in paesi in via di sviluppo. Si può concludere che la conoscenza ha un ruolo non indifferente nei processi di localizzazione. Le aziende che hanno bisogno di capitale umano in grado di svolgere funzioni complesse vanno a cercarlo dove ci sono sistemi territoriali capaci di fornire queste conoscenze. I poli specializzati sono un elemento importante nella geografia delle imprese che si sta formando. Questo fa capire come i paesi più sviluppati devono orientare la loro politica nella direzione delle conoscenze generative. In una competizione di puro costo i paesi in via di sviluppo godono di costi significativamente minori e sono indubbiamente in vantaggio. Sul fronte del *know how* e dell'attività intellettuale, invece, i paesi sviluppati sono in vantaggio, grazie alla qualità del capitale umano che ha potuto formarsi nel corso degli anni. La direzione da seguire sembra essere proprio questa: ulteriori investimenti in capitale umano di qualità e in grado di innovare e trovare soluzioni sempre nuove capaci di generare un grande valore aggiunto.

Per quel che riguarda il rapporto tra la manifattura additiva e i processi di localizzazione qui descritti, si può giungere ad alcune conclusioni. In primo luogo, le attività più caratterizzanti dell'AM vanno ad inserirsi nella prima fase dello schema

presentato. I vantaggi in fase di progettazione (quali libertà di forme, complessità della manifattura e così via) consentono di sviluppare ulteriormente quello che è il valore creato nella prima parte della curva. Allo stesso modo, la gestione del marchio e le operazioni di promozione, quindi la terza fase del grafico precedente, subiscono un miglioramento grazie alla possibilità di includere il consumatore nella definizione del prodotto, come si è visto prima. Questo avvicinamento delle due fasi consente poi di ottenere delle c.d. *linkage economies*, cioè benefici che derivano da collegamenti efficienti tra diverse aree aziendali. Anche la seconda fase, quella della produzione, risente degli effetti della manifattura additiva. Quest'ultima aumenta l'automazione del processo di produzione, rendendo ancor più codificata la conoscenza impiegata in questo punto del processo. Anzi, si può anche dire che questo aumento di automazione fa nascere la necessità di ulteriori conoscenze generative, cioè quelle di monitorare e preparare il lavoro delle stampanti 3D.

Mettendo insieme le considerazioni fatte in merito alla *supply chain* e quelle sui processi di localizzazione emerge un nuovo elemento. Da una parte è vero che la tendenza è quella di spostare le attività legate alla conoscenza codificata nei paesi in via di sviluppo, ma dall'altra si è notato come la manifattura additiva permette di spostare le produzioni nei pressi dei mercati di sbocco. Basandosi su un paradigma produttivo diverso, l'AM permette di avvicinare tutte e tre le fasi dell'attività aziendale e localizzarle nelle vicinanze dei consumatori. Questo crea ulteriori vantaggi in termini di efficienza aziendale interna e comunicazione con i clienti e soggetti terzi. Per i paesi in via di sviluppo questo significa poter porre il focus su quelle attività legate al territorio, che creano un grande valore e sono in grado di trainare le economie nazionali. In questo senso si può anche prescindere dalla forma della catena del valore ipotizzata di Mudambi. Anche se la fase a più alto valore aggiunto fosse quella della manifattura, l'AM consente di riportare queste produzioni nei paesi di origine. Questo *reshoring* non è pensabile per tutte le produzioni naturalmente. Bisogna fare distinzione tra produzione basate sulla stampa 3D e quelle che resteranno inevitabilmente legate a processi tradizionali.

La manifattura additiva, quindi, ha impatti su tutte le fasi del processo aziendale. Questi impatti permettono di avvicinare i diversi elementi della catena del

valore. Inoltre, le scelte di localizzazione sono profondamente influenzate dalle conoscenze territoriali e dai mercati di sbocco. Ne deriva che i poli specializzati presenti in larga misura nei paesi sviluppati diventano catalizzatori di queste tecnologie e permettono un rilancio del territorio. Potenzialmente il numero dei paesi coinvolti in questo nuovo processo può anche aumentare: il design può essere frutto di cooperazione tra designer di diversi paesi, giusto per fare un esempio. La distanza virtuale, però, viene ridotta grazie all'ICT. Questo consente di sfruttare tutti quelli vantaggi propri della manifattura additiva, esaminati precedentemente. Si è di fronte a un sistema produttivo fortemente basato sulla conoscenza generativa e in grado di dare nuove risorse a soggetti possessori di esperienza e *know how* storico. I paesi come l'Italia hanno un grande numero di questi soggetti che sono stati messi in difficoltà in seguito ai processi di globalizzazione degli ultimi anni e a causa della sempre maggiore competizione con imprese dei paesi in via di sviluppo. Adesso, però, ci sono degli elementi in grado di mutare nuovamente questo ordine delle cose. Ecco che i soggetti di cui si parla possono, anche grazie all'AM, specializzarsi in attività che creano un grande valore aggiunto, che sono radicate sul territorio di origine e che sono un'importante fonte di vantaggio competitivo.

2.3. Imprenditorialità e impresa

Analizzando le dinamiche interne ai modelli di business basati sulla manifattura additiva, emerge come questo paradigma produttivo si inserisca all'interno di quella che viene chiamata *lean production*, ossia produzione snella. Questa tipologia di produzione, sviluppatasi in contrapposizione alla produzione di stampo fordista, punta a massimizzare le relazioni aziendali, eliminare gli sprechi e ridurre il tempo di produzione e raggiungimento del mercato. Per verificare gli impatti e i collegamenti dell'AM con la produzione snella risulta utile partire da quelli che sono gli elementi caratterizzanti di quest'ultima, secondo l'impostazione di John Roberts. L'autore ha analizzato le caratteristiche principali delle aziende attuali e ha definito una serie di aspetti che contraddistinguono la produzione di massa di impostazione fordista, da

una parte, e il modello *lean*, dall'altra. Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche proprio di quest'ultimo modello.

Macchine flessibili, bassi costi di <i>set-up</i>
Lotti produttivi bassi
Miglioramenti di prodotto frequenti
Gamma di prodotti ampia
Marketing relazionale
Lavoratori molto qualificati
Iniziativa dei lavoratori
Informazioni locali e auto-regolamentazione
Comunicazioni orizzontali
Temi di sviluppo interfunzionali
Miglioramento continuo
Accento sui costi e sulle qualità
Scorte basse
Gestione della domanda
Produzione su commessa, comunicazioni ampie con i clienti
Rapporti a lungo termine fondati sulla fiducia
Affidamento su fornitori esterni

Tabella 2.1 - Fonte: Roberts, 2004; traduzione Isotta, 2010

La produzione snella è quella sicuramente più diffusa attualmente. Le caratteristiche che la contraddistinguono segnano un netto distacco dal paradigma produttivo precedente, quello della grande produzione di massa che si è sviluppato all'inizio del 1900. Nell'ottica *lean* il focus viene posto su un maggior coinvolgimento del cliente e dei dipendenti nello sviluppo e nel miglioramento sia del prodotto che del processo produttivo e di innovazione. Si cerca di rendere l'intero processo il più fluido

possibile, con continui miglioramenti dovuti al *learning by doing*, ridurre le scorte e avviare il processo produttivo quando c'è un'effettiva domanda per il bene. Si passa, quindi, dal produrre grandi quantità per essere in grado di rispondere alla domanda del mercato a capire, gestire e prevedere la domanda stessa, per poter rispondere con azioni tempestive alle sue variazioni.

Un modello di business che faccia affidamento alla manifattura additiva si inserisce bene all'interno di questa situazione. Per alcuni aspetti i due modelli sono sostanzialmente identici, mentre per altri si possono individuare delle discontinuità. In ogni caso, non si tratta di una rottura netta come nel passaggio da produzione fordista alla produzione snella. Si è di fronte, piuttosto, a un'evoluzione del modello della *lean production*. Nella tabella seguente sono sintetizzate le differenze principali tra i due modelli. Risulta utile analizzare più dettagliatamente i punti di differenza per capire meglio la portata effettiva e le novità connesse all'AM.

<i>Lean Production</i>	<i>Additive manufacturing</i>
Macchine flessibili, bassi costi di <i>set-up</i>	Macchine multifunzionali, produzione di più prodotti contemporaneamente
Lotti produttivi bassi	Produzione di prodotti singoli o lotti molto contenuti
Miglioramenti di prodotto frequenti	Miglioramenti di prodotto specifici per ogni cliente
Gamma di prodotti ampia	Prodotto specifico per ogni cliente
Marketing relazionale	Marketing relazionale, cliente come risorsa fondamentale
Lavoratori molto qualificati	Lavoratori molto qualificati, ampio uso di conoscenza generativa
Accento sui costi e sulle qualità	Accento sulla personalizzazione
Scorte basse	Scorte fisiche nulle, stoccaggio virtuale
Produzione su commessa,	Comunicazione continua con il cliente

Tabella 2.2

Il primo elemento di novità che emerge è l'utilizzo di macchinari ancora più flessibili. La produzione snella è contraddistinta da macchine in grado di adattarsi facilmente alle diverse necessità imposte dal mercato, con costi di settaggio abbastanza contenuti. Le stampanti 3D, dall'altra parte, sono in grado di produrre anche più prodotti diversi tra di loro contemporaneamente. Questo non è possibile con nessun'altra macchina. Inoltre, i costi di set-up sono pressoché nulli. L'intero processo è gestito dal computer, senza necessità di intervento umano. Questo permette di avere a disposizione delle possibilità praticamente infinite. Si possono stampare oggetti profondamente diversi senza dover intervenire minimamente sul macchinario, a patto naturalmente di rispettare i limiti di materiali e area di lavoro di ciascuna stampante. Questo è un elemento molto importante che permette di rispondere in tempi ancora più brevi alle esigenze della domanda.

La produzione snella è caratterizzata da lotti di produzione bassi. Questo per adeguarsi meglio alle preferenze dei diversi gruppi di consumatori e rispondere in maniera più adeguata alle diverse necessità. Sempre in quest'ottica di flessibilità si inserisce anche la manifattura additiva. Solamente che in questo caso può risultare profittevole produrre anche un unico pezzo. Non c'è bisogno di avere un lotto minimo per rendere efficiente la produzione. La stampa 3D permette di personalizzare al massimo ciascun prodotto. Non si fa più riferimento a gruppi di consumatori con gusti omogenei, ma ciascun consumatore può essere servito in modo indipendente dagli altri. Questa segmentazione estrema del mercato permette quella personalizzazione di massa di cui si è già detto. Quindi, grazie alle tecniche additive è possibile sia produrre lotti contenuti sia prodotti singoli. La soluzione più idonea viene individuata man mano, in base alle esigenze del mercato, del gruppo di clienti e, al limite, del singolo cliente.

Da queste considerazioni deriva un'altra conclusione. Poiché ciascun prodotto può essere personalizzato in base alle esigenze specifiche, ne consegue che i miglioramenti apportati al prodotto non devono necessariamente essere gli stessi per

ogni lotto di produzione. Le necessità dei clienti porteranno lo sviluppo del prodotto verso direzioni che più si adattano a loro. Per esempio, uno stesso prodotto può avere miglioramenti diversi. Un cliente può avere la necessità di puntare sulla resistenza meccanica del prodotto e quindi i miglioramenti apportati mano a mano andranno a influire soprattutto su quel aspetto. Un altro cliente, dall'altra parte, può preferire le proprietà aerodinamiche e quindi il team di sviluppo si concentrerà su quest'altro aspetto. Nella *lean production* lo sviluppo del prodotto è dovuto a tanti piccoli miglioramenti che emergono nel tempo e che sostanzialmente portano il prodotto a seguire una (o un numero piuttosto limitato) direzione di sviluppo. Grazie alla manifattura additiva, invece, è possibile avere numerose direzioni, che vengono tutte dettate dalle esigenze del mercato. Non sono, quindi, frutto di un mero perfezionamento di tecniche progettuali e studiate in una fase precedente alla produzione. Sono miglioramenti richiesti direttamente dalla domanda e di conseguenza i più appropriati.

Una considerazione analoga può essere fatta in merito alla gamma di prodotti diversi che la singola azienda offre al mercato. Grazie alla produzione snella le aziende sono in grado di offrire una vasta gamma di prodotti che si adattano alle esigenze dei diversi gruppi di clienti. Grazie all'impiego di tecniche additive, invece, questa gamma può essere ulteriormente aumentata. Questo grazie sia ai vantaggi che offre l'AM in fase di progettazione che alla possibilità di ridurre le scorte fisiche dei diversi prodotti. Quest'ultimo elemento permette di offrire un numero molto alto di prodotti, senza doverli necessariamente produrre e stoccare prima di avere un riscontro da parte della domanda. Una gamma più ampia permette, inoltre, di facilitare la personalizzazione di cui si è detto più volte. In questo modo, poi, è più semplice intervenire sui singoli prodotti e apportare le migliorie incrementali in base alle esigenze che man mano si presentano.

Sul lato del marketing e delle relazioni con i clienti i due modelli si assomigliano. Entrambi gli approcci sono basati sul marketing relazionale. Si punta a una sempre maggior fidelizzazione del cliente, che viene messo al centro e coinvolto nell'esperienza aziendale a 360 gradi. La manifattura additiva, rispetto alla produzione snella, esalta ancora di più questa centralità del cliente. Come si è visto in precedenza,

il cliente assume un ruolo attivo nella progettazione e realizzazione del prodotto. Lo scambio di informazioni si intensifica e il rapporto tende a consolidarsi nel tempo. La risposta da parte dell'azienda alle necessità dei clienti deve essere tempestiva, quindi emerge il bisogno di predisporre canali adatti per raccoglierle ed elaborarle. In questo senso assume rilevanza la forma di marketing diretto, che si avvale di strumenti digitali quali piattaforme web e *social media*. La digitalizzazione delle informazioni è in atto già da tempo, a prescindere dai modelli produttivi adottati dalle aziende. Con la manifattura additiva, però, questa diventa ancora più efficiente vista la natura digitale stessa della stampa 3D.

Anche sul tema della forza lavoro impiegata ci sono molte similitudine tra i due paradigmi che si stanno esaminando. Entrambi si avvalgono di lavoratori qualificati, che non eseguono semplicemente una data mansione ma che utilizzano le proprie capacità per affrontare situazioni diverse che si presentano man mano. In un modello basato sulla manifattura additiva si fa ampio ricorso sulle conoscenze generative, come si è già detto. L'aumento della personalizzazione e delle relazioni con i clienti fa crescere in modo sensibile le possibili situazioni che si possono creare e che devono essere affrontate ciascuna in un modo diverso. Di conseguenza, cresce anche la necessità di disporre di capitale umano in grado di far fronte a queste esigenze. Nel modello additivo, quindi, si fa ricorso ad un intenso uso di conoscenza generativa e solo una minima parte viene lasciata a quella codificata. Anche in questo caso si osserva come non ci sia un vero punto di rottura con quello che succede nel modello *lean*, ma piuttosto un'evoluzione verso un sistema ancora più basato su capacità intellettuali.

Il focus di fondo della produzione snella è volto alla riduzione dei costi attraverso l'ottica del *just in time* e dell'ottimizzazione delle dinamiche aziendali. Oltre a questo Roberts parla anche di accento sulla qualità. Questa dimensione, però, ormai risulta essere un tema trasversale a tutti i sistemi produttivi. Pertanto non è necessario soffermarsi più di tanto su questa tematica, essendo una base da cui è difficile prescindere. Dall'altra parte, il modello basato sulla manifattura additiva pone al centro la personalizzazione. Non si cerca solamente di ridurre al minimo i costi di produzione, tema che resta valido in ogni caso. Lo sforzo principale dell'azienda è

quello di adattare il prodotto per il singolo cliente, coinvolgere quest'ultimo e creare un'esperienza completa. In questo modo si vanno a creare dei valori materiali per i quali il consumatore è disposto a un maggior sacrificio economico, riconoscendone il valore. Da questa prospettiva si nota una certa differenza nell'impostazione base dei due paradigmi. Sicuramente la minimizzazione dei costi è un fattore importante in entrambi i casi, ma nell'AM non è questo l'elemento predominante.

Dal lato delle scorte si può osservare una differenza più profonda rispetto ad altri aspetti. La *lean production* punta a ridurre le scorte al minimo indispensabile. Quello che viene stoccato è il stretto necessario per poter rispondere in modo tempestivo alla domanda. La stampa 3D, invece, permette di eliminare del tutto le scorte fisiche. La natura digitale permette di immagazzinare i file invece dei prodotti. C'è un passaggio dalle scorte fisiche a quelle digitali. Paradossalmente si può dire che le scorte vengano aumentate, dove per scorte si intende la capacità di rispondere alle richieste della domanda. La manifattura additiva permette di avere a disposizione un numero di file di gran lunga superiore al numero di prodotti finiti che è possibile immagazzinare con i metodi tradizionali. Tutto questo si accompagna con una notevole riduzione dei costi di stoccaggio e a un mutamento della gestione delle scorte. Naturalmente le necessità e le problematiche che sorgono durante un stoccaggio virtuale sono diverse da quelle che le aziende affrontano con scorte fisiche, cioè quelle a cui siamo abituati a pensare solitamente.

Infine, si nota anche come sul fronte delle comunicazioni con il cliente i due modelli presentano alcune differenze, anche se non troppo profonde. Il paradigma della produzione snella si basa sulla lavorazione su commessa e su un frequente scambio di informazioni con i clienti. Analogamente, anche la manifattura additiva impiega gli stessi elementi, ma portandoli a un livello superiore. Si è visto come il cliente sia il vero fulcro dell'intero sistema. Lo scambio di informazioni tra quest'ultimo e l'azienda assuma un'importanza vitale. Il prodotto viene adattato perfettamente a quelle che sono le esigenze di chi lo utilizza, quindi le informazioni recepite e fornite devono essere precise ed esaurienti. Il flusso informativo deve avvenire potenzialmente senza intermediazioni e possibilmente in tempo reale, per ottimizzare i tempi di realizzazione.

