

4 LA MANIFATTURA ADDITIVA. ALCUNE VALUTAZIONI ECONOMICHE CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALL'INDUSTRIA ITALIANA

La manifattura additiva (o stampa in 3D) è una modalità produttiva che, utilizzando tecnologie anche molto diverse tra loro, consente la realizzazione di oggetti (parti componenti, semilavorati o prodotti finiti) generando e sommando strati successivi di materiale; ciò contrasta con quanto accade in molte tecniche della produzione tradizionale in cui si procede per sottrazione dal pieno (tornitura, fresatura, ecc.). Si tratta di un'evoluzione importante nell'ambito della più ampia tendenza alla digitalizzazione della manifattura che si attua attraverso il dialogo tra computer e macchine, grazie alla condivisione di informazione (tra macchine, tra persone e tra macchine e persone) resa possibile – tra l'altro – dalla diffusione di internet.

Dal punto di vista tecnologico non si tratta di un'innovazione recente (la stampa 3D si utilizza da metà anni 80 nella prototipazione rapida), ma negli ultimi anni le opportunità di utilizzo di questa tecnologia si sono ampliate notevolmente grazie alla possibilità di “stampare” oggetti di maggiori dimensioni, in una gamma assai più ampia di materiali (in plastica, metallo, ceramica, cera, gesso, materiali compositi, elastomeri, fotopolimeri, ecc.), con tempi di produzione assai ridotti rispetto al passato. Anche il costo delle macchine si è ridotto e l'insieme di questi fattori ha permesso uno sviluppo molto importante di questa tecnologia nella produzione di componenti per uso finale.

Due caratteristiche della produzione additiva sono centrali per comprenderne le potenzialità di sviluppo: consentire di produrre oggetti con geometrie complesse non altrimenti realizzabili in un pezzo unico con le tecniche tradizionali, modificandone la struttura costruttiva con un minore impiego di materie prime, maggiori prestazioni e utilizzando materiali diversi da quelli oggi in uso; fare sì che i costi di realizzazione di varianti rispetto ad un modello base siano sostanzialmente nulli. Ciò implica che la manifattura additiva sia poco indicata su produzioni di grandissima serie (non esistono di fatto economie di scala) ma che essa possa aprire nuove possibilità alla “personalizzazione di massa”.

Tali caratteristiche rendono oggi concepibile l'utilizzo della manifattura additiva nei casi seguenti.

- *Produzioni in cui essa è la tecnologia di elezione, cioè quando permette di ridurre i costi realizzando oggetti con caratteristiche tecniche uguali o superiori (ciò si verifica oggi principalmente nella produzione di palette per turbine e iniettori di carburante per motori aeronautici) o di ottenere standard qualitativi unici, non ottenibili con tecniche tradizionali (come nel caso della produzione di protesi ortopediche e componentistica per competizioni di auto e moto).*
- *Produzioni in cui la tecnologia è competitiva sui costi solo a condizione di modificare il disegno dell'oggetto da realizzare. Le modifiche nel design permettono di valorizzare al massimo il potenziale della manifattura additiva senza compromettere (o migliorando) le caratteristiche tecniche dell'oggetto prodotto. Ciò si verifica oggi principalmente nella componentistica in campo aeronautico. Si tratta però di una fattispecie con enorme potenziale di applicazione nei settori più diversi, a condizione che la progettazione o la re-ingegnerizzazione costruttiva siano coerenti con le potenzialità delle tecnologie additive (think additive).*
- *Produzioni in cui la tecnologia non è competitiva in termini assoluti ma può essere economicamente vantaggiosa per altre motivazioni. Tre casi sono particolarmente rilevanti: i) quando il pezzo stampato in 3D costa di più ma la manifattura additiva (grazie alla sua flessibilità, alla rapidità di produzione senza necessità di stampi o altro attrezzaggio) permette di "immagazzinare file" anziché prodotti, con conseguente riduzione del capitale immobilizzato nelle scorte e dei costi di magazzino (ciò si verifica in primo luogo per la produzione on demand di pezzi di ricambio, soprattutto in ambito aeronautico); ii) quando la manifattura additiva può permettere di far fronte alla improvvisa ed imprevedibile mancanza di componenti per la produzione in linea (in questo caso il componente in sé può risultare più costoso ma la flessibilità e la velocità della nuova tecnologia permettono di evitare costi ben superiori connessi all'interruzione della produzione); iii) quando la manifattura additiva consente la reingegnerizzazione costruttiva di pezzi intrinsecamente più efficienti (e più costosi) che consentono di aumentare la produttività di impianti industriali esistenti.*
- *I settori a oggi più coinvolti sono – oltre alla prototipazione in generale – l'aerospaziale, l'automotive, il biomedicale, il packaging. La manifattura additiva è inoltre particolarmente diffusa nella gioielleria. Osservatori qualificati prevedono un possibile sviluppo anche nei settori delle pompe idrauliche e degli accessori per la moda. Le tecniche della produzione additiva sviluppano i punti di forza dei settori in cui le economie di scala non sono un fattore importante di successo e in cui invece l'agilità e la rapidità di azione costituiscono un fattore vincente.*

4.1 Introduzione*

La manifattura additiva è una modalità di produzione che, utilizzando tecnologie anche molto diverse tra loro, consente la realizzazione di oggetti (parti componenti, semilavorati o prodotti finiti) generando e sommando strati successivi di materiale (*additive manufacturing*) anziché per sottrazione dal pieno (*subtractive manufacturing*), così come è in molte tecniche della produzione tradizionale (tornitura, fresatura, ecc.).

La possibilità di passare da un *file* di testo ad una stampa su carta attraverso il deposito di uno strato di materiale (l'inchiostro o il toner) su un piano (la carta) è ormai da decenni nella nostra pratica quotidiana. Al contrario, la possibilità di "stampare" un oggetto (in plastica, metallo, ceramica, cera, gesso, ecc.) a partire da un disegno CAD (*Computer-Aided Design*) appartiene per ora all'esperienza di un numero significativamente più basso di operatori, sia nell'ambito della manifattura (aziende di produzione e professionisti della progettazione, prototipazione e produzione "rapida") sia nel mondo dei "makers", i cosiddetti "artigiani 2.0" sui quali si vanno concentrando molte attese in termini di innovazione e nuova diffusione delle pratiche creative tipiche dell'artigianato². L'analogia tra le stampanti tradizionali e queste nuove tecnologie giustifica l'uso del termine "stampanti 3D" come sostanziale sinonimo di "manifattura additiva".

Le stampanti 3D, in ogni caso, non sono certo una tecnologia recente. Il loro impiego nell'ambito della "prototipazione rapida" a supporto dei processi di sviluppo dei nuovi prodotti, infatti, risale agli anni 80³ e a partire dalla seconda metà degli anni 90 tale tecnologia di prototipazione si è diffusa in misura significativa in molti settori della manifattura, tra cui, in particolare, quello dell'*automotive*.

Negli ultimi anni questa tecnologia si è notevolmente estesa ad attività di produzione finale e in alcuni ambiti dei settori aerospaziale, biomedicale e *automotive* essa rappresenta la scelta di elezione. Inoltre, la tecnologia di stampa 3D ha conosciuto un ambito di diffusione del tutto nuovo, che ha contribuito alla visibilità del fenomeno sul piano mediatico:

* Questo articolo è stato redatto da Luca Beltrametti e Angelo Gasparre (Università di Genova). Gli autori ringraziano per gli importanti contributi forniti nel corso di una serie di interviste: Antonio Alliva (3DItaly), Fausto Asvisio (Arcam), Fabrizio Barberis (Università di Genova), Gennaro Bartolomucci (Associazione Italiana Audioprotesisti), Alessandro Buson (3D Systems), Alessio Caldano (Technimod-Stratasys), Adriano Campana (La Struttura), Lorenzo Cantini (Kentstrapper), Vito Chinellato (EOS), Simona Ferrari (3D Hubs), Paolo Gennaro (Avio Aero), Piero Giusti (Ducati Motor), Fabio Gualdo (Spring Srl), Luca Iuliano (Politecnico di Torino), Stefano Mosca (Proto Labs); Enrico Maria Orsi (Renishaw), Maurizio Romeo (Protoservice), Matteo Santoro (Camelot), Giorgio Villa (SGV), Cesare Zanetti (Protoservice). La responsabilità per ogni errore è ovviamente solo degli autori.

