

POLITECNICO DI TORINO

Collegio di Ingegneria Gestionale

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Gestionale**

Tesi di Laurea Magistrale

Impatto della fabbricazione additiva sulla supply chain aziendale



Relatore

prof. Carlo Rafele

Candidato

Leonardo Di Pumpo

Anno accademico 2019/2020

Sommario

1. Supply chain management.....	1
1.1. Che Cosa è la Supply Chain?	1
1.2. Performance e adattamento strategico della Supply Chain	2
1.3. Supply Chain tra reattività ed efficienza	5
1.3.1. Approfondimento ruolo del magazzino nella logistica.....	10
1.3.2. Approfondimento ruolo del trasporto nella logistica.....	13
2. La fabbricazione additiva	15
2.1. Cenni evoluzione e automazione della progettazione	15
2.2. Che cosa è la fabbricazione additiva	19
2.3. Tecnologie 3D	21
2.3.1. Tecnologie che usano materie prime in polvere.....	23
2.3.2. Tecnologie che usano materie prime liquide	27
2.3.3. Tecnologie che usano materie prime solide.....	31
2.4. Applicazioni della fabbricazione additiva	33
3. Analisi del settore	38
3.1. Andamento nel mercato globale	40
3.2. Andamento nel mercato italiano.....	42
4. Analisi dei produttori.....	48

4.1.	Confronto tra due aziende leader del settore: Renishaw vs EOS	48
4.2.	Renishaw	49
4.2.1.	Le principali stampanti 3D Renishaw.....	50
4.2.2.	I software per la tecnologia 3D sviluppati da Renishaw	54
4.2.3.	I materiali utilizzabili con stampanti Renishaw.....	56
4.3.	EOS.....	57
4.3.1.	Le principali stampanti 3D EOS.....	57
4.3.2.	I software per la tecnologia 3D sviluppati da EOS.....	65
4.3.3.	I materiali utilizzabili con stampanti EOS.....	67
5.	Analisi comparativa metodi tradizionali e fabbricazione additiva	70
5.1.	Analisi economica break even point.....	70
5.2.	Esempi applicazione fabbricazione additiva	76
5.2.1.	Sostituzione anca con protesi stampata in 3D	77
5.2.2.	Edilizia 3D	80
5.3.	Impatto della fabbricazione additiva sulla Supply Chain.....	84
5.3.1.	Analisi comparativa tra metodo tradizionale e fabbricazione additiva.....	85
5.3.2.	Costi e benefici sulla supply chain della fabbricazione additiva.....	87
5.3.3.	Gestione logistica sui pezzi di ricambio con la fabbricazione additiva.....	88
6.	Conclusioni	90

1. Supply chain management

1.1. Che Cosa è la Supply Chain?

Con il termine di Supply Chain Management (SCM) si intende quell'insieme di attività che un'azienda attua per migliorare le prestazioni e l'efficienza dei flussi di materiali e delle informazioni, dalla fase di approvvigionamento fino al servizio post-vendita.

Nonostante la popolarità che negli ultimi anni ha avuto la Supply Chain, non esiste un'univoca definizione del termine. Qui di seguito sono elencate alcune delle definizioni più comuni:

- SCM inteso come nulla di più che un nome diverso dato all'integrazione logistica (Tyndall G. 1998)
- SCM leggibile come una integrazione verticale tra imprese (Cooper M.C., Ellram L. M 1993).
- SCM considerato come un processo di gestione e coordinamento (La Londe B.J., 1997)
- SCM concepito come una filosofia manageriale di gestione (Ellram L.M., Cooper M.C, 1990) che guida i membri della supply chain verso la creazione di valore per il cliente. [1]

La più semplice definizione che possiamo dare alla supply chain è la sequenza dei processi e delle attività svolte per trasformare le nostre materie prime in prodotti finiti. Gli attori coinvolti non comprendono solo fornitori e produttori, ma tutte le parti coinvolte come grossisti, società di trasporto e persino gli stessi clienti. All'interno dell'azienda la supply chain coinvolge tutte le attività interessate alla soddisfazione di una richiesta del cliente, per citarne alcune: ricerca e sviluppo, marketing, logistica e distribuzione, trasporti, servizi al cliente post-vendita ecc. L'obiettivo principale della supply chain è massimizzare la profittabilità, e questo può essere raggiunto solo tramite un'accurata e corretta gestione di ogni fase del processo. Per redditività o surplus della supply chain si intende la differenza tra i ricavi generati dal cliente meno il totale di tutti i costi incorsi per progettare, produrre e consegnare (trasporto) il prodotto finito.

La supply chain di successo è quella in grado di gestire flusso di merci, informazioni, risorse finanziarie fornendo allo stesso tempo il prodotto nel minor tempo possibile ed al prezzo più basso. Tra i sistemi informatici più noti per la gestione della supply chain possiamo citare: CRM (Customer Relationship Management), ISCM (Internal Supply Chain Management) e SRM (Supplier Relationship Management).

1.2. Performance e adattamento strategico della Supply Chain

Implementare in modo efficiente la Supply Chain all'interno di un'organizzazione aziendale porta a incentrarsi principalmente su due obiettivi:

1. Riduzione dei costi: cercare di ridurre il più possibile i costi sia per quanto riguarda la produzione sia per la fase di trasporto, in modo da avere un prodotto più concorrenziale sul mercato
2. Aumentare la soddisfazione del cliente: cercare di ridurre al minimo i tempi di attesa ed allo stesso tempo aumentare la qualità del prodotto.[2]

Esistono due modelli estremi di Supply Chain: una supply chain efficiente e una supply chain reattiva.

- **Supply chain efficiente:** questo tipo di gestione della catena di distribuzione spinge al massimo il concetto di riduzione del costo
- **Supply chain reattiva:** questo tipo di gestione della catena di distribuzione spinge al massimo il concetto di risposta ai flussi anche a scapito di un aumento dei costi

Per analizzare le prestazioni di una catena di approvvigionamento (efficienza e reattività), vengono presi in considerazione i seguenti fattori elencati in tabella:

Supply chain	Efficiente	Reattiva
Obiettivo primario	Costo minimo	Risposta veloce

Strategia di progetto/prodotto	Minimo costo di produzione	Modularità per consentire la differenziazione del prodotto
Strategia di prezzo	Margini inferiori (il prezzo è fondamentale per il cliente)	Margini più elevati
Strategia produttiva	Elevato utilizzo	Flessibilità della capacità produttiva
Strategia del magazzino	Riduzione al minimo della giacenza	Mantenimento della giacenza per fronteggiare l'incertezza della domanda
Strategia del Lead Time	Riduzione ma non a scapito di un costo maggiore	Riduzione aggressiva anche a scapito di costi elevati
Strategia selezione fornitori	Costo e qualità	Velocità, flessibilità e qualità
Strategia del trasporto	Maggiore attenzione a modelli a basso costo	Maggiori attenzioni a modelli a basso costo

Tabella 1 : Fattori performance Supply Chain

In base alle richieste del cliente, quindi dalle informazioni che da valle vanno a monte della catena, verrà impostata una supply chain che dia un output il più conforme possibile. La condivisione delle informazioni e la collaborazione, con tutti i player della Supply Chain, aiutano a ridurre i costi e migliorare la disponibilità dei prodotti. Le principali decisioni manageriali riguardano principalmente i seguenti fattori: l'ubicazione e la capacità produttiva degli impianti, capacità di stoccaggio del magazzino, le modalità e la qualità del trasporto, la tipologia del sistema informativo utilizzata per lo scambio di informazioni lungo la catena. Per esempio, la dimensione degli impianti e la loro ubicazione influiscono sulla quantità da produrre e sulla frequenza degli

approvvigionamenti delle materie prime e semilavorati. Allo stesso modo, utilizzare un trasporto più economico, può inficiare sui tempi d'attesa per il cliente con un conseguente abbassamento della qualità del servizio. Il maggiore problema che deve affrontare un'azienda riguarda la mancanza di adattamento strategico. Consiste nel non allineamento delle priorità per il cliente delineate nella strategia competitiva e le caratteristiche della supply chain. In pratica la strategia competitiva e la supply chain devono essere conformi con gli stessi obiettivi. Se un cliente ha bisogno di un prodotto/servizio nel minor tempo possibile non è possibile utilizzare un trasporto economico. Una azienda potrebbe fallire i suoi obiettivi a causa della mancanza di adattamento strategico, in quanto i suoi processi e risorse non sono in grado di fornire le capacità di mettere in essere le strategie desiderate. [2]

Per raggiungere un adattamento strategico è necessario per prima cosa avere una comprensione dell'incertezza della domanda, delle preferenze del cliente e una piena conoscenza della supply chain da implementare. Comprensione dell'incertezza della domanda e delle preferenze del cliente:

- a. Riconoscimento del fabbisogno del segmento del cliente da servire;
- b. Quantità di prodotto necessario in ogni lotto;
- c. Tempo di risposta tollerato dal cliente;
- d. Varietà dei prodotti necessari;
- e. Livello di servizio richiesto;
- f. Prezzo del prodotto;
- g. Tasso di innovazione del prodotto richiesto;
- h. Attributi generali della domanda del cliente;
- i. Incertezza della domanda del cliente per un determinato prodotto;

Detto questo possiamo affermare che l'adattamento strategico viene raggiunto solo quando per ogni segmento di mercato la supply chain è ben allineata con le informazioni ricevute sull'incertezza della domanda e sulle preferenze del cliente. Ovviamente la scelta della supply chain non cade mai nei due estremi, ma è sempre una scelta di compromesso tra reattività ed efficienza in modo da poter rispondere al meglio alle richieste del mercato. Per esempio, se l'incertezza della domanda è molto alta e se il cliente richiede un livello di risposta elevato si è costretti a prediligere la reattività sull'efficienza. Un fattore importante della supply chain è il magazzino. Incrementare le scorte permette di fronteggiare l'incertezza della domanda ed eventuali picchi, ma allo stesso tempo genera un costo generato dal costo opportunità del capitale, svalutazione e deperimento merce, eventuali rischi dovuti alla giacenza dei materiali in magazzino (furti, incendi, ecc). Quindi la creazione, l'incremento o la riduzione delle scorte in magazzino deve essere affine al livello servizio richiesto dal cliente. Un altro fattore da tenere in conto e molto importante nella logistica aziendale riguarda il trasporto. Anche in questo caso si

può scegliere di effettuare consegne rapide evitando magari di sfruttare tutto il carico del trasporto, ma questo ovviamente ha un costo che va ad inficiare l'efficienza della supply chain. Potrebbe essere utile accorpare spedizioni anche fra varie aziende in modo da sfruttare eventuali economie di scala, questo però potrebbe minare la reattività della Supply Chain.

1.3. Supply Chain tra reattività ed efficienza

I fondamenti della Supply chain possono essere identificati da sei driver e possiamo distinguerli in tre driver logistici (strutture, inventario e trasporti) e tre driver interfunzionali (sistema informativo, make or buy e strategia dei prezzi). Ogni decisione presa per ogni driver ha ripercussioni sulla reattività e sull'efficienza dell'intera catena logistica.

- **Strutture**

Per strutture si intendono quei luoghi dove un prodotto viene immagazzinato, assemblato e fabbricato. Una scelta conforme sulla posizione, dimensione e flessibilità degli impianti andrà ad incidere positivamente sulla supply chain aziendale. Fare decisioni su questi aspetti implica decidere se si vuole avere una gestione più efficiente o più reattiva. Ad esempio, un'azienda che fornisce ricambi per auto, potrebbe avere diversi siti di stoccaggio per permettere una risposta più veloce alle richieste del cliente e ridurre i tempi d'attesa; allo stesso tempo questo maggior numero di siti farà aumentare i costi di gestione riducendo l'efficienza. Al contrario accentrando queste strutture i tempi d'attesa risulteranno generalmente più lunghi ma ci sarà una riduzione dei costi di gestione con un aumento di efficienza a discapito di una riduzione di reattività. Nel decidere se creare tante piccole strutture o accentrare in pochi grandi impianti le attività aziendali i manager dovrebbero prendere in considerazione i seguenti fattori:

- a) Dimensione degli impianti: un impianto di grande dimensione, se saturata la sua capacità produttiva, ha un costo di produzione più basso di un impianto di dimensione inferiore;

- b) Vincoli del sito: riguarda lo spazio extra che ha il sito in questione. Avere questi spazi permette una più facile gestione dei movimenti merci ed inoltre permette in futuro anche modifiche alla linea di produzione o la creazione di nuovi magazzini;
- c) Capacità: questo fattore è strettamente correlato alla dimensione degli impianti
- d) Produttività: bisogna sempre premiare i siti di produzione che hanno una produttività più elevata;
- e) Distanza dalla sede centrale: strutture distanti dalla sede centrale sono più difficili da controllare rispetto a strutture più vicine o facilmente raggiungibili. Questo è dovuto al fatto che si ha meno possibilità di avere informazioni sui propri subordinati essendo distanti. Questo aspetto negli ultimi anni, grazie alle tecnologie di telecomunicazioni, è molto smorzato;
- f) Età creazione struttura: impianti e linee di produzione vecchie richiedono dei costi di gestione più elevati ed inoltre sono molto meno flessibili rispetto a strutture di concezione moderna;
- g) Distanza: è un fattore da tenere in considerazione perché va ad incidere sui costi di trasporti merci e prodotti finiti;

- **Inventario**

In questo caso, gli inventari sono quelli dedicati alle materie prime, ai semi-lavorati e ai prodotti finiti. Esistono perché di solito c'è una discrepanza tra domanda e offerta, questo perché risulta molto difficile vendere immediatamente tutto quello che si produce. Ha senso mantenerli nel momento in cui lo stoccaggio dei materiali consente di ottenere economie di scala per quanto riguarda le materie prime e i semi-lavorati o per fronteggiare ad eventuali picchi di domanda. Le aziende che producono e acquistano in grandi quantità possono sfruttare economie di scala, ma allo stesso tempo vedranno un aumento dei costi di gestione e di inventario, senza dimenticare il costo opportunità del capitale non sfruttato. Pertanto, le scelte in questione si riferiscono all'importo e alla frequenza dell'ordine di fornitura. Un altro aspetto importante è la scelta di disporre o meno di scorte di sicurezza per affrontare meglio l'incertezza della domanda. Spesso il loro livello si basa sul livello di servizio che si vuole offrire al cliente. Il livello di servizio del prodotto indica la frazione della domanda che si riesce a soddisfare immediatamente grazie alla presenza dello stock. In questo caso è chiaro che deve esserci un equilibrio tra l'aumento dei costi di inventario e la perdita di entrate (e reputazione) quando si verifica una rottura di stock.

- Trasporti

Questo aspetto non riguarda solo la modalità di trasporto da utilizzare, ma anche la definizione dei luoghi da raggiungere e dei percorsi da seguire. Il tipo di trasporto influenza la posizione degli impianti. Nel caso in cui il cliente sia disposto a pagare per un livello di servizio più alto, la società può utilizzare questo driver per rendere più veloce tutta la sua logistica, decentralizzando le installazioni in modo che si trovino nelle vicinanze del cliente e optando per metodi di spedizione più veloci e costosi. Al contrario, nel caso in cui il cliente è più attento al prezzo, il trasporto dovrebbe consentire di contenere i costi del prodotto.

Utilizzando un servizio di trasporto più veloce, sicuramente aumentiamo la reattività ma allo stesso tempo andiamo ad inficiare sull'efficienza della logistica. Un modo per migliorare la reattività senza incidere molto sull'efficienza è quello di usare una metodologia per i trasporti detta a pianificazione congiunta. La pianificazione congiunta del trasporto può essere ottenuta in due modi: esternalizzando la funzione trasporto oppure cooperando orizzontalmente con altre aziende. Esternalizzare la funzione trasporto significa stipulare contratti con terzi per la distribuzione del prodotto finito.

Per cooperazione orizzontale si intendono accordi fra aziende di pari dimensione e livello per il trasporto contemporaneo delle merci, utilizzando gli stessi percorsi per la distribuzione dei prodotti finiti. Si optano queste due metodologie solo se si ha una riduzione del costo di trasporto garantendone l'efficienza.

- Informazioni

Negli ultimi anni è diventato sempre più importante per le organizzazioni aziendali capire quali sono le conoscenze delle quali ha necessità per riuscire a fare innovazione ad a migliorarsi. Quindi è necessario riuscire ad avere le giuste fonti di informazioni in modo da arricchire la propria conoscenza e di conseguenza riuscire a migliorare la propria competitività. Le informazioni più importanti per un'azienda devono essere prese dai clienti, in modo da rispondere in maniera sempre più efficiente e celermente alle loro richieste. Un'azienda può discernere le informazioni dai propri clienti e fornitori nei seguenti modi:

- a) Regola 80/20: secondo questa regola, l'azienda deve reperire le informazioni dai clienti "più importanti" cioè da quel 20% della clientela che genera l'80% del fatturato;
- b) Scegliere le informazioni dai clienti e dalle compagnie che usano il tuo prodotto/servizio per diverse applicazioni;
- c) Scegliere le informazioni da aziende e clienti fidelizzati;

le informazioni possono essere raccolte in vari modi dall'azienda:

- a) Dipartimento di marketing: è il modo migliore per raccogliere le informazioni dal proprio mercato di riferimento
- b) Dipartimento servizio clienti
- c) Personale addetto alle vendite: stando a stretto contatto con il cliente è facile che acquisisca informazioni importanti per l'azienda
- d) Agenzie esterne: acquisiscono informazioni dai clienti e le vendono all'azienda

Lo scambio di queste informazioni deve avvenire lungo tutta la catena logistica. Oggigiorno è impensabile che queste informazioni vengano trasmesse manualmente. Quindi in base agli obiettivi aziendali e dopo un'accurata pulizia dei dati vengono implementati all'interno delle organizzazioni aziendali dei sistemi informativi informatici. I più comuni sistemi informativi sono quelli di tipo ERP e permettono lo scambio di informazioni su tutta la filiera.

- Make or buy

Questo termine si riferisce all'insieme degli atti aziendali di acquisto di beni e servizi. È in questo momento che l'azienda decide anche quali attività svolgere internamente e quali esternalizzare. I contratti definiscono il ruolo che ciascun partecipante ha nella Supply Chain e dovrebbero essere strutturati per aumentare le prestazioni e ridurre al minimo la distorsione delle informazioni da una fase all'altra. È meglio esternalizzare solo se vi è una crescita significativa del profitto totale e il livello di rischio è ridotto. Generalmente l'outsourcing aumenta l'efficienza, poiché terze parti sono in grado di tagliare i costi perché raggiungono economie di scala o altre efficienze. Le politiche di make or buy richiedono una selezione e valutazione accurata dei fornitori, da effettuare sulla base dei loro indicatori di performance. Un esempio di outsourcing è quello che attua un'azienda come Nike; la parte di progettazione e marketing resta il core dell'azienda la parte produttiva vera e propria viene esternalizzata ad aziende anche geograficamente distanti ma che permettono un abbattimento dei costi.

- Strategia dei prezzi

Un'azienda deve scegliere a quale prezzo vendere il proprio prodotto, di solito questo prezzo varia lungo il suo ciclo vita ma è meglio vendere ad un prezzo alto per garantire un elevato mark-up oppure ad un prezzo basso per sbaragliare la concorrenza? Decidere il prezzo di vendita è una fase importante della supply chain anche perché è l'unica fase in cui si generano i ricavi che devono andare a coprire tutti i costi della linea. Possiamo elencare cinque strategie di prezzo, tutte valide ed efficaci, da attuare in base ai diversi fattori sia interni che esterni all'azienda.

- a) Prezzo di penetrazione del mercato: questa strategia di prezzo viene attuata al lancio di un nuovo bene e servizio e serve, adoperando un prezzo molto basso, a distogliere interesse nella concorrenza riuscendo a raggiungere un'ampia quota di mercato. Con questo tipo di politica all'inizio, visto i prezzi molto bassi, si potrebbe verificare una perdita di reddito dell'azienda. Sul lungo periodo l'azienda tenderà a riposizionarsi sul mercato aumentando i prezzi. Le aziende possono continuare ad avere prezzi bassi ma solo se il volume delle vendite resta elevato;
- b) Prezzo di scrematura del mercato: questa strategia consiste nell'adoperare un prezzo alto al momento del lancio di un bene o servizio e man mano che passa il tempo il prezzo viene abbassato. Con questa politica si cerca di massimizzare i profitti sui primi clienti e man mano che il tempo passa ed aumentano i concorrenti abbassare il prezzo per attirare i clienti più sensibili al prezzo. Bisogna sempre tenere a mente che i costi generati dal minore volume di produzione non devono mai superare il vantaggio di mark up generato.
- c) Prezzo "Premium": con questa strategia di prezzo si stabiliscono prezzi più alti alla concorrenza. Risulta efficace nella prima fase del ciclo vita del prodotto e solo se il bene/servizio viene percepito di maggiore qualità rispetto alla concorrenza. È adatta alle piccole medie-imprese perché hanno costi di produzione più elevati rispetto alle grandi imprese.
- d) Prezzo di economia: con questa strategia di prezzo alcune aziende (soprattutto settore alimentare e discount) vendono i beni/servizi ad un prezzo molto basso cercando di prendere la fetta di cliente più

sensibile al prezzo. Questa strategia è applicabile se si riducono al minimo i costi di produzione e di marketing inoltre è attuabile solo da aziende di grosse dimensioni che sono in grado di ridurre al minimo i costi.