Organizzazione interna

Si è visto come il modello della manifattura additiva rappresenta una naturale evoluzione della produzioni snella. Alcune caratteristiche restano immutate mentre altre, quelle descritte, subiscono variazioni più o meno significative. È importante notare che si tratta comunque di un paradigma diverso da quello già esistente, con le proprie peculiarità che portano inevitabilmente ad un approccio di *governance* aziendale diversa. Per trarre il massimo vantaggio dalle tecnologie additive è necessario che l'intera struttura aziendale sia organizzata di conseguenza. Su questo punto è meglio, però, fare una precisazione. In un modello di business dove l'AM è parte integrante di un più ampio sistema produttivo, quindi dove solo alcune fasi del processo impiegano tecnologie additive, la struttura aziendale deve essere al servizio di un corretto funzionamento dell'intero processo. Non c'è, quindi, bisogno di particolari accorgimenti per quel che riguarda la stampa 3D, se non per le singoli fasi dove questa viene impiegata. Al contrario, in un modello innovativo in cui tutto il processo è svolto da tecniche additive risulta sensato pensare a tutte le fasi adottando il punto di vista dell'AM. Questo "pensiero additivo" deve essere la base della *mission* aziendale e tutti i processi devono necessariamente tenerne conto. Ci si concentrerà proprio su quest'ultima considerazione, provando a individuare quelli che sono gli elementi essenziali di organizzazione aziendale idonei a ottimizzare i processi interni di un modello basato sulla manifattura additiva.

Gli elementi su cui la direzione aziendale deve agire per avere un modello efficiente sono sostanzialmente i seguenti:

- Ottimizzazione dei flussi di informazioni
- Gestione dei *big data*
- Progettazione delle infrastrutture aziendali
- Progettazione dei prodotti

I flussi informativi a cui si fa riferimento sono sia quelli tra azienda e soggetti esterni che quelli interni alla struttura aziendale. Le comunicazioni con i clienti, in primo luogo, devono essere efficienti e permettere una corretta progettazione e

realizzazione del prodotto. Le eventuali modifiche e migliorie da fare devono essere comunicate in tempi rapidi e senza distorsioni. In questo senso è da prediligere sicuramente un'interazione diretta tra il designer e il cliente. Questo presuppone un ampio margine di autonomia per chi progetta effettivamente il prodotto. Il designer, anche se lavoratore dipendente, può discutere direttamente con il cliente quelle che sono le caratteristiche del prodotto. Il rapporto che si instaura porta sia alla fidelizzazione del cliente che al consolidamento del ruolo del designer all'interno dell'azienda. Allo stesso modo, il rapporto con i fornitori di materiali e tecnologie deve essere orientato ad un corretto supporto dell'intero sistema. Vista la peculiarità delle tecnologie impiegate, spesso è proprio chi le fornisce a sviluppare anche i materiali. Quest'ultimi possono essere elaborati anche grazie all'interazioni diretta con l'azienda che poi effettivamente li impiega nel processo produttivo. Infine, i rapporti intraaziendali devono necessariamente essere fluidi e rapidi. La comunicazione tra il designer e il reparto di produzione non può distorcere o ritardare i tempi di stampa dei prodotti. La mole di oggetti in produzione determinerà anche i tempi di rifornimento dei materiali, che a loro volta determineranno la gestione dei flussi di cassa. L'ottimizzazione di tutti i flussi informativi, come si vede, è un elemento imprescindibile per un efficiente sistema aziendale basato sulla manifattura additiva.

Le grande quantità di dati e informazioni che si genera in questo modo deve essere raccolta ed elaborata. Qui si è di fronte ad una necessità sentita sempre più spesso dalle aziende, cioè quella di gestione dei *big data*. Per trarre vantaggio dalle numerose informazioni raccolte, l'azienda ha bisogno di avere a disposizione strumenti e personale in grado di lavorarle. I dati di per se non sono di grande valore, mentre le indicazioni che si possono ottenere elaborandoli in modo giusto possono essere un grande fattore di vantaggio competitivo. La numerosità dei dati che l'azienda riceve dipende dalla grandezza del proprio *network* e dal tipo di attività. Una piccola azienda si troverà inevitabilmente meno dati da gestire rispetto a una grande realtà. Allo stesso modo, chi produce dispositivi elettronici indossabili (come per esempio gli *smartwatch*) riceverà un numero di informazioni di gran lunga superiore a chi produce montature per occhiali. In ogni caso l'azienda ha bisogno di gestire in modo adeguato questo flusso e trarne informazioni utili per il proprio funzionamento e intervento sul

mercato. Tra le necessità per operare in modo adeguato in questo senso si possono annoverare i software per l'elaborazione dei dati, banche dati in cui raccogliarli e conservarli, personale in grado di fare le giuste elaborazioni e comunicare le informazioni a chi prende le decisioni e così via.

Oltre alla questione dei dati e delle informazioni, nell'ottica additiva assume molta importanza anche l'intera progettazione del sistema aziendale, a cui ci si può riferire anche come alle infrastrutture aziendali. Quest'ultima locuzione rende bene l'idea di ciò che si vuole mettere in evidenza: l'insieme degli elementi di base che consentono un corretto funzionamento dell'azienda stessa. Oltre alla appena discussa questione dei flussi informativi, bisogna nominare la gestione del magazzino. Sebbene la manifattura additiva permette di eliminare quasi del tutto le scorte fisiche dei prodotti, resta aperta la questione dello stoccaggio dei materiali utilizzati nella stampa dei prodotti. In questo senso la progettazione del magazzino, cioè proprio la disposizione fisica degli elementi che lo compongono, deve essere funzionale a un rapido rifornimento delle stampanti. Chi progetta il magazzino e gli spazi adibiti alla fase produttiva deve necessariamente tenere conto della natura dei macchinari che vi saranno inclusi. Non c'è più bisogno di spazi alti per esempio, visto che la quasi totalità delle stampanti non si sviluppa più di tanto in altezza. Anche la natura stessa delle stampanti influenza la progettazione. Alcune tipologie di lavorazioni hanno bisogno di particolari sistemi di ventilazioni, altrimenti c'è il rischio di esposizione a gas tossici, mentre altre no. Inoltre, la temperatura di lavorazione dei materiali può cambiare sensibilmente. Sono tutti elementi di cui bisogna tenere conto, pena il malfunzionamento dell'intero sistema. A questa tematica si aggiunga anche quella della gestione dei flussi di cassa. Essendo il sistema additivo basato sostanzialmente sulla lavorazione su commessa, è plausibile assumere che il pagamento da parte del cliente venga effettuato una volta completata la commessa stessa, salvo commesse complesse in cui il pagamento può essere diviso in più versamenti di cui alcuni prima del completamento. È ovvio, quindi, che la direzione deve garantire i finanziamenti necessari per completare le lavorazioni prima di incassarne i ricavi. I costi da sostenere sono quelli dei materiali e della manodopera impiegata, oltre ad altri costi direttamente imputabili a quelle particolari lavorazioni. Durante la vita aziendale le

commesse precedenti andranno a finanziare quelle successive, creando un ciclo continuo che deve essere gestito in modo adeguato. Inoltre, la scelta delle fonti di finanziamenti per gli investimenti deve essere valutata sempre tenendo ben presente la natura dei macchinari con cui si sta lavorando. Il continuo miglioramento delle stampanti rende il loro ciclo di vita piuttosto limitato (spesso ben al di sotto di quello di alcuni macchinari utilizzati nelle produzioni di massa). Il limite non sta tanto nell'incapacità della macchina di svolgere la propria funzione, bensì nell'obsolescenza tecnica. Dopo qualche anno il modello della stampante può avere *performance* molto inferiori ai macchinari sviluppati successivamente, andando in questo modo a creare un *gap* competitivo che può risultare molto dannoso per l'azienda. Questo influisce sull'ammortamento degli investimenti per l'acquisto delle macchine e si riflette sulla scadenza delle fonti di finanziamento. Un finanziamento a lungo termine può non essere adeguato per una stampante il cui ciclo di vita è di pochi anni, per esempio. Schematizzando, gli aspetti su cui va posta una particolare attenzione possono essere raccolti in tre categorie distinte: aspetto amministrativo/gestionale, aspetto finanziario, aspetto produttivo/logistico.

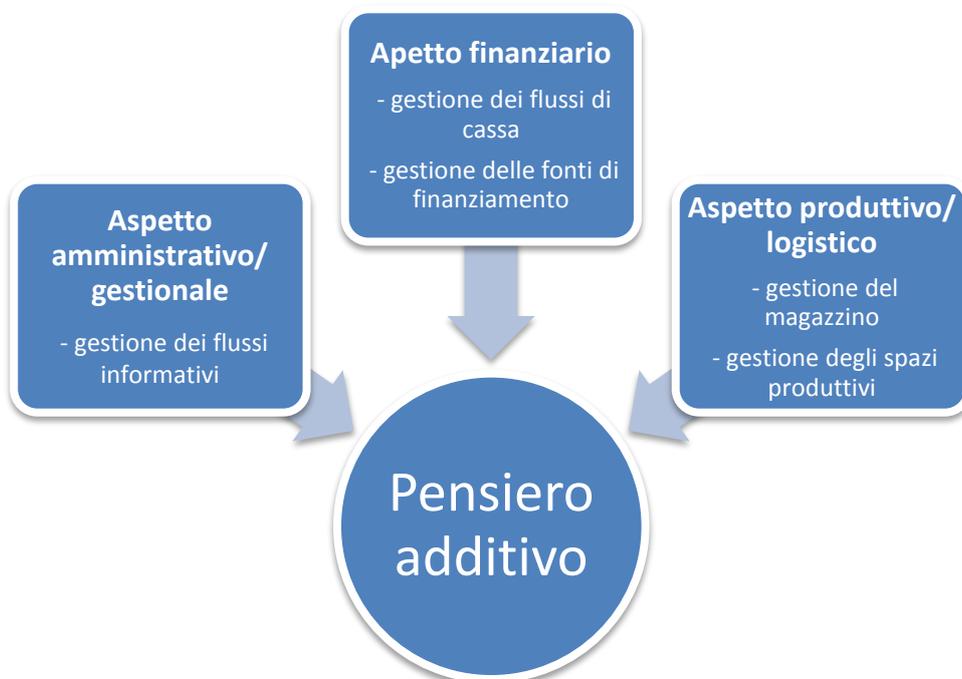


Figura 2.8

Per finire, un'ultima riflessione va fatta per la progettazione dei prodotti. Sebbene questo tema si possa racchiudere nell'aspetto produttivo, risulta utile precisare alcuni dettagli. Per trarre il massimo vantaggio offerta dalla stampa 3D è preferibile che chi progetta il prodotto ragioni fin dal principio in ottica additiva. La libertà di forme di cui si è già detto ampiamente permette soluzioni profondamente diverse da quelle che si presentano di fronte a processi di altro tipo. La logica di fondo della manifattura additiva non è quella di "cercare di togliere meno materiale possibile", come potrebbe essere nelle tecniche sottrattive, ma caso mai di "usare il meno materiale possibile". Entrambe le filosofie sono volte alla minimizzazione dei costi. Come si è visto, però, nel modello additivo la minimizzazione dei costi non è l'obiettivo principale cui sono volte tutte le azioni. Il miglioramento delle qualità del prodotto spesso passa anche per una forma diversa, che magari impiega più materiale ma rende migliore il rapporto costo/qualità. Il vero limite nell'AM non è tanto quello dei costi o di vincoli tecnici (sebbene ce ne siano, anche se meno stringenti rispetto alle tecniche tradizionali) ma la creatività e la capacità del designer. Quest'ultimo deve avere conoscenza perfetta di quelle che sono le caratteristiche della macchina che poi andrà a stampare il prodotto, per poter trovare la soluzione migliore e più efficiente. La tipologia dei materiali, la precisione della macchina e la sua velocità, lo spessore minimo delle pareti e così via sono tutti elementi da tenere in considerazione.

Service di stampa

Per il momento la tipologia d'impresa più interessante legata alla manifattura additiva sembra essere quella dei service di stampa. Si tratta di aziende che dispongono di tecnologie legate all'AM e che non producono in proprio ma operano per conto di terzi. Questa tipologia d'aziende è presente in Italia già da diversi anni e rappresenta sicuramente il modello più profittevole legato al mondo additivo. Spesso il primo approccio alla stampa 3D passa proprio attraverso i service, che consentono alle aziende di prendere coscienza di quelle che sono le caratteristiche della manifattura additiva. I motivi che rendono preferibile questo tipo di approccio sono diversi. Fondamentalmente gli elementi di vantaggio offerti dagli service sono i seguenti:

- Assistenza nella preparazione dei file
- Ampia scelta di tecnologie
- Assistenza nella fase di post produzione

Il primo problema che un'azienda si trova ad affrontare quando si affaccia alla stampa 3D è quello di preparare in modo adeguato il file che poi sarà l'input per la macchina. Molto spesso mancano le conoscenze all'interno dell'azienda perché si trova davanti a nuova tecnologia nuova. Da questo punto di vista i service rappresentano una risorsa importante perché sono in grado di affiancare l'azienda e definire nel migliore dei modi il prodotti che si andrà a stampare. Non si tratta semplicemente di lavorare sul file per impostare i parametri di stampa o poco altro. La fase più importante è quella di decidere che tecnologia e che materiale usare per quel determinato prodotto. A seconda degli scopi la decisione può essere profondamente diversa. Un oggetto stampato per una fiera o un semplice prototipo possono essere fabbricati con un materiale diverso da quello del prodotto finale, per esempio. Su questo versante l'esperienza e le conoscenze degli service sono fondamentali per scegliere la soluzione più opportuna. Poi, a seconda della tipologia e complessità dei service, possono essere forniti anche altri servizi come *reverse engineering*, co-design o altri.

Inoltre, i service solitamente dispongono di un numero di tecnologie superiore a quelle che le singole aziende hanno la convenienza ad acquistare. Un'azienda che fa non uso continuativo della stampa 3D può trovare più conveniente appoggiarsi ad un soggetto esterno piuttosto che acquistare le tecnologie in proprio. Questo non solo per il costo dell'investimento, ma anche perché successivamente c'è bisogno di investire sul personale in grado di gestire quel tipo di tecnologia. In più, non sempre le aziende hanno bisogno di stampare con lo stesso materiale e con la stessa stampante, anzi. Portare all'interno tutta la fase additiva rischia di richiedere uno sforzo finanziario notevole che poi magari non può essere recuperato. I service, dal canto loro, dispongono di numerose tecnologie che possono impiegare in settori totalmente diversi tra di loro, giustificando quindi gli investimenti.

Infine, bisogna tener presente che alcune stampe hanno bisogno di lavorazioni in fase di post produzione. Queste, poi, dipendono dal tipo di materiale e dalla qualità di stampa. Il discorso appena fatto vale anche in questo caso. Trattandosi di una tecnologia nuova le aziende spesso non hanno le capacità per individuare il trattamento migliore e portarlo a termine. I service, invece, possono avvalersi del *know-how* sviluppato nel tempo e nella conoscenza del capitale umano impiegato per definire la lavorazione migliore.

I service stanno diventando i soggetti di riferimento per chi vuole avvicinarsi alla stampa 3D. Gli elementi che abbiamo appena visto consentono di lavorare con un grande numero di imprese di settori diversi, andando essi stessi poi a migliorare le tecniche e sviluppare procedimenti innovativi. Naturalmente si hanno dei vincoli da rispettare, come per esempio accordi di non divulgazioni o altre restrizioni volte a tutelare le aziende terze, ma nonostante ciò il rapporto che si instaura è positivo per tutte le parti coinvolte. Oltre al service, che naturalmente in questo ha la sua ragione sociale, anche le aziende riescono a innovare i propri processi produttivi e trovare competenze non presenti all'interno.

2.4. Occupazione e competenze

Il tema del rapporto tra l'innovazione tecnologica e l'occupazione è stato ampiamente discusso da Brynjolfsson e McAfee, nel libro intitolato *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. Sebbene il lavoro non si concentri su una specifica tecnologia come la manifattura additiva, ma affronti il tema più generale dell'innovazione e dei suoi impatti sul mondo del lavoro, risulta utile riprenderne le conclusioni principali e analizzare gli impatti dell'AM attraverso la chiave di lettura proposta.

Gli autori descrivono quella che è la situazione attuale, la c.d. "seconda età delle macchine". I tre elementi chiave che descrivono questo periodo sono:

- 1) Miglioramento esponenziale delle tecnologie
- 2) Digitalizzazione delle informazioni

3) Ricombinazione di innovazioni

Oltre a questi punti è necessario anche riprendere alcune considerazioni fondamentali del ragionamento degli autori. Analizzando i molteplici esempi che la cronaca ci offre si nota come la tecnologia di fatto migliora le capacità mentali, permettendo di capire, descrivere e prevedere meglio l'ambiente che ci circonda. Esempi in questo senso sono davvero numerosi, dai computer alla realtà aumentata, passando per i software di elaborazione dei dati e così via. Inoltre, la possibilità di creare *network*, sia di imprese che di persone, risulta importante anche per la sfera economico-aziendale. I servizi come *Skype*, *account* di posta elettronica, *social network* e simili permettono a sempre più persone di partecipare al processo innovativo. Le stesse persone sono in grado di aumentare le proprie conoscenze grazie a internet e poi mettersi in contatto con gente da tutto il mondo per sviluppare le proprie idee. Questa democratizzazione della conoscenza e dell'innovazione migliora non solo gli standard delle singole persone ma anche della società nel suo complesso. Le tecnologie come l'ICT sono chiamate *General Purpose Technologies (GPT)*, poiché possono essere applicate in un grande numero di settori economici. È proprio l'aumento e lo sviluppo di queste tecnologie che permette una maggior crescita economica e sociale.