¹ Si veda Micelli (2011).

² La prima stampante 3D è stata realizzata da 3D Systems nel 1984.

a partire dalla scadenza di alcuni brevetti³ e da un progetto *open-source* (*Rep-Rap Project*) dell'Università di Bath nel Regno Unito⁴, le stampanti 3D hanno potuto diffondersi anche al di fuori del campo della manifattura. Ciò ha alimentato la nascita di un vero e proprio "movimento", quello dei "makers", oggi al centro dell'attenzione dei media, che insegue una sorta di autosufficienza dell'individuo di fronte ad alcuni bisogni soddisfatti dalla manifattura industriale⁵.

In definitiva, la manifattura additiva costituisce un'innovazione radicale e assai rilevante, capace di produrre modificazioni profonde nell'economia e nella società da molteplici punti di vista. Ci si aspetta la possibilità di realizzare oggetti con nuove geometrie, di ridurre le scorte di magazzino, di realizzare una "personalizzazione di massa" di molti prodotti, di ridefinire i processi di localizzazione delle attività produttive con una diversa logistica, una nuova organizzazione del lavoro, nuove professionalità nel campo della manifattura e dell'artigianato e nuovi spazi per l'azione creativa di singoli cittadini. Questo mutamento tecnologico pone d'altra parte notevoli sfide relativamente – tra l'altro – al tema della protezione della proprietà intellettuale e della formazione scolastica e professionale.

Molte delle argomentazioni che vengono qui presentate inducono a pensare che si tratti di un processo di cambiamento di particolare interesse per il tessuto produttivo italiano, caratterizzato da una larga prevalenza di PMI. Le tecniche della produzione additiva, infatti, sviluppano i punti di forza dei settori in cui le economie di scala non sono un fattore importante di successo e in cui invece l'agilità e la rapidità di azione costituiscono un fattore vincente.

4.2 Le stampanti 3D tra realtà e mito

L'aspetto rivoluzionario della manifattura additiva consiste nel fatto che gli oggetti non si realizzano per asportazione di materiale, come è nel caso delle lavorazioni con molte macchine utensili computerizzate a controllo numerico (CNC): fresatrici, torni, presse, centri di lavorazione, ecc. o per saldatura di pezzi distinti; al contrario, gli oggetti si generano per stratificazione e addizione di materiale direttamente in un pezzo unico. Come si vedrà, ciò comporta radicali novità in termini di geometrie realizzabili, consumo di materiale, tipo di input da utilizzare, costo delle varianti, struttura complessiva dei costi e della logistica. Uno dei limiti più significativi delle stampanti 3D, in ogni caso, è quello delle dimensioni dei prodotti con esse fabbricabili: ad oggi, infatti, si possono realizzare oggetti con dimen-

³ Quelli relativi alla stampa con tecnologia a estrusione di filo: *Fused Deposition Modelling*, FDM.

⁴ Nel febbraio del 2014 anche alcuni brevetti della sinterizzazione laser (*Selective Laser Sintering*, SLS) sono scaduti e ciò sta alimentando attese di ulteriore allargamento delle applicazioni nel campo del "nuovo artigianato".

⁵ Si vedano in particolare Gauntlett (2013) e Anderson (2013).

sioni massime dell'ordine del metro cubo nel caso di produzioni con materiali plastici e di meno di mezzo metro cubo nel caso di produzioni in metallo⁶.

La manifattura additiva si colloca nel più ampio contesto della cosiddetta "manifattura digitale" ovvero del fenomeno che da decenni vede un'integrazione tra tecnologie digitali e manifattura attraverso il controllo automatico delle macchine da parte di computer dotati di una crescente capacità di calcolo e di "intelligenza" e attraverso la condivisione di informazione (tra macchine, tra persone e tra macchine e persone) resa possibile dalla diffusione di internet, anche attraverso dispositivi mobili⁷.

Sotto vari profili le stampanti 3D rappresentano un'evoluzione ulteriore delle potenzialità delle macchine computerizzate a controllo numerico. Utilizzando queste ultime alcuni parametri della lavorazione dipendono dalle caratteristiche della macchina: dal CAD si trasmette la "matematica" dell'oggetto da realizzare ma si deve anche definire il "percorso utensile" che è significativamente diverso nel caso in cui, ad esempio, uno stesso progetto tridimensionale debba essere realizzato con un tornio o con una fresa; anche le caratteristiche specifiche della macchina (di quel particolare tornio o di quella particolare fresa) sono rilevanti nella definizione del lavoro; inoltre, la macchina deve essere preparata per ogni specifica lavorazione⁸. Al contrario, con la manifattura additiva qualsiasi stampante 3D riceve da computer la "matematica" e può produrre il pezzo senza alcun adeguamento delle caratteristiche di lavoro alla macchina⁹: il *file* CAD può essere interpretato da qualsiasi macchina e può dare luogo a produzioni in luoghi diversi e con materiali diversi. Inoltre, al contrario delle macchine a controllo numerico, la stampante 3D può realizzare contemporaneamente, sul medesimo piano di lavoro, oggetti anche diversissimi tra loro.

⁶ La stampa riporta notizie di realizzazione addirittura di case con manifattura additiva (es.: www.3dcanal-house.com): si tratta in realtà di progetti sperimentali che prevedono comunque la produzione in loco con il deposito del calcestruzzo in strutture predisposte ad hoc.

⁷ Per un approfondimento si vedano: Annunziata e Evans (2013); Foresight (2013); Brynjolfsson e McAfee (2014); Berta (2014).

⁸ La preparazione della macchina e il posizionamento del pezzo nella macchina richiedono una quantità di lavoro e competenze più specifiche rispetto a quelle necessarie per operare con una stampante 3D. Quest'ultima richiede ovviamente un operatore con una professionalità specifica ed elevata ma tale professionalità è relativa al funzionamento della macchina, non della specifica produzione da realizzare. Occorre però non generalizzare: per esempio, alcuni materiali per la manifattura additiva, infatti, sono "anisotropi"; ciò implica che è rilevante la direzione in cui avviene la produzione (strato dopo strato) rispetto alla resistenza fisica che l'oggetto finale deve avere. In questi casi la gestione della manifattura additiva deve tenere conto quindi non solo dell'esigenza di ottimizzare lo sfruttamento dello spazio macchina ma anche di questi vincoli costruttivi.

⁹ Fatte salve le procedure di calibrazione e settaggio della stampante per ogni specifico materiale da utilizzare per la produzione.

Queste caratteristiche delle tecnologie additive, dunque, stanno suscitando un grande interesse da parte delle aziende manifatturiere, attratte dai benefici ottenibili in particolare nelle applicazioni su piccola scala e per pezzi dalla geometria particolarmente complessa. Sul fronte mediatico, nel giornalismo economico e nelle pubblicazioni nel campo delle nuove tecnologie il tema è parimenti nel pieno di un vero e proprio boom di attenzione¹⁰. La ricerca scientifica è fortemente polarizzata sul piano tecnologico mentre il tema è ancora poco approfondito sotto il profilo economico, strategico e organizzativo, aspetti oggi effettivamente più rilevanti che in passato dal momento che le applicazioni delle stampanti 3D riguardano sempre più l'ambito della produzione oltre a quello classico della prototipazione.

Un tema effettivamente nuovo, dunque, ed un clima complessivo di fortissima enfasi sulle potenzialità dirompenti di queste tecnologie, cui è addirittura attribuita la capacità di innescare una "terza rivoluzione industriale"¹¹, quando non, addirittura, di "cambiare il mondo"¹². Tanta enfasi, evidentemente, non può che indurre alla cautela nella valutazione delle implicazioni economiche e sociali di un'innovazione certamente importante, ma che occorre studiare e approfondire nei prossimi anni per distinguere le potenzialità sul piano del cambiamento dalla dimensione retorica e di "mito" che già va caratterizzando il fenomeno.

Occorre cercare di cogliere gli effetti complessivi di una pluralità di fenomeni innovativi, dalla manifattura additiva alla robotica a internet, insieme alla trasformazione delle modalità di relazione tra aziende e clienti ed alla nuova propensione a "partecipare" e a condividere informazioni, saperi e conoscenze da parte delle persone.

