

Quando conviene la stampa 3D?

Sono tante le variabili da prendere in considerazione per definire in quali casi è utile ed economicamente conveniente l'utilizzo di questa tecnologia – complessità del prodotto, livello di personalizzazione richiesto dai clienti e volumi da generare -. Il Laboratorio Rise dell'Università di Brescia, in collaborazione con CSMT, ha messo a punto un check-up per le aziende che vogliono capire se e in che modo la stampa 3D potrà supportarle nello svolgimento del proprio business

di Andrea Bacchetti* e Massimo Zanardini*

La stampa 3D (o *3D Printing*) rappresenta un insieme di tecnologie appartenenti al più ampio mondo della produzione additiva (o *additive manufacturing*), anche significativamente differenti l'una dall'altra. Punto centrale di queste tecnologie è l'**inversione del paradigma produttivo** a cui siamo stati abituati sino a oggi: non più asportazione di materiale, bensì aggiunta. Il processo produttivo prende avvio dalla realizzazione di un modello 3D dell'oggetto da realizzare che, elaborato da programmi specifici, viene scomposto in strati di alcuni centesimi di millimetro di spessore (variabile in funzione della tecnologia selezionata), che vengono depositati da stampanti in grado di comporre (e consolidare), strato dopo strato (o *layer by layer*), il prodotto finito. L'enfasi mediatica concentrata negli ultimi 2-3 anni, potrebbe fare pensare che si tratti di innovazione molto recente. Falso. Le tecniche di produzione additiva nascono negli anni 80, quando Chuck Hull, oggi ancora presidente di 3D Systems, ha progettato e realizzato il primo prototipo di stampante per stereolitografia. Da allora, molto è cambiato; la tecnologia si è evoluta, alcuni brevetti sono scaduti e di conseguenza sono in costante aumento le possibili applicazioni, in ambito industriale e non.

■ Tecnologie disponibili

Il numero delle tecnologie disponibili è in continua crescita, anche grazie al sempre maggiore interesse di aziende e centri di ricerca. Vi sono 2 elementi chiave per la classificazione e la descrizione di queste tecnologie, considerati anche dall'ente americano di standardizzazione ASTM¹:

- I **materiali lavorabili**; è possibile classificare le stampanti in relazione all'utilizzo di **materiali polimerici** (PLA, ABS, Resine acriliche, Nylon, Silicone, Gomme ecc.) oppure **materiali metallici** (acciaio inox, alluminio, titanio, tungsteno, oro/argento, leghe e superleghe). A oggi non esistono stampanti che possano trattare entrambe le macro categorie di materiali.
- il **processo di formazione degli strati**, cioè la modalità con cui le stampanti creano fisicamente gli oggetti.

L'incrocio di queste due variabili, porta a identificare **10 differenti tecnologie**, descritte nella tabella a pagina seguente.

■ Applicazioni industriali

L'evoluzione delle tecnologie, *in primis* in termini di velocità del processo, materiali impiegabili e dimensioni raggiungibili, sta rendendo la stampa

* Laboratorio Research & Innovation for Smart Enterprises, Università degli Studi di Brescia

¹ <http://www.astm.org/Standards/additive-manufacturing-technology-standards.html>

MATERIALE	CODIFICA ASTM	TECNOLOGIA	DESCRIZIONE
POLIMERICO	MATERIAL EXTRUSION	FDM (Fused Deposition Modeling)	Filamenti di materiale termoplastico sono gradualmente fusi e depositati strato dopo strato attraverso un ugello fino al riempimento.
POLIMERICO	MATERIAL JETTING	POLYJET	Utilizza la tecnologia a getto d'inchiostro con materiali (fotopolimeri) induribili con raggi UV
POLIMERICO	VAT PHOTOPOLYMERISATION	DLP Digital Light Processing	Utilizza fotopolimeri (resine) liquidi, induriti selettivamente attraverso raggi di luce
POLIMERICO	VAT PHOTOPOLYMERISATION	SLA Stereolithography	Utilizza fotopolimeri (resine) liquidi, induriti selettivamente attraverso raggi UV
POLIMERICO	POWDER BED FUSION	SLS Selective Laser Sintering	Strati di polvere di plastica vengono sinterizzati utilizzando un fascio laser
METALLICO	POWDER BED FUSION	SLS Selective Laser Sintering	Strati di polvere metalliche vengono sinterizzati utilizzando un fascio laser
METALLICO	POWDER BED FUSION	SLM Selective Laser Melting	Strati di polveri metalliche sono fusi da un raggio laser, linea per linea
METALLICO	POWDER BED FUSION	DMLS Direct Metal Laser Sintering	Strati di polveri metalliche sono sinterizzati da un raggio laser, linea per linea
METALLICO	POWDER BED FUSION	EBM Electron Beam Melting	Strati di polveri metalliche sono fuse da un fascio di elettroni, linea per linea
METALLICO	DIRECT ENERGY DEPOSITION	LMD Laser Metal Deposition	Polveri metalliche, diffuse dall'alto, sono fuse da un raggio laser nello stesso momento in cui si depositano sullo strato precedente