Dall'altra parte, la sempre crescente automazione e digitalizzazione comporta dei cambiamenti e porta dei rischi sul versante dell'occupazione. Un numero sempre maggiore di lavori può essere svolto, e viene svolto con successo, dalle macchine o dai robot. Questo ovviamente fa diminuire il numero dei posti di lavoro disponibili, almeno a prima vista. Esaminando la questione da una prospettiva diversa si può notare come il cambiamento tecnologico distrugga alcuni lavori ma nello stesso tempo ne crei altri. In ogni caso, il venir meno di alcuni compiti svolti storicamente dal capitale umano è un fatto indiscutibile, che deve essere considerato per forza di cose. Nella realtà odierna i primi lavori che vengono rimpiazzati sono quelli caratterizzati da mansioni di routine, ossia lavori ripetitivi. Con altre parole si può dire che tutto quello che può essere ridotto a dei algoritmi può essere affidato a macchine e software adeguati. La storia delle produzioni di massa insegna come gran parte della catena di montaggio possa essere svolta da macchinari, con un minimo intervento umano. La stessa cosa si

riscontra anche nell'automazione dei centralini di assistenza ai clienti delle compagnie telefoniche, automazione dei caselli autostradali, dei parchimetri e così via. In seguito al rimpiazzo tecnologico, il capitale umano impiegato nelle mansioni sostituite si trova in uno stato di disoccupazione. Non è per niente detto che queste persone riescano a trovare un nuovo impiego in tempi rapidi, vista anche la natura ripetitiva del lavoro. Molto spesso chi ricopre ruoli del genere ha capacità lavorative limitate che permettono di svolgere solamente alcune determinate funzioni. Per questo motivo emerge la necessità di adattamento della forza lavoro e del suo aggiornamento. Neanche questa fase è esente da problematiche. Per acquisire nuove competenze serve un determinato periodo di tempo, che varia a seconda della qualità del capitale umano e della quantità di nuove competenze da recepire. In questo arco di tempo le tecnologie possono svilupparsi ulteriormente, rendendo di fatto le conoscenze appena acquisite obsolete e quindi non spendibili sul mercato di lavoro. Si crea in questo modo un ciclo vizioso in grado di creare una disoccupazione piuttosto stabile e certamente negativa per la società. L'unico modo per evitarlo è garantire tempi di apprendimento che sono in linea con gli sviluppi della tecnologia. In altre parole: cercare di anticipare gli sviluppi tecnologici formando capitale umano in grado di adattarsi e modellare le proprie conoscenze in base alle diverse situazioni che si presentano.

Esiste, poi, tutta una serie di lavori che difficilmente può essere rimpiazzata da macchine o robot. Tutto quella che riguarda la creazione di idee, quindi anche il processo innovativo ma non solo, la comunicazione complessa e il riconoscimento di schemi ampi rimane di competenza prettamente umana. Si tratta di azioni che non possono essere ricondotte a degli algoritmi. La flessibilità della mente umana in questo caso prevale su qualsiasi intelligenza artificiale. Quest'ultima ha bisogno di regole di funzionamento prefissate e deve trovarsi davanti a situazioni ben note; un imprevisto che modifica uno scenario prestabilito rischia di rendere completamente inutile, se non dannosa, l'azione anche della più sofisticata macchina. In questo caso è ancora più vero che l'aiuto della tecnologia amplifica le capacità umane. Un processo di decisione può essere molto più veloce e preciso se si utilizzano modelli e strumenti informatici, per esempio. Si nota come sia la conoscenza umana ad utilizzare quella artificiale e non viceversa; al momento non esiste un computer in grado di analizzare un problema

complesso, creare da zero un modello decisionale e assumere le giuste decisioni. Per comunicazione complessa e riconoscimenti di schemi ampi qui si intende tutta quella serie di azioni che consente per esempio di riconoscere le espressioni del viso umano e capire gli stati d'animo delle persone, condurre trattative tra numerosi soggetti, riconoscere schemi logici generali partendo dalla semplice osservazione di fatti successi e così via. Tutte queste cose possono essere svolte da persone con risultati diversi. Spesso la capacità di portare a termine compiti del genere migliora con l'esperienza e l'allenamento. Sono tutti esempi di scenari che non seguono regole prefissate e comportamenti programmabili e come tali non possono essere delegati alle macchine.

Brynjolfsson e McAfee fanno la stessa distinzione che si è vista già precedentemente, cioè quella tra conoscenza codificata e generativa. I due mettono il focus sulla parte relativa alle diverse tipologie di lavoro, più che prettamente sulla conoscenza impiegata, ma lo sostanza non cambia: i lavori ripetitivi e caratterizzati dall'impiego di conoscenza codificata sono destinati a essere rimpiazzati dalle macchine, mentre i lavori non di routine e che si avvalgono di conoscenza generativa resteranno di competenza del capitale umano. Partendo da queste conclusioni fondamentali si può analizzare l'impatto della manifattura additiva sull'occupazione.

Si è visto come l'AM abbia riflessi su entrambe le tipologie lavorative, sebbene in misura diversa. Tutto quello che riguarda la produzione fisica, l'assemblaggio e in alcuni casi la post-produzione viene svolto direttamente dalle stampanti 3D, senza o con un minimo intervento umano. Si immagini un'azienda che passi da un metodo di produzione tradizionale ad uno basato sulla manifattura additiva. In questa transizione tutte le fasi appena nominate subiranno una riduzione drastica del personale. Certamente la fase di produzione è fortemente automatizzata anche nei processi tradizionali, ma l'intervento umano è ancora ben visibile. Più che sostituire completamente la forza lavoro, i macchinari la riducono e aumentano la produttività di quella rimanente. Nel processo additivo, invece, tutta la fase produttiva viene svolta dal macchinario e il lavoro manuale si riduce all'inserimento della materia prima nella stampante e poco più. Successivamente, la fase di assemblaggio è quella che richiede più forza lavoro nelle produzioni tradizionali. Al contrario, nel paradigma additivo

questa fase può essere del tutto eliminata sempre più frequentemente. Con l'avanzamento delle tecnologie c'è da aspettarsi un incremento di questo fenomeno; sempre più oggetti complessi usciranno dalle stampanti pronti all'uso, senza la necessità di alcun assemblaggio. La fase di post-produzione, invece, è quella peculiare della stampa 3D. Si è visto che alcuni processi necessitano di una lavorazione ulteriore alla stampa prima di essere utilizzati. Queste lavorazioni in un primo momento creano sicuramente domanda di lavoro manuale. Con l'avanzare della tecnologia, però, c'è da aspettarsi una qualità di stampa sempre maggiore e quindi una diminuzione del peso di questa fase di lavorazione. Oltre a quanto appena visto, esiste un'altra categoria lavorativa a rischio: quella dei trasportatori. Si è visto in precedenza come la manifattura additiva consenta di avvicinare le produzioni ai mercati di sbocco. Questo, di conseguenza, fa venir meno la necessità di trasportare fisicamente i beni dai luoghi di produzione ai luoghi di consumo e utilizzo. La trasformazione in atto fa sì che i trasporti richiesti non siano quelli su lunghe e medie distanze, bensì quelli "dell'ultimo chilometro". Il trasporto avviene dal centro di produzione additiva al cliente, che spesso può essere situato soltanto a pochi chilometri. Nel caso in cui il cliente si stampi il prodotto da solo, invece, si assiste ad un'eliminazione totale del trasporto fisico. Si nota, quindi, come la riduzione della forza lavoro sia variabile; si va da una riduzione più o meno lieve fino ad una totale eliminazione.

Analizzando, invece, l'altro lato della medaglia si nota come le conclusioni cambiano totalmente. Si è visto come la conoscenza generativa sia quella riconducibile alle operazioni non di routine, cioè quelle che sono contraddistinte dalle azioni intellettuali. Tutto quello che ha a che fare con la progettazione e modellazione 3D, creazione di idee e gestione dei modelli di business basati sulla manifattura additiva ricade proprio in questa sfera. Man mano che le applicazioni della stampa 3D aumentano nasceranno sempre più aziende che ne fanno uso. Di conseguenza aumenterà anche la domanda di capitale umano impiegata nelle mansioni appena citate. Sono tutti compiti che richiedono un elevato livello educativo e richiedono una forza lavoro specializzata. L'impatto sull'occupazione in questo caso è certamente positivo. Non c'è nulla che viene sostituito, ma si creano nuovi posti di lavoro grazie all'introduzione della stampa 3D. A questo aumento può contribuire anche lo sviluppo

delle tecnologie. A macchinari più economici e più performanti non può che corrispondere un aumento dei modelli di business che li utilizzano, il che porta a una sempre maggiore domanda di lavoro specializzato. In questa categoria si possono racchiudere lavori come: sviluppo delle macchine e dei materiali, progettazione e modellazione 3D, preparazione file per la stampa, assistenza e riparazione macchinari, assistenza clienti, piattaforme web per l'acquisto e scambio dei file 3D e materiali di stampa, nonché l'intero apparato amministrativo in grado di gestire le specifiche caratteristiche dell'AM che si sono viste in precedenza.

In sostanza l'impatto della manifattura additiva sull'occupazione ha una duplice natura. Da un lato l'aumento dell'automazione comporta una riduzione dei posti di lavoro, ma dall'altro lato si ha un aumento della domanda di lavoro grazie alle attività ad uso intensivo di conoscenza.

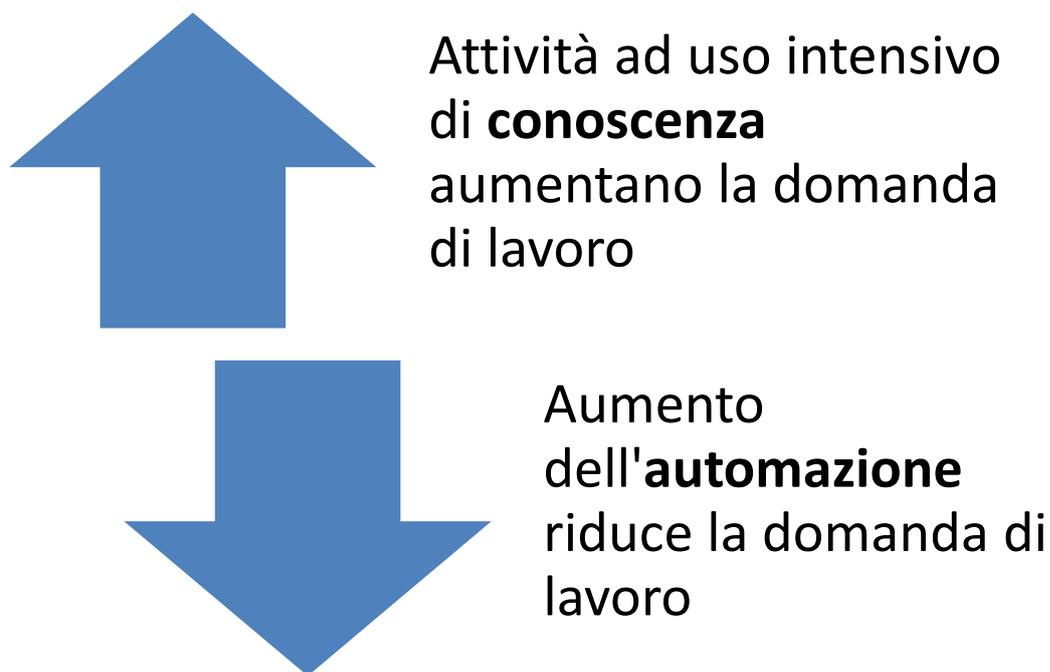


Figura 2.9

Chiariti i due meccanismi base che governano la domanda di lavoro nel modello additivo, è naturale chiedersi quale dei due effetti prevale sull'altro. Di primo acchito si può essere portati a pensare che sia più forte l'effetto negativo. Nel passaggio da un modello tradizionale a quello additivo è probabile che ci siano più lavori di routine che vengono sostituiti di quelli che vengono creati. Infatti, pochi designer sono in grado di

sviluppare un grande numero di prodotti grazie all'AM. Gli stessi prodotti richiedono sicuramente una maggior forza lavoro per essere assemblati con processi tradizionali. A un esame più attento, però, questa conclusione non regge. Innanzitutto, bisogna tenere presente le osservazioni fatte nel primo capitolo. La manifattura additiva non andrà a sostituire tutti i processi attuali. Nelle produzioni di massa e in grandi serie il paradigma produttivo rimarrà quello tradizionale. Di conseguenza, la problematica dell'occupazione rimane legata a quelle aziende che producono serie più limitate e quindi possono avere un incentivo ad adottare la stampa 3D. Anche in questo caso, poi, bisogna fare una distinzione. Da una parte si possono avere aziende in difficoltà che si rivolgono all'AM come ad uno strumento per cambiare le sorti aziendali. Dall'altra possono esserci aziende sane che si rivolgono alla stampa 3D per ottimizzare i propri processi ed essere ancora più competitive. In nessuno dei due casi il passaggio alla manifattura additiva può essere negativo a priori. Nella prima ipotesi ciò è lampante. Un'azienda in crisi rischia di chiudere (e succede sicuramente se non vengono fatti interventi decisivi) e naturalmente tutta la forza lavoro impiegata rimane disoccupata. In questo caso l'introduzione della stampa 3D può salvare l'azienda dal fallimento e quindi salvare posti di lavoro, il che non può che essere un fatto positivo. Nella seconda ipotesi, invece, la questione è meno immediata ma la conclusione non cambia. Si immagini un'azienda X che opera sul mercato in modo efficiente e con profitti positivi. In un dato momento viene messo a punto un processo additivo che permette all'azienda X di ottimizzare ulteriormente il proprio processo, attraverso la riduzione di costi, personalizzazione e così via. A questo punto l'azienda ha due opzioni: adottare la nuova tecnologia con la conseguente riorganizzazione aziendale oppure continuare ad operare senza cambiare il proprio modello di business. La prima opzione comporta un riordino dell'organico, con l'eliminazione di lavori di routine e aumento di lavoro qualificato. Qui non può esserci una regola generale. Dipenderà da caso a caso che effetto prevarrà, quello positivo o quello negativo. Nella seconda ipotesi, al contrario, la forza lavoro rimane invariata. L'azienda X, però, si espone ad un pericolo. Nulla vieta ad un'azienda concorrente Y o a una *start-up* Z di adottare la nuova tecnologia e aggiudicarsi la fetta di mercato di X. Quest'ultima si vedrebbe ridotti i propri profitti e rischierebbe di entrare in una fase di difficoltà. In questo scenario la

dirigenza di X sa che rischia una riduzione della quota di mercato, e nel peggiore dei casi il fallimento, se non si adegua alla nuova tecnologia per restare competitiva.

Non è possibile dire a priori se i posti di lavoro creati dalla manifattura additiva saranno maggiori o minori di quelli che verranno sostituiti dai macchinari. Per il momento non ci sono studi in questo senso, benché un'analisi più approfondita di questa tematica avrebbe un'indubbia utilità. In ogni caso, l'adozione delle tecnologie additive da parte delle aziende non è un modo per risparmiare sulla forza lavoro, bensì uno strumento per essere competitivi sul mercato. Siamo di fronte all'ennesima tecnologia in grado di aumentare la produttività aziendale e che allo stesso tempo crea scompiglio sul mercato del lavoro. Si tratta di una novità che non deve essere letta come una fonte di pericolo per i lavoratori, ma come un'enorme opportunità per il presente e il futuro. Ci troviamo ancora in una fase iniziale e quindi le opportunità sono numerose, visto anche il grande potenziale della tecnologia.

Tutto il ragionamento appena fatto presuppone una condizione di base: un mercato di lavoro efficiente in grado di assorbire la forza lavoro non qualificata. Questo non accade quasi mai nella realtà. Si è visto come i lavori di routine siano destinati ad essere rimpiazzati da computer sempre più rapidamente. I lavoratori interessati devono essere in grado di aggiornare le proprie competenze, pena il rischio di disoccupazione. In questo momento deve entrare in azione necessariamente anche lo stato. Gli organi competenti devono essere in grado di promuovere e incentivare questo aggiornamento. In caso contrario si rischia di creare una fascia di popolazione tagliata fuori dal tessuto economico. L'intervento pubblico si rende necessario poiché non è per niente certo che il singolo sia in grado di restare al passo con il mercato solamente con le proprie forze. Questo è vero soprattutto nel caso della stampa 3D, dove le competenze richieste sono piuttosto elevate. La classe dirigente deve essere in grado di predisporre strumenti idonei a formare personale capace di adeguarsi alle esigenze presenti e future del mercato. In sostanza, quindi, ha senso guardare con ottimismo alle novità portate dall'AM, ma tenendo sempre ben presente quelle che sono le condizioni di base che fanno funzionare il sistema. Altrimenti c'è il rischio che si crei una forte divergenza tra domanda e offerta di lavoro.

Situazione italiana

Per comprendere meglio gli effetti di questi fenomeni sul mercato del lavoro italiano è utile partire con l'analisi del livello di educazione. Il grafico sottostante presenta quattro diverse serie divise per fasce di educazione. I valori sono espressi in percentuale.