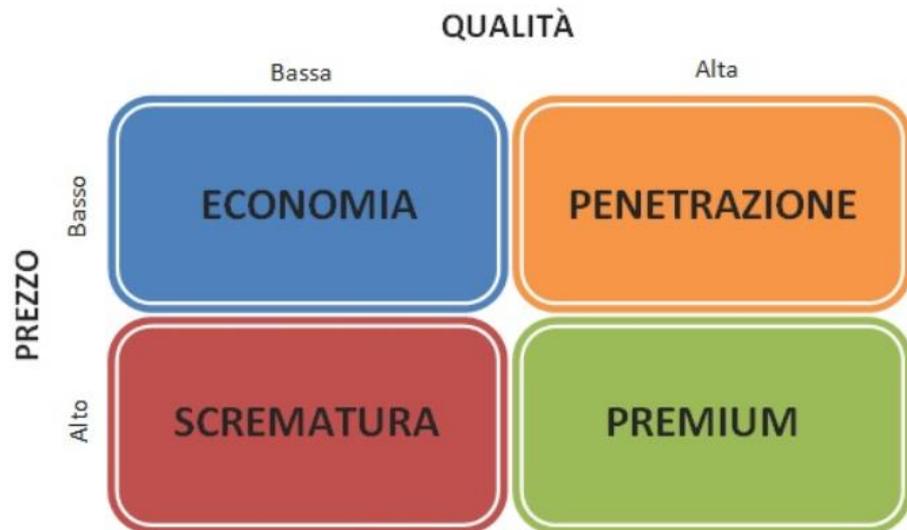


Figura 1: schema politica dei prezzi

- e) Prezzo di pacchetti di prodotti (Bundle): questa strategia di prezzo consiste nell'accoppiare un numero di prodotti diversi e venderli ad un prezzo inferiore se gli stessi prezzi venissero acquistati singolarmente. Il bundling delle merci non è solo un modo efficace per spostare oggetti invenduti che occupano spazio nella tua struttura, ma può anche aumentare la percezione del valore agli occhi dei tuoi clienti, dato che in pratica stai dando loro qualcosa gratuitamente.

1.3.1. Approfondimento ruolo del magazzino nella logistica

Il compito principale della Supply Chain è soddisfare la domanda del cliente riuscendo ad offrire beni e servizi in un tempo consono. Per fare ciò al meglio le aziende si avvalgono delle scorte di materie prime, di WIP (work in progress) e prodotti finiti.

Le ragioni che costringono\ a creare e mantenere delle scorte sono:

- Smorzamento delle irregolarità nei consumi;
- Smorzamento delle irregolarità dei ricevimenti merci da fornitori;
- Acquisire flessibilità rispetto al cambiamento nel mix di prodotti e nei volumi;
- Facilitare la distribuzione e il trasporto merci;
- Ridurre inaffidabilità del sistema;
- Risoluzione delle problematiche del lavoro;
- Sopperire ai fermi macchina dovuti a problemi di qualità;
- Sopperire all'incertezza della previsione della domanda;
- Sopperire ad errori della pianificazione produzione;
- Ridurre rischi di fornitori inaffidabili o non flessibili.[3]

Possiamo estremizzare il concetto di catena logistica, affermando che la produzione consente la realizzazione del prodotto e il marketing si impegna a crearne la domanda. L'azienda varia l'offerta controllando la capacità di produzione e il livello delle scorte. Il marketing, tuttavia, si concentra sull'impatto che può avere una promozione o la concessione di sconti. In sintesi, le decisioni manageriali sulla promozione e sugli sconti commerciali tengono conto dell'effetto, che esiste per ciascun prodotto, dei costi di stoccaggio e dei costi di modifica della capacità produttiva.

Con la crescente richiesta di customizzazione da parte dei clienti, la domanda di prodotti personalizzati è molto instabile e difficile da prevedere. La crescente varietà di prodotti e la richiesta di tempi di consegna sempre più brevi costringe le

aziende l'utilizzo di magazzini.

In questo modo, un partecipante alla supply chain, può decidere le politiche di consegna con altri partecipanti a valle o a monte, a seconda di dove si trova lungo la catena. Inoltre, il livello di scorte di sicurezza viene definito in base al livello di servizio che si vuole offrire. Ci sono alcuni indicatori che sono tenuti sotto controllo come il tasso di ordini soddisfatti, il tasso di prodotti disponibili ecc.

Oltre ai costi di gestione, il problema di un elevato livello di scorte di sicurezza potrebbe comportare un deprezzamento dei prodotti se il loro valore dovesse calare drasticamente.

Un modo per mitigare questo rischio e cercare di mantenere il livello di scorte di sicurezza basse cercando di ridurre i tempi di consegna del fornitore. Tuttavia, questa azione comporta uno sforzo considerevole per il fornitore. Un'altra opzione utile è quella di utilizzare i metodi di previsione più sofisticati per ridurre l'incertezza della domanda. In questo caso, esistono software adeguati a supporto delle aziende.

Le aree di stoccaggio e i magazzini, come già accennato, possono essere centralizzati o decentralizzati. Tuttavia, è possibile estrarre i vantaggi dell'aggregazione e non disporre di posizioni fisiche centralizzate. Ciò è possibile tramite:

- informazioni centralizzate;
- specializzazione;
- Sostituzione del prodotto.

Inoltre, quando si produce un'ampia varietà di prodotti, è vantaggioso studiare la comunanza o modularità dei componenti, per garantire che gli spazi di stoccaggio siano ridotti per ciascun componente. Quando si progettano prodotti con componenti comuni, la domanda di ciascun componente può essere aggregata per tutti i prodotti finiti di cui quel componente fa parte. In questo modo rende la previsione di tale componente più predittiva. Sfortunatamente, per garantire che un componente possa essere utilizzato in più prodotti finiti, deve essere più flessibile e ciò comporta di solito un aumento dei suoi costi di produzione e progettazione. Ciò significa che il vantaggio marginale diminuisce con l'aumentare della comunanza.

Pertanto, la scelta manageriale sarà orientata nel miglior compromesso tra efficienza e reattività dai fattori citati che possono rendere redditizio il settore.

1.3.2. Approfondimento ruolo del trasporto nella logistica

Da quando la logistica è avanzata dagli anni '50 fino ad oggi, ci sono state numerosi sviluppi focalizzati sulla funzione trasporto. A causa di una sempre più accentuata globalizzazione avuta negli ultimi decenni, l'importanza della gestione della logistica è cresciuta enormemente. Per le industrie, la logistica aiuta a ottimizzare i processi di produzione e distribuzione attraverso tecniche di gestione finalizzate all'efficienza e la competitività dell'impresa. Un elemento chiave in una catena logistica è il sistema di trasporto, che “unisce” le attività della catena logistica. Il trasporto occupa un terzo dell'importo dei costi logistici e i sistemi di trasporto influenzano enormemente le prestazioni della Supply Chain. Il trasporto è richiesto nelle fasi più importanti della catena logistica, dalla produzione alla consegna ai consumatori finali fino ai resi. Il trasporto non riguarda solo la fase di consegna delle merci ma risulta importante e rilevante per varie fasi della catena logistica. Guardando l'intero processo di creazione di un prodotto possiamo descrivere tutte le fasi in cui la logistica del trasporto viene chiamata in causa.

- **Acquisizione materie prime:** in questa fase la funzione trasporto riguarda tutti quei processi che portano materie prime o semilavorati esterni all'organizzazione aziendale all'interno dell'azienda;
- **Gestione materiali:** in questa fase il trasporto gestisce la movimentazione all'interno dell'organizzazione aziendale (un esempio banale è lo spostamento materie prima dal sito di stock fino alla linea di produzione);
- **Distribuzione:** in questa fase la funzione trasporto gestisce la distribuzione dei prodotti finiti dall'azienda fino ai siti di vendita o addirittura direttamente fino al cliente.[4]

Senza sistemi di trasporto ben sviluppati, la logistica non potrebbe sfruttare appieno i suoi vantaggi. Inoltre, un buon sistema di trasporto nelle attività logistiche potrebbe fornire una migliore efficienza logistica, ridurre i costi operativi e promuovere la qualità del servizio. Il miglioramento dei sistemi di trasporto richiede lo sforzo sia del settore pubblico che di quello privato. Un sistema logistico ben gestito potrebbe aumentare sia la competitività del paese che delle imprese. Il sistema di trasporto è l'attività economica più importante tra i componenti dei sistemi logistici aziendali. Circa un terzo o due terzi delle spese

dei costi logistici delle imprese sono spese per il trasporto.

Il trasporto influenza i risultati delle attività logistiche e, ovviamente, influenza la produzione e la vendita. Il valore del trasporto varia a seconda del settore. Per quei prodotti con volume ridotto, peso ridotto e valore elevato, i costi di trasporto occupano semplicemente una parte molto piccola della vendita e sono meno considerati; invece, per quei prodotti grandi, pesanti e con un mark up basso, il trasporto occupa una parte molto importante della vendita e incide maggiormente sui profitti, e quindi è più considerato.

Negli ultimi anni anche la funzione trasporto sta avendo un'evoluzione significativa. Pensiamo solo all'uso di algoritmi che prevedono il traffico cittadino e danno come output percorsi alternativi più efficienti. Lo sviluppo della guida autonoma ridurrà con il tempo il rischio di incidenti con relativo abbassamento dei costi di trasporto. Infine, la creazione di poli di produzione 3D sempre più vicini al cliente ne potrebbero ridurre l'impatto sul costo finale. Immaginiamo l'industria del giocattolo, il cliente possiede a casa una stampa 3D ed acquista il modello CAD riuscendo a prodursi direttamente in loco il prodotto finito, in questo caso tutta la fase di trasporto merci al cliente viene cancellata con tutti i relativi vantaggi.

2. La fabbricazione additiva

2.1. Cenni evoluzione e automazione della progettazione

Prima dell'introduzione della tecnologia informatica i prodotti venivano realizzati e progettati manualmente, la buona riuscita di un prodotto dipendeva dalle qualità e abilità dell'operatore. L'abilità dell'artigiano era tale da poter realizzare anche prodotti molto complessi come orologi automatici, armi, autovetture etc, l'unico limite era rappresentato dalla quantità producibile. Limite che ai giorni d'oggi, con l'elevata richiesta di prodotti da parte del mercato, non è più tollerabile. Quindi le esigenze di incremento della produzione in concomitanza con una richiesta di riduzione di tempo e costi, ha portato ad un'automazione delle attività e dei sistemi di produzione.

In quest'ambito di automazione Frederick Taylor e Henry Ford introdussero la parzializzazione delle attività e i principi della produzione di massa rivoluzionando i sistemi di produzione. Grazie a questi primi principi introdotti le macchine utensili vennero interconnesse per formare le prime linee di produzione per larga scala. Queste linee di produzione però erano costose da realizzare, rigide e potevano realizzare un unico tipo di prodotto riducendo o addirittura azzerando la capacità di customizzazione. All'epoca questo tipo di scelta era comunque giustificata dalle limitate esigenze del mercato riconducibile essenzialmente alla disponibilità del prodotto, in pratica era totalmente assente un'esigenza di diversificazione. Un esempio tangibile è il settore automotive degli anni 50, si vendeva un unico modello che differenziava dagli altri solo ed esclusivamente su parti marginali (esempio il colore) ed aveva un ciclo vita anche ventennale.

Con il passare degli anni ben presto si raggiunse la saturazione del mercato e ben presto iniziarono a crescere le aspettative del cliente in merito ad una diversificazione più ampia del prodotto. Ovviamente tali esigenze, come detto precedentemente, non potevano essere soddisfatte da questo tipo di linee estremamente rigide, quindi fu dunque necessario cambiare totalmente approccio alla produzione dei prodotti.

Possiamo riassumere in tre fattori principali le cause che portarono alla dismissione questa tipologia rigida di linea:

- I sistemi a camme e di copiatura non erano riutilizzabili per nuovi prodotti, questo portava ad avere elevati sunk costs per ogni linea di prodotto da realizzare;
- Non esistevano, o erano molto limitati, i sistemi di controllo meccanici per via della loro elevata complessità di realizzazione;
- la normativa sull'energia e sulla sua distribuzione all'interno dell'azienda imponeva restrizioni crescenti che rendevano la realizzazione delle linee di produzione sempre più complessa e costose;

Solamente l'implementazione di motori elettrici dedicati e sistemi informativi adeguati risolsero lo stato di stallo in cui imperversavano le linee produttive di quegli anni. Queste innovazioni hanno reso le linee estremamente più flessibili rendendo indipendenti le macchine della linea sia dal punto di vista della potenza sia dal punto di vista dei sistemi di controllo. In questo modo divenne molto più semplice gestire un cambio di prodotto sulla stessa linea senza dover per forza sostituire parte di struttura meccanica.

Allo stesso tempo si iniziarono a verificare i primi problemi di saturazione degli impianti, con conseguente rotture di stock e ritardi nella consegna dei prodotti finiti con relativa perdita di quote di mercato e di immagine. La soluzione di queste problematiche organizzative, individuabili come esigenze di flessibilità, portò all'adozione di metodi matematici ed euristici per la pianificazione e il controllo della produzione. Ovviamente, data l'elevata mole di dati, l'utilizzo di questi metodi non poteva essere gestito manualmente dall'uomo; nasce la necessità dell'utilizzo di sistemi informatici altamente performanti. L'utilizzo era al primo livello dell'azienda, quello produttivo e i risultati sono stati significativi.

I positivi risultati ottenuti spinsero l'introduzione dei calcolatori nei livelli superiori delle aziende con conseguenti necessità di sviluppo di reti di calcolatori e software di gestione.

Al presente la competitività travalica aree geografiche nazionali, ormai è una sfida globale e per mantenere una posizione nel mercato è necessario elevare al massimo i fattori che determinano un vantaggio competitivo: qualità, servizio, costo e innovazione.

- Qualità: la qualità è l'insieme delle caratteristiche e delle proprietà di un prodotto, di un processo o di un servizio, le quali conferiscono ad esso la capacità di soddisfare le esigenze implicite o espresse del cliente; [5]
- Servizio: inteso sia come il rispetto dei tempi di consegna sia come supporto post-vendita;

- Costo: da non confondere con il prezzo di vendita del prodotto che viene fissato dal mercato. Deve essere basso in modo da poter garantire mark-up più elevato;
- Innovazione: deve essere sempre perseguita in maniera costante e da raggiungere nel più breve tempo possibile in modo da generare vantaggio competitivo;

Per migliorare le performance di questi parametri non si può più ragionare nell'ottica di progettare prima il prodotto e poi il processo di realizzazione. Le due fasi devono andare all'unisono ed evolvere contemporaneamente.

Per le aziende produttrici di beni di largo consumo nel passato veniva attuata la progettazione sequenziale del prodotto e del relativo processo produttivo. L'approccio creava un rapporto di sudditanza della produzione rispetto alla progettazione. Il progettista "ordinava" ciò che doveva essere fatto senza preoccuparsi troppo dell'effettiva fattibilità.



Figura 2: progettazione sequenziale prodotto – processo

Come si può vedere dallo schema non sono previsti scambi di informazioni retroattivi tra le varie funzioni aziendali, quindi eventuali errori del progettista vengono individuati solo in fase di produzione e collaudo, determinando un

innalzamento dei costi per correggere l'errore. Risulta evidente che questo tipo di approccio, in un sistema globale ed altamente competitivo, è obsoleto. Infatti, con questo tipo di approccio risulta difficile individuare gli errori e attribuirne le responsabilità, gestire eventuali modifiche richieste dal cliente, difficoltà a creare standard software e hardware tra le varie funzioni aziendali e lo scambio di informazioni interne va in una sola direzione da monte verso valle.

Visti i limiti sopra esposti, è imperativo passare ad un sistema di sviluppo dei nuovi prodotti che coinvolga tutte le principali funzioni aziendali. Nasce la Concurrent engineering.

L'approccio concurrent engineering prevede che sia il prodotto e sia il processo produttivo nascano ed evolvano in contemporanea. Occorre tener presente sin dalle prime fasi dello sviluppo del progetto tutti gli aspetti che intervengono nel ciclo di vita del prodotto quali la producibilità, il montaggio, l'affidabilità, i costi, le aspettative dell'utente.

È necessario un continuo scambio di informazioni tra i nodi della catena produttiva, inoltre la direzione non deve andare esclusivamente da monte verso valle ma al contrario le informazioni devono viaggiare anche da valle verso monte. In questo modo eventuali errori di progettazioni o richieste dei clienti vengono subito presi in carico a monte e risolti ad un costo molto più basso di un sistema sequenziale puro.

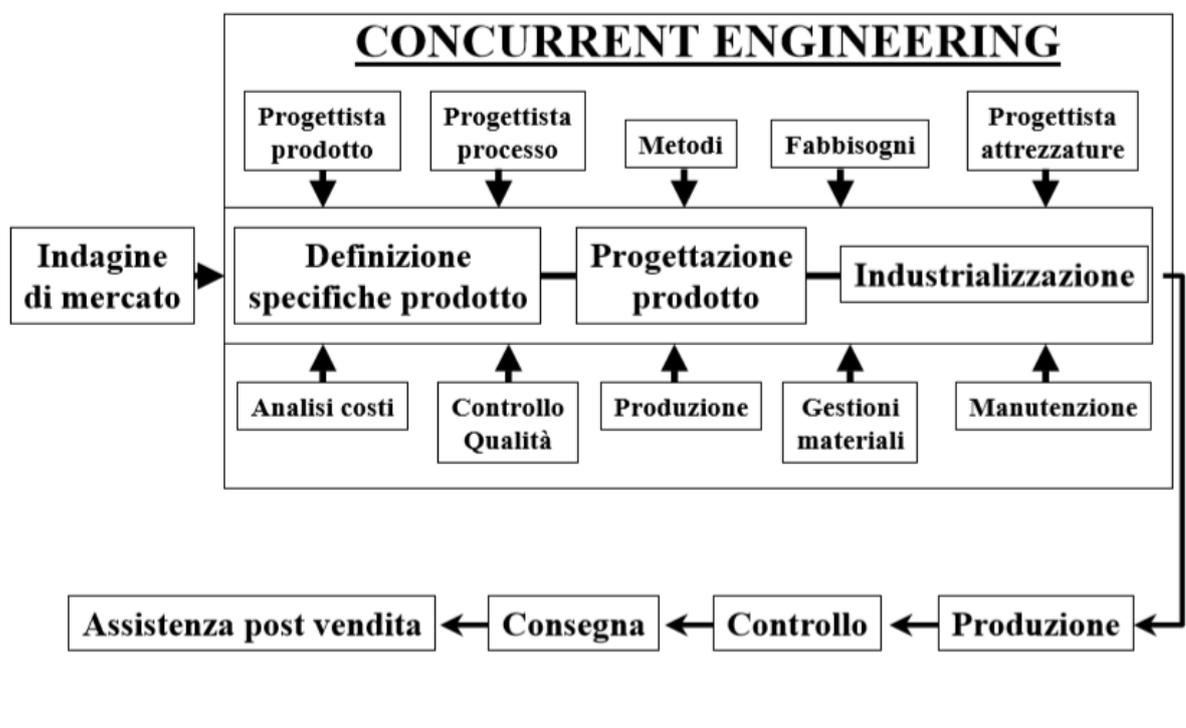


Figura 3: concurrent engineering

I principali vantaggi che offre questa filosofia sono:

- Una drastica riduzione del tempo per la progettazione del prodotto/processo
- Facilità nell'individuazione e correzione degli errori di progettazione
- Semplificazione nelle risposte alle richieste del cliente
- Incremento della competitività aziendale
- Miglioramento dello scambio informazioni all'interno dell'azienda

Per concludere, utilizzando le nuove tecnologie di stampa 3D, il concetto di concurrent engineering può essere estremizzato al massimo.[6]

2.2. Che cosa è la fabbricazione additiva

Per ovviare ad una iniziale “vaghezza” del termine, è stata recentemente pubblicata una norma di validità mondiale, elaborata congiuntamente dagli enti normatori di vari Paesi. Secondo questo documento (denominato ISO/ASTM52921-1 “Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies”), le tecnologie additive sono definite come “quei processi che aggregano materiali al fine di creare oggetti partendo dai loro modelli matematici tridimensionali, solitamente per sovrapposizione di layer e procedendo in maniera opposta a quanto avviene nei processi sottrattivi (o ad asportazione di truciolo)”. [7]

La fabbricazione additiva, in inglese Additive Manufacturing, è una tecnica di produzione innovativa che permette di costruire un oggetto, anche di forma molto complessa, aggiungendo materiale e non sottraendolo, come avviene normalmente, il tutto partendo direttamente dal modello matematico in formato CAD tridimensionale. L'uso di strumenti CAD è un prerequisito fondamentale per poter avere accesso alla tecnologia.