Classificazione delle tecnologie di 3D printing (ASTM)

3D sempre più interessante per l'industria. Non solo per la *prototipazione* di oggetti fisici, ambito in cui la stampa 3D è nata, bensì, sempre più frequentemente, anche per la *produzione* di oggetti finiti. A oggi, sembrano essere 4 gli ambiti applicativi principali.

1. **Prototipazione/pre-serie (Rapid Prototyping):** realizzazione di prototipi (di assiemi finiti e/o componenti), grazie ai quali effettuare valutazioni sia estetiche sia funzionali. Esempio di rilievo è quello di **Ford**, che realizza prototipi di componenti delle proprie autovetture. Grazie alla stampa 3D, il tempo di sviluppo, è stato compresso da alcuni mesi ad alcune settimane². Altro beneficio, la possibilità di prototipa-

re diversi componenti in un solo processo di stampa, dando poi la possibilità agli ingegneri di valutare le combinazioni migliori per rispondere alle esigenze del mercato. In altre parole, la stampa 3D è così vantaggiosa perché abilita l'azienda a passare direttamente dalla fase di design a quella di produzione, eliminando i passaggi intermedi di realizzazione degli utensili, stampi, garantendo al produttore la convenienza della produzione in piccoli volumi e addirittura singoli pezzi³. Anche l'italianissima **Dallara Automobili** sfrutta la stampa 3D per la realizzazione di prototipi di telai per i propri clienti. Nello specifico, diverse stampanti per Stereolitografia, producono da anni l'80% dei

² <http://www.youtube.com/watch?v=S6OZXdRoogY>

³ The Pivotal Role of Rapid Manufacturing in the Production of Cost Effective Customised Products. Christopher Tuck and Richard Hague, 2003.

componenti del modello che poi viene testato in galleria del vento. In questo modo, Dallara ha ridotto il *time-to-test* da qualche settimana a qualche giorno, producendo con elevata flessibilità prodotti con geometrie molto complesse (*free form design*), non ottenibili con metodi tradizionali⁴.

2. **Produzione indiretta (Rapid Tooling):** realizzazione di strumentazione, utensili e attrezature propedeutici alla produzione dei prodotti con cui un'azienda realizza il proprio fatturato. In campo automotive (secondo Wohlers⁵ uno dei settori in cui questa tecnologia sta trovando maggiore spazio), **Opel** sta impiegando la stampa 3D per realizzare internamente attrezzature per l'assemblaggio dei componenti di alcuni dei suoi modelli. I benefici sono riproducibili alla possibilità di stampare guide, centraggi, posaggi, chiavi ecc., senza limiti di geometria e forma, adattandoli in tempo quasi reale alle modifiche che possono subire i progetti delle automobili. Tutto ciò si traduce in maggiore flessibilità, minori tempi di produzione e riduzione dei costi rispetto alla situazione originaria senza la stampa 3D⁶.
3. **Produzione diretta (Rapid Manufacturing):** realizzazione di prodotti e componenti finiti da utilizzare direttamente in esercizio. I prodotti realizzati, oltre ad avere forme complesse e geometrie non necessariamente realizzabili con metodi sottrattivi, possono manifestare anche caratteristiche meccaniche/fisiche migliori. È proprio il caso di **Avio Aero**, che stampa diversi componenti delle proprie turbine con tecnologie additive, per un volume di circa 40.000 pezzi/anno. I benefici non sono legati solo alle prestazioni delle turbine (più leggere e durevoli), ma anche all'efficienza del processo produttivo: gli ugelli necessari per l'immissione del propellente nella turbina vengono ora realizzati in un unico pezzo, mentre con le tecnologie tradizionali serviva lavorare singolarmente 20 componenti, poi da assemblare⁷. **Savio Macchine Tessili** da diversi anni utilizza la stampa 3D per la produzione di componenti con geometrie non ottenibili per asportazione di truciolo. L'azienda produce circa 1.000 pezzi all'anno, con un costo di sviluppo dell'ordine di 1/10 rispetto alla situazione originaria⁸.
4. **Parti di ricambio:** realizzazione di componen-