4.3 Le dimensioni del fenomeno

Le applicazioni della manifattura additiva sono in costante crescita da ormai molti anni¹³ sebbene le dimensioni di questo mercato siano per ora complessivamente contenute (Grafico 4.1): 2,2 miliardi di dollari di fatturato stimato a livello mondiale nel 2012 (+28,5% rispetto al 2011), di cui un miliardo per materiali e sistemi (segmento chiaro nel grafico), 1,2 miliardi per servizi (segmento scuro). Si tratta, evidentemente, di una cifra ancora trascurabile se rapportata al valore della manifattura a livello mondiale (circa 11.600 miliardi).

¹⁰ Per esempio, Google Trend misura l'interesse per il tema "3D printing" pari a 21 nell'aprile 2012, pari a 100 nel maggio 2013 e pari a 64 nell'aprile 2014; l'interesse per il tema "additive manufacturing" passa tra l'aprile 2012 e l'aprile 2014 da 44 a 100.

¹¹ Si veda ad esempio Berman (2012); Barnatt (2013) oltre al numero speciale de *The Economist* del 21 aprile 2012: *The third industrial revolution*.

¹² Così, ad esempio Campbell et al. (2011); D'Aveni (2013); Lipson e Kurman (2013).

¹³ La fonte principale di dati in questo campo è il Wohlers Report pubblicato annualmente a partire dal 1995 dalla Wohlers Associates Inc.. I dati citati si riferiscono all'ultima edizione disponibile, quella del 2013.

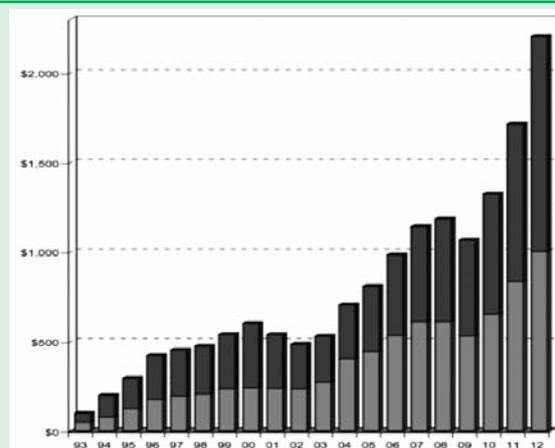
Il trend del settore, in ogni caso, è ben rappresentato dal tasso medio annuo di crescita del fatturato complessivo a livello mondiale negli ultimi 25 anni, stimato dell'ordine del 25,4% (+27,4% nel triennio 2010-2012). Anche il fatturato delle materie prime impiegate nella manifattura additiva (resine, polveri, filamenti di plastica, ecc.) è ovviamente in crescita (422,6 milioni di dollari nel 2012, +29,2% rispetto al 2011, +495% rispetto al 2001) (Grafico 4.2).

Il Wohlers Report fornisce, inoltre, alcune stime sulle aspettative di crescita della manifattura additiva, sulla base delle informazioni raccolte presso un panel di 21 esperti del settore: ci si attende che il fatturato possa arrivare a 4 miliardi nel 2015, 6 miliardi nel 2017 e superare i 10 miliardi nel 2021. Decisamente più ottimistiche le previsioni del gruppo di esperti ingaggiati dal governo inglese: 100 miliardi entro il 2020¹⁴.

Nel 2012 le aziende produttrici di stampanti 3D per uso industriale erano 33 a livello mondiale: 16 in Europa, 7 in Cina, 5 negli Stati Uniti e 2 in Giappone. In Italia la realtà produttiva più importante oggi è DWS (Digital Wax System), mentre a livello mondiale i maggiori produttori sono: Stratasys, 3D Systems, Arcam, Eos, ExOne, Envisiontec, Renishaw, Bejiing Tiertime. Per quanto riguarda le quote di mercato dei diversi produttori non è semplice proporre una classifica attendibile, in assenza di dati sul fatturato delle aziende produttrici non quotate¹⁵. Stratasys e 3D Systems, in ogni caso, costituiscono i due maggiori pla-

Grafico 4.1

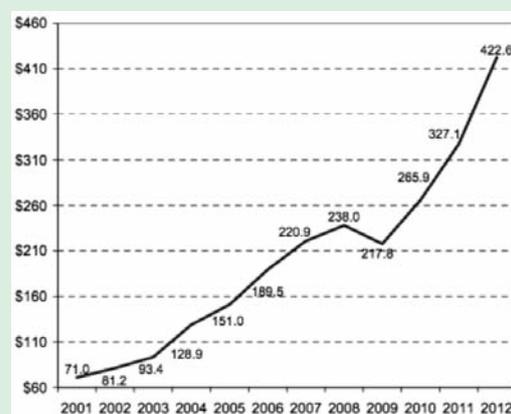
In rapida crescita il fatturato della manifattura additiva... (Miliardi di dollari)



Fonte: Wohlers Report (2013): p. 123.

Grafico 4.2

... e dei materiali da essa utilizzati (Milioni di dollari)



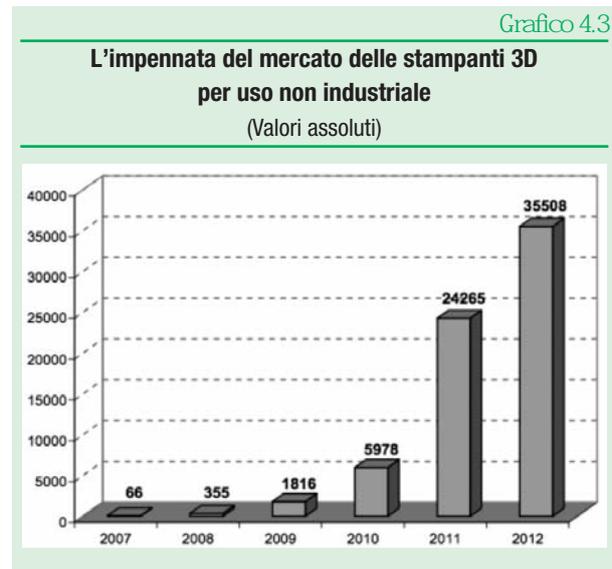
Fonte: Wohlers Report (2013): p. 125.

¹⁴ Si veda Dickens, Kelly e Williams (2013).

¹⁵ Ad oggi le aziende produttrici di stampanti 3D quotate sui mercati finanziari sono Stratasys, 3D Systems e ExOne (Nasdaq), Arcam (Nasdaq OMX Sweden) e Renishaw (LSE).

yer del settore con fatturati annui comparabili, pari a circa 350 milioni di dollari (2012)¹⁶, seguiti da Arcam e ExOne. Per quanto riguarda le macchine installate, i dati disponibili confermano il dominio del mercato da parte di Stratasys e 3D Systems, le cui quote sul totale delle unità vendute sono rispettivamente del 57,4%¹⁷ e del 17,5%, a cui seguirebbero quote sensibilmente inferiori per gli altri produttori (Envisiontec 11,3%; Bejiing Tiertime 2%; EOS 1,9%)¹⁸.

Trend di crescita estremamente significativi riguardano, inoltre, il mercato delle stampanti 3D per uso non industriale, spesso indicate come stampanti “desktop”, il cui mercato di riferimento riguarda per ora sia l’hobbistica e il fai-da-te sia le piccole applicazioni nel campo dell’artigianato e della prototipazione nei progetti di architettura e ingegneria di piccola scala. Il Grafico 4.3 mostra le proporzioni di questa crescita a partire dalla prima diffusione di tali prodotti nel corso del 2007¹⁹.



4.4 Le implicazioni economiche

In presenza di innovazioni a così ampio spettro non è facile stimare l’effettiva portata economica e le implicazioni strategiche sul piano aziendale delle applicazioni della manifat-

¹⁶ Le due aziende, inoltre, hanno recentemente dato luogo ad alcune acquisizioni strategiche: Stratasys ha acquisito Solidscape nel maggio 2011 e si è fusa con l’israeliana Object nel dicembre 2012; nel giugno 2013, inoltre, ha acquisito MakerBot, il principale player del comparto “desktop” a livello mondiale. 3D Systems a sua volta aveva acquisito Z Corp e Vidar alla fine del 2011 e nel 2014 ha incorporato Medical Modeling Inc..