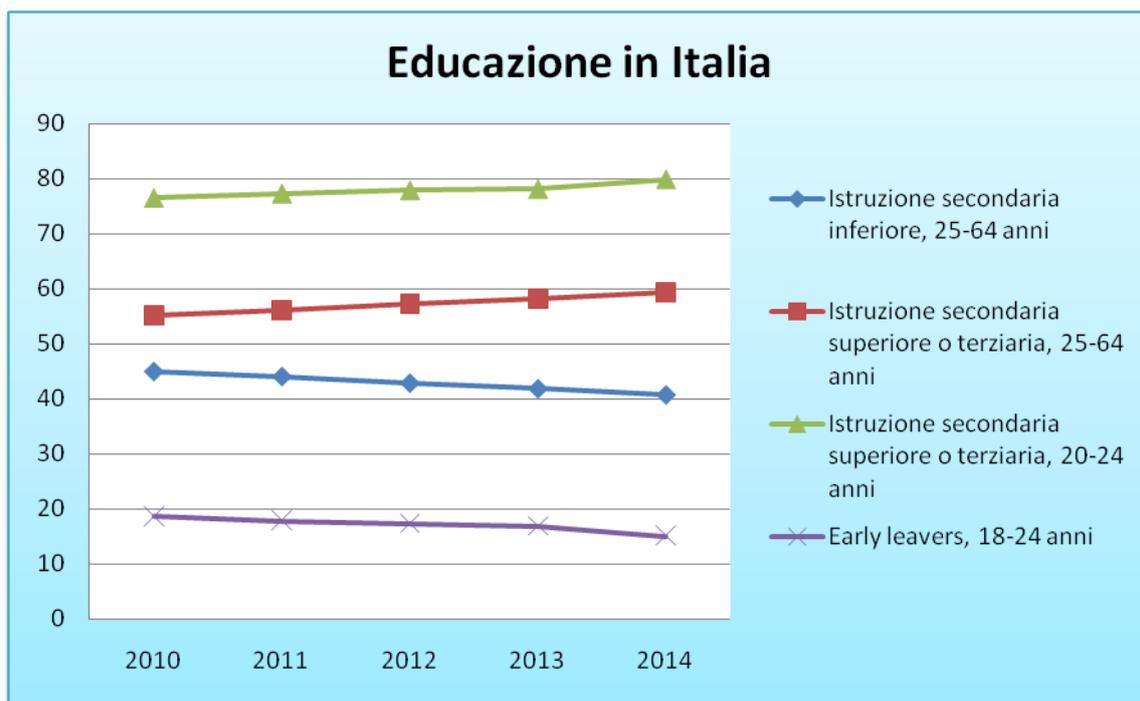


Grafico 2.5 - Fonte: Eurostat

Il grafico può essere letto analizzando le serie due a due, in base alla fascia di età. Per la fascia che va dai 25 ai 64 anni si hanno due variabili: istruzione secondaria inferiore e quella superiore o terziaria. Due cose saltano immediatamente all'occhio. La prima è una prevalenza di persone che dispongono di un'educazione secondaria superiore o terziaria, come si nota facilmente osservando le due curve. La seconda osservazione va fatta in merito al trend delle due serie. Si vede come le due curve siano divergenti, il che vuol dire che la percentuale di popolazione tra i 25 e 64 anni in possesso di istruzione secondaria inferiore diminuisce mentre quella in possesso di istruzione secondaria superiore o terziaria aumenta. Considerando quanto visto poco prima, cioè che l'offerta di lavoro richiede sempre più personale qualificato, questo non può che essere un fatto positivo. Il titolo di studio non è certamente l'unica misura delle capacità delle persona, ma è una buona *proxy* delle sue qualifiche. Quindi, questa

prima analisi consente di concludere che si va nella direzione giusta. Sempre più persone investono sulla propria formazione e di conseguenza hanno più probabilità di trovare un impiego che corrisponde alle loro esigenze. C'è da dire, però, che il 40% che è ancora in possesso dell'educazione secondaria inferiore rappresenta quel insieme di lavoratori, o potenziali tali, che è a rischio. Questa fascia è quella solitamente impiegata nei lavori di routine e quindi potrebbe essere sostituita dai macchinari. Gli sforzi della classe dirigente devono essere rivolti a questa parte della popolazione, per permettere loro di restare (o diventare) una parte attiva sul mercato del lavoro.

Un secondo ragionamento può essere fatto osservando le due curve che si riferiscono alla fascia più giovane, fino ai 25 anni. Anche in questo caso valgono le due osservazioni di prima. In linea generale i possessori di istruzione secondaria o terziaria è di gran lunga superiore a quello dei cosiddetti *early leavers*, cioè ragazzi che hanno abbandonato gli studi nel primo anno di scuola superiore o università. Allo stesso modo, anche il trend tra le due variabili è divergente: ci sono sempre meno persone che abbandonano gli studi e sempre più persone che raggiungono un alto livello educativo. Il problema dei *early leavers* è lo stesso dei possessori di istruzione secondaria inferiore che si è appena visto. Anche questi rischiano di essere tagliati dal mercato di lavoro, perché le loro competenze non sono sufficienti per trovare un impiego. Dal altro lato, però, è positiva la grande percentuale di giovani in possesso di istruzione di alto livello. Tutti questi sono potenzialmente possessori di conoscenza generativa, quindi sono in grado di svolgere lavori che non possono essere affidati alle macchine. Lo sviluppo delle tecnologie additive richiederà un numero sempre maggiore di forza lavoro qualificata. Quest'ultima, successivamente, potrà sviluppare ulteriormente le tecnologie creando altra richiesta di lavoro e così via. Il circolo virtuoso che si crea in questo modo potrà essere un elemento trainante per l'economia italiana. Tutto questo a patto che il tessuto economica sia in grado di trattenere e valorizzare le competenze che sono già presenti (e in maniera significativa come si è appena visto) sul territorio nazionale.

La stessa analisi può essere fatta anche prescindendo dalle fasce di età e concentrandosi elusivamente sui titoli di studio, utilizzati anche qui come *proxy* delle

competenze del capitale umano. I dati del ISTAT rappresentati nel grafico seguente sono un valido punto di partenza.



Grafico 2.6 - Fonte: Istat

Il grafico mostra i titoli di studio in Italia per la popolazione sopra i 15 anni. I dati sono in valori assoluti. Le prime due colonne rappresentano quello che è la potenziale forza lavoro non qualificata, mentre le ultime due colonne a destra rappresentano quella qualificata. I possessori di una qualifica professionale si pongono in mezzo a queste due categorie. Alcuni di questi possono acquisire un saper fare manuale tale da distinguerli dagli altri, qualificandoli quindi come portatori di conoscenza generativa. Il saper fare artigianale, per esempio, può benissimo essere trasmesso dagli istituti professionali. Un'altra parte, invece, può essere più vicina alla forza lavoro non qualificata. Salta immediatamente all'occhio una separazione tra i due lati del grafico. La forza lavoro non qualificata è superiore a quella qualificata. Quindi, più della metà della popolazione rischia di essere tagliata fuori dal mercato del lavoro. Come detto in precedenza, questo rischia di diventare un problema sempre maggiore se non vengono fatti interventi importanti. I dati qui rappresentati, però, sono alterati da due categorie di popolazione diverse. Da una parte abbiamo i giovani sopra i 15 anni che non hanno ancora ultimato gli studi e dall'altra i pensionati, che non sono più da considerare parte attiva sul mercato del lavoro. Per questo risulta utile analizzare anche i dati al netto di queste due classi.

Il grafico 2.7 mostra la situazione dei titoli di studio per la fascia di età compresa tra i 25 e i 64 anni. Risulta proibitivo fare una divisione accurata tra chi studio o in pensione e tra chi è potenzialmente in cerca di un'occupazione o lavora attivamente. 25 anni sono un'età ragionevole per completare gli studi e dall'altra parte 64 sono presi come il limite superiore²⁴.

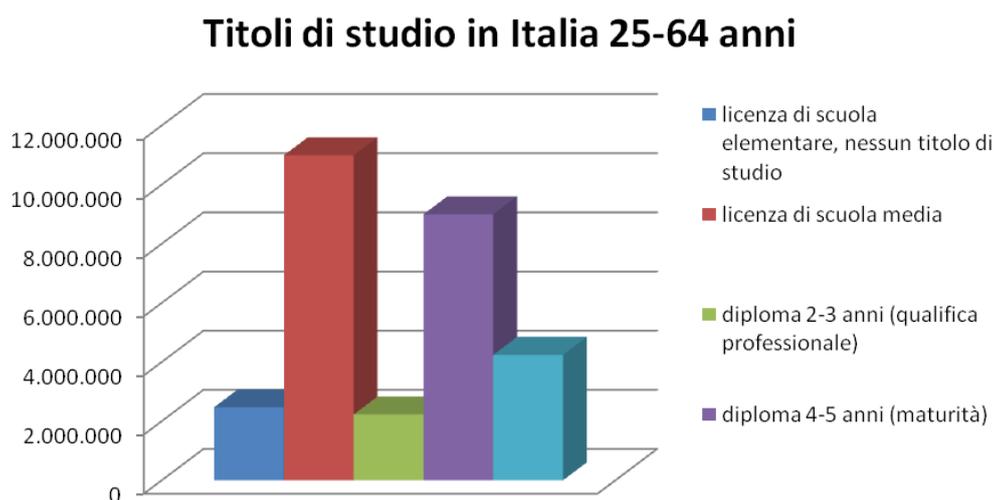


Grafico 2.7 - Fonte: Istat

Depurati i dati in questo modo si nota che la situazione cambia come valori assoluti, ma le conclusioni in sostanza sono le stesse. I potenziali lavoratori non qualificati sono 13.461.425 (ottenuti come la somma delle prime due colonne) e quelli qualificati sono 13.238.244 (somma delle ultime due colonne). Si registra una spaccatura a metà fra le diverse categorie.

Tutto sommato la lettura incrociata dei tre grafici può essere positiva. Si vede che i lavoratori potenzialmente qualificati sono circa la metà dell'offerta complessiva di lavoro. Si è visto, però, come i titoli di scuola superiore e università sono in aumento. Negli anni seguenti, di conseguenza, è lecito aspettarsi un aumento del livello di istruzione. Questa tendenza ben si sposa con le esigenze delle manifattura additiva, che richiede soprattutto conoscenza generativa. Non è da trascurare, in ogni caso, il numero dei lavoratori non qualificati. Questi devono essere messi in condizione di aumentare le proprie capacità in modo da non essere lasciati ai margini del mercato.

²⁴ Si tratta di un limite posto per esigenze statistiche. L'età pensionabile cambia a seconda dei requisiti anagrafici e contributivi.

La stampa 3D può essere un mezzo di creazione di posti di lavoro, non della loro distruzione come può sembrare in un primo momento. I trend ci dicono che in futuro avremo sempre più laureati, o comunque persone con un alto livello educativo, che naturalmente cercheranno impieghi in linea con i propri percorsi formativi. La manifattura additiva richiede soprattutto questa tipologia di lavoratori e quindi non può che essere uno sbocco professionale valido, capace di creare occupazione e con impatti positivi sull'intero sistema economico.

Bisogna dire, infine, che per il momento in Italia non esiste un corso di laurea che formi un tecnico di stampa 3D. Il mercato ha bisogno di figure professionali di questo tipo già da adesso e normalmente il personale viene formato all'interno delle aziende. Vista l'esigenza bisogna aspettarsi un adeguamento da parte degli istituti italiani, che ci sarà sicuramente. Anche quando ciò accadrà, il tecnico di stampa non sarà la figura che monopolizzerà l'occupazione del settore. La capacità dei designer nel ideare e progettare i prodotti, dei chimici nel mettere appunto i materiali, degli ingegneri nel migliorare i macchinari, degli economisti per gestire i modelli di business e così via saranno sempre necessarie per un funzionamento efficiente di aziende additive. Il tecnico dovrà avere un po' delle capacità di tutti questi: dovrà saper mettere appunto i file per la stampa, capire che materiale e quale tecnologia utilizzare, capire se la stampa può aver senso dal punto di vista economico ecc. Questi, però, non può prescindere da figure più specifiche per le singoli fasi del processo aziendale. La manifattura additiva ha bisogno di professionista dai campi più diversi, tutti accomunati dal fatto di disporre di capacità peculiari e conoscenza generativa. Il mercato del lavoro italiano sembra disporre di questi requisiti. La questione aperta è se li saprà valorizzare.

2.5. Indicazioni di policy

Considerando quanto appena visto sulle potenzialità e sugli impatti della manifattura additiva, emerge una chiara necessità di un'azione coordinata degli organi istituzionali e amministrativi. La mancanza di una supervisione e di un intervento pubblico rischia di minare i potenziali benefici che le tecnologie additive portano.

Naturalmente non si parla di un intervento diretto del settore pubblico, bensì della creazione di un determinato sistema di regole e di condizioni precise in modo che gli operatori privati siano messi in condizione di sfruttare al meglio le opportunità di mercato presenti e future. Sostanzialmente i canali attraverso cui i *policy maker* possono agire in questo senso sono tre:

- Istruzione
- Organizzazione della rete
- Ecosistema per l'imprenditorialità

La coordinazione tra queste tipologie di azioni risulta essenziale. Intervenire solo su un aspetto può portare a risultati parziali e rendere di fatto l'azione poco efficiente. Quindi, si rende necessaria una politica che coinvolga diversi livelli amministrativi ma che sia gestita con ottica unitaria, dove tutti gli sforzi sono orientati al perseguimento di un obiettivo comune.

Istruzione

Tra i problemi principali che emergono tra le aziende utilizzatrici della stampa 3D c'è quella della mancanza di capitale umano specializzato. La maggior parte dei tecnici impiegati deve per forza essere formata all'interno delle aziende, poiché mancano percorsi formativi rivolti a figure professionali richieste. Per superare questo problema risulta necessaria una politica nazionale che punti a modernizzare l'offerta formativa, includendo nel percorso di studi anche la formazione di profili che siano in grado di interagire con le tecnologie digitali e additive. In specifico, per quanto riguarda la stampa 3D sembra prevalere l'idea di un'azione che parta dalla base, quindi dalle scuole superiori e in alcuni casi anche medie. La cronaca statunitense recente offre dei casi di successo di utilizzo di stampanti 3D anche nelle classi elementari e medie. A mio avviso, però, durante questa fase educativa la tecnologia può essere usata con il mero scopo didattico, cioè di supporto all'insegnamento. Costruire modelli di vulcani o piccole parti meccaniche può essere uno strumento utile per integrare le classiche lezioni frontali. Un approccio simile serve certamente per familiarizzare con la

tecnologia e non è da sottovalutare. Il passo successivo, invece, risulta molto più importante nella creazione di figure professionali. Un corso di studi in un istituto superiore che tratti le tematiche della manifattura digitale può avere un impatto molto significativo. In questo modo si formano conoscenze già spendibili sul mercato del lavoro e anche delle solide basi per ulteriori studi universitari.

L'esperienza italiana sembra andare proprio in questa direzione. Non ci sono molti casi al momento ma due esempi sono importanti e potrebbero essere una linea guida per i prossimi interventi. Il primo caso è quello di Fondazione Nord-Est, che ha avviato un progetto chiamato FabLab a scuola²⁵. Il progetto nasce con lo scopo di diffondere la cultura dei fablab nelle scuole, riprendendo l'idea americana di "un fablab in ogni scuola". Nella prima fase sono state avviate 5 campagne di *crowdfunding* per raccogliere i fondi destinati all'avvio di fablab e specifici progetti all'interno di 5 istituti superiori. Al termine della campagna 4 istituti (3 veneti e uno trentino) hanno superato la soglia richiesta e hanno avviato i propri lavori. Alcuni progetti, come quello dell'IPSIA Galileo Galilei di Castelfranco Veneto (TV), hanno riscosso anche un discreto consenso mediatico e ottenuti risultati importanti. I temi che sono stati sviluppati sono tra i più vari, dalla costruzione di droni dell'istituto trevigiano al Fashion Fablab di Trento. L'idea ha riscosso successo e ha trovato apprezzamento da parte degli studenti coinvolti, dimostrando la validità di questa tipologia di interventi. L'esempio mostra chiaramente come mettendo a disposizione i giusti strumenti possano nascere progetti interessanti tra gli studenti. Non si tratta solamente di aumentare e migliorare le proprie conoscenze, elemento senza dubbio importante, ma anche di comprendere il funzionamento delle nuove tecnologie e applicarle nella creazione di strumenti e beni con un impiego pratico. Il futuro della manifattura passa soprattutto da queste esperienze. Per comprendere appieno l'ottica additiva è essenziale prendere confidenza con le tecnologie già durante la formazione scolastica.

Resta aperta la questione se sia effettivamente sensato pensare ad un fablab dentro ogni scuola o se sia più efficiente creare delle rete tra scuole per sfruttare al meglio le opportunità offerte da un numero più ridotto di laboratori. Personalmente ritengo più utile questa seconda opzione. Una rete di istituti con vocazioni diverse che

²⁵ www.fablabascuola.it

collabora dentro uno stesso spazio, magari fisicamente situato in una delle scuole coinvolte, consente di creare sinergie altrimenti irrealizzabili. Ciò che rende inefficienti tanti singoli fablab è l'eccessiva specializzazione. Un istituto tecnico può essere in grado di sviluppare progetti e sfruttare le potenzialità di un laboratorio digitale, come si è visto con l'esempio di Fondazione Nord-Est. Un liceo scientifico o classico, dall'altra parte, dispone di conoscenze più limitate che non permettono di realizzare progetti in autonomia. Un insieme di istituti che collabora, invece, ha possibilità più ampie. Si immagini un progetto realizzato nel modo seguente: creazione dell'idea ad opera di un istituto commerciale, disegno a cura del liceo artistico, modellazione e realizzazione portate avanti dall'istituto tecnico-professionale e liceo scientifico, promozione del progetto a carico del liceo classico e così via. Le diverse conoscenze sono incanalate e combinate grazie ad un unico fablab che permette di amplificare le singole abilità e competenze e ottenere risultati unici, valorizzando le *skills* proprie di ogni percorso di studio. Questo modo di operare può dare risultati importanti, facilitando quella contaminazione che risulta essenziale per il nuovo mondo della manifattura che si sta definendo.

Il secondo esempio viene dal Trentino e si tratta del primo corso superiore pensato appositamente per la creazione di una figura professionale in grado di unire le tecnologie digitali ai processi tradizionali. Il nome del progetto è MADE++²⁶ e nasce dalla collaborazione tra due istituti trentini e altri soggetti privati e pubblici. Il corso punta a formare il profilo di un Tecnico Progettista Manifatturiero, una figura in grado di utilizzare le tecnologie digitali e allo stesso tempo di applicarle anche a processi tradizionali. Può essere considerato come un punto di incontro tra l'artigianato e il mondo *maker*. Si tratta decisamente di una novità positiva, che cerca di dare una prima risposta alle esigenze poste dal mercato. Inoltre, il corso prevede anche dei periodi di stage e tirocinio obbligatori, in modo da avvicinare le realtà aziendali ai percorsi formativi. È un primo passo importante che può servire sia ad acquisire conoscenze già spendibili sul mercato di lavoro, grazie anche alle collaborazioni con le aziende durante i periodi di tirocinio, che acquisire basi per una formazione ulteriore. In questo caso è necessario pensare anche a proposte universitarie che siano una

²⁶ www.made.tn.it

naturale continuazione di questa tipologia di studi. Sarebbe preferibile avere una vasta scelta per quel che riguarda le università, in modo da creare figure altamente specializzate nelle diverse fasi del processo. Il corso proposto di per se tende a coprire una vasta gamma di conoscenze e impieghi, come è naturale che sia visto il livello formativo. Gli aspetti più specifici, poi, devono essere approfonditi durante l'educazione terziaria.

In sintesi, una politica istruzione efficiente deve agire in modo mirato durante le tre fasi che si sono individuate:

- a) *Scuole elementari e medie*: stampa 3D come strumento di supporto all'insegnamento. Lo scopo è di introdurre la nuova tecnologia e permettere un primo approccio.
- b) *Scuole superiori*: creazione di rete di fablab che permettano la contaminazione tra diversi istituti e realizzino progetti complessi. Identificazione di percorsi formativi volti alla preparazione di figure tecniche in grado di utilizzare in modo efficiente le tecnologie additive.
- c) *Università*: creazione di percorsi specifici che approfondiscano determinati aspetti della manifattura additiva e formino capitale umano altamente specializzato.