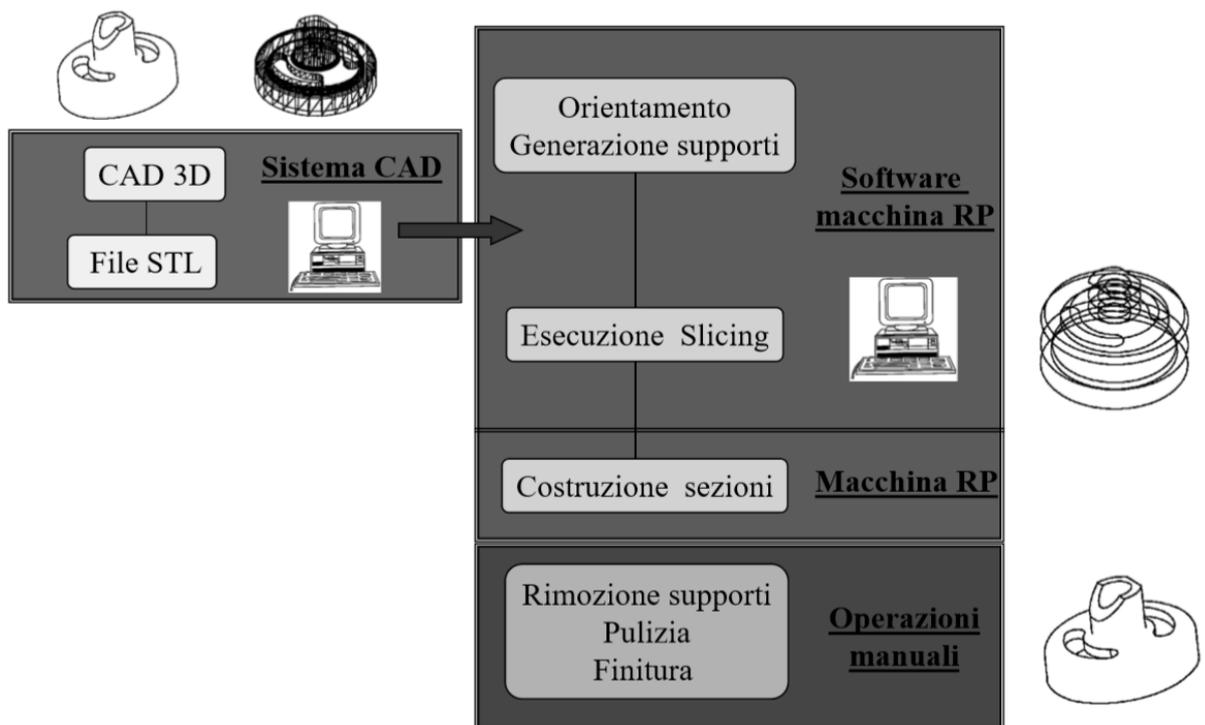


Figura 4: ciclo della fabbricazione additiva

Sopra rappresentato è il classico schema di produzione di un prototipo con la stampa 3D, la produzione del pezzo di preserie o il pezzo finale non si discosta di molto. Per prima cosa si progetta il pezzo con un programma CAD tridimensionale, in seguito questo modello viene convertito nel formato .STL leggibile dalla stampante. Il programma della stampante legge il file .STL e genera il modello da stampare con relativi supporti. Arrivati a questo punto si avvia la stampante e il pezzo viene prodotto. Finita la fase di stampaggio, un operatore recupera il pezzo dalla camera di lavoro ed effettua gli ultimi lavori di rifinitura e di eliminazione dei supporti.

- **Modello CAD:** modello matematico tridimensionale progettato con software CAD, tra i principali software CAD 3d troviamo (CATIA, AutoCAD, SolidWorks ecc)
- **Formato STL:** acronimo di Standard Triangulation Language, è lo standard universale per convertire in linguaggio macchina i modelli CAD tridimensionali. Viene convertito il modello CAD 3d in un modello di tipo “shell”, dove vengono approssimate le superfici curve interne ed esterne del modello con dei triangoli. Questo standard ha dei problemi, ma grazie a dei software correttivi è un formato affidabile e molto diffuso per la fabbricazione additiva.

- Supporti: serve ad ancorare il modello in costruzione all'area di lavoro e permette in questo modo di poter costruire i livelli successivi, proteggono le pareti laterali da azioni che possono compromettere la costruzione e sostengono i sottosquadri.
- Slicing: Nella fase di slicing, il modello tridimensionale viene tradotto in una serie di "fette" (in inglese viene generalmente tradotto con "layer", strato) piane orizzontali, che saranno poi realizzate una sopra l'altra, per deposizione di materiale fuso, dall'estrusore della stampante. Negli oggetti stampati con questa tecnologia è facile rinvenire una rigatura orizzontale, dovuta proprio alla successiva sovrapposizione di strati. [8]
L'AM viene utilizzato per costruire modelli fisici, prototipi, strumenti e componenti in plastica, metallo, ceramica, vetro e altri materiali compositi. Le società di progettazione e produzione utilizzano parti realizzate con metodi AM in vari settori come medico, militare, aerospaziale, industriale, solo per citarne alcuni.

2.3. Tecnologie 3D

Le tecnologie legate alla manifattura digitale non riguardano esclusivamente la stampa 3D, ma troviamo anche le macchine a controllo numerico CNC, laser cutter e lo scanner 3D.

Il laser cutter e le macchine a controllo numerico sono basate sul concetto tradizionale di produzione, ossia metodi sottrattivi, quindi utilizzano tutti i processi di lavorazioni più comuni come fresatura, tornitura e taglio per ricavare l'oggetto finale. Queste tecnologie digitali sono ampiamente diffuse nei tessuti produttivi più evoluti. Per quanto riguarda lo scanner 3D bisogna fare un discorso differente. Questa tecnologia è uno strumento usato per produrre un nuovo oggetto da un oggetto già esistente. Quindi a differenza delle tecnologie CNC e Laser Cutter va ad impattare nella fase di progettazione e non su quella di produzione.

Attualmente questa tecnologia è usata o per fare Reverse Engineering o per fare controllo qualità creando una mappa colore del pezzo in modo da riscontrare gli scostamenti delle dimensioni reali dal modello CAD.

In questo studio verrà analizzata la tecnologia delle stampe 3D, la tecnologia che si prevede abbia maggiore impatto sul processo produttivo e progettuale di un'organizzazione aziendale rispetto alle altre tecnologie digitali.

L'importanza della stampa 3D consiste nel rendere maggiormente intuitiva la logica espositiva, permettendo, inoltre, di materializzare concetti e idee in modo chiaro ed immediato. È importante notare che ogni tipo di stampa ha caratteristiche e vantaggi specifici, ma anche limitazioni significative (principalmente sulla lentezza del processo di stampa, alti costi di produzione e a volte scarsa robustezza

del prodotto). È quindi importante conoscere le varie tecnologie disponibili per poter scegliere quella giusta per la funzione richiesta.

Nel processo di produzione di oggetti stampati in 3D la prima fase è rappresentata dalla modellazione. In questa fase, ogni dettaglio dell'oggetto è modellizzato con l'aiuto di software CAD (Computer Aided Design). Successivamente il modello subisce una fase di “slicing”, ovvero il modello è diviso "in livelli" che la stampante può aggiungere in successione. Il risultato è un formato file compatibile con la stampante 3D scelta.

Questi passaggi preliminari sono critici e indipendenti dal tipo di stampa che si desidera utilizzare. Ci sono molti processi e materiali disponibili per AM, non possiamo definire il migliore in assoluto, ma solamente il migliore per la funzione che ci interessa. Nello schema seguente viene rappresentata una suddivisione standard delle tecnologie in base al materiale utilizzato.

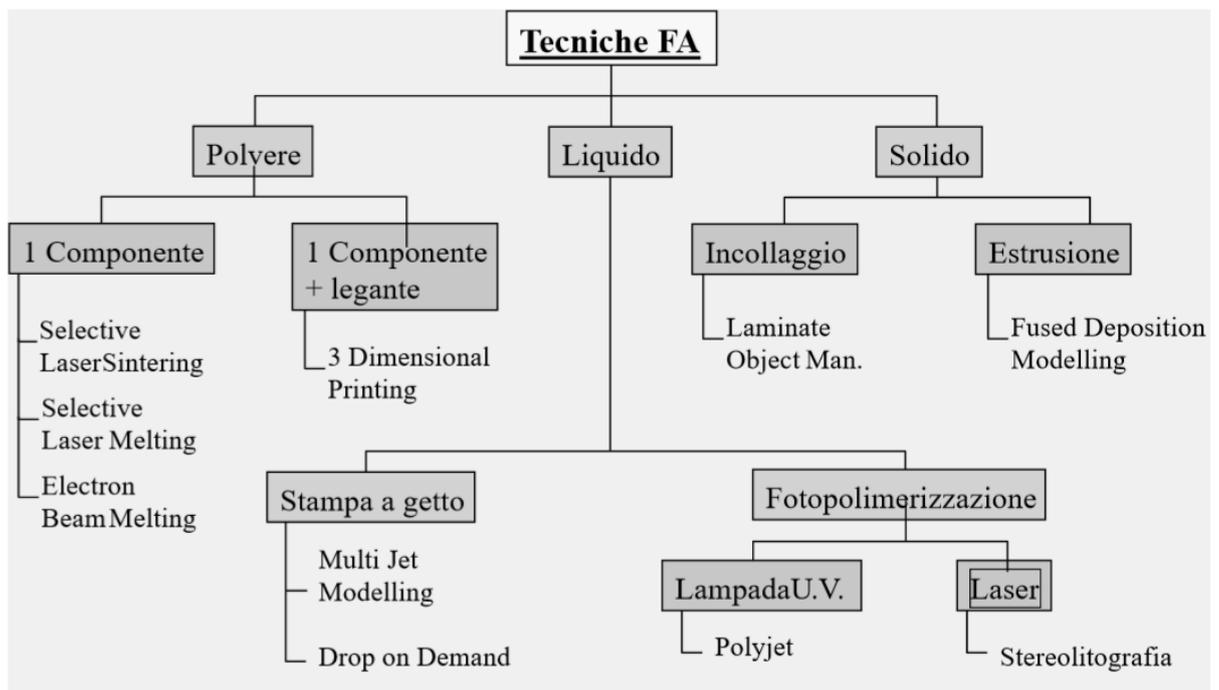


Figura 5: tecniche fabbricazione additiva

- Polvere: tipicamente vengono usate delle sabbie metalliche e strato per strato vengono fuse con una fonte di calore. Queste tipologie hanno il vantaggio di non dover avere supporti e minime parti di scarto;

- Liquido: tipicamente vengono usati dei liquidi, alcuni anche molto viscosi, sensibili a raggi U.V, laser o semplicemente all'aria. In questo caso si necessita di supporti.
- Solido: vengono utilizzati materiali solidi che strato per strato vengono incolati/fusi con lo strato di materiale precedente. Questa tipologia da dei risultati finali approssimativi e non precisi ecco perché questa tipologia di tecnologie viene usata soprattutto per fare dei prototipi concettuali o in ambito amatoriale.

Nei prossimi paragrafi verranno discussi dettagliatamente le principali tecnologie di stampa 3D.

2.3.1. Tecnologie che usano materie prime in polvere

- **Selective Laser Sintering** : Questo è un processo di stampa tridimensionale in cui una polvere viene sinterizzata o si fonde con l'applicazione di un raggio laser all'interno di una camera di anidride carbonica. La camera viene riscaldata fino quasi al punto di fusione del materiale. Il laser fonde la polvere nella posizione specificata dal modello CAD per ogni strato. La camera di lavoro, dove è presente la polvere di materia prima, è controllata da un pistone, che viene abbassata, di volta in volta, della dimensione dello spessore dello strato. Questo processo offre una grande varietà di materiali che potrebbero essere utilizzati, tra cui: plastica, metalli, combinazione di metalli, combinazioni di metalli e polimeri, combinazioni di metalli e ceramiche.

È anche possibile utilizzare materiali compositi o polimeri rinforzati. Per i metalli è necessario un legante. Questo potrebbe essere un legante polimerico, che verrà successivamente rimosso mediante riscaldamento o una miscela di metalli con un punto di fusione molto diverso.

I principali vantaggi di questa tecnologia sono dati dall'ampia gamma di materiali che possono essere utilizzati e la polvere non utilizzata viene riciclata, in modo da ridurre al minimo gli sprechi. Gli svantaggi sono che l'accuratezza è limitata dalla dimensione delle particelle del materiale, l'ossidazione deve essere evitata eseguendo il processo in atmosfera di gas inerte e il processo deve avvenire a temperatura costante vicina al punto di fusione del materiale.

- **Selective Laser Melting:**

La Selective Laser Melting, o SLM, è un tipo di produzione additiva che utilizza polveri in metallo. Spesso, i termini SLM e Selective Laser Sintering SLS sono usati in modo intercambiabile. Tuttavia, le due tecnologie differiscono leggermente, in quanto SLM fonde metalli puri mentre SLS fonde leghe metalliche.

SLM è una delle tecnologie di stampa 3D più interessanti oggi disponibili ed è utilizzata sia per la prototipazione rapida che per la produzione di massa. La gamma di polveri metalliche disponibili è piuttosto ampia. Il risultato finale ha proprietà equivalenti a quelle prodotte attraverso i processi di produzione tradizionali.

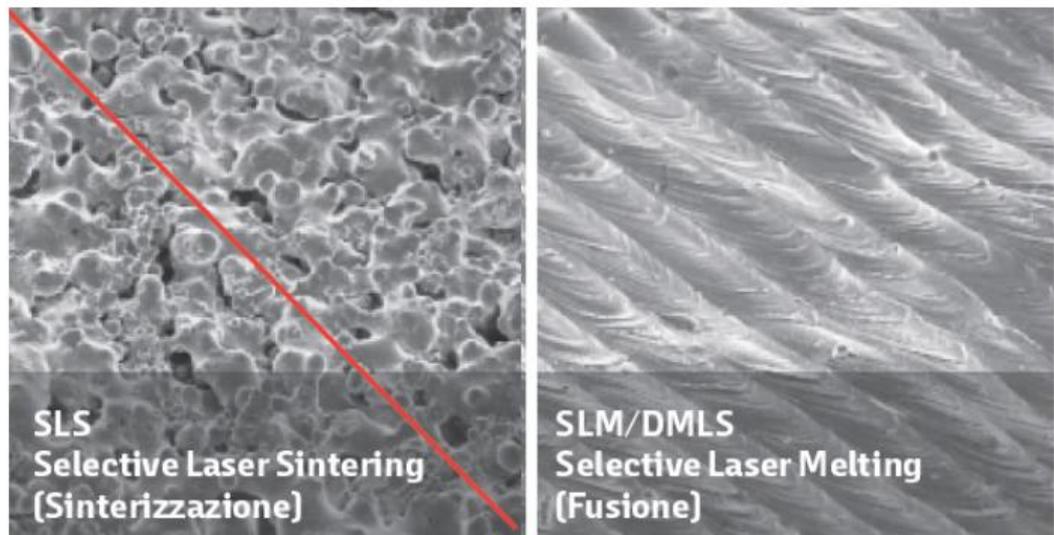


Figura 6: confronto superficie SLS vs SLM

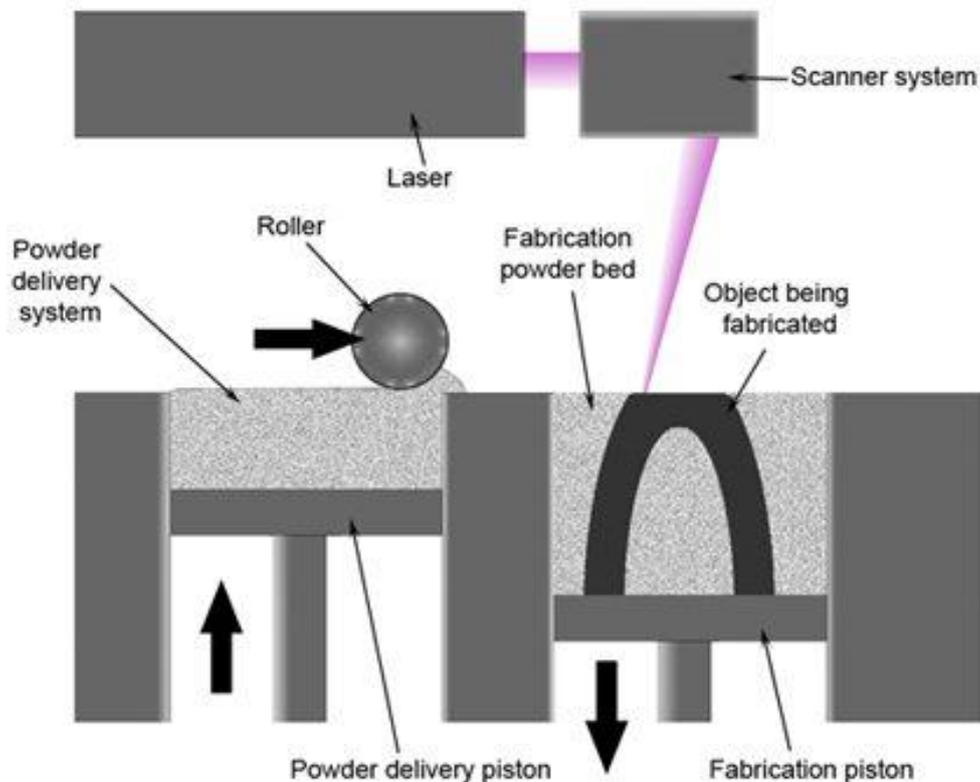


Figura 7: schema processo SLS e SLM

- Electron Beam Melting:** Un processo simile a SLS è la fusione del fascio di elettroni (EBM). Questo processo è relativamente nuovo ma sta crescendo rapidamente. In questo processo, ciò che scioglie la polvere è un raggio laser di elettroni alimentato da un'alta tensione, in genere da 30 a 60KV. Il processo si svolge in una camera ad alto vuoto per evitare problemi di ossidazione poiché è destinato alla costruzione di parti metalliche. Oltre a questo, il processo è molto simile a SLS e SLM. EBM può anche processare una grande varietà di metalli preallestiti. Uno degli usi futuri di questo processo è la produzione nello spazio fuori dall'atmosfera, poiché è tutto realizzato in una camera ad alto vuoto. Tra i principali vantaggi di questa tecnologia ritroviamo che si può stampare parti dense senza pericolo di deformazioni. Il principale svantaggio è dovuto ad una considerevole durata del raffreddamento successivo alla stampa.