¹⁷ Il valore comprende anche la quota di Object, acquisita nel dicembre 2012 e di Solidscape, un’altra azienda appartenente a Stratasys.

¹⁸ Tali dati, in ogni caso, sono lontani dal rappresentare in maniera affidabile le caratteristiche della struttura del mercato della produzione di stampanti per uso industriale dal momento che i prezzi unitari delle singole unità vendute possono variare da \$5.000 a più di \$1 milione. Tali problematiche di stima riguardano anche la localizzazione geografica delle unità vendute (Stati Uniti: 38%; Giappone: 9,7%; Germania: 9,4%; Cina: 8,7%; Regno Unito: 4,2%; Italia: 3,8%; Francia: 3,2%; Corea: 2,3%; Taiwan: 1,5%; Russia: 1,4%; Spagna: 1,3%) e della produzione (Stati Uniti: 60,9%; Europa: 19,2%; Israele: 14,5%; Asia: 5,4%).

¹⁹ Nel Wohlers Report le stampanti 3D il cui valore di vendita è inferiore a 5.000 dollari sono classificate “per uso non industriale”.

tura additiva. Il fenomeno, peraltro, sta rapidamente evolvendo, portando con sé promesse del tutto realistiche ma anche aspettative generiche e talvolta velleitarie.

Prima di considerare in termini concreti i diversi ambiti di applicazione della manifattura additiva, sembra utile discutere preliminarmente alcune idee di fondo che portano molti osservatori a ritenere che l'impatto economico di queste nuove tecnologie sia importante e radicale.

Meno scorte di magazzino

Una prima questione riguarda i cambiamenti nella gestione del magazzino e delle attività logistiche. A partire da un file CAD, infatti, la manifattura additiva permette di realizzare pezzi unici o di piccola serie dove e quando lo si desidera, senza necessità di predisporre complesse lavorazioni e di elaborare preliminarmente manufatti dedicati (es. stampi, calchi, ecc.). La razionalizzazione delle scorte e l'ottimizzazione della logistica interna – capisaldi della *lean production* – avrebbero quindi un potente alleato nelle tecniche della manifattura additiva, dal momento che si può immaginare che diminuirà di molto la necessità di detenere scorte di pezzi di ricambio se essi potranno essere “stampati” *just in time*, soprattutto nei casi in cui (es. nel settore aeronautico, ma anche *automotive*) il valore di tali pezzi sia elevato così come l'urgenza di disporne in tempi rapidi. In alcuni casi, i costi unitari di produzione potrebbero essere superiori con le tecniche additive rispetto al caso in cui fossero realizzati con tecniche tradizionali, ma tale maggior costo potrebbe essere più che compensato dai risparmi derivanti dalla ottimizzazione della gestione del magazzino: sia in termini finanziari (riduzione dei capitali immobilizzati) sia con riferimento alla potenziale riduzione delle superfici dei magazzini e dei costi della logistica²⁰.

Meno vincoli alla progettazione

Rispetto alle tecnologie tradizionali, la manifattura additiva annulla quasi completamente i vincoli tecnici alle geometrie degli oggetti²¹. Ciò determina la possibilità di realizzare beni intrinsecamente superiori sotto il profilo tecnico-funzionale. Alcuni esempi aiutano a comprendere questo punto.

Un primo caso si riferisce alla produzione di componenti che in fase di utilizzo saranno sottoposti a sollecitazioni termiche, necessitando dunque di un circuito di raffreddamento

²⁰ Si consideri che un aeroplano può arrivare a contenere 4 milioni di pezzi (White e Lynskey, 2013).

²¹ Oltre ai limiti relativi alle dimensioni dei pezzi che possono essere stampati in 3D, a cui si è già fatto riferimento, permangono alcuni limiti relativi a lavorazioni con pendenze rispetto al piano di lavorazione superiori a certi livelli. Tali limiti dipendono dal materiale e dalla tecnologia utilizzata.

al proprio interno. Con le tecnologie tradizionali una prima alternativa è la realizzazione di un manufatto per saldatura di più parti oppure, se occorre che il pezzo sia in blocco unico, la realizzazione di una pluralità di fori (necessariamente rettilinei) che, incontrandosi, formano un circuito di raffreddamento interno. Gli assi di intersezione tra le forature, in ogni caso, creano angoli, una circostanza non ottimale dal punto di vista della circolazione dei fluidi. Con la manifattura additiva, al contrario, è possibile realizzare pezzi in blocco unico che contengono al proprio interno circuiti di raffreddamento, le cui geometrie possono essere progettate con un andamento curvilineo che ne ottimizza le proprietà fluidodinamiche.

Un'applicazione analoga riguarda il settore del *packaging*: una primaria azienda italiana del settore, ad esempio, ha ottenuto una consistente riduzione dei costi di esercizio dei propri impianti costruendo in manifattura additiva l'ugello soffiatore di aria calda con la quale si saldano le confezioni. La possibilità di intervenire nelle geometrie dei circuiti stampati del soffiatore secondo la logica "free-form", infatti, ha consentito anche in questo caso di ottimizzarne le proprietà fluidodinamiche ottenendo così una temperatura più omogenea sulla linea di saldatura. Ciò ha permesso di ridurre la temperatura dell'aria erogata dal soffiatore, con un risparmio energetico molto importante.

Un'altra applicazione riguarda il caso di un'azienda che produce componenti in plastica su larga scala. Il processo produttivo richiedeva la realizzazione di stampi in metallo, che erano prodotti con la tecnica tradizionale della fresatura. Con la manifattura additiva gli stessi stampi sono stati migliorati, introducendovi un circuito interno di raffreddamento la cui geometria è stata ottimizzata dal punto di vista termo-fluidodinamico: ogni singolo stampo oggi costa di più rispetto al passato ma l'ottimizzazione della sua struttura interna ha consentito un drastico miglioramento delle prestazioni della linea di produzione dal momento che il ciclo di stampaggio si è ridotto drasticamente, arrivando a dimezzarsi.

Un secondo caso si riferisce alla possibilità di ottenere, grazie alla maggiore libertà sul piano costruttivo, pezzi più leggeri a parità di proprietà fisiche di resistenza: si tratta di un obiettivo molto rilevante in una molteplicità di ambiti applicativi; si pensi, ad esempio, al settore aerospaziale²². Minori vincoli progettuali, infatti, rendono realizzabili forme strutturalmente più robuste, utilizzando al contempo meno materiale. Con la manifattura additiva, infatti, è possibile ridurre il corpo degli oggetti aggiungendo al contempo sottostrutture reticolari di supporto particolarmente performanti sul piano della resistenza fisica

²² In Avio Aero la manifattura additiva consente la realizzazione di pale di turbine per jet in lega di alluminio e titanio con prestazioni termodinamiche equivalenti ai materiali convenzionali, ma con peso ridotto del 50% e costi del 50% inferiori.

e/o particolari nervature dalla geometria complessa. Alla riduzione di peso si associano benefici evidenti sul piano del consumo energetico connesso alla loro movimentazione²³.

Un terzo caso, infine, si riferisce alle potenzialità connesse alla riduzione dei vincoli costruttivi per realizzare oggetti con migliori proprietà aerodinamiche, un obiettivo rilevante sia nei settori nei quali la velocità è fattore strategico di successo (es.: Formula 1, Motorsport ecc.) sia per i benefici associati al risparmio energetico.

Alla maggiore libertà in termini di geometrie realizzabili, peraltro, si associa la riduzione del numero inferiore di pezzi da assemblare: ciò ovviamente determina non solo un minor costo del lavoro per unità di prodotto ma anche – nel caso in cui le tecniche tradizionali prevedano la saldatura di più pezzi – livelli più elevati di funzionalità tecnica: le saldature non solo sono costose ma possono anche rappresentare punti di fragilità.

Accanto a questi benefici potenziali sul piano tecnico-funzionale, un secondo ordine di considerazioni riguarda il profilo estetico degli oggetti prodotti con le tecniche della manifattura additiva. Minori vincoli costruttivi alla creatività del progettista, infatti determinano un ampliamento delle possibilità di design, alla ricerca di forme più belle, originali, distintive, ecc., circostanze che possono evidentemente essere sfruttate sul piano commerciale.