Organizzazione della rete

Per organizzazione della rete si intende quell'azione delle istituzioni volta a creare un *network* di soggetti che utilizzano le tecnologie additive. In sostanza, l'individuazione e promozione di operatori pubblici e privati che agiscono nel settore deve essere assunta come obiettivo strategico. Le sinergie che si possono creare grazie alla contaminazione di diversi attori sono essenziali per lo sviluppo del settore. In assenza di un interlocutore centralizzato si rischia di avere tanti soggetti isolati, che agiscono all'interno di cerchie ristrette. Questo diventa un ostacolo sia per i diretti interessati che per l'intero tessuto economico. Gli interessi in gioco sono tanti, dai fablab alle aziende private, passando per associazioni e istituti scolastici. Quello che è

necessario, quindi, è un insieme di regole e incentivi che permettano alla maggior parte dei soggetti coinvolti di comunicare tra di loro e sviluppare progetti comuni e altre forme di collaborazione. Naturalmente, la politica deve essere orientata a valorizzare quei soggetti che siano in grado di funzionare in modo efficiente e creare valore aggiunto. Il mero intervento economico può essere controproducente. È necessario comprendere le realtà presenti sul territorio, valorizzare quelle meritevoli e predisporre strumenti che consentano un corretto sviluppo di nuove realtà, in linea con il mercato e in grado di funzionare senza l'intervento finanziario del settore pubblico.

Alcuni esempi possono aiutare a chiarire questi concetti. Il primo è il bando della Regione Veneto per la concessione di contributi per la creazione di fablab. Il bando nasce con lo scopo di promuovere i laboratori digitali e attraverso quelli di:

- diffondere la conoscenza delle potenzialità delle tecnologie di produzione digitale ad un pubblico vasto;
- diventare un punto di riferimento per il territorio per la sperimentazione e la definizione di progetti innovativi attraverso un dialogo con le imprese ed il mondo delle professioni.

In sostanza, la regione assegna dei contributi finanziari a quei soggetti che garantiscano la creazione di un fablab, indicando alcune caratteristiche minime e obbligando l'apertura della struttura al pubblico, che potrà usufruirne gratuitamente, per un ammontare di ore minimo settimanale. Sebbene ogni forma di incentivo sia positiva, questo intervento presenta alcune lacune. Non si punta a creare una struttura che sia in grado di funzionare nel tempo e gestire diversi soggetti. L'unica forma di aggregazione prevista dal bando è quella di partecipazioni di associazioni composto da più soggetti. C'è un altro elemento di aggregazione, cioè il coinvolgimento di un vasto pubblico, a cui viene data la possibilità di interagire gratuitamente con questi spazi qualificati. Ciò che manca è l'idea di una politica duratura nel tempo, che non si esaurisca solamente nell'aiuto monetario per la realizzazione degli spazi. Manca l'analisi delle realtà presenti sul territorio e un metodo per individuare quelle che sono le eccellenze che vanno promosse e che possono avere un ruolo chiave nella

costruzione di una rete efficiente. Di positivo c'è il riconoscimento delle potenzialità delle tecnologie additive, ma un intervento più strutturato sarebbe sicuramente più efficace.

Il caso dell'Emilia Romagna, invece, segue questa logica di creazione della rete. La regione ha individuato cinque settori su cui concentrare la propria *smart specialisation*, dove ogni settore fa riferimento a un territorio preciso. All'interno di tutti questi *cluster* sono state inserite strutture per la promozione dei nuovi trend tecnologici e di supporto all'imprenditorialità. Per quanto riguarda la stampa 3D, l'agenzia regionale ASTER ha individuato quelle che sono le realtà come i fablab e le ha inserite all'interno dei distretti di riferimento. Le tecnologie additive, quindi, vengono affiancate ad altre in un'ottica più ampia. Le eccellenze del territorio sono il vero target delle politiche e vengono promosse e sviluppate attraverso numerose tecnologie, tra cui anche l'AM. Questo approccio appare molto più ragionevole. Non si esaurisce nel mero finanziamento di determinate strutture, ma mira a incentivare uno sviluppo duraturo e in linea con i trend tecnologici globali. Come si vede, la base di partenza sono strutture già esistenti. Queste vengono riconosciute, analizzate e inserite in contesti più grandi. Il modo di procedere appena descritto permette sia di valorizzare le strutture più efficienti che di aumentare gli strumenti a disposizione della aziende impiegate nei settori di riferimento. Questo modo di intendere lo sviluppo del territorio, dove la manifattura additiva è solamente un tassello di un quadro più ampio, è certamente quello più sensato e che può portare benefici sia nel breve che nel lungo periodo.

Il terzo esempio si avvicina al caso appena citato, ma si riferisce a una politica nazionale.

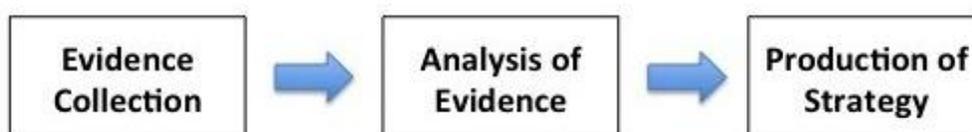


Figura 2.10 - Fonte: www.amnationalstrategy.uk

Si tratta dell'*UK National Strategy for Additive Manufacturing/3D Printing*²⁷. Il modo di procedere è molto simile a quello del caso emiliano. La politica del Regno Unito può essere schematizzata nella figura 2.10:

Si nota come l'intero processo parta dalla comprensione della reale situazione del settore. La vera strategia viene definita solamente una volta analizzata la situazione esistente. Questo per individuare meglio quelli che sono i problemi e le esigenze del settore. Non ci sono finanziamenti a strutture o territori particolari, bensì un esame attento dell'intero settore. Di per sé il Regno Unito è già tra i leader per quel che riguarda la manifattura additiva. Questa politica è concentrata soprattutto sul riconoscimento delle lacune attuali, per poi superarle e porre basi solide per gli sviluppi futuri. Trattandosi di una tecnologia molto giovane e che evolve a ritmi elevati, l'azione del governo britannico è più che sensata. Solamente valorizzando le realtà già efficienti e incentivando la nascita di progetti in grado di resistere alla sfida del mercato sarà possibile creare un settore competitivo a livello internazionale.

Si è visto come l'azione delle istituzioni debba essere rivolta alla creazione di una politica unitaria, che parta dalle realtà presenti sul territorio e sia orientata alla valorizzazione del territorio stesso. Senza un coordinamento a monte si rischia di intervenire su aspetti specifici e magari con misure contraddittorie. La mancanza di una visione d'insieme rappresenta l'ostacolo più grande per uno sviluppo efficiente delle tecnologie additive. La stampa 3D non deve e non può essere vista come un mondo a sé stante. Deve essere considerata come uno strumento a supporto di sistemi radicati sul territorio. Si tratta certamente di una tecnologia con grandi potenzialità ma che deve essere incanalata nella giusta direzione. I *policy maker* devono fare proprio questo: creare una rete di soggetti che interagiscono tra di loro. Questi soggetti sono in primo luogo tutti quelli che si affidano alle tecniche additive, ma non solo. Tutti gli operatori additivi devono necessariamente interagire con distretti e microsistemi specifici di ogni zona. Collegare l'AM ai settori della *smart specialisation* sembra essere un ottimo punto di partenza.

²⁷ www.amnationalstrategy.uk

Ecosistema per l'imprenditorialità

Vista la natura delle tecnologie additive, viene naturale collegarle alla fascia più giovane della popolazione, di per sé più ricettiva e portata a sperimentare le nuove soluzioni. Accade spesso che chi si avvicini alla stampa 3D dal punto di vista lavorativo sia portato (per non dire obbligato in alcuni casi) a inventarsi una professione e quindi ad avviare un'attività in proprio. Questo proprio per lo sviluppo del settore, che si trova ancora in una fase iniziale e necessità di imprenditori che impieghino la propria conoscenza nella creazione di modelli di business innovativi. Lo sviluppo dell'autoimprenditorialità può essere un elemento chiave nel dare la spinta necessaria per la nascita e commercializzazione delle nuove idee.

Le politiche nazionali e locali, preso atto della situazione effettiva, devono garantire le condizioni minime perché ciò avvenga. Ancora una volta, più che il diretto supporto finanziario è auspicabile la creazione di un sistema di supporto alle start-up. Accanto agli incentivi finanziari devono essere introdotte misure per la garanzia di un sistema efficiente e competitivo a livello internazionale. Alcune misure utili in questo senso possono essere:

- Incubatori d'impresa
- Banda larga
- Snellimento burocratico
- Sgravi fiscali
- Reti di supporto
- Integrazione università-impresa

Gli incubatori d'impresa svolgono un ruolo fondamentale nello sviluppo delle start-up. I servizi offerti possono anche determinare l'esito positivo o negativo dell'attività imprenditoriale. Una buona idea deve essere affiancata da una corretta gestione aziendale, per restare sul mercato. Di conseguenza, le capacità degli incubatori sono una risorsa importante per chi vuole avviare una propria idea d'impresa. Creazione, supporto e sviluppo degli incubatori migliorerebbe l'intero sistema e le condizioni per la nascita di nuove aziende. Se, poi, questi incubatori

vengono inseriti in contesti più ampi legati all'*high-tech* e alle nuove tecnologie gli incentivi per modelli di business basati sulle tecnologie 3D aumentano.

Altri servizi, come la banda larga, permettono una connessione a distanza che può essere molto importante per la creazione di sinergie e ricerca di profili professionali indispensabili per l'AM. Inoltre, si è visto in precedenza come la manifattura additiva può generare una grande mole di dati, che devono essere raccolti e trasmessi. L'analisi può essere fatta anche in luoghi fisici diversi, quindi le infrastrutture informatiche devono essere in grado di permettere e facilitare tutte le comunicazioni. Un'adeguata copertura della banda larga aiuterebbe ad accorciare ulteriormente le distanze e quindi ad avvicinare le start-up ai mercati internazionali, che siano mercati finanziari, di sbocco o del lavoro.

Ci sono, inoltre, interventi che possono prescindere dalla natura tecnologica e riferirsi alle start-up in quanto tali. L'eccessiva burocrazia in Italia è sottolineata ormai da tanto tempo da diverse parti, quindi non è necessario soffermarsi oltre sulla questione. Una riduzione dei tempi e delle procedure per avviare un'impresa sarebbe un incentivo in più per i potenziali imprenditori. Gli sgravi fiscali, dall'altra parte, possono avere un impatto maggiore per le giovani imprese che fanno affidamento alla manifattura additiva. Essendo un settore in via di formazione, con un mercato ancora in fase embrionale, alleggerire il carico fiscale in modo da permettere alle imprese di crearsi un proprio mercato può essere uno strumento valido. L'eccessivo carico fiscale può rendere vana ogni azione da parte dell'azienda di affermarsi sui mercati di nicchia, che si sono essere visti tipici delle tecnologie additive. Ecco perché un intervento del genere può essere più valido rispetto ad altre forme di incentivi finanziari, come finanziamenti diretti o simili.

Infine, la creazione di reti di cui si è discusso poco fa può essere uno strumento ulteriore nella creazione di un ecosistema adatto all'imprenditorialità. Reti di fablab e di aziende possono fornire conoscenze altrimenti non presenti sul mercato. Un potenziale imprenditore saprebbe immediatamente a chi rivolgersi per determinate abilità o tecnologie, semplificando notevolmente gli sforzi per l'avvio della propria attività. Oltre al miglioramento delle condizioni per la nascita delle start-up, si faciliterebbe la nascita di collaborazioni aziendali e di progetti più complessi che

necessitano di competenze diverse. Inoltre, si andrebbe anche ad aumentare il livello di competitività, incentivando le aziende a migliorare i propri processi e facendo emergere le realtà più meritevoli e profittevoli. In questo senso agisce anche l'integrazione università-impresa. Un'università vicina alla realtà aziendale è in grado di formare studenti capaci di trasformare le proprie idee in attività d'impresa, da una parte, e formare capitale umano qualificato per le start-up che lo richiedono, dall'altra.

Si tratta solo di alcuni esempi di interventi che possono essere fatti. Ciò che conta è la creazione di un sistema che incentivi l'imprenditorialità, che metta a disposizione strumenti validi che permettano a un vasto numero di persone di sperimentare e proporre le proprie idee al mercato. Sarà quest'ultimo, naturalmente, a dimostrare la validità o meno dei vari progetti. L'azione delle istituzioni deve essere rivolta alla fase iniziale, cioè quella di creazione delle condizioni e infrastrutture necessarie ai potenziali imprenditori.

Tripla elica

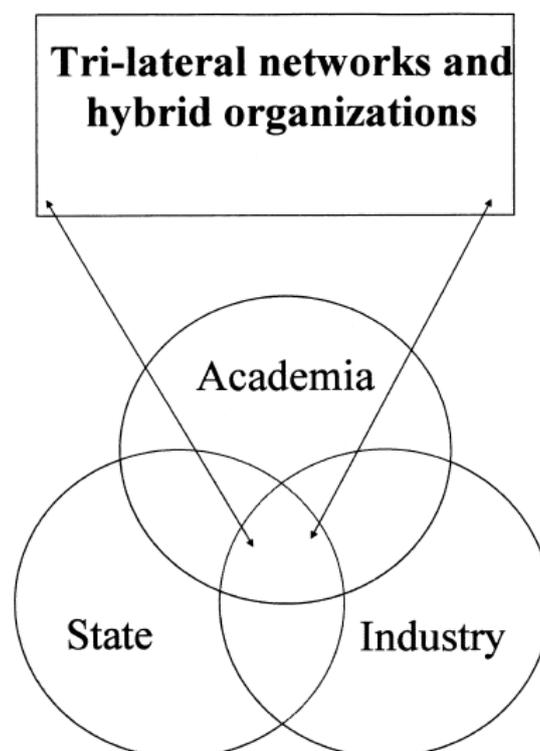


Figura 2.11 - Fonte: Etzkowitz, Leydesdorff (2000)

Una rete efficiente porta una pluralità di soggetti ad interagire tra di loro, come si è appena visto. In questo scenario i ruoli degli attori coinvolti non sono definiti a priori, ma tutti sono interessati, per aspetti diversi, dai processi di innovazione e sviluppo economico. La situazione che si viene a creare è descritta dal modello della tripla elica di Etzkowitz.

Elemento base per la valenza del modello è una società basata sulla conoscenza, quindi già sviluppata e con capitale umano qualificato. Considerato quanto detto nel paragrafo 2.2, lo schema può essere applicato anche al caso italiano.

Il rapporto che si instaura tra i tre soggetti principali, università, stato e aziende, genera una rete complessa dove le intenzioni, strategie e progetti creano valore aggiunto attraverso una continua ricombinazione di fattori. Le relazioni possono essere di due tipi: bilaterali o trilaterali. I primi sono spesso rapporti con ruoli ben definiti. L'università fornisce la forza lavoro alle aziende, quest'ultime versano contributi allo stato e in cambio ottengono infrastrutture e così via. La situazione più interessante, però, è quella rappresentata come l'unione dei tre insiemi nella figura 2.11, cioè dove si formano relazioni trilaterali. In questo segmento le fonti dell'innovazione non sono definite a priori ma i tre sistemi coinvolti sono in continuo cambiamento. Le sinergie che si creano possono assumere la forma di *spin-off* aziendali, laboratori pubblici, alleanze strategiche tra imprese, incubatori d'impresa, gruppi di ricerca e così via.

In quest'ottica l'università assume un ruolo importante nello sviluppo di processi innovativi. Non viene solamente formata la forza lavoro, ma possono nascere progetti finalizzati all'ottenimento di brevetti, nascita di *start-up*, collaborazioni con imprese o con enti governativi. Inoltre, l'educazione terziaria svolge un ruolo fondamentale nella formazione dei futuri imprenditori, che sono essenziali per lo sviluppo economico del paese.

Sostanzialmente le relazioni che si vengono a creare possono essere sintetizzate in cinque diverse categorie:

1. Trasferimento tecnologico
2. Collaborazione e moderazione di conflitti

3. *Leadership* collaborative
4. Sostituzione
5. *Networking*

Le università trasferiscono le conoscenze acquisite al mondo delle imprese. Lo stato organizza, gestisce e fa da moderatore nelle collaborazioni e permette la risoluzione di eventuali controversie che si vengono a creare. Il ruolo della guida dei singoli progetti può essere condiviso tra i tre soggetti coinvolti e l'iniziativa non deve partire sempre da un unico attore. I ruoli generalmente assunti dai singoli soggetti possono essere intercambiabili: l'università diventa imprenditore e le aziende finanziano progetti di ricerca. Infine, l'importanza della rete e della condivisione delle conoscenze risulta essenziale per il buon funzionamento del sistema. In sintesi si può dire che il ruolo della tripla elica è quello di promuovere e diffondere la creazione, diffusione e utilizzo delle innovazioni.

È palese come in questo caso i tre elementi oggetto di politiche sono essenziali per il corretto funzionamento del sistema. L'istruzione deve fornire le conoscenze necessarie per far diventare le università centri di creazione e diffusione delle idee; la rete tra diversi *stakeholders* deve essere efficiente e permettere la creazione di sinergie; l'ecosistema per l'imprenditorialità deve incentivare la nascita di aziende basate sulle nuove tecnologie.

Suggerimenti ai policy maker

Alla luce di quanto appena visto si possono sintetizzare alcuni suggerimenti per promuovere lo sviluppo della manifattura additiva.

- a) Riforma del sistema educativo che tenga conto delle necessità dell'AM;
- b) Interventi mirati per ogni livello di educazione;
- c) Creazione di una rete di soggetti coinvolti nell'AM;
- d) Inclusione dell'AM in contesti più ampi, legati alle *smart specialisation*;

- e) Individuazione sia di politiche nazionali che regionali, che trattino il tema da punti di vista diversi. Le politiche nazionali incentrate su temi trasversali al territorio, mentre quelle regionali su quelli legati al punto d);
- f) Promozione dell'autoimprenditorialità attraverso:
 - i. Misure di supporto alle start-up
 - ii. Misure volte alla diffusione dell'accettazione delle tecnologie additive presso i consumatori.