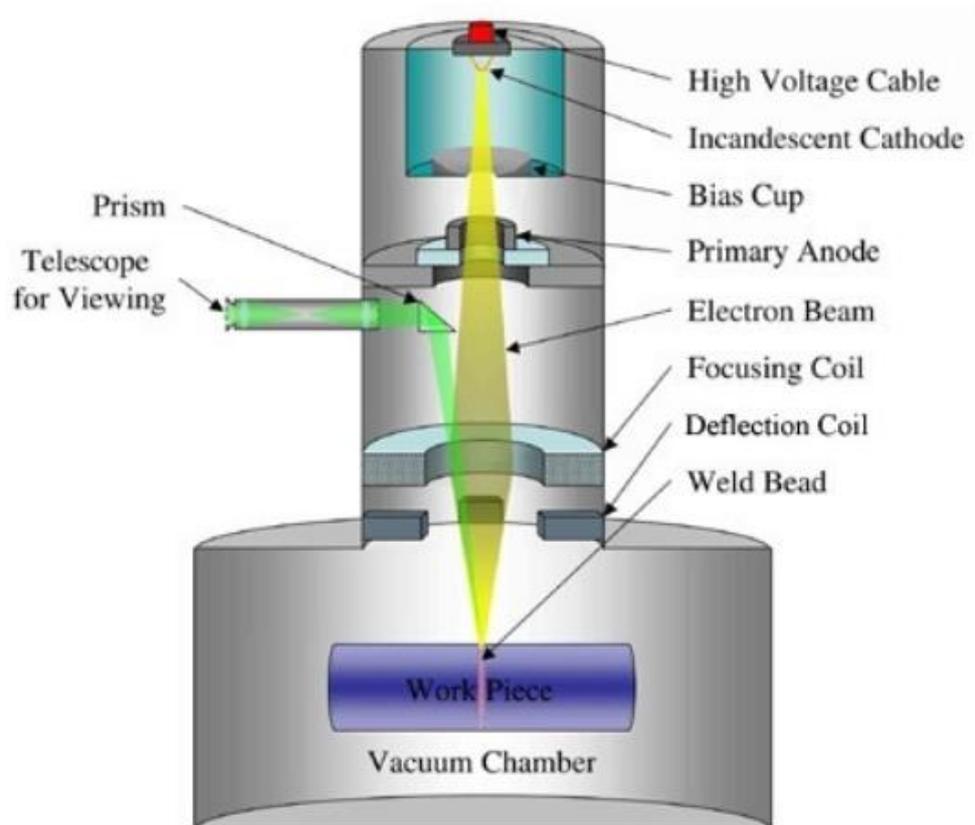


Figura 8: schema Electron Beam Melting

- **3DP:** Il processo 3DP è un processo con licenza MIT, questa nuova tecnologia di stampa è composta da due fasi: nella prima viene stesa una polvere polimerica, successivamente un ugello spruzza del legante lungo il perimetro dell'oggetto. Molto simile alle tecniche SLS e SLM, la sostanziale differenza è che l'indurimento del pezzo non dipende dal un laser ma solamente dal legante.

I principali vantaggi di questo processo consistono nel fatto che non è richiesta alcuna post-elaborazione chimica e sia stampante che materiali usati sono molto più economici delle tecnologie già presentate. Gli svantaggi sono che la risoluzione sull'asse z è bassa rispetto ad altri processi di produzione additiva (0,25 mm), quindi se è necessaria una superficie liscia è necessario un processo di finitura, creando un processo lento che a volte richiede anche diversi giorni per costruire parti complesse. Per risparmiare tempo alcuni modelli consentono due modalità; una modalità completamente densa e una modalità sparsa che consente di risparmiare tempo ma ovviamente riducendo le proprietà meccaniche del pezzo.

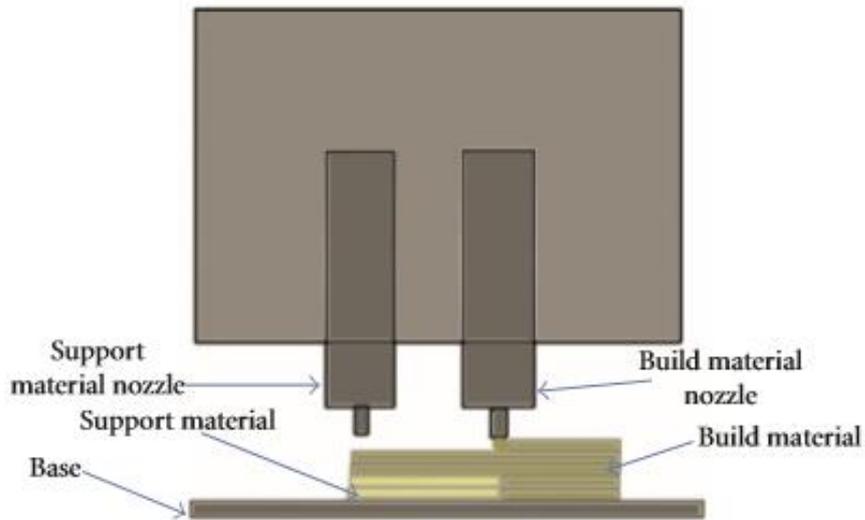


Figura 9: schema 3DP

2.3.2. Tecnologie che usano materie prime liquide

- **Polyjet:** Questo è un processo di produzione additiva, per produrre modelli fisici, che utilizza tecnologie della stessa filosofia delle stampanti getto d'inchiostro. La testina si muove negli assi x e y depositando un fotopolimero sensibile ai raggi ultravioletti. Lo spessore degli strati in questo processo è di 16 μm , quindi le superfici hanno un'alta risoluzione. Tuttavia, le parti prodotte da questo processo sono più deboli di altre come la stereolitografia e la SLS. Un polimero di tipologia gel viene utilizzato per supportare le superfici sporgenti, al termine questo materiale viene ripulito

con l'acqua. Con questo processo, è possibile creare parti di più colori.

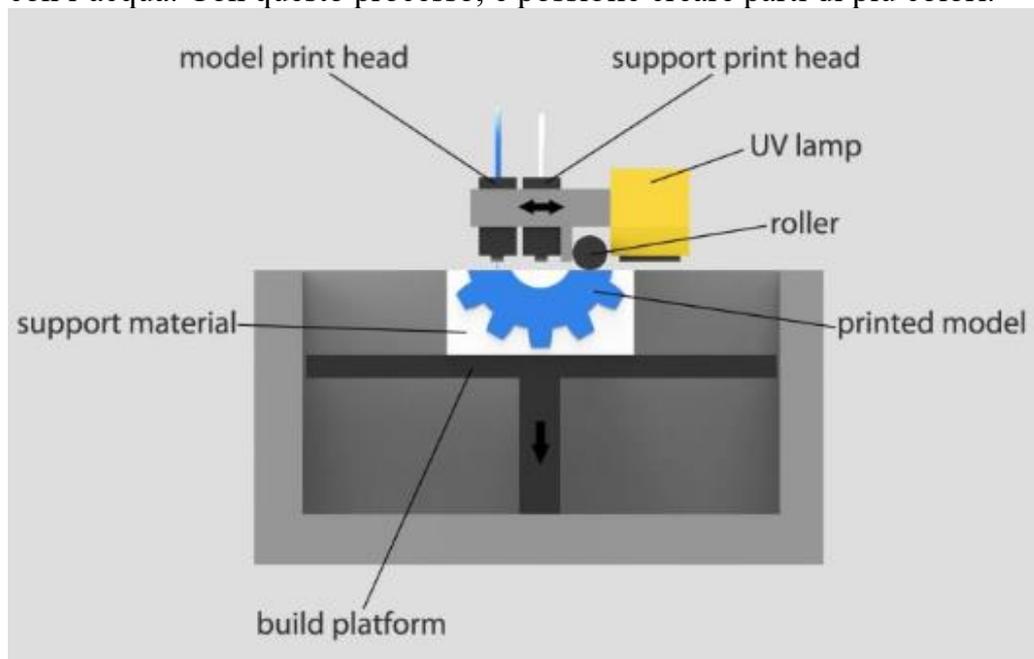


Figura 10: schema polyjet

- **Stereolitografia:** La stereolitografia (SL), sviluppata da 3D Systems, Inc., è stata il primo processo di prototipazione rapida e di conseguenza risulta la tecnologia di stampa 3D più utilizzata, in passato i due termini sono stati usati come sinonimi. Si tratta di un processo a base liquida che consiste nella polimerizzazione o solidificazione di un polimero fotosensibile ad un laser ultravioletto. Una piattaforma è costruita per ancorare il pezzo e sostenere le strutture a sbalzo. Quindi il laser UV viene applicato sulle posizioni specifiche di solidificazione della resina di ogni strato. Quando il livello è terminato, la piattaforma viene abbassata e infine al termine del processo, l'eccesso di materiale viene drenato e può essere riutilizzato. Una nuova versione di questo processo è stata sviluppata con una risoluzione più elevata e si chiama micro-stereolitografia. È possibile ottenere questo processo con uno spessore dello strato inferiore ai 10 μm . Il principio di base di questo processo è la fotopolimerizzazione, che è il processo in cui un polimero liquido si converte in un polimero solido applicando luce ultravioletta che funge da catalizzatore per la reazione, questo processo è anche chiamato vulcanizzazione a ultravioletti. È anche possibile far sospendere delle polveri nel liquido come la ceramica. Il processo di stereolitografia ha degli errori intrinseci della tecnologia. Uno è di curvatura, che si verifica a sbalzo delle parti perché non c'è fusione con uno strato inferiore. Un altro svantaggio è dato dalla fragilità dei materiali sul

lungo periodo. Oltre la prototipazione, un altro settore dove sta prendendo piede questa tecnologia è nel settore delle protesi dentali.

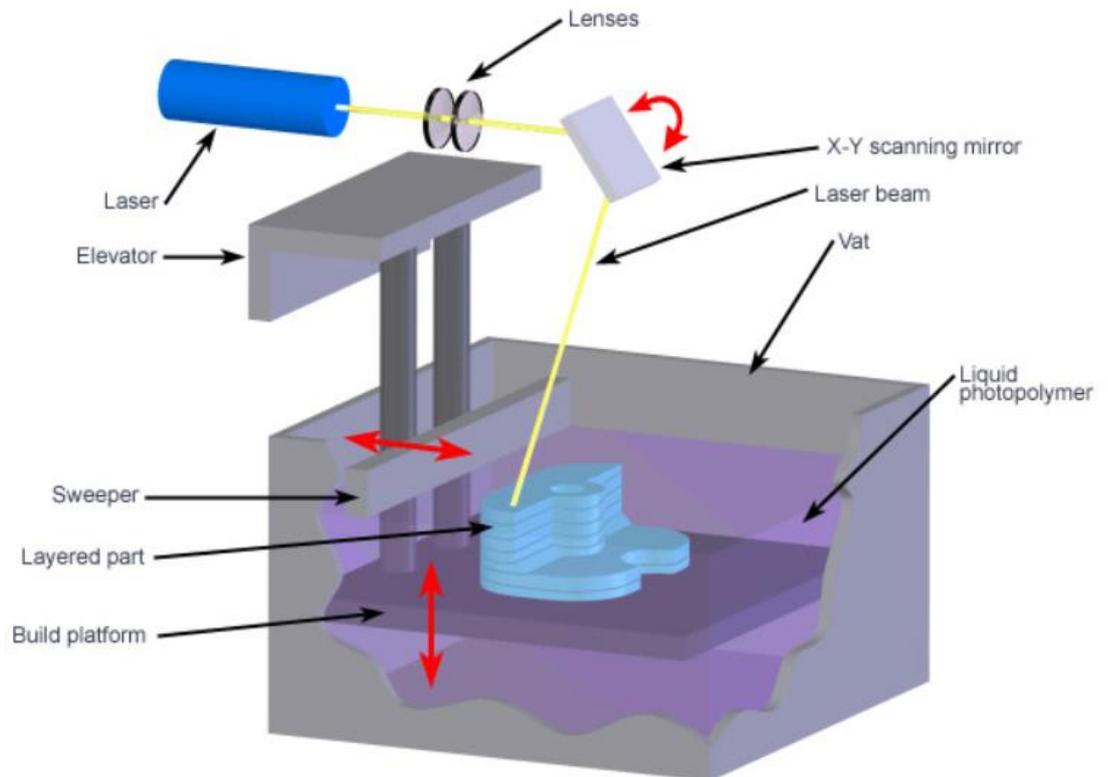


Figura 11: schema stereolitografia

- **Multi-jet modelling:** La modellazione multi-jet è un metodo di prototipazione rapida in cui un modello in plastica viene creato in strati utilizzando una testina di stampa con diversi ugelli lineari. I materiali termoplastici a cera vengono spruzzati come gocce sottili attraverso una testina di stampa riscaldata con una risoluzione di 300 dpi o superiore e polimerizzati mediante luce UV. Per le parti sporgenti, viene costruita una struttura di supporto di cera avente temperatura di fusione più bassa che in seguito viene rimossa mediante riscaldamento. I modelli finiti possono essere facilmente lavorati, incollati o rivestiti a macchina (ad esempio mediante metallizzazione sottovuoto). Questa tipologia di stampa è molto simile concettualmente a quello di una stampante a getto d'inchiostro e risulta particolarmente adatta per modelli concettuali o prototipi di design altamente dettagliati.
Che si tratti di componenti per lo sviluppo di concetti, campioni per la revisione del progetto o prototipi di funzioni per l'analisi di forma, la modellazione multi-jet è il miglior metodo di prototipazione rapida quando sono necessari velocità e massimo dettaglio.

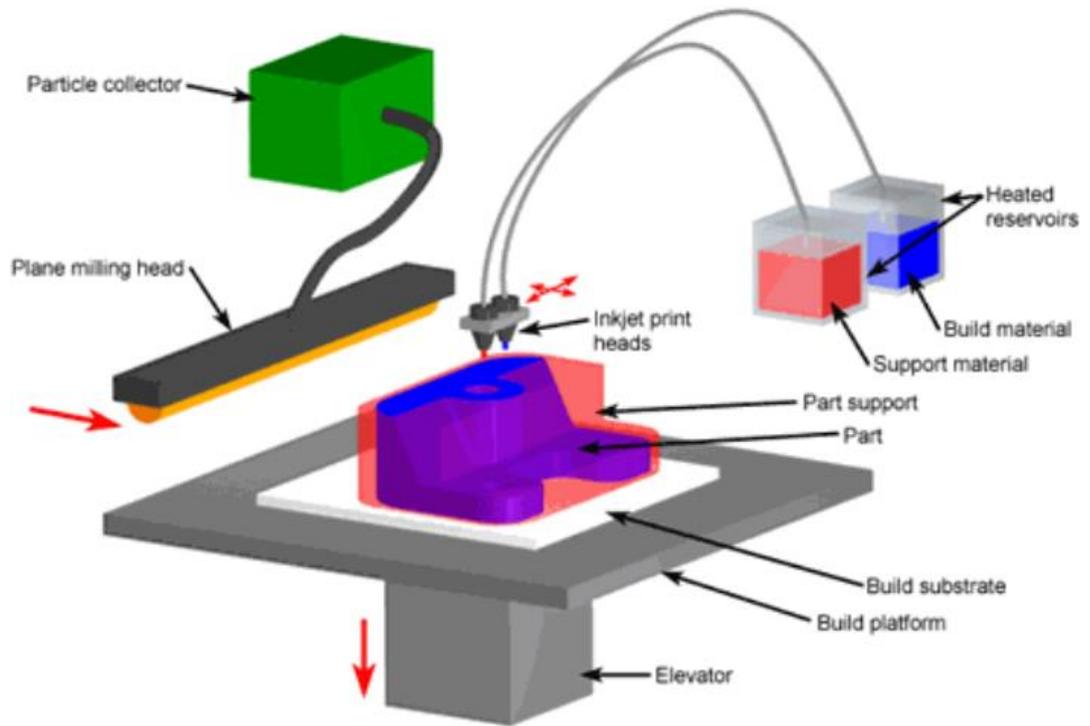


Figura 12: schema MJM

- Drop on demand:** è un processo di stampa 3D in cui le goccioline di materiale vengono depositate e polimerizzate selettivamente su una piastra di costruzione. Utilizzando foto-polimeri o goccioline di cera che induriscono quando esposti alla luce, gli oggetti vengono costruiti uno strato alla volta. La natura del processo di getti materiali consente di stampare materiali diversi nello stesso oggetto. Un'applicazione per questa tecnica è quella di fabbricare strutture di supporto da un materiale diverso dal modello prodotto. I principali vantaggi di questa tecnica sono: un'ottima rifinitura superficiale, grande ampiezza di colori e materiali utilizzabili. Tra i principali svantaggi riscontriamo: prodotto finito molto fragile e quindi non adatto per fabbricare parti meccaniche, ha un costo più elevato rispetto ad altri metodi per scopi visivi.

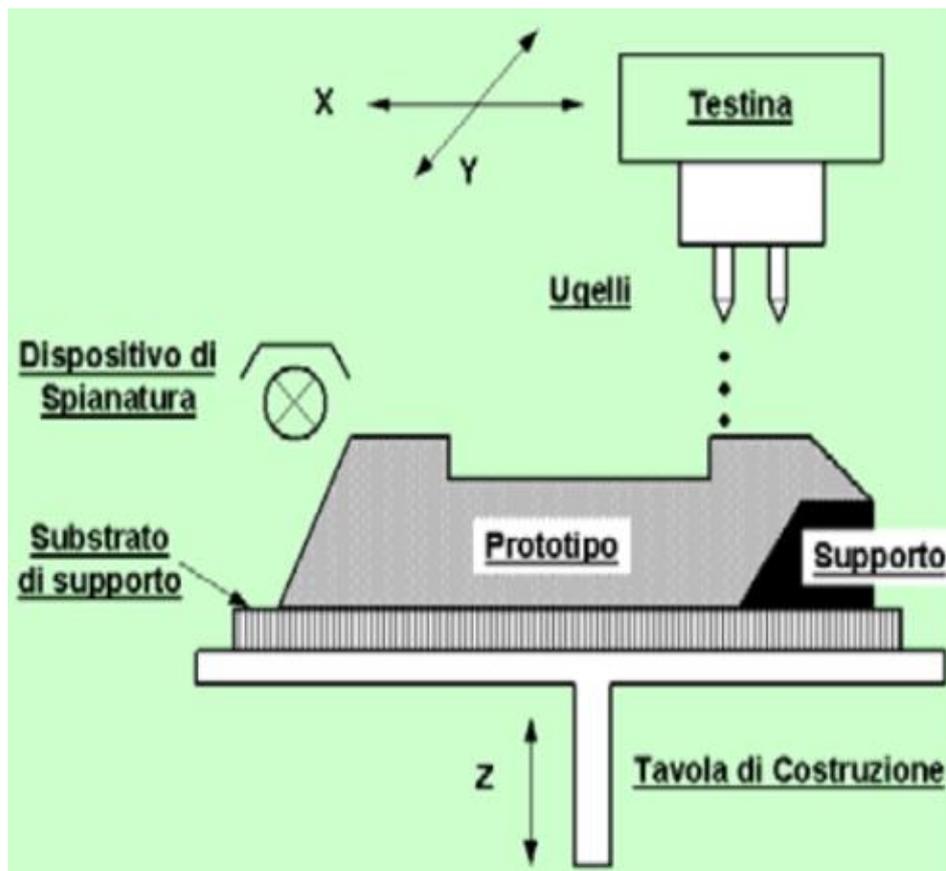


Figura 13: Schema Drop on Demand

2.3.3. Tecnologie che usano materie prime solide

- **Laminate Object Manufacturing:** è un processo che combina tecniche additive e sottrattive per costruire un pezzo strato per strato. In questo processo i materiali sono dei fogli, tipicamente metallici, che vengono uniti mediante calore o utilizzando un rivestimento adesivo termico. Tramite un laser vengono tagliati i fogli di ogni strato, dalle forme definite del modello 3D dal file CAD e STL. I vantaggi di questo processo sono il basso costo, nessuna post elaborazione e strutture di supporto richieste, nessuna deformazione o cambiamento di fase dei materiali durante il processo e la possibilità di costruire pezzi di grandi dimensioni. Gli svantaggi sono che il materiale di fabbricazione viene sottratto creando scarti, una bassa definizione della superficie e le complesse cavità interne sono molto

difficili da costruire. Questo processo può essere utilizzato per realizzare modelli con carta, compositi e metalli.