“Think additive”

Se la manifattura additiva permette di realizzare componenti o prodotti intrinsecamente superiori sul piano tecnico-funzionale o estetico, allora è sbagliato valutare la possibilità di avvalersi di queste tecnologie facendo esclusivo riferimento ai costi di produzione di uno stesso oggetto realizzato con tecniche additive o con tecniche tradizionali. Come è evidente dagli esempi sopra citati, è possibile che la realizzazione di un oggetto nella sua attuale configurazione sia più costosa con una stampante 3D. È infatti dalla re-ingegnerizzazione delle forme costruttive che è possibile ottenere i vantaggi economici maggiori connessi all'adozione delle tecnologie additive.

Si tratta di un punto essenziale: nel campo della manifattura tradizionale (si pensi alla fresatura) l'attività di progettazione incorpora l'idea-guida di una produzione le cui specifiche devono tendere a minimizzare le attività “sottrattive”, secondo il principio per il quale “meno materiale tolgo, meno costa”. Nel caso della manifattura additiva, invece, la medesima logica di fondo di massimizzazione dell'efficienza produttiva si traduce in una progettazione tesa a minimizzare l'impiego di materiale, secondo il principio per il quale “meno materiale impiego, meno costa”.

²³ 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 di dollari per aerei impegnati su tratte brevi.

I vincoli e le opportunità della progettazione e della produzione cambiano nella logica *additive* e i maggiori vantaggi economici derivano dalla possibilità per le aziende manifatturiere di ripensare la progettazione degli oggetti in modo da valorizzare appieno le potenzialità di questa tecnologia secondo criteri nuovi²⁴.

Cambiamenti nei materiali

Un'altra linea di analisi della trasformazione dei processi produttivi della manifattura con le tecnologie additive riguarda la possibilità di introdurre cambiamenti dei materiali utilizzati, con fenomeni potenzialmente di segno opposto.

Da un lato, ciò consente una drastica riduzione dell'impiego di materie prime, cosa che potrebbe modificare i termini della comparazione tra costi e benefici connessi alla scelta di produrre con materiali più pregiati e performanti. D'altra parte, la possibilità di intervenire sulle geometrie costruttive potrebbe indurre a utilizzare, invece, materiali meno pregiati e costosi, se la re-ingegnerizzazione dell'architettura dei manufatti permettesse di ottenere con essi i medesimi parametri di performance tecnico-funzionale.

Lo stato originario dei materiali utilizzati nella manifattura additiva cambia rispetto alle lavorazioni tradizionali. Nel caso dei metalli, si passa da lingotti a polveri estremamente fini (45-100 micron), che devono essere appositamente prodotte e poi lavorate attraverso processi di sinterizzazione laser o di altro tipo. Nel caso delle plastiche, invece, la manifattura additiva richiede la produzione ad hoc di materiali specifici di qualità controllata che si presentano sotto forma di polveri, resine o filamenti.

È importante notare, a questo proposito, che ciò muta la quantità di energia complessivamente consumata, oltre che il luogo in cui avviene il suo consumo. L'impatto ambientale netto della manifattura additiva non è ovvio. In termini positivi agiscono il minor utilizzo di materia prima²⁵, la maggiore efficienza della filiera logistica²⁶ e la possibile sostituzione

²⁴ Per un quadro concettuale delle opportunità di cambiamento della regolazione organizzativa nel rapporto con le innovazioni tecnologiche si veda Masino (2005).

²⁵ Tipicamente, per realizzare un prodotto del peso di 1 kg mediante un procedimento di fusione servono circa 4 kg. di materia, mentre nel caso della produzione additiva ne bastano circa 1,1-1,5 kg.

²⁶ Si consideri che nel caso delle manifatture tradizionali la logistica dei materiali prevede una prima fase di trasporto delle materie prime (ad esempio il metallo) sul luogo di produzione, una seconda fase connessa al trasporto degli scarti dal luogo di produzione a quello di smaltimento e, nel caso in cui vi siano scarti di lavorazione utilizzabili, una ulteriore movimentazione fino al luogo del loro riutilizzo. Nel caso della manifattura additiva, invece, lo sfrido è minimo e minimi sono quindi i costi economici ed ambientali del recupero degli scarti di lavorazione.

di materiali la cui produzione è ad alta intensità di energia con altri a minor impatto energetico. In termini potenzialmente negativi agisce invece il fatto che i processi di fusione delle polveri hanno un consumo di energia – per unità di massa di materia prima – molto superiore rispetto ai processi tradizionali²⁷; inoltre, la produzione di polveri di metallo richiede più energia rispetto alla produzione tradizionale di lingotti: ciò ovviamente si riflette sul costo della materia prima²⁸.

Economie di scala

Una delle ragioni che spiegano l'euforia di chi evoca l'avvio di una "terza rivoluzione industriale" associata all'avvento della manifattura additiva discende dalla (quasi totale) assenza in essa di economie di scala: il costo di produzione di un oggetto stampato in 3D è (quasi) indipendente dai volumi (Tabella 4.1).

Una stampante 3D può realizzare in ogni ciclo di produzione – che, nel caso del metallo, può durare anche una decina di ore – un numero di pezzi che variano da uno ad un massimo di alcune decine o centinaia, in relazione alle dimensioni dei pezzi stessi e della camera di lavoro della stampante. In questo contesto le economie di scala sono molto limitate: al crescere della produzione l'andamento dei costi totali è crescente secondo una funzione sostanzialmente lineare²⁹. Alcune non linearità sono presenti, ma molto ridotte su ogni singola macchina³⁰ e piuttosto limitate anche nella messa in serie di più macchine³¹.

Ad oggi, dunque, la manifattura additiva non è competitiva sul piano dei costi nelle produzioni su larga scala. L'assenza di economie di scala, in ogni caso, si trasforma in un punto

²⁷ Anche di 100 volte superiore per i metalli e di 10-50 volte per le plastiche (Wohlers Report 2013, p. 186)

²⁸ Per esempio, nel caso del titanio, si passa da circa €90 al kg per i lingotti a circa €190 al kg per le polveri.

²⁹ Per un'analisi comparativa dei costi connessi alla produzione con tecniche tradizionali e additive di componenti metallici in campo aeronautico si veda Atzeni e Salmi (2012). Si veda inoltre Atzeni, Iuliano *et al.* (2013).

³⁰ Si tratta di non linearità di minima portata che riguardano il consumo di materiali: per esempio, le stampanti che utilizzano materie plastiche effettuano uno "spurgo" (di materiale che viene quindi sprecato) dopo il deposito di ciascuno strato e ciò avviene indipendentemente dal numero di oggetti che si stanno stampando. Anche il costo in termini di ore-macchina ha un andamento "a gradini", all'aumentare della quantità da produrre: per ottimizzare l'impiego delle risorse occorre saturare la capacità della macchina in ogni ciclo produttivo e saturare l'utilizzo della macchina nell'arco delle 24 ore.

³¹ L'utilizzo in parallelo di più macchine riduce il costo unitario del lavoro (relativo al personale che imposta il ciclo produttivo e ritira la produzione al termine di ogni ciclo) e il costo unitario relativo alla logistica degli approvvigionamenti e della manutenzione. La presenza di più macchine può inoltre permettere di dedicare una o più macchine all'impiego di ciascun materiale, riducendo i costi (relativi ai tempi per la pulizia ed il resettaggio della macchina) da supportare ogni volta che si cambia – in casi in cui ciò sia possibile – il materiale utilizzato per la stampa.

di forza molto importante nelle produzioni in pezzo unico o in piccola serie: i costi delle varianti sono sostanzialmente nulli³². Il lavoro di revisione, infatti, può avvenire sul disegno costruttivo (al CAD) senza alcuna necessità di intervenire sui macchinari; soprattutto, non è necessario predisporre nuovi stampi, i cui costi di realizzazione sono tipicamente assai elevati e si giustificano solo quando la produzione da realizzare è di grandi numeri. Sotto questo profilo dunque la manifattura additiva metterebbe in discussione l'idea tradizionale per la quale vi sarebbe un *trade-off* tra produzione di massa a buon mercato, che sfrutta le economie di scala, e produzione personalizzata ad alto costo³³.