3. Case studies

3.1. Settore illuminotecnico

Il settore dell'illuminotecnica è uno dei settori d'eccellenza del *made in Italy*. Secondo i dati ISTAT nel 2011 i dipendenti delle aziende del settore erano 14859 mentre il totale della forza lavoro impiegata, comprensiva quindi di collaboratori esterni e temporanei, era di 17465 (si fa riferimento esclusivamente alla voce "fabbricazione di apparecchiature per illuminazione"). Negli anni successivi alla crisi finanziaria il settore è stato trainato principalmente dai mercati esteri. I dati dell'Assil (Associazione Nazionale Produttori Illuminazione) indicano una crescita dell'export, sempre nel 2011, di quasi 10% su base annua. Il mercato interno, dall'altra parte, nello stesso periodo è cresciuto di poco più del 4%. Il settore è caratterizzata da una forte componente artigianale e prodotti di alta fascia che trovano riscontro su una molteplicità di mercati esteri.

Situazione in Veneto

Il distretto veneto dei sistemi per l'illuminazione è tra gli attori principali del settore italiano. I dati di Infocamere riportano 521 aziende attive nel *core business* nel 2012 e altre 22725 impiegate in attività di supporto. La forte presenza delle imprese del settore è importante anche da punto di vista occupazionale. Gli addetti impiegati nelle attività specifiche del settore erano 3040, nel 2011, a cui si aggiungono altri 137538 occupati nelle attività di supporto. Inoltre, il settore è caratterizzato dalla prevalenza di PMI. La divisione di imprese per numero di addetti è la seguente:

Numero di addetti	2010	2011
1-9	313	323
10-49	78	75
50-249	7	8

250 e oltre	0	0
-------------	---	---

Tabella 3.1 - Fonte: ISTAT

Si osserva come la maggior parte delle imprese impiegate nell'attività tipica del settore, quindi sono escluse tutte quelle attività di supporto, sono composte da meno di dieci dipendenti. Ciò è molto significativo e indica una forte natura artigianale del settore. Allo stesso modo, però, rappresenta anche un limite. Aziende di piccole dimensioni possono trovare difficoltà nel soddisfare ordini di determinate proporzioni. Proprio per questo nascono tante collaborazioni tra imprese che solitamente sono in competizione tra loro, ma che hanno bisogno di ricorrere a strumenti di questo tipo pena l'impossibilità di completare la commessa.

In quest'ottica collaborativa nasce all'interno del distretto anche Luce in Veneto. Si tratta di un consorzio formato inizialmente da 34 aziende con l'obiettivo dichiarato di *“accrescere la competitività delle imprese venete di produzione e commercializzazione dei prodotti dell'illuminotecnica e aumentare il valore aggiunto di tali prodotti, nell'ambito di un processo di integrazione economica di filiera”*. Ad oggi il consorzio conta 44 aziende, localizzate principalmente tra le province di Treviso, Padova e Venezia. Anche qui viene confermata la prevalenza delle PMI. Infatti, nel 2012 il numero complessivo di addetti era di 554, con una media di poco meno di 13 addetti per azienda.

In particolare, Luce in Veneto ha tre filoni principali di attività:

1. *Formazione*: affiancamento delle aziende e percorsi formativi su temi trasversali quali l'innovazione o l'internazionalizzazione. Spesso l'attività di formazione viene svolta in collaborazione con soggetti esterni, come per esempio centri di trasferimento tecnologico o simili;
2. *Ricerca e innovazione*: progetti di ricerca volti a creare sinergie tra imprese. Queste ultime spesso non possono affrontare in autonomia la fase di ricerca perché di dimensioni troppo piccole in confronto agli investimenti richiesti;

3. *Internazionalizzazione*: affiancamento delle aziende in fase di approccio su mercati esteri. Gli strumenti principali sono le partecipazioni in fiere e creazione di reti commerciali.

Quello che emerge dall'esperienza del consorzio è significativo e mette in risalto alcune caratteristiche che possono essere estese anche al livello dell'intero settore. In primo luogo, le aziende coinvolte sono posizionate sulla fascia di mercato medio-alta. Questo per diversi motivi. Uno è sicuramente la vocazione artigianale delle piccole imprese, che producono beni di alta qualità e non sono attrezzate per produzioni su grande scala. Per prodotti standardizzati, poi, c'è una forte concorrenza di imprese estere *low-cost* che precludono ulteriormente quella fascia di mercato. Uno scenario simile si presenta anche nell'utilizzo delle tecnologie più recenti, come quella led. I produttori tedeschi, per esempio, sono più competitivi rispetto a quelli italiani, con ovvie conseguenze sui mercati internazionali. Per questi motivi l'azione collaborativa del consorzio risulta importante: è necessario ridurre il *gap* tecnologico e aumentare la competitività delle aziende. L'innovazione gioca un ruolo fondamentale nel raggiungimento di questo obiettivo. L'esperienza di Luce in Veneto mostra come le aziende che hanno investito di più sulla ricerca e sviluppo di prodotti nuovi sono state quelle che hanno saputo rispondere meglio alla crisi del settore. La direzione principale è quella delle tecnologie led. Sebbene si tratti di una tecnologia già matura con numerose applicazioni, c'è una certa riluttanza del mercato ad adottarla completamente in sostituzione delle tecnologie tradizionali. Uno strumento a cui si fa spesso ricorso per il trasferimento di conoscenze su questi temi è quello dell'*open innovation*. Il modello di innovazione aperta è ben accolto anche dalle PMI e consente di ottenere buoni risultati a fronte di investimenti ridotti in R&S. Il vero valore aggiunto che si crea in questo modo è la rete di PMI, che si completano a vicenda e integrano le proprie conoscenze e competenze.

Per quanto riguarda la stampa 3D, il caso di Luce in Veneto mostra una scarsa diffusione della tecnologia tra le aziende. Per il momento l'utilizzo più interessante delle tecnologie tridimensionali è quello della modellazione 3D e inserimento dei prodotti in ambienti virtuali, che riproducono l'aspetto reale dello spazio dove l'oggetto andrà effettivamente posizionato. La vera e propria stampa del modello 3D è

limitata alla prototipazione. Questo perché i prototipi sono più semplici da ottenere e non hanno bisogno di superare i test dei prodotti finiti, come quelli sulla resistenza, conduzione elettrica, resistenza al calore ecc. I limiti principali dell'adozione di queste tecnologie da parte delle aziende sono la mancanza di conoscenze specifiche e la tipologia di prodotto, che richiede un alto livello di dettaglio e materiali che per il momento sono difficili da lavorare con le stampanti. Inoltre, la tipologia stessa dei prodotti delle aziende venete non si sposa facilmente con la manifattura additiva. Essendo l'abilità artigianale una delle componenti fondamentali dei prodotti è difficile sostituirla con lavorazioni di altro tipo. Giusto per fare un esempio: chi lavora il vetro di Murano non potrà mai affidarsi alla macchina per produrre i propri lampadari. Quindi la stampa 3D rimane legata più alle aziende che si posizionano sulla fascia di prodotti con design più moderni, dove effettivamente i vantaggi dell'AM hanno un ruolo significativo. In ogni caso, l'azienda che si avvicina per la prima volta alla stampa 3D preferisce appoggiarsi a un soggetto terzo, già coinvolto nel settore. Questo per recuperare quelle conoscenze specifiche che non sono presenti al proprio interno e per abbattere i costi. Affidare la stampa di un componente ad un *service* è di gran lunga più conveniente che acquistare i macchinari per la stampa in proprio. Lo sviluppo in direzione di stampa di prodotti finiti passa soprattutto attraverso lo sviluppo dei materiali. La specificità del materiale e l'alto livello di precisione sono elementi essenziali, da cui le aziende non possono prescindere per mantenere la propria reputazione e la competitività.

.exnovo

.exnovo®

Un caso interessante di applicazione della manifattura additiva nel settore illuminotecnico è quello di .exnovo, azienda situata a Trento e che nasce all'interno di

una realtà più grande come HSL. Quest'ultima è stata fondata nel 1988 ed è una delle prime aziende europee ad usare la stampa 3D. HSL si occupa della prototipazione rapida e lavora principalmente nel settore automotive. Nel 2010 viene fondata .exnovo, come conseguenza dell'esperienza dell'azienda madre nel settore illuminazione dell'automotive e per differenziare la propria attività vista la forte crisi del settore cardine. La particolarità della nuova azienda è il materiale utilizzato, che non si associa immediatamente all'illuminazione ma che permette di ottenere particolari effetti di luce. Tutti i prodotti (che si posizionano sulla fascia di prezzo medio-alta) nel catalogo sono stampanti utilizzando le polveri di nylon e con la tecnologia SLS. In particolare, all'interno dell'azienda vengono prodotti solamente i diffusori, mentre le altre componenti vengono acquistate da soggetti terzi e poi assemblate. I fornitori sono solitamente situati nelle zone limitrofe del Trentino Alto Adige o al massimo in altre regioni italiane, valorizzando di fatto il *made in Italy*.

Dall'esperienza di .exnovo emerge che le difficoltà maggiori nell'avvio e gestione di un'azienda basata sulla stampa 3D sono due:

- Mancanza di consapevolezza e poca fiducia nella tecnologia;
- Spiegare ai designer le possibilità della tecnologia.

Il primo punto riguarda soprattutto il rapporto con i clienti. È necessario far capire a chi acquista la particolarità dell'oggetto e raccontare la storia che sta alla base. Spesso questo risulta difficile perché non c'è fiducia nella nuova tecnologia e si preferiscono prodotti ottenuti con lavorazioni tradizionali. Si tratta di un problema che si riscontra principalmente sul mercato italiano e anche in alcuni esteri, come quello spagnolo. I paesi come la Germania, Francia e i paesi scandinavi sono più propensi ad accettare le innovazioni tecnologiche anche in questo campo e rappresentano i mercati di riferimento per l'azienda trentina. Un problema ulteriore si ha a monte del processo produttivo. Risulta difficile, infatti, spiegare a chi crea l'oggetto quali sono le possibilità della stampa 3D. Sono pochi i designer in grado di preparare in autonomia tutto il progetto e che hanno piena consapevolezza della tecnologia che stanno utilizzando.

L'intero ciclo produttivo avviene all'interno dell'azienda e può essere riassunto nel modo seguente:

- *Preparazione del concept*: la creazione avviene sempre per opera di designer esterni all'azienda, che vengono affiancati da personale specializzato per sviluppare il progetto e prepararlo per la stampa;
- *Stampa del pezzo*;
- *Pulizia del pezzo stampato*: l'oggetto ottenuto dalla stampante deve essere pulito della polvere in eccesso e i particolari rifiniti a mano con strumento appositi;
- *Assemblaggio*: i diffusori vengono assemblati con i componenti acquistati da terzi.

La produzione avviene in Italia perché ogni prodotto deve essere certificato e rispettare determinate norme qualitative. Uno dei problemi maggiori è quello del surriscaldamento del materiale dovuto al calore emanato dalla lampadina. Il problema viene superato grazie alle forme dei diffusori, che sono create in modo tale da disperdere il calore e non causare complicazioni. Un elemento che emerge chiaramente è la contrapposizione tra lavoro manuale e tecnologia impiegata. Infatti, per rendere commercializzabile il prodotto è necessaria una lunga lavorazione manuale di pulizia e assemblaggio. In più, alcune parti come le basi delle lampade sono opera di maestri artigiani e lavorati completamente a mano. Questo saper unire la lavorazione tradizionale all'uso di tecnologie innovative è senz'altro la caratteristica peculiare di .exnovo, che rende unici i loro prodotti.

Grazie alla propria esperienza sul mercato l'azienda ha potuto individuare quelli che sono i principali vantaggi e svantaggi della lavorazione basata sulla stampa 3D. I vantaggi sono:

- *Libertà di forme*: possibilità di ottenere forme particolari non pensabili con i sistemi tradizionali;
- *Personalizzazione*: poter modificare ogni singolo prodotto in base alle esigenze dei diversi clienti;

- *Numero di pezzi*: possibilità di realizzare pezzi unici o lotti di pochi oggetti;
- *Assenza di scarti di produzione*;
- *Assenza di magazzino*: le scorte fisiche si limitano solamente alle componenti acquistate all'esterno;
- *Archivio digitale*: i progetti vengono archiviati in via digitale e possono essere rimosso o modificati con grande facilità.

Dall'altra parte, gli svantaggi sono:

- *Dimensioni*: ci sono delle dimensioni al di sopra dei quelli non è possibile produrre vista la grandezza dell'area di lavoro della stampante;
- *Costi dei macchinari*: stampanti con alti livelli di precisione comportano investimenti importanti;
- *Costi dei materiali*;
- *Tempi di stampa*: più il prodotto è complesso più tempo è necessario per la sua produzione.

Per il futuro l'azienda si aspetta una maggiore accettazione delle tecnologie, da un lato, e più disponibilità di forza lavoro qualificata, dall'altro. Attualmente la maggior parte di forza lavoro è formata all'interno dell'azienda. Quello di cui l'azienda ha bisogno è una figura in grado di seguire la preparazione del progetto, impostare la macchina, capire le problematiche connesse alla stampa dell'oggetto e seguire la fase di post produzione. Al momento non esiste una figura professionale di questo tipo e ciò rappresenta un forte limite per l'efficienza aziendale.

Afilia

Uno dei prodotti tipo di .exnovo che sintetizza bene quanto appena detto è Afilia. Si tratta di una collezione di lampade progettata dal designer Alessandro Zambelli e presentata a Parigi nel 2014. Afilia è il prodotto più venduto dall'azienda trentina e rappresenta un caso mediatico piuttosto noto. I maggiori giornali nazionali si

sono interessati al prodotto e l'azienda riceve tuttora, dopo più di un anno dalla presentazioni, richieste di giornalisti per raccontarne la storia. L'elemento che cattura l'attenzione è l'abbinamento tra innovazione e tradizione, tra tecnologia e artigianato. La lampada, infatti, è composta da un diffusore stampato con la tecnologia SLS e da una base in legno, prodotta da artigiani locali con tecniche tradizionali. La caratteristica di Afilia è una trama del diffusore molto complessa che permette giochi di luce particolari quando la lampada è in funzione. Questa diversità rispetto alle altre offerte sul mercato è il fattore chiave per spiegare il successo che la collezione ha ottenuto, secondo l'azienda.



Figura 3.1 – Particolari della collezione Afilia

La storia di Afilia ha seguito un percorso un po' particolare. Inizialmente il progetto era nato come un cesto del pane, presentato al Fuorisalone di Milano nel 2013. Visto il successo riscosso, il designer ha tentato di sviluppare ulteriormente il prodotto. Nello stesso anno, poi, il progetto viene modificato durante un workshop di .exnovo e la trama del cesto viene trasferita e adattata per una collezione di lampade. Vista la complessità della superficie, è stato necessario un lavoro lungo e intenso per rispettare tutte le necessità tecniche del prodotto. In questa fase il designer è stato affiancato dal personale dell'azienda e successivamente il lavoro finito è stato presentato e si trova ancora oggi in catalogo. Per il momento si tratta del prodotto di maggior successo di .exnovo.



Figura 3.2 – Modello più popolare della collezione Afilia

3.2. Settore della gioielleria

Il settore della gioielleria è stato tra quelli che maggiormente ha subito la crisi finanziaria degli anni passati, complice anche la forte dipendenza dai mercati esteri. Dal 2012 il settore registra una ripresa, anche se i dati occupazionali e di fatturato sono ancora lontani dal periodo pre-crisi. L'andamento del mercato è rappresentato nel grafico seguente:



Grafico 3.1 - Fonte: Unicredit, su elaborazione dati Cerved Group

Le stime sono positive visto anche l'andamento di alcune variabili macroeconomiche indipendenti dal settore, come la svalutazione dell'euro.

Si nota, inoltre, come le esportazioni siano trainate principalmente da lavorazione dei metalli preziosi, destinati ad alcuni mercati ormai consolidati come quello statunitense e altri nuovi, come gli Emirati Arabi e la Cina.

Il settore orafa italiano nel 2013 e nei primi nove mesi del 2014

Quadro di sintesi dell'andamento del settore orafa – milioni di € e var. % (stime)^a

	2012	2013	Variazione % 2013	Variazione % gen.-sett. 2014
Fatturato*	6.155	6.632	7,7	6,5
Esportazioni**	5.609	6.047	7,8	1,0
di cui solo gioielli in preziosi***	4.815	5.219	8,4	1,4
Importazioni**	2.029	1.912	-5,8	9,8
di cui solo gioielli in preziosi***	1.049	916	-12,7	4,5
Saldo commerciale (export-import)	3.581	4.135		
di cui solo gioielli in preziosi***	3.767	4.303		

(a) I dati si riferiscono, se non altrimenti specificato, al gruppo merceologico identificato dal codice 32.1 della classificazione ATECO 2007, che secondo la definizione dell'ISTAT include la fabbricazione di gioielleria, bigiotteria e articoli connessi, lavorazione delle pietre preziose. In questa tabella non sono pertanto inclusi i valori relativi alle materie prime metallifere (metalli preziosi) rilevati in un altro codice mentre sono incluse le pietre preziose.

(*) Stima relativa al fatturato ex fabrica; livelli stimati sulla base dei dati Eurostat ProdCom, variazioni ricavate dall'indice del fatturato totale ISTAT (**) Fonte ISTAT; i dati del 2013 sono definitivi; i dati 2014 sono provvisori. (***) Gioielli in argento (cod. HS 711311), in oro o altri metalli preziosi (cod.HS 711319), anche rivestiti e placcati.

Tabella 3.2 - Fonte: Club degli Orafi Italia, Intesa Sanpaolo

Dal punto di vista strutturale, il settore è caratterizzato da una forte concentrazione territoriale in distretti altamente specializzati. Esistono poche grandi imprese, legate alla gioielleria di lusso, affiancate da numerose PMI e micro imprese.

Situazione in Veneto

Il distretto orafico di Vicenza è tra le principali concentrazioni territoriali del settore. Nel 2012 la situazione delle imprese vedeva 861 aziende coinvolte nel *core business* e altre 2090 operanti nei diversi settori di supporto.