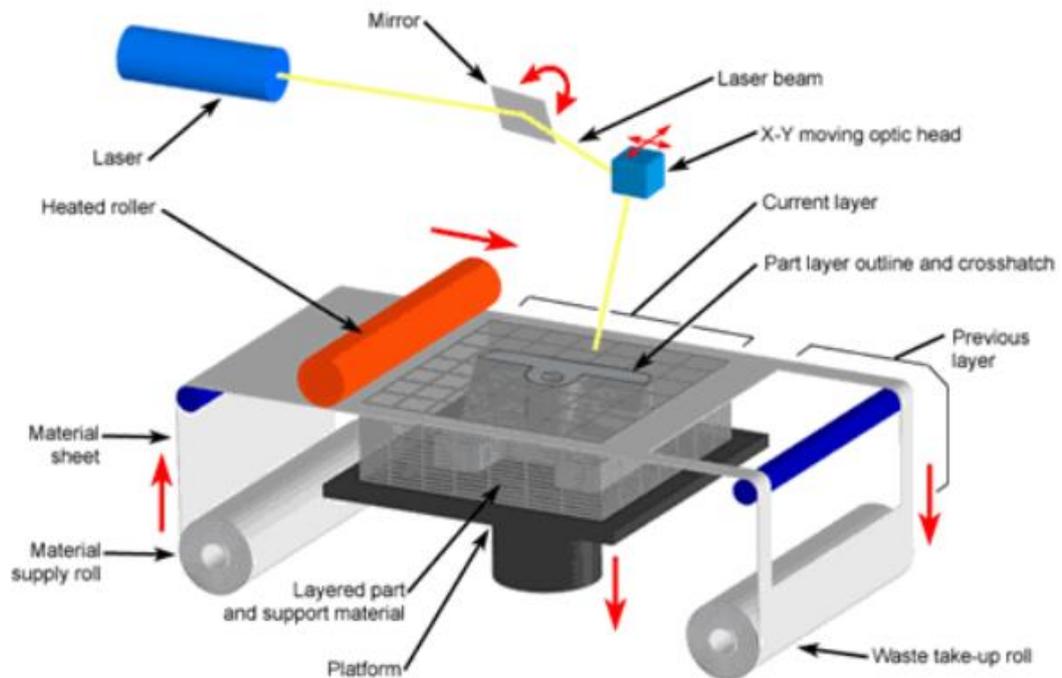


Figura 14: schema LoM

- Fused Deposition Modelling:** è un processo di AM basato sull'estrusione per fusione, per cui un polimero viene fuso in un ugello riscaldato ed estruso secondo le coordinate spaziali dettate da un modello CAD. È possibile utilizzare più ugelli di estrusione per applicare sia il polimero che determinerà la struttura dell'impalcatura e che fungerà contemporaneamente da supporto temporaneo, sia per la generazione di gradienti compositivi sui tre assi. La risoluzione è in gran parte dettata dalle caratteristiche del materiale termoplastico usato come materiale. L'integrità meccanica dei pezzi realizzati con FDM è ottenuta dalla fusione dei diversi strati tra loro al momento della deposizione. Questo approccio è un'alternativa tipicamente economica ad altre tecnologie di fabbricazione additiva, tuttavia, consente solo la realizzazione di strutture porose semplici e regolari.

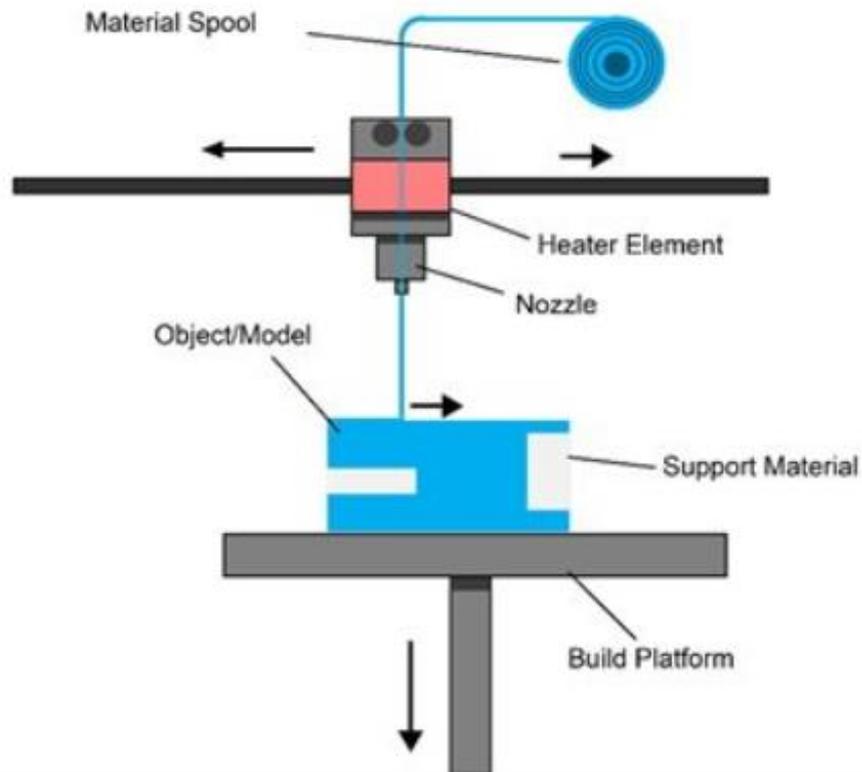


Figura 15: Schema FDM

2.4. Applicazioni della fabbricazione additiva

- Costruzione di pezzi leggeri:** Con le tecnologie di produzione additiva è possibile produrre parti leggere. Nell'industria automobilistica e aerospaziale l'obiettivo principale è quello di realizzare l'auto o il velivolo più leggero garantendo allo stesso tempo robustezza e sicurezza. Le tecnologie di produzione additiva hanno consentito la produzione di aree trasversali complesse come le celle a nido d'ape o ogni altra parte che contiene cavità e ritagli riducendo il rapporto peso-resistenza. Grazie all'utilizzo ai processi di Additive Manufacturing è possibile evitare i vincoli costruttivi dei metodi tradizionali; è possibile realizzare strutture cave che ad un peso inferiore garantiscono addirittura prestazioni superiori ad analoghi pezzi creati con metodo tradizionale. Un esempio sono le ruote fatte in stampa 3D per l'esercito americano, queste ruote non hanno camera

d'aria ma la sua struttura regge su uno schema a nido d'ape; il vantaggio di questa ruota è che oltre ad avere una riduzione del peso riducendo la grandezza del cerchio e crea uno pneumatico a prova di foro vista l'assenza di camera d'aria rendendolo perfetta per un uso in ambito bellico [9].

La SLS e il EBM sono ora molto utilizzati nell'industria aeronautica e aerospaziale ed amplificano notevolmente le possibilità progettuali prima vincolate ai limiti degli stampi e ai limiti delle tecniche sottrattive. Con SLS ed EBM, il limite sarà l'immaginazione dell'ingegnere. Aprono una dimensione completamente nuova di possibili progetti con quasi ogni polvere di metallo esistente. Con il processo tradizionale queste complesse strutture di forma se possibile realizzare risultano costose. Con tecnologie di stampa di produzione additiva come la sinterizzazione laser selettiva o la fusione del fascio di elettroni, è possibile realizzare strutture cave, che sono meno costose di una solita, poiché viene utilizzato meno materiale.



Figura 16: pneumatico 3D a nido d'ape

- **Modellistica per studi di architettura:** La creazione di un modellino di una piazza o palazzo può risultare un lavoro lungo e complicato per uno studio di architettura. Gli architetti di solito costruiscono i loro modelli con tecniche manuali, ma quando hanno in mente modelli complessi creare un modello fisico può essere un compito molto complicato. La modellizzazione è molto importante per gli architetti per studiare i modelli e la loro funzionalità. Sono inoltre necessari per dare una spiegazione visiva ai loro clienti e convincerli a realizzare il progetto in realtà. Le tecnologie di produzione additiva possono fornire agli architetti uno strumento molto

potente per la loro attività, essendo in grado di creare un modello fisico più velocemente senza preoccuparsi della complessità del design. Inoltre, gli architetti lavorando già con software CAD non hanno bisogno di adattamento alla tecnologia. La stereolitografia è un processo molto adatto per la modellazione architettonica a causa dei materiali utilizzati e della risoluzione di stampa.

- **Applicazioni mediche:** Le tecnologie di stampa di produzione additiva hanno vaste applicazioni nel mondo biomedico. Una prima applicazione riguarda la realizzazione in 3D, delle parti dove il paziente dovrà essere operato, in modo da poter realizzare delle simulazioni di intervento così da “allenare” il medico che dovrà effettuare l’intervento. Questo è reso possibile attraverso la realizzazione di prototipi a costruzione rapida che permettono di realizzare organi, tumori e modelli di osso danneggiato dei pazienti per poter realizzare l’analisi dell’intervento. I metodi di stampa di produzione additiva consentono di scansionare e costruire un modello fisico così da dare ai medici un’idea migliore di cosa aspettarsi e pianificare meglio la procedura, ciò consente di risparmiare costi e tempi e contribuisce ad ottenere un risultato migliore. Una seconda applicazione riguarda i trapianti di protesi d’ossa, ora possono essere eseguiti creando con procedure di produzione additiva la protesi, precedentemente scansionata e creata in 3D dall’originale, consentono di avere un trapianto praticamente identico all’originale. Grazie alla tecnologia 3D i medici hanno la possibilità di creare protesi di ossa in metallo dalle caratteristiche fisiche e meccaniche identiche all’osso originale. Le caratteristiche dei trapianti come la densità, la forma e le dimensioni dei pori e l’inter-connettività dei pori sono parametri importanti che manipoleranno il rilascio di proprietà meccaniche manuali dell’osso dell’impianto. La resistenza meccanica di questi impianti è da tre a cinque volte superiore rispetto ad altri prodotti con i processi tradizionali e la possibilità di infiammazione o rigetto è notevolmente ridotta. Un’ulteriore applicazione tipo riguarda la produzione di protesi per i dentisti dato che possono facilmente costruire un modello in gesso della bocca di un paziente e sostituire i denti dandone la loro esatta forma antecedente all’intervento.

Una donna belga di 83 anni è diventata la prima persona in assoluto a ricevere tramite trapianto una mascella fatta su misura per il suo viso usando una stampante 3D e il tempo e il recupero dell’intervento sono risultati molto inferiori rispetto ad altri pazienti che hanno fatto lo stesso intervento ma con protesi realizzate con metodi tradizionali. Le forme delle ossa differiscono troppo tra ogni persona e la stampa di produzione additiva produce trapianti che si adattano meglio e sono più facili da inserire e fissare, riducendo i tempi per la procedura e producendo un migliore

risultato estetico.

La stereolitografia è la tecnologia più usata per la fabbricazione di protesi ossee. Utilizzando questa tecnologia si garantisce una forma che si adatti meglio al paziente ed è anche più conveniente rispetto ai metodi sottrattivi. Visti i successi ottenuti in ambito medico con protesi dure come le ossa ad oggi si sta iniziando ad investire in produzione additiva di tessuti molli. Questa tecnologia aiuterà i pazienti che hanno perso il tessuto in seguito a incidenti a guarire più rapidamente e con risultati estetici migliori. La ricerca in questo settore potrebbe portare anche alla stampa di interi organi in modo da avere dei trapianti perfetti senza rischio di rigetto.

- **Migliorare la produzione di celle a combustibile:** Le tecnologie di produzione additiva possono essere utilizzate in processi che richiedono un film sottile molto preciso di un determinato materiale. Nella produzione di celle a combustibile a membrana con elettrolita polimerico, è necessario depositare con precisione uno strato molto sottile di platino, necessario per le reazioni di ossido-riduzione. Uno degli altri processi utilizzati è la serigrafia, eseguendolo a mano nel tempo ne viene compromessa l'uniformità e l'impatto sul tempo risulta elevato.
- **Produzione additiva nell'arte:** Le tecnologie di produzione aggiuntiva sono uno strumento molto potente per l'artista nel settore della moda, dell'arredamento e degli oggetti di design, data la possibilità e libertà di produrre virtualmente la forma più complessa che si possa immaginare. Ci sono aziende produttrici di complementi d'arredo, lampadari e accessori tra cui tessuti che utilizzano la SLS.
- **Produzione additiva per hobbisti:** Le tecnologie di produzione additiva stanno raggiungendo utenti non industriali. Questa rivoluzione è iniziata nel 2007 con stampanti che potevano essere acquistate a soli \$ 500, stiamo parlando comunque di modelli semplici che sfruttano la tecnologia FDM.

Tuttavia, queste stampanti a basso costo sono in gran parte vendute per realizzare progetti fai-da-te quindi è richiesta la capacità tecnica da parte degli utilizzatori. Tuttavia, oggi con grandi aziende che stanno investendo pesantemente in questo mercato, la stampante è più pronta a raggiungere le masse. Al momento, stampanti che usano materie plastiche e materiali commestibili come il cioccolato vanno per la maggiore. Gli utenti possono utilizzare il software CAD normalmente utilizzato dagli ingegneri, per creare oggetti o cibi dalle forme che più desiderano. Esistono anche

molte app per gli appassionati che permettono di creare modelli e stamparli utilizzando una stampante 3D.

3. Analisi del settore

Dal primo brevetto depositato nel 1986 fino alla prima macchina da stampa 3D (basata sulla tecnologia di stereolitografia) costruita alla fine degli anni '80 dalla 3D Systems, il mercato dell'industria AM è cresciuto significativamente (\$ 1 miliardo di dollari USA - 1997). Allo stesso tempo, la fabbricazione additiva è passata dalla prototipazione rapida alla prototipazione funzionale. Oggi AM è utilizzata in tutti i settori industriali, dallo spazio all'industria del giocattolo fino al cibo e rappresenta un'industria multimiliardaria. Le macchine più economiche rendono gli articoli realizzati con AM più accessibili alla clientela generalista. Una nuova stampa 3D può essere acquistata oggi per un costo minimo di 500 \$ rispetto ai 100.000 \$ che servivano negli anni '90. Il futuro della fabbricazione additiva sarà orientato maggiormente verso il design e con l'innovazione dei materiali anche per la fabbricazione di prodotti reali. Nella tabella seguente verranno riassunte le applicazioni più emergenti negli ultimi decenni della fabbricazione additiva.[10]

Industria automotive	<ul style="list-style-type: none">• Riduzione Build of material• Produzione pezzi di ricambio o accessori• Standardizzazione rapida
Aerospazio e aeronautica	<ul style="list-style-type: none">• Produzione parti con geometrie complesse• Controllo della densità e delle proprietà meccaniche dei pezzi• Produzione di componentistica leggera
Medicina e biomedicali	<ul style="list-style-type: none">• Pianificazione dell'intervento chirurgico con l'uso di accurati modelli anatomici basati sulla tomografia computerizzata (CT) o immagini di risonanza magnetica (MRI)• Sviluppo di impianti ortopedici regolabili e protesi• Stampa di tessuti biocompatibili

<p>Industria dello sport</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Produzioni accessori con geometrie complesse • Creazione di dispositivi di protezione con performance più elevate • Creazione in vari colori e materiali di parti per il collaudo
<p>Industria dell'edilizia</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Produzione additiva con calcestruzzo di case • Creazione di calcestruzzi ad alte prestazioni o autopulenti • Costruire grazie a materiali reperibili nelle vicinanze • Edifici privi di cemento • Abbattere i costi e i consumi di energia

Tabella 2: esempi additive manufacturing

Attualmente, la fabbricazione additiva è adatta a produzioni di piccoli volumi e di elevato valore in quanto non dipende dal costo del lavoro unitario e dalle economie di scala dei metodi tradizionali. La tecnologia consente elevata flessibilità e personalizzazione dato che i progetti possono essere modificati rapidamente. Comunque, allo stato attuale, l'investimento nella produzione additiva resta ancora piuttosto elevato per pezzi dalle dimensioni di un'automobile. Inoltre, la molteplicità di competenze richieste per gli operatori di AM, restano molte e costose in termini di tempo di apprendimento e costo di formazione. Ci vorrà ancora del tempo prima che il processo decisionale possa essere totalmente sostituito dalla piena automazione attraverso il processo decisionale digitale. Ciò lascia spazio all'aspettativa realistica che la fabbricazione additiva non sostituirà la produzione di massa convenzionale, che può produrre, se necessario, migliaia di parti identiche a basso costo, ma la affiancherà. Si tratta di realizzare forme e prodotti che non sono né possibili né economici da produrre attraverso la produzione convenzionale. È qui che l'Additive Manufacturing sta mantenendo le premesse ed è stata accolta con entusiasmo da alcuni dei maggiori produttori mondiali, come Airbus, Boeing, GE, Ford e Siemens nel tentativo di fare un salto in avanti verso l'industria 4.0 [11].

La produzione additiva è la pietra angolare dell'industria 4.0 e ha posto la competitività della produzione e una maggiore produttività nell'agenda politica di tutti gli stati industrializzati. Le nazioni industrializzate o in via di sviluppo stanno prendendo parte a questa ricerca. Ad esempio, l'industria manifatturiera nell'Unione europea contribuisce direttamente a 30 milioni di posti di lavoro e indirettamente ad almeno il doppio. Contribuisce all'80% delle esportazioni totali dell'UE e all'80% delle spese in R&S. La produzione avanzata contribuisce attualmente a 1,6 milioni di posti di lavoro e all'11% della produzione totale dell'UE. Comunque, quasi la metà delle aziende manifatturiere europee non ha utilizzato tecnologie di produzione avanzate in passato e non prevede di utilizzarle nei prossimi anni.

C'è un forte impulso a cambiare questo. In Europa, i "poli dell'innovazione digitale", come università, incubatori e centri di ricerca, sono in grado di fornire all'industria l'accesso a conoscenze, mezzi di sviluppo tecnologico e strutture per evolvere in questa nuova direzione. Si stima che raggiungerà un livello di investimento di 12 miliardi di dollari nei prossimi 7 anni [12].

Negli USA, dove il concetto di AM è iniziato circa tre decenni fa, la fabbricazione additiva è ora utilizzato in quasi tutti i settori manifatturieri, da industrie leader tra cui settori quali spazio, automobilistico, semiconduttore, aerospaziale e biomedicale. Simile all'industria europea, l'industria manifatturiera americana è incalzata dall'Asia, in particolare dalla Cina, in termini di competitività. La Fabbricazione additiva ha fornito una significativa opportunità per i produttori emergenti statunitensi facendo progredire l'innovazione negli Stati Uniti.

Gli Stati Uniti sono attualmente uno dei principali produttori di sistemi di stampa 3D e uno dei principali utenti di questa tecnologia. Tuttavia, in un mondo sempre più competitivo, trarre vantaggio dalle opportunità offerte da AM può rivelarsi difficile.

Alcuni temono che AM possa trasformare gli Stati Uniti in un luogo più competitivo per l'industria manifatturiera con un aumento della produzione, ma allo stesso tempo con una riduzione dell'occupazione manifatturiera e con relativi problemi sociali.

3.1. Andamento nel mercato globale

Secondo Wohlers Report, se si pensa che l'economia globale valga 70 trilioni di dollari e che il settore manifatturiero rappresenta il 15%, quindi 10,5 trilioni di \$, se AM potesse penetrare l'1% di questo mercato, allora potrebbe catturare 105 miliardi di \$. Si sostiene che la vendita di prodotti e servizi relativi all'AM raggiungerà i 10 miliardi di dollari entro il 2023. Queste stime ipotizzano che non vi saranno recessioni economiche globali o catastrofi naturali.

Sebbene si possa ritenere che la Fabbricazione additiva abbia raggiunto il suo stadio di maturità nella prototipazione, è ancora nel pieno della fase degli "innovatori" per quanto riguarda la produzione di parti per prodotti finiti.

Gli Stati Uniti continuano a guidare la marcata produzione e vendita di sistemi AM professionali per uso industriale, con il 60,9% delle vendite totali. Seguono Europa (19,2%), Israele (14%) e Asia (5,4%) [13].

A livello globale, sono stati registrati ricavi per 1642,6 milioni di dollari per i beni realizzati con stampa 3D, con gli Stati Uniti che hanno stimato circa \$ 630 milioni e il 38,3% della produzione globale nel 2016. Circa il 62,8% di tutte le unità prodotte con la fabbricazione additiva vendute nel 2016 sono state costruite dai tre principali produttori di sistemi AM: Stratasys, Z Corporation e 3D Systems. Circa il 64,4% di tutti i sistemi è stato prodotto da società con sede negli Stati Uniti.

Tra il 2031 e il 2038, si stima che, AM dovrebbe raggiungere il 50% del suo potenziale di mercato, mentre si prevede che raggiungerà il 100% del suo potenziale di mercato tra il 2058 e il 2065. In termini monetari, questa stima indica che l'industria dovrebbe raggiungere la dimensione di 50 miliardi di \$ tra il 2029 e il 2031 e di 100 miliardi di \$ tra il 2031 e il 2044 [14].

Con una quota manifatturiera del 70% del commercio globale e 5 dei 10 principali produttori mondiali, l'Asia è il motore industriale del pianeta e sta iniziando ad investire nella fabbricazione additiva, principalmente attraverso investimenti nella ricerca, con la speranza di penetrare questo mercato e incrementando la produzione di prodotti finiti già in questo decennio. Le ragioni principali del recente impulso sono la scadenza dei brevetti sulle tecniche di AM e anche una diffusione sempre più globale di queste tecnologie da parte degli attuali leader del settore Stati Uniti, Europa, Canada e Israele. Anche il supporto e gli investimenti continui da parte del settore pubblico e privato hanno facilitato la crescita.