ti finiti da utilizzare in prodotti/macchinari già esistenti, che necessitano di interventi manutentivi. Si pensi a beni di consumo durevole come le automobili o gli apparecchi domestici, in cui i produttori sono tenuti (spesso per legge) a garantire la ricambistica di centinaia / migliaia di modelli di prodotto finito, anche per svariati anni dopo l'uscita di produzione. A evidenza, la complessità gestionale che ne deriva è significativa, perché i codici sono tanti, tendono ad avere una domanda sporadica (difficilmente prevedibile), ma occorre comunque metterne a scorta una significativa quantità, per non incorrere in disservizi tali da compromettere vendite future dei prodotti finiti. Ebbe-ne, in questo scenario, si pensi ora all'opportunità di introdurre la stampa 3D, grazie alla quale si potrebbero stampare *on demand* (al momento del bisogno!) e *in-house* (dove serve!) i componenti necessari allo svolgimento dell'intervento di manutenzione. Pensate ai benefici potenziali in termini di minore complessità (e quindi effort) gestionale, riduzione del livello di scorte (maggiore capitale circolante a disposizione per investimenti), riduzione dei costi logistici (non viaggiano più i beni, bensì i modelli virtuali!) e, conseguentemente, degli impatti ambientali e sociali. Una vera e propria rivoluzione, sì, capace potenzialmente di ridurre i costi per i produttori e per i consumatori finali, migliorando il livello di servizio⁹.

■ Come valutare e scegliere le tecnologie

In generale, la stampa 3D viene considerata economicamente valida per la **produzione di lotti molto contenuti** (poche decine di pezzi) **di oggetti piccoli e complessi**¹⁰. Tuttavia, è difficile identificare delle soglie numeriche ben precise, che valgano sempre. Del tipo: quante unità devono comporre il lotto affinché risulti conveniente la stampa 3D rispetto alla manifattura tradizionale? Quanto deve essere complesso un componente perché le tecniche additive siano preferibili rispetto a quelle per asportazione? Risulta quindi cruciale per un'azienda che si vuole lanciare in questa nuova sfida tecnologica, essere supportata nella **valutazione dei costi/benefici** rispetto alle modalità produttive tradizionalmente impiegate.

⁴ The Digital Manufacturing Revolution Research – Laboratorio RISE dell'Università di Brescia.

⁵ Wohlers Report 2014

⁶ Using 3D Printed Tools to Build Their Cars is Just How Opel Rolls – www.3dprintingindustry.com

⁷ <http://www.youtube.com/watch?v=I0SXlkrmzw>

⁸ The Digital Manufacturing Revolution Research – Laboratorio RISE dell'Università di Brescia

⁹ Rapid manufacturing in the spare parts supply chain Alternative approaches to capacity deployment. Holmstrom et al. 2010.

¹⁰ Additive manufacturing paths to performance, innovation, and growth – Deloitte - 2014

Proprio con questo obiettivo, il Laboratorio Rise dell'Università di Brescia, in collaborazione con CSMT, ha messo a punto un **check-up** per le aziende che vogliono capire se e in che modo la stampa 3D potrà supportarle nello svolgimento del proprio business. Punto di partenza di tale percorso (rappresentato in Figura 1) è la 'Valutazione preliminare', descritta nel seguito dell'articolo. Per la descrizione degli step successivi, si rimanda a prossimi contributi.