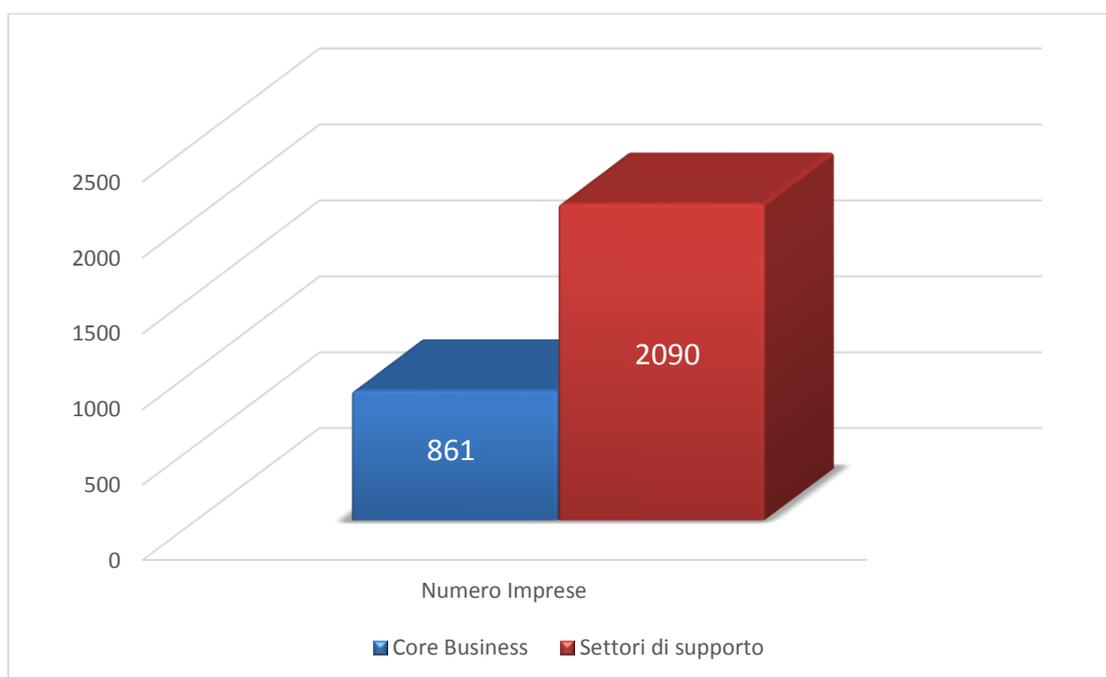


Grafico 3.2 - Elaborazione su dati Infocamere

Il tessuto del distretto è caratterizzato da una forte presenza di PMI. La percentuale di imprese con più di 50 dipendenti è leggermente minore del 2%. Per quanto riguarda i valori assoluti, invece, i dipendenti impiegati nel settore *core*

business erano 4557 nel 2011 e, nello stesso anno, quelli impiegati nelle attività di supporto erano 10148.

Numero di addetti	2010	2011
1-9	592	574
10-49	111	103
50-249	14	12
250 e oltre	0	0

Tabella 3.3 - Numero di imprese per numero di addetti

Questa presenza di piccole imprese denota una forte vocazione artigianale, caratteristica del territorio vicentino. La gamma dei prodotti offerti è piuttosto variegata, si va dalla gioielleria di lusso a semilavorati e montature per gioielli. Il forte legame con il territorio è testimoniato anche dalla presenza di Vicenzaoro, una tra le fiere più rilevanti dell'intero settore, e dal Museo del Gioiello, inaugurato qualche anno fa.

La Protofusione



La Protofusione, azienda localizzata a Vicenza, è un esempio dell'uso principale della stampa 3D, o per meglio dire della prototipazione rapida, nel campo della gioielleria. L'azienda nasce come naturale evoluzione della ditta La Forgia Preziosi, a seguito dell'introduzione dei primi macchinari di prototipazione rapida. Questo avviene per mano dell'attuale titolare nel 2000, con lo scopo di modernizzare la costruzione di stampi e velocizzare il processo produttivo. Inizialmente, la tecnologia permetteva la stampa di pochi prototipi in resina. Successivamente, grazie al

miglioramento delle tecnologie e al perfezionamento del ciclo di produzione, è possibile fare la fusione del prototipo direttamente in metallo, eliminando il procedimento a cera persa utilizzato tradizionalmente. Il numero dei pezzi stampabili, inoltre, è aumentato sensibilmente nel corso degli anni. L'azienda lavora principalmente per conto terzi e produce componentistica. Non è presente un marchio commerciale proprio e i prodotti lavorati non arrivano mai direttamente al consumatore finale.

Tra i benefici principali portati dalla prototipazione rapida l'azienda cita principalmente la possibilità di realizzare forme nuove, non ottenibili con processi tradizionali, la ripetibilità potenzialmente infinita di ogni singola forma e la riduzione dei tempi di produzione. L'apporto della stampa 3D nel caso dell'azienda vicentina può essere sintetizzato con lo schema seguente:



Figura 3.3 - Fonte: *protofusione.it*

Soffermandosi in particolari sul procedimento utilizzato oggi il ciclo produttivo può essere suddiviso in modo seguente:

- Design: progettazione e modellazione dell'oggetto in base alle esigenze specifiche del cliente, a seconda del mercato di destinazione, tipologia di prodotto e materiale ecc;
- Prototipazione rapida:
 - Stampa del prototipo in resina
 - Pulizia della resina dalle parti di supporto create dalla macchina per consentire una corretta riuscita di stampa
 - Creazione di alberini di prototipi; si tratta di una struttura su cui vengono fissati tutti i prototipi in resina e che ha la forma di un piccolo albero, con gli oggetti stampati che formano una specie di rami
- Creazione negativo:
 - Immersione degli alberini in una colata di gesso
 - Rimozione delle resine tramite combustione o rivestimento: gli alberini vengono inseriti in forni che arrivano a temperature di circa 400 °C, che sciolgono la resina all'interno del negativo di gesso e solidificano quest'ultimo
 - Cottura ulteriore del negativo in gesso
- Finitura
 - Iniezione del metallo nel alberino di gesso; l'iniezione avviene tramite macchinari che sciolgono il metallo a temperature fino a 1000 °C
 - Pulizia del alberino e rimozione del negativo in gesso
 - Separazione dei "frutti" dal alberino in gesso; ogni singolo oggetto va staccato dalle base di supporto e gli eventuali dettagli vanno rifiniti a mano

Successivamente, si è analizzato con l'azienda l'impatto della prototipazione rapida a livello di costo, in relazione al prezzo di consegna al cliente. È stato individuato un ordine di dimensioni contenute, circa quaranta pezzi, ed è stata svolta un'analisi dei costi specifici e direttamente imputabili alla lavorazione. L'azienda tiene separata la fase di design da quella di produzione. La prima termina con la consegna del disegno all'impresa cliente, la quale ne diventa proprietaria e può disporne come meglio crede. Quindi, l'analisi compiuta si concentra esclusivamente sulla produzione. In particolare, sono stati osservati i seguenti valori:

Dettaglio costi prototipazione rapida:

Costo	Quantità utilizzata	Costo unitario	Costo sostenuto
Resina:	178.30 gr	0.21 €/gr	37.44 €
- Prototipo	128.30 gr		
- Scarto	50 gr		
Manodopera diretta	60 minuti	20 €/ora	20 €
		Costo totale:	57.44 €

Tabella 3.4

La scomposizione del costo può essere osservata nel grafico 3.3. Per semplicità sono stati esclusi i costi per energia. Visto il ridotto numero di pezzi lavorati non c'è un impatto significativo di questa tipologia di costi. Il focus è posto sul consumo di materiale e sulla manodopera utilizzata.

Si nota come la parte predominante sia data dal impiego del materiale per la stampa. Nonostante ciò, però, la lavorazione manuale non è del tutto assente e rappresenta il 35% della spesa totale sostenuta.

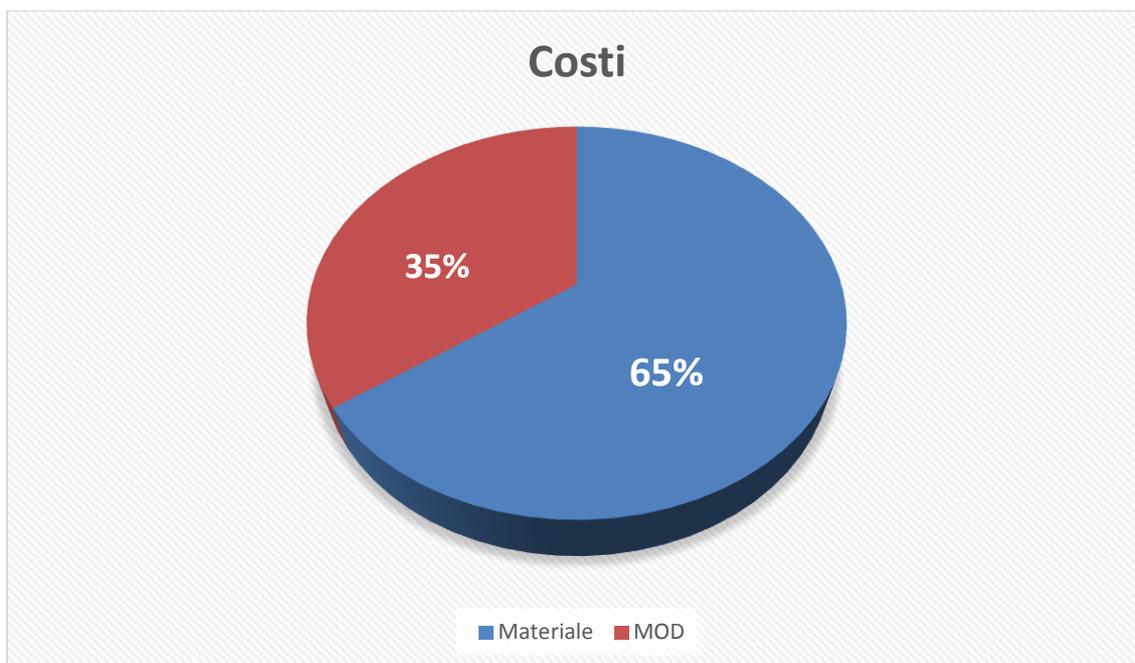


Grafico 3.3

Inoltre, analizzando il rapporto tra i costi di prototipazione, altri costi sostenuti e i ricavi di vendita, si ha la seguente situazione:

Altri costi specifici:

Costo	Quantità utilizzata	Costo unitario	Costo sostenuto
Manodopera	60 minuti	20 €/ora	20 €

Tabella 3.5

Ricavi di vendita:

Ricavo unitario	Quantità venduta	Ricavo totale
1.5 €/gr	113.4 gr	170.10 €

Tabella 3.6

Tra gli altri costi specifici si ha solo la manodopera utilizzata per la lavorazione, in quanto il metallo impiegato per la fusione viene fornito dall'impresa cliente in conto lavorazione. I ricavi di vendita, invece, sono direttamente influenzati dalla quotazione dell'oro sui mercati internazionali. In questo momento il ricavo unitario è pari a 1.5 €/grammo.

In sintesi, quindi, si ha la seguente situazione:

Costi della prototipazione	57.44 €
Altri costi	20 €
Ricavi	170.10 €
Utile	92.66 €

Tabella 3.7

Si nota come i costi della prototipazione rapida rappresentino circa il 75% del costo totale. Il costo della manodopera totale, invece, è oltre il 50% (diviso equamente tra la fase di prototipazione e quella di post produzione). Quindi, si osserva come la manodopera svolga ancora un ruolo molto significativo a livello di costo. La modernizzazione introdotta dalla stampa 3D ha permesso di ridurre l'impatto di questa variabile, ma la lavorazione manuale rimane in ogni caso un elemento dominante.

La prototipazione rapida ha permesso anche una riduzione del tempo impiegato nel ciclo produttivo. In questo caso specifico il tempo totale impiegato nella lavorazione è stato di circa 9 ore: 7 ore per la stampa dei prototipi in resina e 2 ore di lavorazione manuale. Il procedimento a cera persa (metodo utilizzato tradizionalmente) avrebbe richiesto un tempo maggiore e di conseguenza anche un costo della manodopera maggiore. Purtroppo risulta difficile fare un confronto fra le due tecniche di produzione perché la forma ottenuta in questo caso con la prototipazione rapida risulta difficilissima, se non impossibile, da riprodurre a mano utilizzando il metodo a cera persa.

I vantaggi conseguiti si riflettono anche sull'azienda cliente. Quest'ultima può beneficiare della riduzione dei tempi di rinnovo dei prodotti e si appoggia a La Protusione per integrare le conoscenze che non possiede al proprio interno. Anche il canale diretto con i designer dell'azienda vicentina rappresentano un potenziale beneficio per l'azienda cliente. Le nuove linee dei prodotti, infatti, vengono sviluppate con l'aiuto di professionisti che hanno piena consapevolezza delle tecniche additive. Quindi, non si beneficia solo della stampa vera e propria, ma anche della fase di progettazione a monte.

4. Conclusioni

Considerato quanto visto in questo lavoro si può affermare che la manifattura additiva ha ancora un ruolo marginale, se confrontata con il volume totale della produzione a livello globale. L'impatto varia, naturalmente, da settore a settore. Le previsioni sugli sviluppi futuri tendono ad essere disomogenee tra di loro, ma tutte quante indicano una forte crescita negli anni a venire, con una partecipazione sempre più rilevante a livello mondiale. L'ottimismo è giustificato dalle enormi potenzialità dell'AM che sono visibili già oggi.

Tra i vantaggi principali legati a questa tecnologia si hanno: produzione *on demand*, riduzione o eliminazione delle scorte fisiche, riduzione di scarti di lavorazione, utilizzo di materiali innovativi, produzione di oggetti senza necessità di assemblaggio, libertà di forme, personalizzazione di ogni singolo prodotto, aumento della varietà di prodotti, riduzione degli spazi fisici necessari alla manifattura e possibilità di riprodurre facilmente oggetti fisici tramite file digitali. Dall'altro lato, tra i maggiori limiti bisogna menzionare: velocità di stampa ridotta, dimensione limitata degli oggetti stampati, qualità di stampa e la difficoltà nel utilizzare due o più materiali diversi in una stessa lavorazione. A questo si aggiunge il problema dei riflessi sull'aspetto occupazionale e su quello ambientale. Il primo riguarda l'aumento dell'automazione e quindi una possibile perdita di lavori meno qualificati. Si è visto che la risposta a questo problema non è immediata, la manifattura additiva fa venir meno alcuni lavori ma allo stesso tempo ne crea altri. La questione ambientale, invece, riguarda il consumo di energia necessario per la stampa degli oggetti ed eventuali pericoli derivanti dall'uso eccessivo della tecnologia, con la conseguente creazione di sprechi e scarti che devono essere smaltiti. La ricerca su questo punto non fornisce delle indicazioni precise sugli impatti dell'AM e pertanto si rendono necessari approfondimenti su questo tema.

Considerato lo stato dell'arte e tutti i pro e i contro della manifattura additiva emerge chiaramente una prima considerazione. L'AM non andrà a sostituire la moderna produzione di massa, capovolgendo tutti i paradigmi produttivi dell'economia attuale. Quello che si va definendo è un sistema duale, dove le produzioni su grande

scala resteranno di dominio di imprese multinazionali produttrici di beni standardizzati e i mercati più di nicchia, caratterizzati da una forte personalizzazione dei prodotti, verranno forniti da imprese basate sulla stampa 3D. In linea di massima si può dire che tanto più i lotti produttivi sono più piccoli tanto più la manifattura additiva risulta conveniente. Non ci sono tracce di ricerche che dovrebbero portare ad un utilizzo della stampa 3D nelle produzioni di massa, poiché manca l'incentivo per sviluppare tecnologie di questo genere. La manifattura additiva nasce come strumento di personalizzazione di massa e si sta evolvendo in questo senso. È ragionevole supporre che i due paradigmi produttivi continueranno a operare in parallelo, ognuno impiegato su mercati dove rappresenta un fattore di vantaggio competitivo.

La manifattura additiva si basa su una serie di tecnologie che operano con uno stesso principio, quello della creazione degli oggetti strato per strato. Le tecniche, però, possono essere differenti tra di loro e differire per una serie di caratteristiche. Si possono raggruppare le tecnologie in tre insiemi, in base alla forma del materiale lavorato: stampanti che lavorano materiale liquido, solido o in polvere. Ognuna di queste categorie, poi, presenta una varietà di tecnologie che differiscono per la precisione, velocità di stampa, materiale lavorato, interventi in fase di post produzione e quindi di resa finale del prodotto. C'è una vasta gamma anche per i materiali utilizzati. Quelli più impiegati storicamente sono le plastiche, le resine, nylon e i metalli. Più recentemente sono stati sviluppati anche progetti che utilizzano materiali nuovi come la cera, silicone, sabbia e altri. Ogni materiale presenta delle peculiarità per quel che riguarda la temperatura di lavorazione, resistenza, precisione di stampa e fase di post-produzione.

La manifattura additiva trova impiego in molteplici settori economico, con gradi di penetrazione diversi. I settori maggiormente coinvolti, e con una tradizione più lunga, sono il design, l'automotive e l'aerospaziale. Le tecnologie e le applicazioni in questi campi sono numerose, dalla realizzazione di prototipi alla stampa di pezzi finiti. Più di recente la tecnologia è stata introdotta anche in altri settori. Un numero di utilizzi sempre maggiore si trova nei settori dell'occhialeria, gioielleria, illuminazione e arredo casa in generale. Altri campi, come l'edilizia, il settore biomedicale e alimentare, sono ancora in fase di sperimentazione. In questi campi le problematiche

principali da risolvere riguardano i materiali utilizzati e la dimensione dei pezzi da realizzare.

Trattandosi di una tecnologia in continua evoluzione, risulta difficile inquadrare scenari di sviluppo futuro ben definiti. Ciononostante è possibile individuare alcune direzioni verso cui la ricerca si sta orientando. Una prima distinzione può essere fatta tra gli sviluppi della tecnologia e quelli dei materiali. I primi hanno come obiettivo il miglioramento delle *performance* della macchina, attraverso la riduzione dei tempi di stampa, aumento delle dimensioni stampabili, riduzione del prezzo dei macchinari senza perdita di precisione, miglioramenti dei processi ecosostenibili, stampa multicolore e possibilità di utilizzare due o più materiali contemporaneamente. Gli sviluppi più interessanti, tuttavia, sembrano essere quelli dei materiali. Le sperimentazioni principali riguardano materiali dotati di caratteristiche particolarmente performanti come il grafene e il PEEK. Altri filoni di ricerca tentano di sviluppare materiali ecosostenibili, come per esempio sabbie o argille utilizzabili per la costruzione di unità abitative. Inoltre, esiste un forte interesse in campo biomedicale, dove i ricercatori stanno sviluppando materiali compatibili e adattabili al corpo e agli tessuti umani e animali. In questo senso svolge un ruolo importante la scienza dei materiali tanto che si parla di stampa 4D, cioè stampa con materiali in grado di svilupparsi e mutare in determinate condizioni.