Se effettivamente le economie di scala sono destinate a contare meno nel futuro della manifattura, allora questa è una buona notizia in particolare per le piccole e medie imprese, perché comporta un drastico ridimensionamento della componente di rischio insita nella garanzia di un "lotto minimo" capace di giustificare gli investimenti in innovazione. Inoltre, se il peso delle economie di scala si riduce, si abbassano le barriere economiche all'entrata di nuove imprese in mercati tradizionalmente chiusi alle realtà imprenditoriali di piccole e medie dimensioni. La manifattura additiva, inoltre, utilizza forse uno stock di capitale meno specifico (ossia macchinari meno specializzati); tale circostanza – se verificata – aumenterebbe l'interscambiabilità dello stock di capitale tra i diversi settori industriali e amplierebbe le possibilità di ricorso a produttori terzi: ciò riduce i costi del lancio di nuovi prodotti e rende più semplice e meno costoso passare da un'idea progettuale alla fase di commercializzazione.

Tabella 4.1

Efficienza tecnica, volumi, personalizzazione		
	Economie di scala	"Economie da personalizzazione"
<i>Fonti del vantaggio competitivo</i>	Bassi costi, alti volumi	Personalizzazione
<i>Supply chain</i>	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
<i>Distribuzione</i>	Costi di trasporto coperti dagli alti volumi	Interazione diretta tra consumatori locali/clienti e produttori
<i>Modello economico</i>	Costi fissi + costi variabili	Costi variabili dominanti
<i>Progettazione</i>	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
<i>Competizione</i>	Competitors ben definiti	Competitors in continuo cambiamento

Fonte: elaborazione sulla base di Petrick e Simpson (2013): p. 13.

³² In realtà alcuni costi nella realizzazione di varianti permangono, in particolare, per ciò che riguarda la necessità di verificare che la variante sia compatibile con le caratteristiche tecniche del processo produttivo ovvero che non violi i vincoli dimensionali, costringendo, per esempio, a produrre meno pezzi in ogni ciclo produttivo.

³³ Si veda Foresight (2013: p. 79).

Ciò abbatte la rischiosità di un investimento. È anche possibile eseguire piccole produzioni per testare la reazione del mercato prima di effettuare grandi investimenti.

“Mass customization”

Il venir meno delle economie di scala nella manifattura additiva renderebbe possibile una radicale ristrutturazione del settore manifatturiero verso produzioni locali di piccola scala e di alta qualità. È questa un’idea che sta appassionando molti osservatori della “rivoluzione delle stampanti 3D”: un futuro nel quale scomparirebbero le grandi imprese e la produzione di massa sarebbe un ricordo di un’epoca passata dello sviluppo industriale.

È bene chiarire che di questo processo di trasformazione, ad oggi, non c’è alcuna traccia. Né le applicazioni concrete più rilevanti della manifattura additiva (nell’*aerospace*, negli *implants* biomedicali e nel *racing*, tre ambiti lontanissimi dalla produzione di massa) suggeriscono che una simile trasformazione sia stata avviata o sia prevedibile nel prossimo futuro per beni di largo consumo, per i quali la manifattura additiva oggi non è competitiva e nemmeno potrà esserlo in futuro, a meno di non immaginabili salti tecnologici.

È certamente vero, però, che l’enorme disponibilità da parte delle aziende di dati sui gusti e sui comportamenti dei propri clienti, unita alla possibilità di interagire direttamente con essi attraverso internet, costituisce un fattore importante per la valorizzazione delle potenzialità della manifattura additiva. L’idea di base è quella di un’integrazione/trasformazione dei processi organizzativi tipici della produzione di massa alla luce delle potenzialità della rete e della stampa 3D in termini di personalizzazione dei prodotti, sulla base dei gusti, delle esigenze e della specifica propensione a “partecipare” dei consumatori. La letteratura di marketing cita molteplici sperimentazioni avviate da alcuni importanti produttori di beni di largo consumo come Levi Strauss’s, Nike e Swatch, interessati ai processi della manifattura additiva per la personalizzazione dei prodotti. Sperimentazioni, ma che potrebbero portare ad applicazioni concrete e di portata più ampia³⁴.

Re-shoring?

La maggiore competitività delle produzioni su piccola scala, il bassissimo livello di *labour intensity* e il contenuto impatto ambientale della manifattura additiva possono far prevedere per il futuro una minore concentrazione spaziale delle fabbriche e la collocazione delle stazioni produttive più vicina ai punti di consumo, anche all’interno dei centri urbani. Resta

³⁴ Per un approfondimento si veda Reeves, Tuck e Hague (2011).

aperta la questione del ruolo delle economie di contesto tipiche dei cluster e dei distretti in questo nuovo scenario tecnologico.

Lo sviluppo della manifattura additiva potrebbe comunque ridurre l'incentivo a delocalizzare nei paesi emergenti a basso costo del lavoro: il fattore lavoro incide, infatti, meno sul costo totale, il costo della materia prima è sostanzialmente identico e le minori problematiche di inquinamento ambientale associate alla stampa 3D riducono l'importanza dei vantaggi competitivi dei paesi con normative ambientali meno rigide.

In altri termini, ci si aspetta una ridefinizione delle *supply chain*, oggi globali, verso relazioni di connessione regionale tra imprese, dotate di un minor grado di strutturazione e interconnessione sequenziale.

Se tali considerazioni assumono una connotazione positiva per le economie dei paesi occidentali occorre però riflettere sulle implicazioni di una simile trasformazione sul piano occupazionale. I processi produttivi eventualmente re-importati nei paesi a più elevato tasso di sviluppo avrebbero la caratteristica di essere estremamente ricchi sul piano tecnologico, mentre richiederebbero una intensità di lavoro che è incomparabilmente inferiore rispetto a quella che contraddistingue la produzione manifatturiera tradizionale. Una circostanza che genera dubbi sulla tenuta sociale dei nuovi paradigmi produttivi iper-tecnologici³⁵.

Proprietà intellettuale

Lo sviluppo della manifattura additiva implica la soluzione di alcuni problemi legati alla tutela della proprietà intellettuale, un tema che, come è noto, è oggi oggetto di un ampio dibattito. La digitalizzazione dei processi produttivi rende infatti tale tutela sempre più difficile. Nel caso specifico della manifattura additiva, diviene più arduo identificare violazioni: in quale misura un disegno CAD è stato modificato per la stampa in 3D? Dove si colloca il confine tra realizzazione di singoli pezzi di ricambio e la copia di un manufatto protetto? Occorre che giuristi e legislatori lavorino su questi aspetti: ciò è urgente anche in relazione al fatto che, laddove il venir meno delle economie di scala costituisce una "protezione" minore, la protezione giuridica diventa più importante. Rimane invariato sullo sfondo il consueto dilemma: da un lato, forti forme di tutela incentivano gli sforzi in ricerca e sviluppo garantendo un ritorno che può derivare dall'innovazione; dall'altro, il progresso tecnologico si genera anche con l'ibridazione e il miglioramento incrementale di innovazioni precedenti e vi è quindi un interesse collettivo a forme di tutela più tenui.

³⁵ Sul punto si veda: Brynjolfsson e McAfee (2014).

4.5 Alcune applicazioni nella manifattura italiana

Ad oggi in Italia le applicazioni più significative delle stampanti 3D per uso industriale si trovano sia nel campo ormai consolidato della prototipazione rapida sia nella produzione di parti e componenti per uso finale nel settore aerospaziale, nel settore biomedicale (protesi - soprattutto di anca - ortodonzia e audioprotesi) e nel settore *automotive*, con particolare riferimento al comparto *racìng*.

Nella prototipazione

Nel campo della prototipazione industriale la tecnologia additiva può contare oggi su quasi tre decenni di storia. Le prime applicazioni riguardano il settore automobilistico e hanno certamente contribuito in maniera determinante a realizzare una vera e propria rivoluzione, negli scorsi due decenni, nel campo dello sviluppo di nuovi prodotti; benché il fenomeno non abbia ottenuto altrettanta eco mediatica, grazie alle potenzialità delle tecnologie additive i tempi necessari per rinnovare le linee di prodotto sono passati da 36/40 mesi a soli 18, un risultato a cui sono connesse trasformazioni di portata ancora più ampia sul piano strategico e del marketing e nell'organizzazione del lavoro nell'industria. Ciò è stato possibile in primo luogo grazie all'innovazione nella progettazione e nel disegno industriale (il passaggio al CAD) ma ha avuto un fattore propulsivo la possibilità di realizzare in tempi rapidissimi prototipi fisici con l'utilizzo delle stampanti 3D.