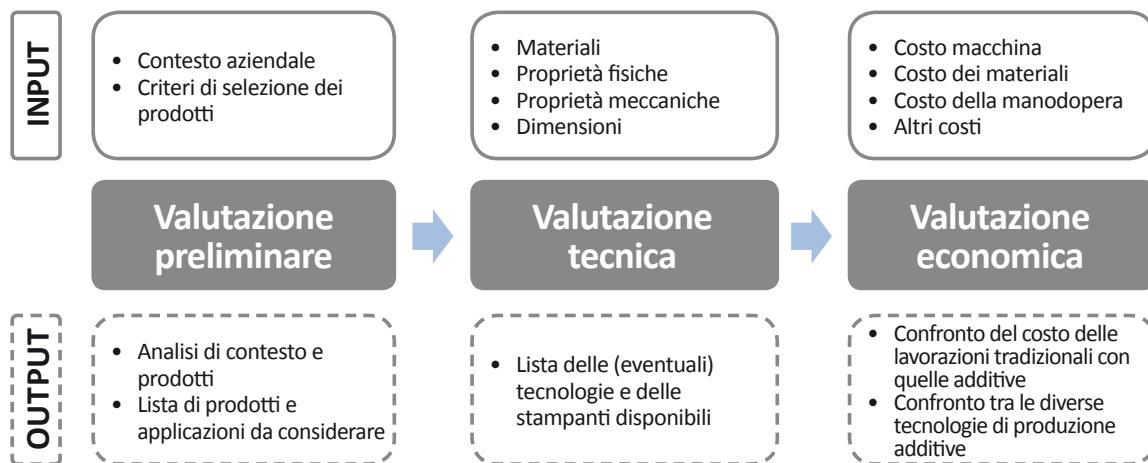


Figura 1 - Percorso di analisi del check-up RISE-CSMT

■ Valutazione preliminare

In questa prima fase, i ricercatori guidano l'azienda nell'individuazione dei principali ambiti applicativi che avrà senso considerare nelle successive fasi di lavoro.

Facendo riferimento al quadro di valutazione proposto da Conner et al. nel 2014¹¹, sono gli 3 elementi da considerare nella valutazione di quali prodotti (o *famiglie* di prodotti) possano sensatamente essere oggetto di valutazioni tecnico-economiche più approfondite: la **complessità** del prodotto, il livello di **personalizzazione** richiesto dai clienti e i **volumi generati** (figura 2).

Sebbene a oggi non esistano in letteratura indicatori quantitativi capaci di valutare questi tre elementi e identificare in modo univoco delle soglie che discriminino tra un esito positivo o negativo di questa analisi di fattibilità preliminare, ogni azienda può quali-quantitativamente posizionare i propri prodotti su questi tre assi. Emergono 8 aree, che si riferiscono ad altrettanti ambiti applicativi della tecnologia, caratterizzati da diversa potenzialità e quindi interesse:

1. *Mass Manufacturing*: appare evidente che in questo contesto, in cui i volumi sono signifi-

cativi e i prodotti standard e indifferenziati, le tecniche tradizionali per stampaggio e/o lavorazioni con macchina utensile, siano (e saranno) più convenienti rispetto alla stampa 3D, il cui ruolo potrebbe essere limitato ad **attività di prototipazione e sviluppo prodotto**. Il caso **Ford** di cui sopra si colloca qui.

2. *Manufacturing of the few*: si collocano qui le produzioni di prodotti poco complessi, standard, ma con volumi molto ridotti. I volumi ridotti

spingerebbero a favore della stampa 3D, ma la standardizzazione e la ridotta complessità richieste, continuano (e continueranno) a far preferire le tecniche tradizionali. Pertanto anche qui l'impiego potrebbe essere limitato ad **applicazioni prototipali**, con l'obiettivo di ridurre i costi di progettazione ed essere più rapidi nello sviluppo.

3. *Complexity advantage*: in questa categoria ricadono le produzioni di prodotti complessi, tendenzialmente in quantità ridotte. La stampa 3D può essere in questo caso un'**alternativa alle lavorazioni tradizionali anche per la produzione indiretta & diretta**. I vantaggi si possono riferire a una maggiore facilità / economicità nel raggiungere i livelli di complessità desiderati. Il caso **Savio Macchine Tessili** si colloca qui.
4. *Mass complexity*: rispetto all'area #3, alla complessità elevata si aggiungono i maggiori volumi di produzione. L'**utilizzo della stampa 3D in questo campo deve quindi essere soggetto ad attente analisi di fattibilità economica**, legate a doppio filo alle quantità prodotte. È possibile che, grazie alla stampa 3D, si generino vantaggi significativi in termini di incremento della complessità e delle funzionalità, con potenzia-

¹¹ Conner et al. (2014). *Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services*