Il potenziale della tecnologia 3D di ridurre la dipendenza da processi di produzione più tradizionali e ad alta intensità di manodopera le consentirà di svolgere un ruolo significativo nelle economie di questi paesi. La Cina è senza dubbio all'avanguardia nell'adozione dell'AM nel panorama asiatico. Nel 2013, il valore del mercato cinese della stampa 3D è stato stimato a 1,72 miliardi di yuan con una quota del 9% del mercato globale. Delle 200.000 stampanti installate nel 2013 in tutto il mondo, la Cina rappresentava solo il 10% rispetto al 40% negli Stati Uniti. Attualmente lo stato della tecnologia di stampa 3D è alla pari con quello delle economie avanzate come gli Stati Uniti, ma la Cina è ancora indietro rispetto agli sviluppi di materiali e software [15].

Questo scenario cambierà presto, dato che l'industria manifatturiera cinese ha superato gli Stati Uniti nel 2012 diventando il principale produttore del mondo. In tal caso, gli stakeholder di questa tecnologia dovranno confrontarsi con player asiatici sempre più importanti.

La fabbricazione additiva per alcuni viene considerato un elemento di perturbazione del mercato. Invece di aumentare l'attuale catena di

approvvigionamento e di valore, AM potrebbe potenzialmente sostituirli. Se si considera la vasta rete globale e la catena di fornitura attualmente esistenti in cui le materie prime vengono estratte in un paese, trasformate in semi-lavorati ed immagazzinati in un'altra nazione e successivamente assemblati in più siti diversi, è possibile comprendere le enormi barriere all'ingresso per l'Additive manufacturing nel sostituire l'attuale value chain nel breve termine. I produttori di prodotti finiti consoni alla vendita diretta al cliente, che utilizzano AM, dovrebbero incorporare l'intera catena del valore. Ciò significa una compressione della Value Chain che richiederà competenze interne in materia di materiali, giunzione, assemblaggio, robotica, automazione e progettazione assistita di software. È quindi probabile che il mercato AM continuerà a svilupparsi nella produzione a basso volume e ad alto valore aggiunto.

Nel corso del tempo, determinati attori lungo la catena del valore possono iniziare a incorporare nella catena tecniche di produzione di additive a costi contenuti. Ciò significa che continui miglioramenti e innovazioni in termini di prestazioni e compatibilità delle singole categorie di produzione additiva con particolari sistemi di materiali saranno di fondamentale importanza per la futura diffusione dell'AM. Altri fattori che sono potenzialmente importanti, mentre le nuove tecnologie di produzione e le innovazioni avanzano sul mercato, saranno le condizioni normative e gli incentivi all'implementazione di queste tecnologie.

3.2. Andamento nel mercato italiano

Poiché la stampa 3D è particolarmente utile nella produzione di articoli unici, dalla forma complessa o piccole serie e da alto valore aggiunto, potrebbe essere adatta a migliorare la competitività di molte industrie del "Made in Italy" che producono oggetti di valore in piccole quantità, come artigiani (arte digitale), strumenti musicali, oggetti di design, decorazioni e mobili, gioielli e orologi, moda (scarpe, abbigliamento, accessori di abbigliamento), ristrutturazione (mobili, statue, dettagli architettonici, auto, moto, barche), industria motociclistica, settore automobilistico, aerospaziale, ingegneria meccanica e nuovi materiali, industria medica (protesi dentarie, odontoiatriche, apparecchi acustici), architettura e edilizia, industria alimentare (dolci, pasta), articoli promozionali e giocattoli (regali, gadget). Le tradizionali abilità manuali degli artigiani italiani, combinate con la loro immaginazione e creatività, con il contributo di nuove tecnologie e nuovi materiali possono incentivare quel salto di qualità rilanciando la produzione in Italia creando posti di lavoro e sviluppo, promuovendo il lavoro autonomo dei giovani e creando un'abilità digitale avanzata.

Secondo Rusconi (2015) la stampa 3D è un fenomeno in forte crescita, già abbastanza diffuso in Italia, con ancora ampi margini di sviluppo. Un esempio dello sviluppo italiano della stampa 3D è Sharebot, una start-up fondata in un garage a Nibionno, in provincia di Lecco, nel 2012, con l'idea di guidare la rivoluzione "della stampa 3D fai da te". Oggi Sharebot ha installato circa 2 mila stampanti 3D tra l'Italia (la maggior parte) e l'estero con un catalogo popolato da diversi modelli che sfruttano tecnologie di stampa come Fused Deposition Modeling (FDM), estrusione di filamenti termoplastici (FFF) e raggi UV - per stampare oggetti di piccole dimensioni (10x10 cm) e più grandi (70x20 cm). Sharebot produce macchine che costano da meno di mille euro a poche migliaia e professionisti e aziende sono le classi degli utenti più sensibili [16].

Considerando l'utilizzo delle stampanti 3D in Italia, le aziende italiane, alla fine del 2014, avevano in funzione circa 5 mila stampanti professionali, pari a circa il 4% di quelle installate a livello globale. Ad esempio, l'Italia è a livello di Gran Bretagna e Francia, sopra la Spagna e appena sotto la Germania, che ha una quota di mercato del 9% ed è leader nel mondo se consideriamo solo la AM dei metalli. Questi dati sono coerenti con i risultati di un recente studio (Rise Lab13) che ha analizzato sette tecnologie considerate dirompenti (compresa Internet delle cose e la realtà aumentata) di un campione di circa cento aziende manifatturiere italiane (principalmente nell'industria meccanica e strumentale).

La ricerca ha dimostrato in particolare come la stampa 3D sia di gran lunga la tecnologia più consolidata e ampiamente utilizzata. Circa un quarto delle aziende intervistate sta infatti effettuando analisi tecnico-economiche di fattibilità finalizzate all'implementazione della stampa 3D, e una porzione simile la utilizza già quotidianamente per supportare la ricerca e lo sviluppo (prototipazione rapida) e la produzione di apparecchiature di supporto e piccole serie di componenti finiti. I vantaggi ottenuti dalle aziende manifatturiere che hanno già abbracciato la stampa 3D hanno confermato che l'impatto di questa tecnologia è già significativo, oltre che misurabile: si ha una sostanziale riduzione del time-to-market dei prodotti (in alcuni casi anche del 30 %) e dei costi di produzione, un miglioramento delle prestazioni in esercizio e una riduzione dei materiali di scarto. Al contrario, gli investimenti principalmente in macchinari e attrezzature e, le competenze sembrano frenare uno sviluppo ancora più massiccio del fenomeno[17].

Considerando le stime del "Primo rapporto sull'impatto delle tecnologie digitali nel sistema manifatturiero italiano", prodotto da Fondazione Nord Est e Prometeia per la Fondazione Make in Italy, su un campione di mille aziende rappresentative del Made in Italy con ricavi oltre un milione di euro (nel 2015), la stampa 3D e la robotica iniziano a mettere radici tra quelle aziende del Made in Italy, rendendole più competitive sul mercato internazionale; circa uno su tre sta già utilizzando queste tecnologie. Il progresso tecnologico, se esteso a tutte le piccole e medie imprese del Made in Italy, può valere 8,6 miliardi di euro di crescita annua del valore della produzione industriale, 39 mila nuovi posti di lavoro e un valore

aggiunto aggiuntivo di 4,3 miliardi di euro [18] Il rapporto Make in Italy (2015) mira a mostrare il grado di penetrazione delle nuove tecnologie di produzione digitale nel sistema produttivo italiano. Le analisi hanno lo scopo di evidenziare come le nuove tecnologie di produzione sono in grado di migliorare, a medio/lungo termine, le performance aziendali italiane nei settori del Made in Italy. Per quanto riguarda la distribuzione geografica delle imprese italiane che lavorano per il Made in Italy, si può dire che il 77% della produzione del Made in Italy è concentrato nelle regioni settentrionali. In queste regioni, infatti, il 56,3% delle aziende italiane ha sede e le loro dimensioni sono circa il doppio rispetto a quelle attive nel resto del Paese (12 dipendenti).

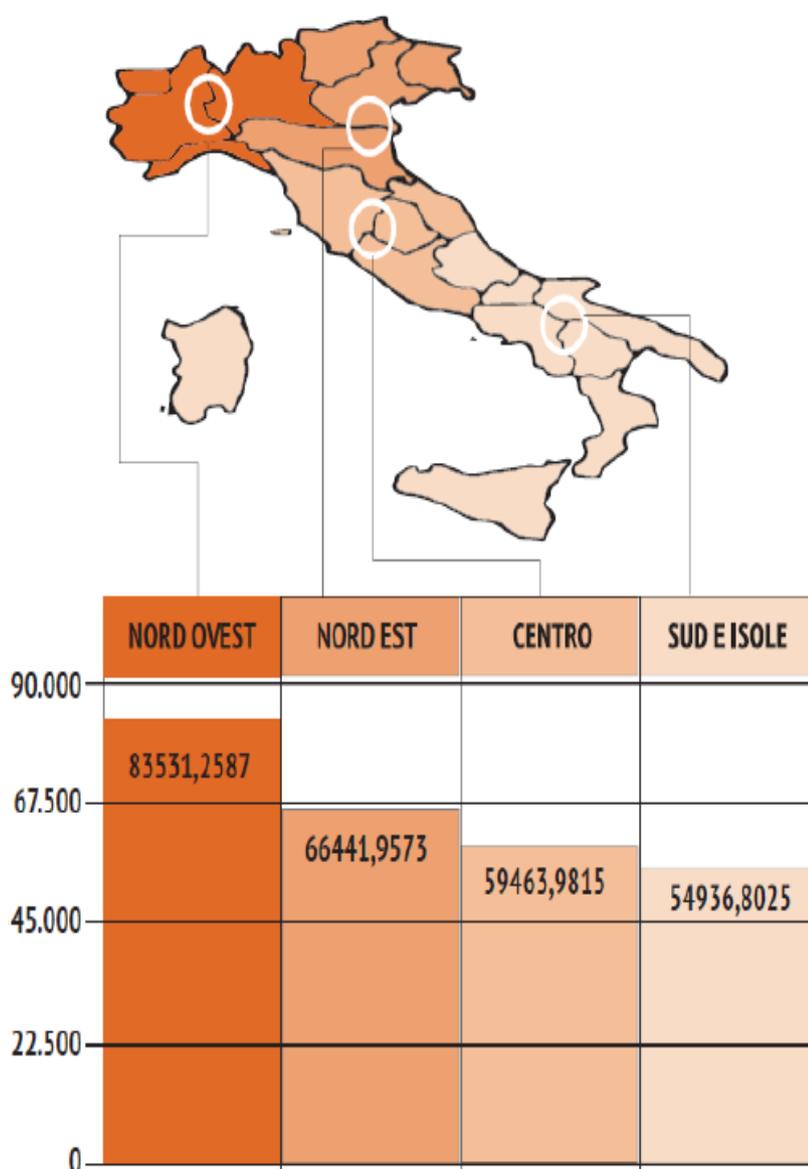


Figura 17: Made in Italy, numero di aziende per area geografica

La capacità delle imprese del Made in Italy di soddisfare una domanda mondiale sempre più diversificata e complessa ha supportato la crescita delle esportazioni negli ultimi anni. Le vendite estere rappresentano circa il 46% del fatturato del settore, fornendo un contributo essenziale al bilancio totale manifatturiero (119 miliardi di euro nel 2014). Considerando in dettaglio la diffusione delle tecnologie AM nel settore, il rapporto Make in Italy afferma che il 25,8% delle aziende utilizza la stampa 3D e la scansione 3D “internamente” o da servizi esterni; questa quota raggiunge il 33,3% tra le grandi aziende (ricavi di oltre 50 milioni).

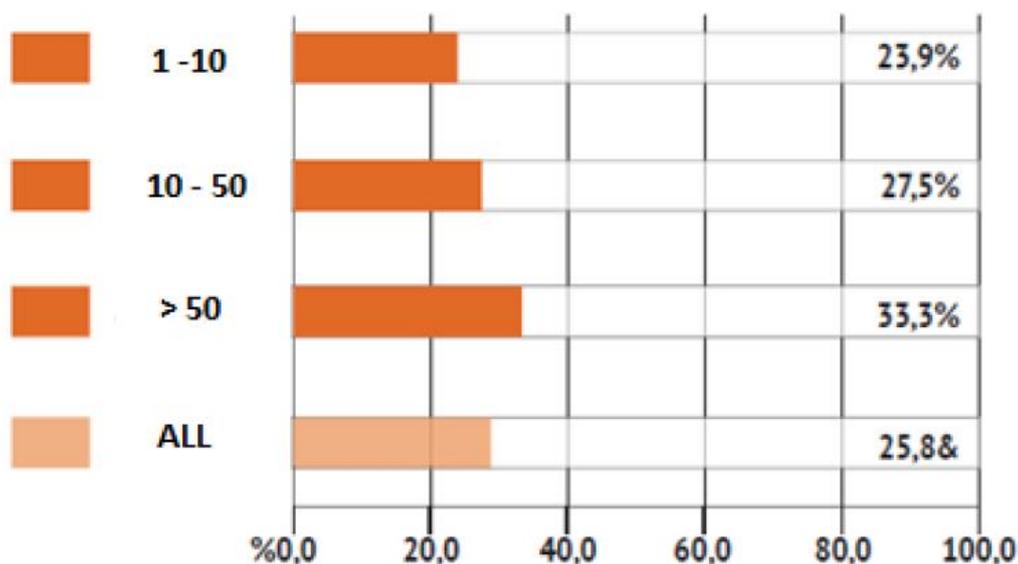


Figura 18: Utilizzo delle tecnologie digitali in Italia per dimensione aziendale

A livello geografico tra quelle società con sede nel Nord Est la percentuale raggiunge il 34%

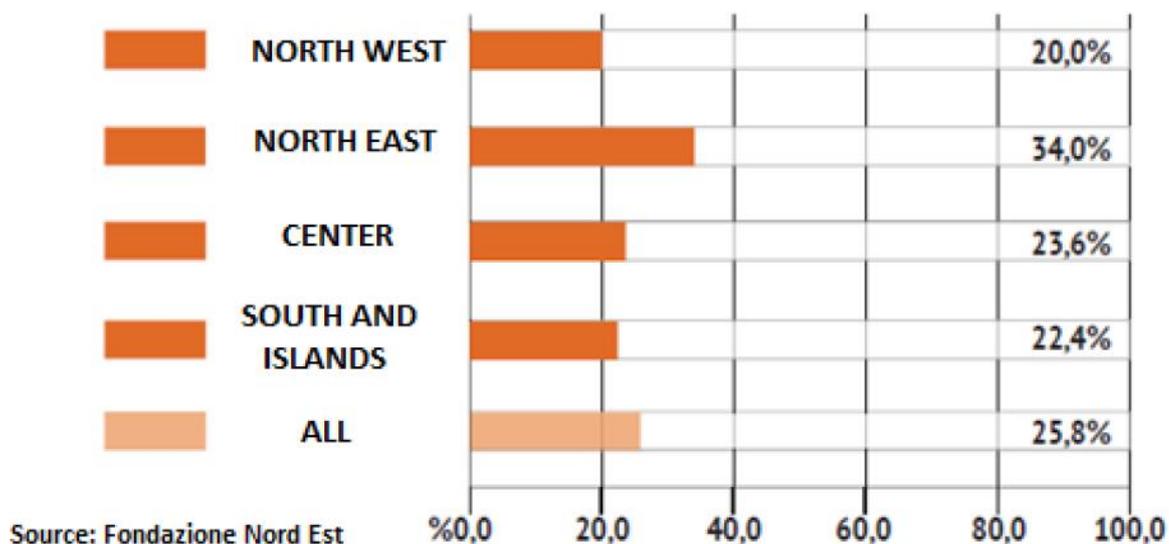


Figura 19: Utilizzo delle tecnologie digitali in Italia per area geografica

Considerando i settori, le aziende del Made in Italy tecnologico stanno utilizzando queste tecnologie a un'intensità superiore alla media (27,7% rispetto al 25,8%). Inoltre, tra coloro che usano la stampa 3D il 55,6% si affida a servizi esterni. Inoltre, quelle aziende che non utilizzano le tecnologie 3D motivano le loro scelte affermando che si tratta di una tecnologia che non supporta le loro attività (74,7%); il 13,5% non conosce la tecnologia e l'11,8% la conosce e sta valutando l'acquisto.

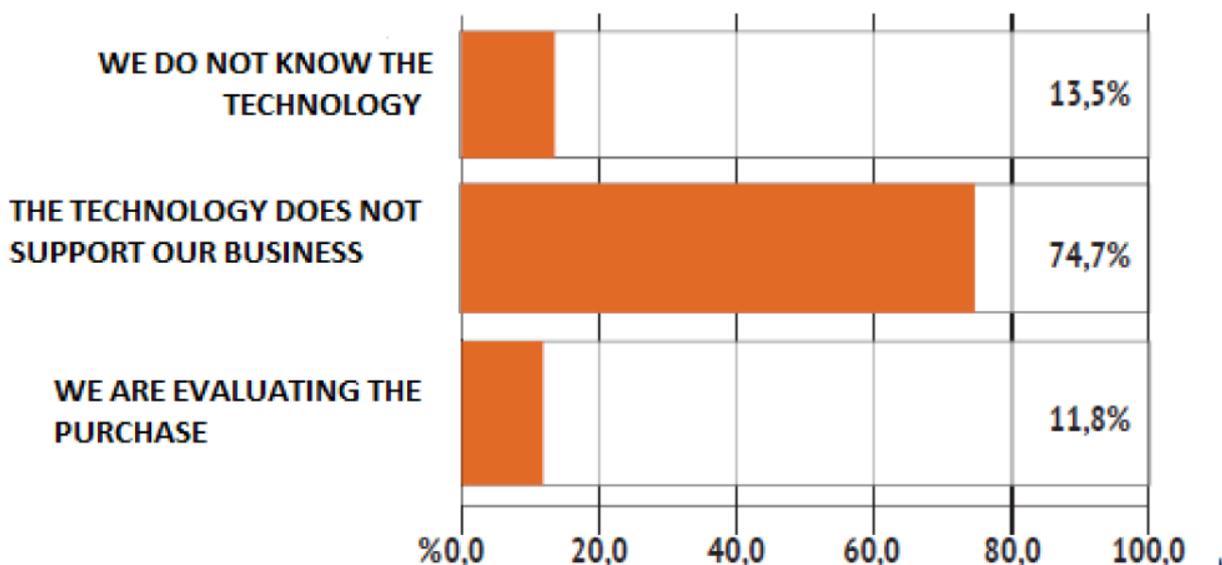


Figura 20: ragioni del non utilizzo delle tecnologie 3D

Le maggiori aree di beneficio attese dalle aziende italiane e, come evidenziato dal rapporto Make in Italy, riguardano la progettazione, in particolare la riduzione dei tempi di progettazione e prototipazione (40,2%), l'acquisizione del modello 3D di oggetti esistenti (29,7%), la possibilità di produrre oggetti con forme e geometrie non possibili prima (28,9%) e la creazione di modelli 3D specifici per il cliente (28,9). la possibilità di spostare la produzione nei punti vendita (4,7%) appare irrilevante.

Per quanto riguarda i reali vantaggi percepiti tra quelle aziende che utilizzano la stampa 3D e la scansione 3D al primo posto c'è la riduzione dei tempi di progettazione e prototipazione (77,5%), seguita dal maggiore coinvolgimento del cliente nella progettazione (55,6%) e l'implementazione di modelli 3D specifici per cliente (56,3%). Tra i fattori che impediscono o rallentano la diffusione della stampa 3D nella parte superiore c'è la limitazione dei materiali lavorabili (43,3%), seguita dall'investimento richiesto per le attrezzature (42%) e per il software (38,1%).

Infine, studi sull'impatto di queste tecnologie percepite dalle aziende italiane mostrano che il 30% delle aziende che utilizzano la stampa 3D sostiene che l'adozione di queste tecnologie ha un impatto significativo. Quasi la metà, tuttavia, (47,5%) ha affermato di avere un impatto limitato e nel 14,4% dei casi l'introduzione della stampa 3D non sembra avere alcun impatto significativo. La ricerca mostra come le aziende che utilizzano la stampa 3D e la robotica evidenziano nel periodo 2000-2015 una maggiore capacità di crescita. In particolare, dopo l'indice di caduta verificatosi nel 2008-2009, il divario tra le imprese 3D e robotiche e quelle che non utilizzano questa tecnologia preferita si è gradualmente ampliato. Per quanto riguarda il 2015, la redditività delle aziende che hanno investito in 3D e robotica è più elevata sia in termini di Return on Sales (ROS) sia di Return on Investments (ROI). Anche in termini di valore aggiunto, le aziende che hanno investito in tecnologie 3D e robotica sono molto più performanti nei confronti dei loro settori che non adottano nessuna delle tecnologie di produzione digitale [19].