La realizzazione di prototipi è fondamentale per eliminare errori di progettazione che possono emergere solo in fase applicativa³⁶. Essa, inoltre, è cruciale per fornire strumenti concreti per le azioni di marketing (interno ed esterno) e anche sul piano negoziale nel rapporto con i fornitori di componenti: la disponibilità di un prototipo fisico, infatti, riduce le ambiguità insite in un disegno costruttivo (sia pure CAD) e dunque la necessità del fornitore di cautelarsi con prezzi più elevati dal rischio di complessità impreviste nella realizzazione del pezzo.

L'impiego di stampanti 3D comporta numerosi vantaggi: in primo luogo un forte accorciamento dei tempi di realizzazione del prototipo (e quindi dei tempi di progettazione); l'azzeramento di ogni incertezza legata alla discrezionalità e agli eventuali errori nell'interpretazione del disegno costruttivo³⁷ e, infine, la riduzione dei costi dei modelli. Que-

³⁶ Si ritiene generalmente che una modifica abbia un costo pari a 1 in fase di progettazione, a 10 in fase di pre-serie (ho predisposto le attrezzature ma non è ancora iniziata la produzione) e a 100 in fase di produzione.

³⁷ Un tempo compito del "modellista" era gestire il passaggio dal disegno costruttivo al modello (per es. in legno): con la stampa 3D questo passaggio è del tutto superato.

st'ultima ha permesso l'ampliamento significativo della prototipazione fino a comprendere in molti casi tutti i componenti di un oggetto complesso³⁸.

Si noti, tuttavia, che non tutta l'innovazione tecnologica nel campo della prototipazione rapida passa necessariamente attraverso l'adozione della manifattura additiva: importanti realtà industriali continuano ad adottare macchine a controllo numerico per passare dal disegno Cad ad uno stampo e poi all'oggetto realizzato in fusione. Anche questo approccio "tradizionale" può beneficiare di importanti aumenti di produttività associati all'uso del digitale: software automatici che danno in tempo reale un preventivo al cliente che carica via internet un *file* CAD di un oggetto da realizzare, sfruttamento di economie di scala concentrando la produzione (e quindi il riciclo del materiale) in un unico grande stabilimento connesso via internet con i clienti e consegna rapidissima del prodotto. Tale impostazione "tradizionale" permette poi di realizzare prototipi o beni finali in tirature non superiori, di norma, alle 10.000 unità in materiali innovativi che la manifattura additiva non riesce a gestire (es.: plastiche rinforzate con fibra di vetro o di carbonio).

Dalla prototipazione alla produzione

La novità degli anni più recenti, in ogni caso, è la crescita di importanza dell'utilizzo delle stampanti 3D per uso industriale nella produzione di parti e componenti per uso finale. Benché il rapporto tra prototipazione e produzione sia ancora decisamente sbilanciato a favore della prototipazione, è nelle applicazioni produttive che la manifattura additiva esprime ormai il suo potenziale di rottura dei paradigmi dominanti nella manifattura tradizionale³⁹.

I tre settori nei quali le tecnologie additive hanno soppiantato le tecnologie tradizionali e costituiscono la pratica tecnologica di elezione sono quelli, già citati, dell'aerospaziale per la produzione di parti componenti dei motori aeronautici⁴⁰, del biomedicale, con particolare riferimento alla produzione di supporti protesici in campo ortopedico, nell'ortodonzia e nelle audioprotesi e, infine, nella produzione di parti componenti per il settore *motorsport*.

³⁸ In campo automobilistico si arriva oggi alla prototipazione di ogni singolo componente di un motore. Tale circostanza ha anche il vantaggio di rendere più tempestiva la formazione e l'addestramento dei meccanici addetti alla manutenzione, ancora prima del lancio dei nuovi modelli.

³⁹ Complessivamente, il Wohlers Report (2013) stima che la produzione diretta rappresenti circa il 28% del totale della manifattura additiva. Un dato comunque in forte crescita negli ultimi anni (nel 2008 si trattava di meno del 12%). La situazione, comunque, è assai differente nei due ambiti principali di riferimento delle produzioni additive: in metallo e in materie plastiche. Oggi, infatti, i prototipi rappresentano solo circa il 20% della produzione additiva in metallo e circa l'80% della produzione additiva in materie plastiche.

⁴⁰ Il presidente di General Electric Aviation ha recentemente dichiarato che grazie alla manifattura additiva entro 5 anni sarà possibile produrre un motore che pesi 1000 libbre (454 kg) in meno.

È importante notare che sia nel settore aeronautico sia nel settore biomedicale, peraltro, l'Italia è oggi leader a livello mondiale nell'applicazione della manifattura additiva.

Le applicazioni più significative si concentrano in questi tre settori in forte connessione con le dinamiche produttive e di valorizzazione economica del titanio, utilizzato sia nella realizzazione delle pale turbina e di altri componenti dei motori aeronautici, sia nella componentistica dei motori e di altre parti utilizzate nel *racing*, sia in alcuni impianti in ortopedia e nelle protesi ortodontiche. Nel caso delle audioprotesi le applicazioni della manifattura additiva riguardano specificamente i cosiddetti *shelf* (i gusci che contengono la componentistica elettronica delle protesi), la cui produzione *custom made* avviene invece in materie plastiche sulla base di una scansione CAD del condotto uditivo di ogni singolo paziente.

Il settore aerospaziale

Nel settore aerospaziale un caso particolarmente importante nel settore manifatturiero italiano è quello di Avio Aero, un'azienda dalla storia e dalla tradizione italiana che fa oggi capo al colosso General Electric. Nello stabilimento Avio Aero di Cameri, nel distretto aerospaziale piemontese, è impiegata esclusivamente la manifattura additiva per la produzione di pale turbine di bassa pressione ed altri componenti per motori aeronautici. Questa caratteristica rende lo stabilimento di Cameri un caso unico a livello mondiale. Lo stabilimento può ospitare fino a 60 stampanti 3D per uso industriale ed è attrezzato con due atomizzatori per la produzione interna di polveri di speciali leghe metalliche come l'alluminuro di titanio – TiAl – e due impianti per il trattamento termico dei componenti realizzati.

Anche gli altri grandi player del settore, in ogni caso, hanno sviluppato progetti e realizzano su ampia scala molti componenti in manifattura additiva: ad esempio, Boeing produce in 3D attrezzature per assemblare le centine delle ali; Airbus realizza in manifattura additiva alcuni piccoli supporti per i televisori inseriti nei sedili: con strutture in alluminio a nido, infatti, si ottengono pezzi più leggeri e più robusti rispetto alla soluzione precedente che prevedeva la saldatura di più pezzi stampati con procedimento a iniezione.

Il settore biomedicale

Nel settore biomedicale la manifattura additiva consente sia la produzione in pezzo unico su misura del cliente, la cui applicazione principale riguarda le protesi per ortodonzia⁴¹ e l'implantologia maxillofaciale e cranica, sia la produzione di pezzi in piccola e media serie,

⁴¹ L'applicazione della manifattura additiva nella produzione di protesi ortodontiche ha consentito la riduzione dei tempi di realizzazione da circa 1 mese a 2 giorni.

in particolare nel campo della produzione di coppe acetabolari impiegate per la realizzazione di protesi d'anca.

Nel caso di pezzi unici, il fattore decisivo per l'impiego delle tecnologie della produzione additiva è la possibilità di raggiungere una completa personalizzazione del manufatto a partire da una scansione TAC o risonanza magnetica. Come si è detto, infatti, la manifattura additiva rende minimo il costo delle varianti ed ogni stampante 3D può realizzare contemporaneamente una molteplicità di prodotti diversi, con il solo limite della capienza complessiva della cubatura di lavoro.