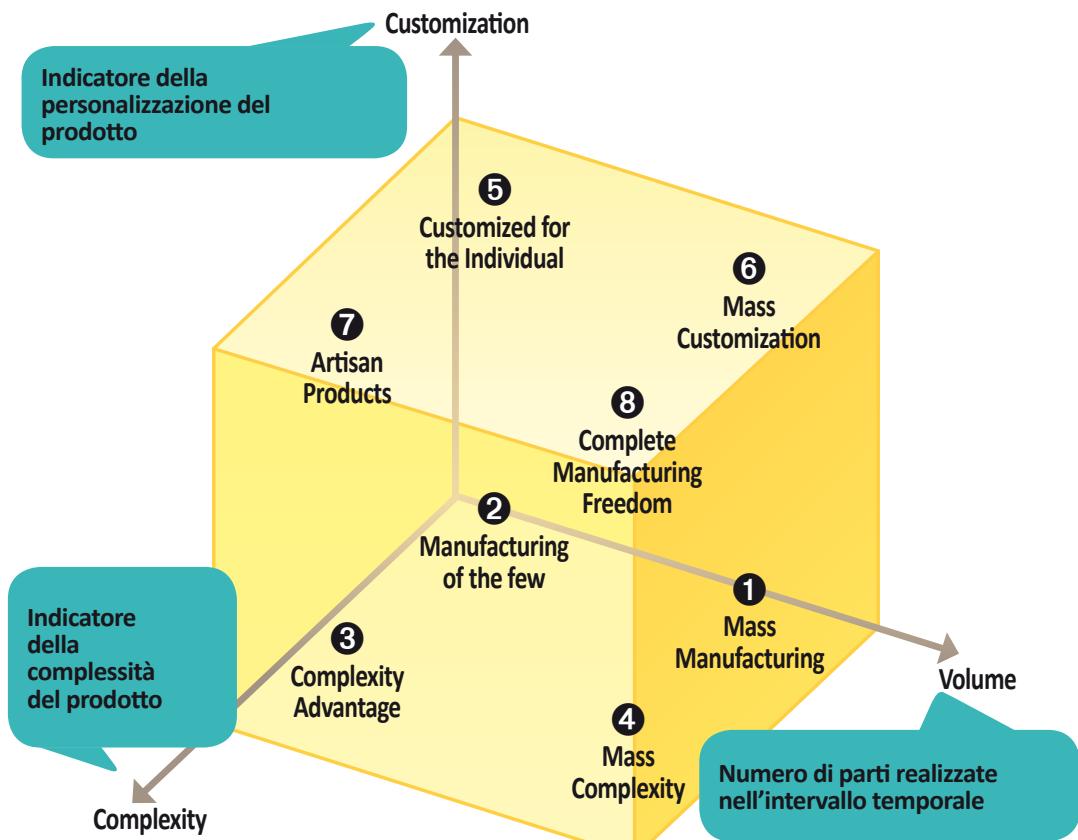


Figura 2 – Elementi per la valutazione preliminare (adattato da Conner et al., 2014)

lità anche in termini di differenziazione rispetto ai competitor. Il caso **Avio Aero** descritto in precedenza, ricade in quest'area.

5. **Customized for the individual**: qui ci si rivolge a pochi clienti, con esigenze di personalizzazione elevatissime. In questo scenario la stampa 3D manifesta grandi potenzialità, tanto più significative tanto più i volumi risultano essere ridotti. In questo caso **il potenziale beneficio** rispetto alle tecniche tradizionali, al di là del livello di servizio erogato, **potrebbe anche essere di natura economica**.
6. **Mass customization**: rispetto all'area #5, qui i volumi in gioco crescono, riducendo le potenzialità della stampa 3D, che deve essere **soggetta ad analisi approfondite** per valutarne la reale convenienza economica rispetto a lavorazioni tradizionali.
7. **Artisan products**: qui abbiamo a che fare con prodotti complessi, realizzati di volta in volta sulla base delle specifiche esigenze dei clienti, in ridotte quantità (anche unitarie). In altre parole, **questo è il regno della stampa 3D**, grazie alla possibilità di svincolare le attività produttive dalla realizzazione di utensili e/o stampi per la produzione di pezzi complessi in pochissime unità. Qui l'utilizzo delle tecniche additive potrebbe coprire tutte le fasi di realizzazione del

prodotto (progettazione, realizzazione degli utensili e produzione del pezzo), garantendo benefici economici e di qualità del prodotto. Il caso **Dallara Automobili** si colloca qui.

8. **Complete Manufacturing Freedom**: rispetto allo scenario #7, l'aumento dei volumi **smorza un po' l'entusiasmo nei confronti della stampa 3D**. Sebbene il 3D printing potrebbe supportare l'azienda nel raggiungere livelli di complessità e di qualità del prodotto superiori, la necessità di avere anche un'elevata produttività degli impianti riporta in auge le tecniche tradizionali, in grado di garantire ritmi superiori e quindi maggiori capacità produttive. Nello specifico, **sono cioè necessarie analisi approfondite** per poter scegliere quale strada sia la più conveniente.

In definitiva, la valutazione dei tre parametri di complessità, personalizzazione e volumi, risulta fondamentale per svolgere questa prima fase di analisi preliminare, al termine della quale sapremo se la tal azienda sottoposta al check-up ha senso che continui a nutrire dell'interesse concreto nei confronti della tecnologia (quale), per fare cosa, con riferimento a quali prodotti / produzioni.

Per le successive fasi del check-up, grazie alle quali andare a fondo delle analisi tecnico-economiche, si rimanda alle prossime uscite della rivista.