La manifattura additiva ha importanti impatti sulla *supply chain*. I riflessi del cambiamento del paradigma produttivo sono visibili sia sulle relazioni esterne che quelle interne all'azienda. Il primo elemento che emerge è la possibilità di spostare la produzione nei mercati di destinazione. Questo consente di eliminare alcune fasi del ciclo produttivo e accorciare sensibilmente l'intera catena. Si riduce il numero di intermediari, si migliora il controllo lungo la filiera, aumenta il tempo di raggiungimento del mercato e si abbassano i costi di trasporto. Il ruolo centrale viene assunto dal consumatore, che diventa parte attiva del ciclo produttivo e concorre alla formazione del prodotto finale. Nei casi limite il consumatore finale può diventare anche il produttore, grazie alla possibilità di stamparsi gli oggetti in casa. L'azienda, in questo caso, si fa carico della progettazione del bene e dei servizi di supporto. Per il momento questo fenomeno è piuttosto ridotto ma con gli sviluppi delle tecnologie

potrà assumere un'importanza maggiore. Inoltre, l'AM permette un più veloce rinnovo della gamma di prodotti. Questo si riflette sulle dinamiche interne all'azienda. La riduzione del *time to market* comporta un diverso modo di operare, di rifornirsi sui mercati finanziari, di interagire con i fornitori e con i consumatori, richiede l'analisi e l'interpretazione di una grande mole di dati e una riorganizzazione delle strutture, che devono tenere conto delle necessità specifiche dell'AM.

L'avvicinamento della produzione ai mercati di sbocco si inserisce in uno scenario più generale di economia della conoscenza. Fondamentalmente si può fare la distinzione in due tipologie di conoscenza: quella codificata e quella generativa. La prima è contraddistinta dal fatto che può essere ricondotta a un codice e quindi facilmente trasferita nel tempo e nello spazio, per poi essere riprodotta ad un costo molto più basso di quello di creazione. La seconda, invece, è conoscenza che crea altra conoscenza. È legata al luogo di origini e non può essere trasferita facilmente. La manifattura additiva può essere collegata, per aspetti diversi, ad entrambe le tipologie. I modelli digitali alla base del processo di stampa e la meccanizzazione derivante da quest'ultima sono elementi tipici della conoscenza codificata. Dall'altro lato, la personalizzazione, la libertà di forme e la gestione della complessità legata all'AM sono tutti elementi difficilmente gestibili da algoritmi e quindi di competenza della conoscenza generativa. Questa distinzione non è fine a sé stessa, ma ha un ruolo importante sui processi di localizzazione. Si è visto come le attività in grado di creare e catturare un maggior valore aggiunto sono proprio quelle che impiegano la conoscenza generativa. Inoltre, nelle aziende internazionali queste stesse attività sono generalmente localizzate in paesi sviluppati. Per contro, le attività basate sulla conoscenza codificata vengono spostate in paesi meno sviluppati, dove trovano risorse complementare ad un costo più basso. Di conseguenza, i paesi come l'Italia possono trarre vantaggio dall'aumento delle imprese basate sulla manifattura additiva, poiché le attività a maggior valore aggiunto resteranno legate al territorio nazionale. L'AM, quindi, è un modo per contrastare la sempre maggior delocalizzazione delle attività manifatturiere tradizionali.

Sul versante delle relazioni aziendali interne, la manifattura additiva si posiziona come la naturale evoluzione del modello della *lean production*. L'elemento

chiave è la centralità del cliente, il quale diventa parte attiva del processo produttivo e influenza diversi campi della vita aziendale. L'organizzazione aziendale, per meglio cogliere i benefici legati all'AM, deve essere volta alla gestione di quattro aspetti: ottimizzazione dei flussi di informazioni, gestione dei *big data*, progettazione delle infrastrutture aziendali, progettazione dei prodotti. Un caso interessanti di modelli di business basata sulle tecnologie additive sono i *service* di stampa. Questi dispongono di una vasta gamma di macchinari e sono in grado di accompagnare le aziende clienti nel corretto uso dell'AM. Spesso è proprio questo il primo approccio alle nuove tecnologie, che permette di capire gli usi effettive e i riflessi sulla singola realtà aziendale.

L'AM ha un duplice impatto sull'occupazione. Attività ad uso intensivo di conoscenza aumentano la domanda di lavoro, mentre l'aumento dell'automazione fa diminuire la domanda di lavoro. Non si può dire quale dei due effetti prevalga a priori. In ogni caso, considerando quanto visto fin qui si può affermare che la manifattura additiva crei domanda per i lavori qualificati, mentre fa diminuire quella per i lavori non qualificati. Analizzando i dati relativi all'istruzione in Italia, si nota come siano in aumento le persone dotate di un alto livello educativo e quindi tendenzialmente in possesso di conoscenza generativa (quella impiegata dai lavoratori qualificati). Ciò risulta essere una solida base per l'espansione delle attività additive, che quindi andrebbero a creare nuovi posti di lavoro. Non bisogna trascurare, però, le fasce di popolazione con un livello d'istruzione più basso, che potenzialmente possono essere messe in difficoltà dall'eccessiva automazione portata dall'AM. In base alle argomentazioni discusse, la stampa 3D può essere vista come uno strumento di creazione di lavoro e non di distruzione. Non bisogna dimenticare, però, che le abilità richieste sono diverse da quelle impiegate nei processi produttivi tradizionali.

I casi pratici esaminati confermano quando discusso dal punto di vista teorico. Tra i principali benefici relativi alla stampa 3D emergono la libertà di forme ottenibili, possibilità di personalizzazione dei prodotti e riduzione dei tempi di prototipazione e rinnovo delle linee di prodotti. Tra i limiti maggiori si ha la mancanza di conoscenza e consapevolezza della tecnologia e la mancanza di forza lavoro qualificata. Altri elementi interessanti che si notano sono la ancora grande presenza di lavoro manuale,

soprattutto in fase di post produzione, e la possibilità di affiancare la manifattura additiva a lavorazioni tradizionali e artigianali.

Viste le caratteristiche e gli attuali limiti della manifattura, è possibile individuare tre campi verso cui l'azione dei *policy maker* deve essere indirizzata per incentivare lo sviluppo e l'adozione di queste tecnologie: istruzione, organizzazione della rete e creazione di un ecosistema per l'imprenditorialità. Una corretta politica dell'istruzione deve agire in modo diverso su tre livelli: stampa 3D come supporto all'insegnamento nelle scuole elementari e medie; creazione di rete di fablab che permettano la contaminazione tra diversi istituti superiori e identificazione di percorsi formativi volti alla preparazione di figure tecniche in grado di utilizzare in modo efficiente le tecnologie additive; creazione di percorsi universitari specifici che approfondiscano determinati aspetti della manifattura additiva e formino capitale umano altamente specializzato. Inoltre, deve essere garantita una rete di soggetti legati alle tecniche additive. Il *network* deve essere creato partendo dalle realtà già esistenti sul territorio, permettere la creazione di sinergie tra soggetti di aree diverse e includere l'AM in contesti più ampi, legati alle *smart specialisation* e alle vocazioni del territorio. Un sistema idoneo a promuovere l'imprenditorialità e la nascita delle *start-up* è un elemento chiave per lo sviluppo di aziende basate sulla stampa 3D. Politiche volte a favorire questo tipo di sistema nella realtà italiana non possono prescindere da: incubatori d'impresa, banda larga, snellimento burocratico, sgravi fiscali, reti di supporto e integrazione università-impresa.

È importante notare, infine, come la manifattura additiva abbia riportato il focus sul ruolo centrale del *manufacturing*. In ottica additiva, il fare e il saper fare tornano ad essere elementi chiave. Sempre più spesso, però, la sfera produttiva e quella dei servizi si sovrappongono e intersecano. Le due fasi non sono divise nettamente. L'AM combina elementi della produzione con quelli dei servizi, arricchendo la fisicità del prodotto con l'esperienza immateriale della sua creazione.

Aziende coinvolte

Si ringraziano le seguenti aziende per le interviste rilasciate:

LUCE IN VENETO SCARL

Villa Cà Marcello - Via dei Marcello, 13/11

35017 - Levada di Piombino Dese (PD)

P. IVA: 04375890284

Tel. e fax: +39 049 9350457

info@luceinveneto.com

www.luceinveneto.it

.EXNOVO

Via dei Masadori, 46

38121 - Trento

Tel. (+39) 0461 955430

Fax (+39) 0461 955422

exnovo@exnovo-italia.com

www.exnovo-italia.com

LA PROTOFUSIONE

Strada Molini, 62

36100 - Vicenza

Tel +39 0444 301555

Fax +39 0444 301610

info@laprotofusione.it

www.protofusione.it

MINI FABLAB BASSANO

Ex caserma "Ai Mui" via Cà Baroncello, 6

36022 – Cassola (VI)

tel. 3401577716

massimo.bresolin@gmail.com

www.cre-ta.net

TECNOLOGIA & DESIGN

Via S. Gaetano, 186

31044 - Montebelluna (TV)

Tel. +39.0423.601495

Fax +39.0423.603208

ted@tecnologiaedesign.it

www.tecnologiaedesign.it

Bibliografia

AA VV, *A third industrial revolution*, The Economist, <http://www.economist.com/node/21552901>, 2012

AA VV, *Positioning Paper. The Case for Additive Manufacturing*, UK, 2015

Acemoglu Daron and Autor David, *Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings*, NBER Working Paper No. 16082, 2010

Anderson Chris, *La coda lunga. Da un mercato di massa ad una massa di mercati*, Codice edizioni, Torino, 2006

Anderson Chris, *Makers. The new industrial revolution*, Random House Business Books, London, 2012

Anderson David L., Britt Frank F., and Favre Donavon J., *The seven principles of supply chain management*, Supply Chain Management Review, 2007

Arthur W. B., *La natura della tecnologia. Cos'è e come si evolve*, Codice Edizioni, Torino, 2011

Bacchetti Andrea e Zanardini Massimo, *The Digital Manufacturing Revolution. Quali prospettive per le aziende manifatturiere Italiane?*, Università degli Studi di Brescia, 2015

Beltrametti Luca e Gasparre Angelo, *La stampa 3D come nuova sfida tecnologica al lavoro manifatturiero*, XXVI Convegno annuale di Sinergie: Manifattura: quale futuro?, Università degli Studi di Genova, 2014

Boccardi Andrea, Marzi Giacomo, Zollo Lamberto, Ciappei Cristiano, Pellegrini Massimiliano, *Gli effetti della Stampa 3D sulla competitività aziendale. Il caso delle imprese orafe del distretto di Arezzo*, XXVI Convegno annuale di Sinergie: Manifattura: quale futuro?, Università degli Studi di Firenze, 2014

Bourell David L., Beaman Joseph J., Jr., Leu Ming C. and Rosen David W., *A Brief History of Additive Manufacturing and the 2009 Roadmap for Additive Manufacturing. Looking Back and Looking Ahead*, 2009

Brajlih Tomaz, Valentan Bogdan, Balic Joze and Drstvensek Igor, *Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines*, *Rapid Prototyping Journal*, Maribor, 2010

Brynjolfsson Erik and McAfee Andrew, *The Second Machine Age. Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*, W. W. Norton & Company, 2014

Campbell Thomas, Williams Christopher, Ivanova Olga and Garrett Banning, *Could 3D Printing Change the World? Technologies, Potential, and Implications of Additive Manufacturing*, Strategic Foresight Report, 2011

Campbell Ian, Bourell David, Gibson Ian, *Additive manufacturing. Rapid prototyping comes of age*, *Rapid Prototyping Journal* vol. 18 no. 4 pp. 255-258, 2012

Chryssolouris G., Mavrikios D., Papakostas N., Mourtzis D., Michalos G., and Georgoulas K., *Digital manufacturing: history, perspectives, and outlook*, IMechE Vol. 223 Part B, 2008

CIMdata, Inc., *Digital Manufacturing. Enabling Lean for More Flexible Manufacturing*, 2011

Duclos Leslie K., Vokurka Robert J. and Lummus Rhonda R., *A conceptual model of supply chain flexibility*, *Industrial management and data system* 103/6 446-456, 2003

Etzkowitz Henry and Loet Leydesdorff, *The dynamics of innovation. From National Systems and "Mode2" to a Triple Helix of university–industry–government relations*, Elsevier Science B.V., 2000

Facchini Fiorenzo, *Ominizzazione, cultura, umanizzazione*, *Antrocom* Vol. 1 - n. 2 - 179-183, 2005

Harris Ian D., *Development and Implementation of Metals Additive Manufacturing*, Columbus, OH (USA), 2011

Hart Steve, *Disruptive influence of digital manufacturing*, DEMM: Engineering & Manufacturing, 2014

Hussey-Pailos Robert S., *Construction of the top of the Egyptian pyramids. An experimental test of a levering device*, University of Florida, 2005

International Committee F42 for Additive Manufacturing Technologies, ASTM, *Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies*, West Conshohocken PA (USA), 2013

ISTAT, *Rapporto annuale 2015*, Roma, 2015

Isotta Franco (a cura di), *La progettazione organizzativa*, CEDAM, 2010

Ivanova Olga, Williams Christopher, Campbel Thomas, *Additive manufacturing (AM) and nanotechnology. Promises and challenges*, Rapid Prototyping Journal, Vol. 19 Iss 5 pp. 353 - 364, <http://dx.doi.org/10.1108/RPJ-12-2011-0127>, 2013

Kruth J.P., Leu M.C. and Nakagawa T., *Progress in Additive Manufacturing and Rapid Prototyping*, 1998

Lad Collin, So Ju-Hee, Muth John, Dickey Michael, *3D Printing of Free Standing Liquid Metal Microstructures*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2013

Le Bourhis Florent, Kerbrat Olivier, Hascoët Jean-Yves, Mognol Pascal, *Sustainable manufacturing. Evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology pp.1-12. <10.1007/s00170013-5151-2>. <hal-00881866>, 2013

Lipson Hod and Kurman Melba, *Fabricated. The new world of 3D printing*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis, 2013

Micelli Stefano, *Futuro artigiano. L'innovazione nelle mani degli italiani*, Marsilio, Venezia, 2011

Mikkola Juliana H. and Skjøtt-Larsen Tage, *Supply-chain integration. Implications for mass customization, modularization and postponement strategies*, Production Planning & Control, Vol. 15, No. 4, 352–361, June 2004

Mudambi Ram, *Location, control and innovation in knowledge - intensive industries*, Journal of Economic Geography, 2008

Peels Joris, *3D printing vs Mass production*, articolo su i.materialise, 2011

Petrick Irene J. and Simpson Timothy W., *3D Printing Disrupts Manufacturing*, Penn State University (USA), 2013

Reeves Philip, *Additive Manufacturing. A supply chain wide response to economic uncertainty and environmental sustainability*, Econolyst Limited, The Silversmiths, Crown Yard, Wirksworth, Derbyshire, DE4 4ET, UK, 2009

Roberts John, *The Modern Firm. Organizational Design for Performance and Growth*, Oxford University Press, New York, 2004

Rullani Enzo, *Conoscenza generativa e conoscenza codificata nelle filiere globali. Una sfida per il made in Italy*, Venezia, 2014

Silveira Giovani Jose Caetano da, *Mass Customization*, IAE Universidade Austral, Argentina, 2011

Thymianidis Michail, Achillas Charisios, Tzetzis Dimitrios, Iakovou Eleftherios, *Modern Additive Manufacturing Technologies. An Up to-Date Synthesis and Impact on Supply Chain Design*, 2nd International Conference on Supply Chains, 2012

Waller M.A. and Fawcett S.E., *A maker movement supply chain. How invention and entrepreneurship will disrupt supply chain design*, Journal of Business Logistics, 35(2):99---102, 2014

Waller Matthew A. and Fawcett Stanley E., *Big data, predictive analytics and theory development in the era of a maker movement supply chain*, Journal of Business Logistics, Volume 34, Number 4, 2013

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

Siti web di riferimento

www.3dartists.org

www.3discover.it

www.3ditaly.it

www.3d-printers.toptenreviews.com

www.3dprinterworld.com

www.3dprintingcreative.it

www.3dprintingindustry.com

www.academia.edu

www.additivemanufacturing.com

www.americamakes.us

www.amnationalstrategy.uk

www.aster.it

www.autonews.com

www.bradleyrothenberg.com

www.carbon3d.com

www.clubdegliorafi.org

www.cmarcelo.com

www.consorziotecnopolis.it

www.contourcrafting.org

www.corriere.it

www.corriereinnovazione.corriere.it

www.econolyst.co.uk

www.economist.com
www.ecosjewel.com
www.emeraldgrouppublishing.com
www.exnovo-italia.com
www.exportonline.org
www.fabbaloo.com
www.fabbricafuturo.it
www.fablabascuola.it
www.focus.it
www.fondazionenorddest.net
www.fool.com
www.forbes.com
www.formfutura.com
www.gizmo3dprinters.com.au
www.i.materialise.com
www.ikeahackers.net
www.illuminotecnica.com
www.ilprogettistaindustriale.it
www.ilsole24ore.com
www.indmatec.com
www.localmotors.com
www.luceinveneto.it
www.made.tn.it
www.makezine.com
www.markuskayser.com

www.materieplastiche.eu
www.metalysis.com
www.mosaicmanufacturing.com
www.naturalmachines.com
www.osservatoriodistretti.org
www.panorama.it
www.papers.ssrn.com
www.protofusione.it
www.repubblica.it
www.rinkak.com
www.rooiejoris.nl
www.sharemind.eu
www.stampa3d-forum.it
www.stratasys.com
www.tecnologiaedesign.it
www.thefoodmakers.startupitalia.eu
www.treedfilaments.com
www.unicredit.it
www.unlimitedtomorrow.com
www.wasproject.it
www.wired.it
www.wize3d.com