4. Analisi dei produttori

4.1. Confronto tra due aziende leader del settore: Renishaw vs EOS

Per analizzare al meglio la situazione attuale del mercato delle stampanti 3D, prenderemo in esame due aziende leader del settore (Renishaw e EOS) e analizzeremo i loro prodotti e le loro soluzioni offerte sul mercato. Questo ci permetterà di avere una maggiore conoscenza di come i pezzi vengono realizzati oltre ad avere una prima visione sulle tipologie di macchine disponibili attualmente sul mercato.

Da una prima analisi è emerso che i produttori di tecnologia dovrebbero essere divisi prima di tutto dal materiale utilizzato dalla macchina: metallo e plastica. Alcuni di loro, tra cui Renishaw, si sono concentrati sull'ottimizzazione della tecnologia nel campo dei metalli, mentre altri produttori, tra cui EOS, sono orientati verso la diversificazione e la produzione di macchine in grado di lavorare sia materiali polimerici sia in polvere metallica.

Analizzando il mercato ci si accorge che pochi grandi produttori forniscono l'intero mercato. La maggior parte delle aziende leader del settore sono nord-americane, europee con leader la Germania e per quanto riguarda il mercato asiatico il player principale risulta la Cina.

Allo stato attuale, a parte le grandi imprese, un buon numero di aziende per quanto concerne la fabbricazione additiva, per esempio nel campo della prototipazione, preferiscono esternalizzare questa attività e quindi si affidano ad appaltatori esterni molto specializzati. Questo probabilmente è dovuto al fatto che le barriere all'ingresso per questa tecnologia risultano ancora troppo elevate per la piccola-media impresa.

Ecco perché risulta necessaria un'analisi dei leader fornitori/produttori del settore per avere una più ampia visione anche dell'impatto che ha la tecnologia sulla catena di approvvigionamento di un'impresa.

4.2. Renishaw

È un leader mondiale nell'ingegneria e nella scienza, con una competenza specifica nella misurazione e nell'industria medica. Fornisce prodotti e servizi utili per una varietà di applicazioni che vanno dai motori a getto alle turbine eoliche ai prodotti dentali e alla neurochirurgia. La leadership tecnologica si estende anche ad aree in piena evoluzione come quella della produzione additiva (azienda leader nel settore stampe 3D), in cui progetta e produce macchinari industriali in grado di "stampare" parti finite a partire da polveri metalliche.

È stata fondata nel 1973 da David McMurtry, Presidente e CEO, e John Deer. Il primo prodotto, la sonda a contatto touch-trigger, è stato inventato da David McMurtry per rispondere all'esigenza di eseguire ispezioni nei motori Olympus utilizzati nell'aereo supersonico Concorde. Questo prodotto innovativo ha portato la rivoluzione verso la misurazione in coordinate tridimensionali, consentendo la misurazione con estrema accuratezza di componenti e assemblaggi finiti.

Nella loro storia hanno preso importanti decisioni economiche in impegni di ricerca e sviluppo, investendo ogni anno ed in maniera continua dal 13% al 18% del fatturato in ricerca, sviluppo e ingegnerizzazione. Questo ha permesso all'azienda di avere un'ampia diversificazione di settori in cui operare:

- Misure di precisione e controllo di processo: il core business dell'azienda, produzione di sensori di precisione per l'acquisizione rapida e accurata di dimensioni e superfici;
- Controllo della posizione e del movimento: produzione di encoder ottici, magnetici e laser ad altissima qualità e precisione;
- Geospaziale: i sensori LiDAR di Renishaw possono aiutare a ridurre i tempi di mappatura da piattaforme mobili o fornire input di navigazione per veicoli autonomi;
- Medica: sviluppo di prodotti in ambito odontoiatrico, neurologico, cranio-maxillo-facciale e spettroscopia;
- Strumentistica scientifica: ballbar e interferometri laser permettono di valutare, mantenere sotto controllo e migliorare le prestazioni statiche e dinamiche di macchine utensili, di misura e di altri sistemi di movimento in cui la precisione è importante.
- Stampe 3D in metallo: leader nel settore di stampe 3D con tecnologia a fusione di polvere di metallo adatte per un'ampia gamma di soluzioni sia per il campo industriale sia per quello medicale;
- Prototipazione rapida: soluzioni per la colata sottovuoto di materie plastiche con una gamma di macchine, sia manuali che ad alta capacità

computerizzate ed automatizzate, per la produzione economica di componenti finali in piccoli lotti e prototipi - fino a 50 pezzi da un singolo stampo. La colata sottovuoto è utilizzata in diversi settori, tra cui quello automobilistico, medico e scientifico, nonché in quello creativo, dell'intrattenimento e dei prodotti di consumo.

La maggior parte della ricerca e dello sviluppo è mantenuta nel Regno Unito, ma il gruppo Renishaw ha una forte presenza globale, con oltre 70 uffici in 35 paesi. Dalla sua formazione nel 1973.

Ci concentreremo sulle soluzioni di stampe 3D offerte dal gruppo Renishaw, che progetta e produce sistemi di produzione additiva per la produzione di componenti in diversi metalli con un processo chiamato letto di polvere di fusione di metallo (o fusione laser). È specializzato nello sviluppo di processi e utilizza questa tecnologia all'interno della propria produzione per offrire soluzioni di produzione AM chiavi in mano per una vasta gamma di applicazioni sia per ambito industriale sia per il settore medicale.

Nel prossimo paragrafo verranno descritte le principali soluzioni offerte da Renishaw in ambito di fabbricazione additiva.

4.2.1. Le principali stampanti 3D Renishaw

Renishaw produce e vende stampanti 3D a fusione di polveri di metallo con tecnologia SLM (Selective Laser Melting). L'azienda oltre alla macchina fornisce al cliente materiali, software, consulenza e assistenza post-vendita.

L'approccio delle macchine Renishaw sui parametri di fusione dei materiali è aperto: il cliente può ottimizzare le impostazioni della macchina in base ai materiali lavorati e alla geometria specifica dell'oggetto da produrre.

Il sistema di generazione di atmosfera inerte "ultra-pura" brevettato da Renishaw funziona innanzitutto creando il vuoto, quindi riempie la camera con gas argon di elevatissima purezza. Questo metodo garantisce un ambiente di lavorazione di alta qualità minimizzando l'uso del gas argon. È adatto per tutti i metalli comuni per queste lavorazioni, compresi titanio e alluminio molto usati nell'ambito aerospaziale e medicale.

Spredo e consumo di gas inerte sono ridotti al minimo grazie alla stanza interamente saldata e sigillata, che contribuisce anche alla rigidità strutturale della macchina.

Tutti le stampanti 3D offerte da Renishaw utilizzano i filtri brevettati SafeChange™ e un comparto guanti per la gestione delle polveri, contribuendo a minimizzare i contatti con i materiali e le emissioni del processo. Il sistema di produzione additiva RenAM500M aggiunge a tutto questo setacciatura e ricircolo automatico delle polveri riducendo al minimo gli sprechi di materiale di produzione.

A. Stampante AM250



Figura 21: stampante 3D Renishaw AM 250

Stampante 3D che utilizza la tecnologia SLM detta anche a fusione di metallo. La AM250 è fornita di un sistema a valvole che permette l'aggiunta di materiale anche durante la fase di stampaggio. Il sistema di sollevamento polveri metalliche è di facile accesso e rimozione, questo permette una semplice manutenzione ma risulta utile anche in una sostituzione nel caso di un cambio di materiale da utilizzare. Il sistema AM 250 semplifica notevolmente il passaggio da un materiale all'altro anche durante una fase di stampaggio. I contenitori del materiale metallico in

polvere sono esterni alla camera di lavoro. Il sistema a valvole porta il materiale necessario nella camera di lavoro. AM 250 è fornita di un filtro che setaccia le polveri non utilizzate e le “ricicla” riportandole nei contenitori di accumulo per essere usate in seguito. Questo permette una maggiore efficienza sull’uso delle materie prime. La camera di lavoro di questo sistema ha le seguenti dimensioni 250 mm * 250 mm * 300 mm.

B. Stampante AM400



Figura 22: stampa 3D Renishaw AM 400

La stampante 3D Renishaw AM 400 potremmo definirla un’evoluzione del modello 250.

Il sistema Renishaw AM 400 include gli aggiornamenti più recenti, tra cui filtro SafeChange™ ottimizzato, software di controllo ottico più veloce, flusso del gas ottimizzato, sistema di protezione delle ottiche, in combinazione con un nuovo gruppo ottico da 400 W con diametro sul piano di lavoro ridotto a 70 µm. Il volume della camera di lavoro del sistema è 250×250×300 mm.

Tutte le polveri metalliche lavorabile a 200W esistenti per il sistema AM250 possono essere trasferiti direttamente su AM400.

La macchina AM400 Ripropone i vantaggi del sistema AM250, tra cui parametri materiali aperti, ingombro a terra minimo, atmosfera inerte ultra-pura e consumo di gas ridotto.

AM400 ha un sistema di dosaggio polvere dotato di valvole di esclusione, per consentire il ricaricamento della polvere mentre il processo è in corso. Il sollevatore universale per il silo di polvere consente di rimuoverlo e pulirlo o di sostituirlo con un altro in caso di cambio materiale. Come per la macchina AM 250 anche AM400 è fornita di filtri in grado di recuperare le polveri non fuse e rimetterle automaticamente nel sistema di accumulo anche durante la fase di stampaggio.

C. Stampanti serie RenAM500x



Figura 23: Stampante 3D Renishaw RenAM 500Q

La serie ReNaM 500x offre sistemi di produzione di additivi di tipo slm per letti di polvere in fusione e funziona grazie ad uno o più laser, appositamente progettato per la produzione di componenti metallici. È dotato di sistemi automatici per la gestione di polvere e rifiuti, grazie ai quali consente una qualità costante del processo, riduce i tempi richiesti all'operatore e garantisce elevati livelli di sicurezza.

Le dimensioni della camera di lavoro sono pari a 250 mm * 250 mm * 350 mm.

La setacciatura e il ricircolo del materiale non fuso avvengono automaticamente all'interno del sistema, eliminando la necessità dell'intervento dell'operatore e l'esposizione alla polvere. Ciò garantisce una maggiore sicurezza e un mantenimento nel tempo della purezza delle

polveri metalliche.

la serie prevede 4 modelli: RenAM500M, RenAM500E, RenAM500S e RenAM500Q ordinati dal meno costoso al più costoso. La differenza tra questi prodotti non è la filosofia tecnologica, che resta uguale per tutti i modelli, ma è data dal numero di laser presenti nella camera di lavoro, dal loro grado di accuratezza e dal numero di materiali lavorabili.

I sistemi della serie RenAM 500 sono forniti di un'ampia interfaccia utente con touchscreen da 19 pollici e il software di controllo della macchina sono progettati per essere estremamente intuitivi. Il software è basato sul sistema operativo Windows® con un'interfaccia dedicata, il flusso di lavoro per l'impostazione di costruzione appare sotto forma di icone grandi per una facile navigazione nelle varie fasi del processo.

4.2.2. I software per la tecnologia 3D sviluppati da Renishaw

A. QuantAM

Software proprietario sviluppato da Renishaw che permette di leggere i file stl realizzati in CAD dal progettista e lo guida nella preparazione di modelli per il processo additivo.

QuantAM è progettato specificatamente per le piattaforme di stampa Renishaw e consente un'integrazione più stretta del software di controllo, ma anche una revisione più rapida ed accurata di tutti i file di costruzione per sistemi Renishaw, anche quelli generati da altri software compatibili.

QuantAM aiuta l'utilizzatore guidandolo nel processo di progettazione DfAM (Design for Additive Manufacturing), contribuendo a massimizzare i vantaggi offerti dalla produzione additiva.

Caratteristiche principali del software QuantAM sono:

- Importazione geometria STL;
- Orientamento dei component in modo da velocizzare la stampa;
- Aggiunta di strutture di supporto (sfruttando il materiale in polvere)

- Modulo di sviluppo materiali con importazione dati CSV per le matrici di sviluppo materiali
- Copia e modifica dei file materiali
- Duplicazione, orientamento e posizionamento di più pezzi
- Revisione rapida della geometria e del percorso del laser, strato per strato
- Revisione delle singole esposizioni laser all'interno di ogni strato

B. QuantAM Dental

Software proprietario sviluppato da Renishaw dedicato alla preparazione dei file per lavorazioni additive (AM) in metallo di corone dentali, ponti e protesi dentali parziali rimovibili (RPD).

Dato l'elevato sviluppo ed implementazioni di tecniche additive nel campo dentale si è reso sempre più necessario lo sviluppo di software dedicati e specializzati per tale settore.

QuantAM Dental è stato sviluppato esplicitamente come complemento ai moderni sistemi CAD/CAM odontotecnici e consente di analizzare elementi dentali specifici da utilizzare per l'automazione del layout della costruzione. Grazie alla buona tolleranza verso le imperfezioni di triangolazione, QuantAM Dental consente la correzione automatica dei file e può quindi essere utilizzato con tutti i sistemi dentali CAD basati su file di tipo stl.

Caratteristiche principali del software QuantAM Dental sono:

- Correzione dei file .stl: una funzione critica per assicurare il completamento corretto delle costruzioni;
- Ottimizzazione dell'orientamento delle strutture;
- Tag identificativi per migliorare la tracciabilità dei prodotti personalizzati;
- Posizionamento dei supporti (utilizzando le polveri del materiale di costruzione) mediante parametri sviluppati per dispositivi dentali;
- Sistema di nidificazione intelligente che raggruppa strutture simili per ridurre i tempi di post-processing a valle;

C. MAGIC

Magic è un software versatile leader sul mercato nel campo della preparazione dei dati e dell'editing STL per la produzione additiva. Non è un software prodotto in casa, ma Renishaw data l'elevata diffusione di MAGIC permette l'implementazione con i suoi sistemi di stampa.

Renishaw offre una piattaforma ad alta flessibilità con un'interfaccia intuitiva. Gli utenti possono usare i parametri predefiniti per preparare la lavorazione in pochi passaggi. Ma possono anche controllare fino a 170 parametri, nel rispetto dell'etica di Renishaw sull'apertura dei parametri.

Vantaggi principali nell'utilizzo del software MAGIC:

- Magic è uno standard nel settore ed è attualmente il software più usato e conosciuto
- Piattaforma ad alta flessibilità che consente di controllare fino a 170 parametri
- Interfaccia intuitiva: i parametri predefiniti consentono di preparare la lavorazione in pochi semplici passaggi
- Potenzia le capacità dei sistemi di stampa 3D di Renishaw.

4.2.3. I materiali utilizzabili con stampanti Renishaw

L'azienda Renishaw ha sviluppato dei materiali dedicati alla fabbricazione additiva per i propri sistemi di produzione in grado di massimizzare le caratteristiche tecnico-meccaniche dei prodotti finali.

In seguito, sono elencati alcune delle principali leghe metalliche sviluppate da Renishaw:

- Lega di alluminio – AlSi10Mg;
- Cobalto-cromo;
- Acciaio Maraging;
- Leghe di nichel – INCONEL® 625-2 e 718-6;
- Acciaio inox – 316L;
- Lega di titanio – Ti6Al4V.

Le caratteristiche delle polveri di metallo sono fondamentali per una buona riuscita della fusione da parte del laser della macchina. Scorrevolezza, compattazione e morfologia delle particelle sono caratteristiche fondamentali, che conferiscono al prodotto finito caratteristiche tecnico-meccaniche di alto livello. I sistemi Renishaw per fusione laser SLM utilizzano polveri metalliche con particelle di dimensioni comprese fra 15 e 45 micron [20].

4.3. EOS

Fondata nel 1989 da Adrian Keppler, a Krailling in Germania, oggi è riconosciuta leader di sistemi per la produzione additiva di componenti in metallo e polimeri plastici, i sistemi EOS permettono di produrre prodotti di alta qualità basati su tecnologie di stampa 3D industriale.

Con i suoi sistemi di produzione innovativi, EOS offre la tecnologia leader per soluzioni di fascia alta nel campo della produzione additiva (AM). EOS è all'avanguardia e pionieri nel campo della sinterizzazione laser diretta in metallo (DMLS) e fornitore di sistemi di produzione additiva altamente produttivi per materie plastiche. Inoltre, offre ai clienti competenze tecniche di servizio generale, nell'ingegnerizzazione e nella consulenza.

Alla base del funzionamento sia dei sistemi di stampa 3D di EOS, sia per metalli, sia polimeri, c'è l'utilizzo di sorgenti laser. Nello specifico le stampanti che contengono nella denominazione la lettera "M" sono per additive manufacturing metallico. Quelle invece contrassegnate dalla lettera "P", sono state progettate per stampa 3d con materie plastiche.

Al momento EOS sta lavorando allo sviluppo di una nuova tecnologia di stampa 3D denominata Micro Laser-Sintering (MLS). La tecnologia in oggetto è destinata secondo Eos, a segnare un nuovo percorso dell'additive manufacturing per la miniaturizzazione di componenti elettronici.

4.3.1. Le principali stampanti 3D EOS

La tecnologia alla base dei prodotti sviluppati da EOS è la sinterizzazione laser di materiali compositi, metallici e plastici. Il principio di funzionamento è basato sulle tecnologie SLM e SLS e prevede che nella prima fase del processo di stampa venga steso e pressato del materiale su una superficie tramite dei rulli. In seguito, grazie ad uno o più laser in contemporanea, vengono delineate le geometrie del pezzo in base al modello CAD fornito come input. Finito un livello si passa al livello successivo fino a quando l'intero pezzo non verrà terminato. Al termine della fase di stampa il pezzo risulta "annegato" nel materiale di stampa e basterà sollevarlo e pulirlo dalle polveri in eccesso.

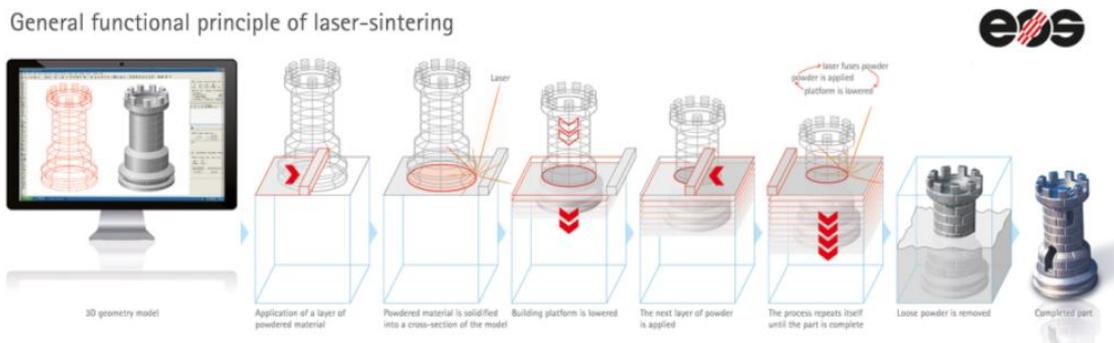


Figura 24: esempio produzione pezzo con stampa EOS

Possiamo elencare i prodotti EOS in base al materiale di stampa utilizzato. I prodotti che nella nomenclatura contengono la lettera P utilizzano materiali e polimeri plastici invece, i prodotti in cui è presente la lettera M nella nomenclatura utilizzano materiali metallici per la stampa.

Di seguito sono elencate alcune stampanti 3D che utilizzano materie prime plastiche:

A. FORMIGA P110 Velocis



Figura 25: stampante 3D EOS FORMIGA P110

Stampante 3D entry level nel campo dei polimeri plastici di EOS. È un sistema flessibile ed efficiente, adatto a coloro che entrano nella produzione additiva, per esempio, per produzioni di piccole serie, prodotti personalizzati con geometrie complesse e per applicazioni di prototipazione rapida. Il laser in dotazione alla macchina, con un diametro di messa a fuoco ridotto, consente spessori di parete inferiori a mezzo millimetro. Il sistema produce in modo affidabile parti piccole e delicate con una buona qualità superficiale.

B. EOS P396



Figura 26: stampante 3D EOS P396

Sistema per la produzione additiva di parti seriali e prototipi funzionali da materiali polimerici. Con dimensioni di costruzione totali di 340 mm x 340 mm x 600 mm, EOS P 396 copre una gamma di volumi di costruzione media. Questo sistema di stampa 3D consente la produzione senza attrezzi di componenti seriali, pezzi di ricambio, prototipi funzionali e modelli direttamente dai dati CAD. EOS P 396 lavora materie plastiche termoplastiche su scala industriale. La nuova funzione EOSAME regola l'ingresso di energia e garantisce così una qualità omogenea e proprietà meccaniche uniformi delle parti prodotte sull'intero volume

del pezzo.

La gestione della temperatura ottimizzata riduce i tempi di processo non produttivi e migliora la stabilità del processo.