Considerazioni analoghe riguardano la produzione su misura (*custom-made*), questa volta in materiali plastici, sia dei "gusci" per apparecchi acustici sia dei modelli relativi a specifiche situazioni ortopediche (es.: fratture). Questi ultimi modelli, in plastica, riproducono la situazione interna antecedente a un intervento di chirurgia ortopedica: essi servono alla progettazione dell'intervento da parte del chirurgo, alla raccolta del consenso informato del paziente e a fini didattici. In particolare, la progettazione dell'intervento su modello in 3D permette di ridurre i tempi di realizzazione dell'operazione a beneficio sia del paziente sia della struttura operatoria⁴².

Nel caso delle protesi d'anca, invece, la produzione può avvenire per diverse "taglie" su modelli predefiniti, una circostanza che consente la modularizzazione della produzione su piccoli lotti. In questo caso il fattore decisivo per l'impiego della manifattura additiva non è la personalizzazione ma la possibilità di produrre un manufatto le cui proprietà fisiche non sarebbero altrimenti realizzabili: la particolare struttura ed il livello di porosità del materiale metallico che si riescono a ottenere con tecnologie additive favoriscono l'integrazione dell'impianto con l'osso del paziente, che crescerà intorno alle coppe acetabolari realizzate dalle stampanti 3D.

Il settore automotive

Nel comparto *motor-racing* la produzione additiva ha un campo di applicazione più ampio rispetto a quello della produzione di auto e moto per il mercato. In questo comparto, infatti,

⁴² Dal punto di vista del paziente la preparazione dell'intervento con un modello fisico 3D consente di ridurre i tempi dell'anestesia, comporta tipicamente una minore perdita di sangue e consente di applicare una chirurgia meno invasiva grazie alla possibilità di definire un campo operatorio più circoscritto. Dal punto di vista della struttura sanitaria, essa consente sia un potenziamento della capacità produttiva (aumento del numero degli interventi per unità di tempo) sia una migliore gestione dei rischi professionali: il miglioramento della performance operatoria complessiva ottenuto con protocolli che prevedono l'utilizzo di questa tecnologia è documentato anche dalla circostanza che in alcuni paesi (es.: Svizzera) i medici che seguono tali protocolli sono soggetti a premi assicurativi per responsabilità civile inferiori.

la necessità di realizzare geometrie complesse è tipica e il vincolo di bilancio non è tale da rendere il fattore costo decisivo. Le potenzialità connesse alla riduzione dei vincoli costruttivi che caratterizzano la manifattura additiva consentono, così, di fabbricare manufatti *custom-made* capaci di adattarsi alle scelte progettuali in continuo cambiamento dei reparti corse, al fine di ottenere un particolare obiettivo in termini di miglioramento delle prestazioni del veicolo nelle competizioni. Le applicazioni sono molteplici sia con riferimento all'impiego di materie plastiche sia nella realizzazione di componenti in metallo per il motore e per altre parti dei veicoli. Un'applicazione particolarmente interessante e innovativa è la produzione con manifattura additiva di forme in plastica (mandrini) attorno ai quali viene realizzata una struttura in carbonio: con opportuni solventi si scioglie la plastica e si ottiene una forma cava in carbonio (per esempio, un condotto per l'aria con forma aerodinamica) senza giunture.

Un altro ambito di applicazione della manifattura additiva nel settore *automotive* riguarda le produzioni di auto e moto top di gamma. In questo caso si sta sviluppando la produzione di pezzi di piccola serie con caratteristiche non realizzabili con le tecniche tradizionali (per esempio, pezzi con circuiti integrati di raffreddamento con caratteristiche termofluodinamiche ottimali) oppure personalizzati, sulla base delle specifiche esigenze o del gusto estetico dei clienti. Un ambito ulteriore riguarda, infine, la produzione di pezzi di ricambio per auto e moto d'epoca (anche se, ovviamente, occorre preliminarmente predisporre, o essere in grado di generare ad hoc con le tecniche del *reverse engineering*, un file CAD del pezzo da produrre).

In altri comparti del settore *automotive* la manifattura additiva ha un ambito di applicazione meno specifico. Si tratta, infatti, di applicazioni che di fatto potrebbero caratterizzare anche altri ambiti settoriali ma che nel settore *automotive* si sono sviluppati in maniera particolare perché è lì che l'utilizzo delle stampanti 3D ha avuto un impiego particolarmente significativo nella prototipazione ed è stato perciò più naturale aprirsi a sperimentazioni anche in campi diversi, connessi più o meno direttamente a quello della produzione.

Un uso importante della manifattura additiva nel settore *automotive* è nella produzione degli attrezzi da utilizzare nelle linee di montaggio dei veicoli. Si può trattare di attrezzi dedicati al montaggio di alcune particolari componenti, di pezzi terminali dei robot impiegati per movimentare parti (es. componenti di carrozzeria da verniciare) o di altro tipo. Tali attrezzi cambiano con ogni nuovo modello e la produzione additiva consente di ottenere in breve tempo e a costo relativamente contenuto questi manufatti.

Altri settori

Se i settori *aerospace*, biomedicale e *automotive* costituiscono ad oggi gli ambiti elettivi e più importanti di applicazione industriale della stampa 3D, prospettive di sviluppo importanti per la manifattura additiva si presentano in molti altri comparti produttivi caratterizzati da scale limitate ed innovazione di prodotto frequente. Ad esempio, vari addetti ai lavori ritengono che rispondano a queste caratteristiche due settori che costituiscono punte di eccellenza della manifattura italiana: quello del *packaging* e quello della produzione di pompe idrauliche.

Nel settore del *packaging* – le cui applicazioni spaziano, evidentemente, in quasi ogni ambito produttivo, da quello degli alimentari ai tabacchi ai medicinali, ecc. – si pone la necessità di modificare per ogni nuovo prodotto o per ogni nuova soluzione i cosiddetti “manipolatori finali” delle macchine che collocano i prodotti nelle confezioni. C’è anche necessità di realizzare le sagome per la termoformatura dei contenitori in plastica. In questi casi l’utilizzo della manifattura additiva permette di realizzare manufatti in maniera più rapida e meno costosa; questa tecnologia può permettere inoltre di re-ingegnerizzare gli impianti per l’impacchettamento, rendendoli più flessibili.

Anche il settore della produzione di pompe idrauliche, nel quale l’Italia è leader a livello mondiale, esprime una domanda di flessibilità che può trovare risposta nella manifattura additiva. La produzione in questo ambito, infatti, si caratterizza per la necessità di realizzare pezzi con geometria complessa, tipicamente ottenuti assemblando più componenti. Sempre più, inoltre, la domanda va evolvendo dalla logica della produzione di grandi lotti a produzioni di scala più ridotta con geometrie soggette a frequenti modifiche che comportano una continua re-ingegnerizzazione del prodotto.

Un altro settore che potrebbe essere interessato alle innovazioni della stampa 3D è la moda. In questo caso l’ipotesi di introdurre a corredo dei prodotti elementi decorativi specifici, dalla geometria originale e particolarmente complessa, realizzabile esclusivamente con la manifattura additiva, risponde all’esigenza di tutela dalla contraffazione. L’oggetto, di fatto, potrebbe essere replicato piuttosto semplicemente da chi opera nel mondo della contraffazione ma solo a condizione di conoscere la matematica deliberatamente complessa sottostante e di utilizzare una (costosa) stampante 3D; anche la presenza di un tale costo non comprimibile per realizzare tale elemento decorativo potrebbe costituire un deterrente per i falsificatori.

Terzisti 2.0

Un ultimo ambito di applicazione riguarda le lavorazioni specializzate per conto terzi che, grazie alla manifattura additiva, sono oggi in grado di intercettare la domanda che proviene da aziende dei comparti più disparati a fronte di ritardi imprevisti nella fornitura di

pezzi standard realizzati con tecniche tradizionali. Un caso interessante e recente a questo proposito riguarda un importante produttore del comparto automobilistico che, rischiando di dover fermare la linea di produzione a causa di un ritardo nella fornitura di un piccolo oggetto metallico da inserire nei motori, ha deciso di affidarne la “produzione rapida” (ad un costo di oltre dieci volte superiore rispetto al pezzo prodotto con tecnologia standard) ad un’azienda specializzata nel *service* per la manifattura additiva. La vecchia idea di usare i terzisti per evitare il fermo produzione trova così una nuova declinazione con la manifattura additiva e la logica del *just in time* diventa più robusta se esiste una soluzione alternativa al ritardo di consegna di un componente.