C. EOS P770



Figura 27: stampante 3D EOS P770

EOS P 770 è un sistema di sinterizzazione laser con due laser per la produzione di pezzi in plastica di grandi dimensioni e per la produzione industriale ad alto rendimento. Il sistema ha la più grande camera di lavoro disponibile sul mercato 700 x 380 x 580 mm.

Grazie alla gestione ottimizzata della temperatura, miglioramento della velocità di ricopertura e laser ad alta potenza, il tempo di costruzione e il costo per parte vengono ridotti in modo significativo. Come per EOS P396 questo nuovo modello è fornito della funzione EOSAME, che rende omogeneo e stabile l'apporto energetico, garantendo così eccellenti proprietà meccaniche e precisione dimensionale per l'intero volume complessivo.

D. EOS P810



Figura 28: stampante 3D EOS P810

Con un volume di costruzione di 700 x 380x 380 mm, EOS P 810 consente una produzione rapida ed economica di parti in plastica direttamente dai dati CAD. Il sistema utilizza un processo di stratificazione dei polimeri fusi a temperature fino a 385 ° C, producendo parti con notevoli proprietà. Durante il processo di produzione, l'OLPC (Online Laser Power Control) integrato monitora continuamente le prestazioni del laser e questo si riflette in un ottimo risultato nel componente.

Di seguito sono elencate alcune stampanti 3D DSLM che utilizzano materie prime metalliche:

A. EOS M 100



Figura 29: stampante 3D EOS M 100

EOS M 100 è una stampante 3D che frutta la tecnologia DMLS. Le dimensioni e il design modulare di EOS M 100 la rendono ideale come modello base per la fabbricazione additiva. Le dimensioni del piano di lavoro sono di 100mm * 95 mm e questo la rende adatta per la costruzione di piccoli pezzi adatti a preserie o forme con geometri complesse. È dotata di un solo laser di potenza 200 W con precisione di diametro di 40 μm .

B. EOS M 290



Figura 30: stampante 3D EOS M 390

Con una dimensione della camera di lavoro di 250 mm * 250 mm * 325 mm e un laser della potenza di 400W, la macchina EOS 290 M consente una produzione flessibile, economica e relativamente in tempi rapidi di un pezzo metallico anche di forme complesse. Ha un'interfaccia utente intuitiva, con software intelligente e una combinazione di parametri standardizzati e aperti. Grazie alla potenza del laser con una precisione fino a 100 μm permette alla stampante una produzione di pezzi con un'levata qualità superficiale.

C. EOS M 400

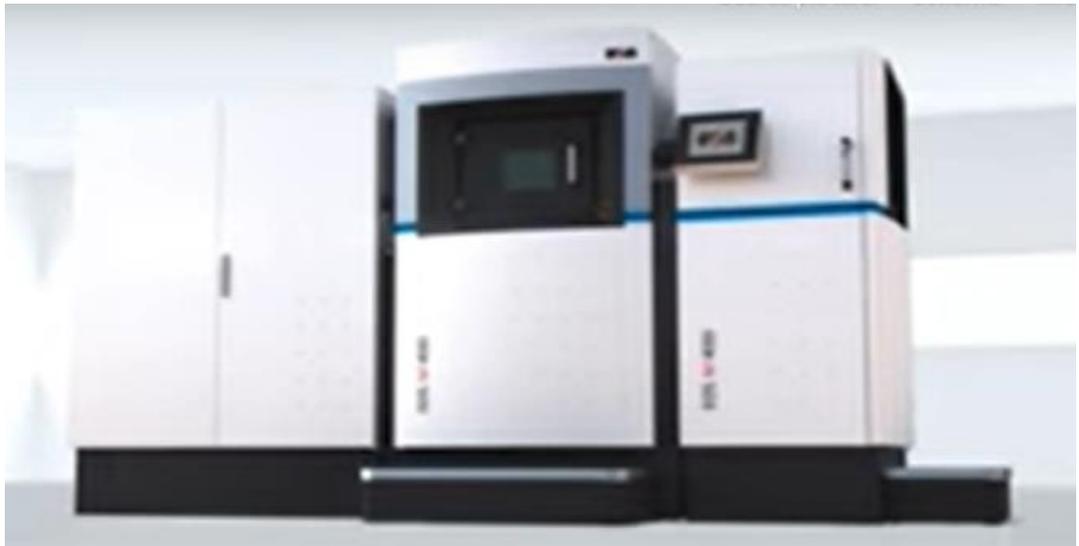


Figura 31: stampante 3D EOS M 400

Con un volume di costruzione di 400mm * 400 mm * 400 mm, EOS M 400 consente la produzione di pezzi metallici di grandi dimensioni su scala industriale direttamente dai dati CAD. La macchina è fornita di un laser di potenza 1 kW, questo aumenta la produttività grazie ad una maggiore velocità di costruzione e ad un aumento dello spessore dello strato fuso. La precisione del laser è di circa 90 µm. questo permette di realizzare pezzi con una buona qualità delle superfici.

D. PRECIOUS M 080



Figura 32: stampante 3D PRECIOUS M 080

Questo sistema è progettato per l'industria della gioielleria e dell'orologeria. con questa stampante è possibile realizzare prodotti preserie in poche ore senza investire in strumenti. Genera strato dopo strato fondendo polvere di metalli pregiati con un laser per creare geometrie altamente complesse. Questa stampante è fornita di un laser da 100 watt con una precisione inferiore ai 30 μm . Inoltre, la gestione della polvere di processo, appositamente progettata per l'industria della gioielleria e dell'orologeria, consente un recupero massimo delle polveri non fuse in modo da avere scarti minimi nel processo di stampa. Inoltre, assicura un rapido cambio di metalli attraverso il suo sistema a cartuccia [22].

4.3.2. I software per la tecnologia 3D sviluppati da EOS

EOS offre soluzioni software per tutte le fasi del processo nella produzione additiva: dalla preparazione dei dati di progettazione CAD, preparazione del lavoro fino al controllo di qualità.

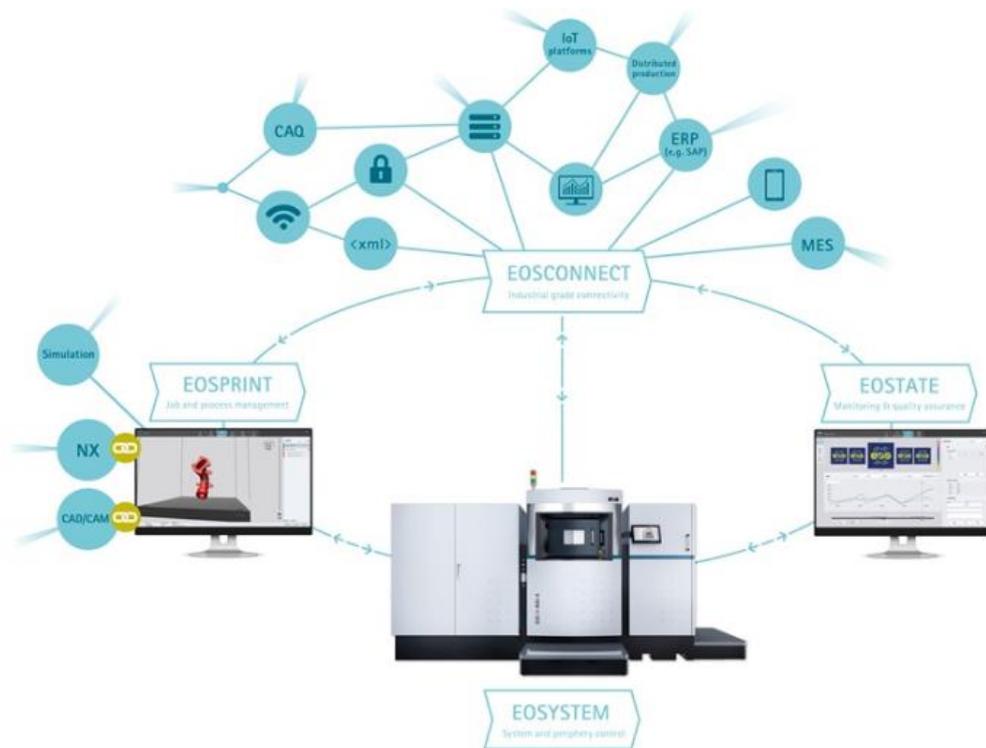


Figura 33: ecosistema software EOS

A. EOSPRINT 2

È uno strumento CAM intuitivo, Open Source, altamente produttivo che consente di ottimizzare i dati CAD per i sistemi EOS.

Il modulo EOS ParameterEditor fa parte di EOSPRINT e offre agli sviluppatori un set di strumenti ampio e aperto, contenente strategie di esposizione uniche e fino a 258 parametri, che offrono una maggiore libertà per l'ottimizzazione specifica dell'applicazione.

B. ECOSYSTEM

È il software di controllo e di interfaccia della macchina stampante. Ha un design perfettamente armonizzato, combinato con un concetto di usabilità che è allineato alle esigenze dell'utente. L'operatore può navigare rapidamente nel menu con un display touch facile da usare.

C. EOSTATE

Si tratta di una suite multi-monitoraggio automatizzata e intelligente che consente ai clienti di condurre un controllo qualità in tempo reale di tutti i dati relativi alla produzione. EOSTATE è composto da quattro diversi sistemi di monitoraggio: System, PowderBed, MeltPool ed Exposure OT

(tomografia ottica).

D. EOSCONNECT

I sistemi EOS possono essere integrati nelle infrastrutture IT esistenti tramite EOSTATE Everywhere Server, un gateway diretto. I dati relativi a macchine e produzioni possono essere raccolti e resi disponibili in tempo reale. EOS offre anche un'app intuitiva per visualizzare tutti i dati di produzione in una dashboard. Questo permette di avere un sistema di monitoraggio del parco macchine completo e intuitivo [23].

4.3.3. I materiali utilizzabili con stampanti EOS

EOS fornisce un'ampia scelta di materiali plastici e metallici sofisticati adatti a massimizzare la resa e ad avere elevate proprietà meccaniche e fisiche per la fabbricazione additiva. I materiali consentendo un'eccellente riproduzione dei profili con qualità superficiali di ottimo livello. Inoltre, EOS perfeziona costantemente i suoi materiali ad alta tecnologia in base alle specifiche esigenze del cliente.

Per la produzione di componenti metallici utilizzando DLMS (Direct Metal Laser Sintering), EOS offre una gamma completa di polveri metalliche che vanno dall'alluminio, all'acciaio Maraging e all'acciaio di alta qualità fino al titanio, nonché alle leghe di nichel e cromo cobalto.

Per quanto riguarda la produzione additiva di prodotti in plastica, EOS dispone di materiali come poliammidi (PA), polistireni (PS), elastomeri termoplastici (TPE) e poliarileteri chetoni (PAEK). EOS offre una gamma completa di materiali per il processo di produzione additiva. I prodotti personalizzati possono essere realizzati con la massima qualità.

Nella tabella seguente sono elencati i materiali metallici offerti da EOS [24].

Classe del prodotto	Applicazioni tipiche
Acciaio	<ul style="list-style-type: none">• Parti meccaniche di ingegneria industriale• Applicazioni automobilistiche e di ingegneria generale, ingranaggi, pezzi di ricambio

	<ul style="list-style-type: none"> • Prototipi funzionali e parti di produzione in serie, ingegneria meccanica e tecnologia medica • Applicazioni di stampa e sinterizzazione che richiedono elevate prestazioni produttività • Parti ingegneristiche resistenti agli acidi e alla corrosione
Leghe di Nichel	<ul style="list-style-type: none"> • Componenti per applicazioni ad alte temperature fino a 700 ° C, buon potenziale per applicazioni criogeniche • Componenti per servizio in ambienti corrosivi • Applicazioni ad alta temperatura che richiedono eccellente resistenza all'ossidazione fino a 1.200 ° C
Cromo cobalto	<ul style="list-style-type: none"> • Impianti medici con elevata resistenza a usura e corrosione, adatto per applicazioni in ambito aerospaziale • Dispositivo medico di classe IIa secondo l'allegato IX regola 8 del DMD 93/42 / CEE
Rame	<ul style="list-style-type: none"> • Scambiatori di calore, elettronica, varietà di applicazioni industriali che richiedono una buona conduttività • Parti del motore a razzo, scambiatori di calore, bobine a induzione
Titanio	<ul style="list-style-type: none"> • Parti di produzione in serie nei settori aerospaziale, medico e settore automobilistico • Parti di produzione in serie in medicina (gabbie spinali, vassoi tibiali, ecc.)
Alluminio	<ul style="list-style-type: none"> • Prototipi funzionali e produzione in serie in ingegneria meccanica, automobilistica, idraulica e industrie aerospaziali • Industria aerospaziale e automobilistica strutturale componenti che richiedono elevata resistenza
Metalli di rifrazione	<ul style="list-style-type: none"> • Parti con pareti sottili per l'uso in strutture di guida in radiografia come le griglie antidispersione

Tabella 3: tabella materiali metallici EOS

Nella tabella seguente sono elencati i materiali plastici offerti da EOS [25].

Classe del prodotto	Applicazioni tipiche
Poliammide 12	<ul style="list-style-type: none"> • Parti funzionali
Perle di vetro riempite	<ul style="list-style-type: none"> • Alloggiamenti rigidi • Parti con requisiti di usura e abrasione • Parti utilizzate in condizioni termiche elevate
Poliammide 12, riempito di alluminio	<ul style="list-style-type: none"> • Applicazioni con finitura metallica • Parti che richiedono lavorazioni meccaniche • Parti con carichi termici
Poliammide 11	<ul style="list-style-type: none"> • Parti funzionali che richiedono resistenza agli urti • Parti con elementi funzionali come i cardini del film
Poliammide 12, ritardante di fiamma	<ul style="list-style-type: none"> • Aerospaziale • Elettrico ed elettronico
Polistirolo	<ul style="list-style-type: none"> • Schemi master per investimento e a getto vuoto
Polyetherketoneketone, rinforzato con fibra di carbonio	<ul style="list-style-type: none"> • Parti funzionali leggere e rigide per sostituzione del metallo
Polipropilene	<ul style="list-style-type: none"> • Reattori chimici, serbatoi e tubazioni
Termoplastico Elastomer	<ul style="list-style-type: none"> • Equipaggiamento protettivo, soles • Elementi di smorzamento • Guarnizioni, soffiatti, tubi

Tabella 4: tabella materiali plastici EOS

5. Analisi comparativa metodi tradizionali e fabbricazione additiva

È possibile produrre qualsiasi cosa con tecniche di fabbricazione additiva, ma non è sempre conveniente e utile farlo. In questo capitolo e nei paragrafi seguenti saranno esposte diverse analisi ed esempi che mettono a confronto la produzione con tecniche tradizionali sottrattive con quelle di additive manufacturing.

Nel primo paragrafo verranno esposti alcuni esempi che giustificano dal lato economico l'utilizzo della fabbricazione additiva. In seguito, verranno descritti alcuni esempi di utilizzo di questa innovativa tecnica produttiva. Infine, si analizzerà l'impatto che ha il sempre maggiore utilizzo dell'AM e ci focalizzeremo sulla gestione logistica dei pezzi di ricambio.

5.1. Analisi economica break even point

Le aziende si trovano ad affrontare uno scenario sempre più competitivo, rendendo la sopravvivenza sul mercato una sfida sempre più difficile da vincere.

In particolare, le aziende riscontrano un profilo della domanda mutato rispetto al recente passato:

- Diminuzione dei volumi: nell'ultimo decennio, soprattutto per le economie occidentali, è stata riscontrata una riduzione dei volumi di domanda e questo ha reso il mercato sempre più competitivo.
- Aumento complessità dei prodotti: i clienti richiedono prodotti sempre più complessi con specifiche avanzate soprattutto dal lato dei servizi post-vendita. In quest'ottica l'industria manifatturiera sta evolvendo da produttore esclusivamente del bene a fornitore di tutta una gamma di servizi relativi al bene prodotto. In pratica il prodotto venduto sarà un tramite per poter fornire e vendere tutta una gamma di servizi annessi.
- Aumento della customizzazione: i clienti, come già accennato nei capitoli precedenti, richiedono sempre più prodotti dalle caratteristiche uniche. Quindi, le aziende manifatturiere sono costrette a produrre quantità ridotte di una sempre più vasta varietà di articoli.

Questa situazione sta mettendo in crisi il sistema di “Mass production”, in pratica prodotti standardizzati con un ciclo vita abbastanza lungo faranno sempre più fatica a penetrare e restare nel mercato. Si sta velocemente passando ad una filosofia sempre più “Mass customizazion” dove il mercato risulterà sempre più frammentato, i prodotti saranno sempre più personalizzabili, con prestazioni richieste sempre maggiori e il ciclo vita del prodotto sarà molto più breve rispetto al passato.

Il seguente grafico a “coda lunga” descrive pienamente il fenomeno. L'espressione coda lunga, in inglese The Long Tail, è stata coniata da Chris Anderson in un articolo dell'ottobre 2004 su Wired Magazine per descrivere un modello economico e commerciale, usato ad esempio da Amazon.com e Netflix, nel quale i ricavi vengono ottenuti non solo con la vendita di molte unità di pochi oggetti (i best seller), ma anche vendendo pochissime unità di tantissimi oggetti diversi [26].

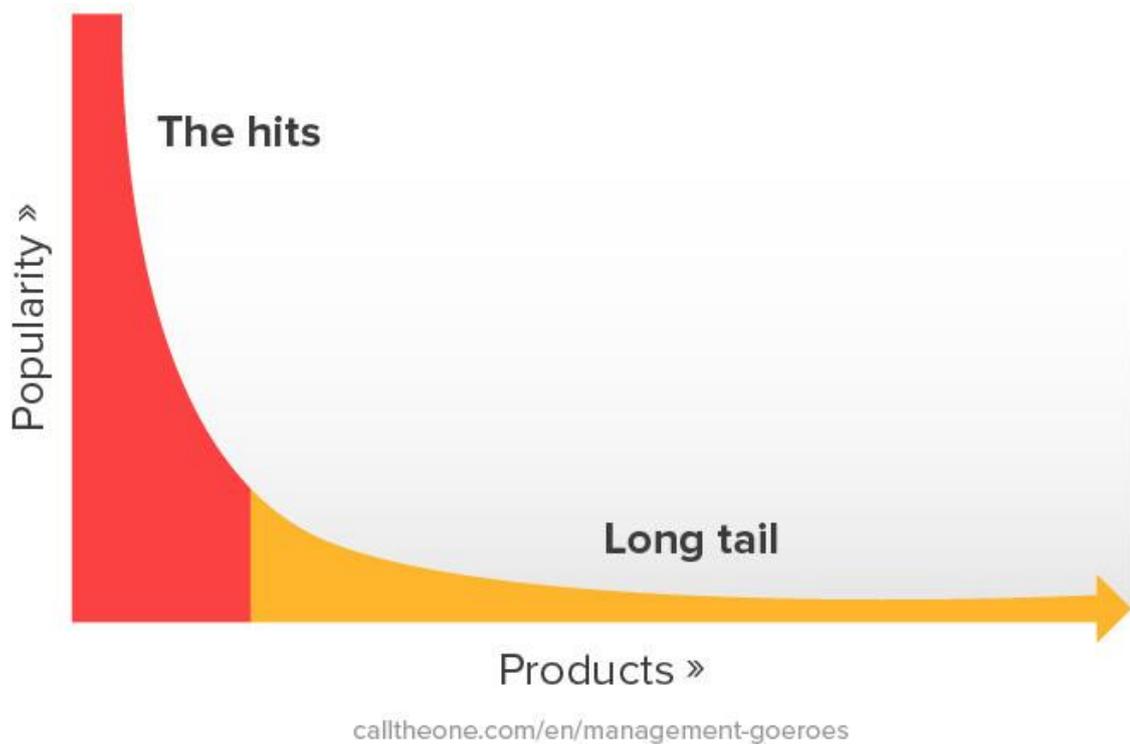


Figura 34: grafico coda lunga

La fabbricazione additiva potrebbe risultare una buona soluzione per fa fronte a queste nuove sfide che le aziende manifatturiere dovranno affrontare. Assodato che l’Additive Manufacturing risulta economicamente vantaggiosa per produzioni di piccoli lotti di prodotti molto complessi e molto customizzati, ora viene naturale

chiederci per quale quantità di prodotto, allo stato attuale, risulta conveniente usare questa tecnologia rispetto ai metodi tradizionali. Una possibile risposta potrebbe darcela un'analisi break even point. Di seguito sono riportati due esempi di prodotti (uno metallico e uno plastico) riprogettati per la stampa 3D.

- Esempio prodotto metallico:

in questo esempio valutiamo quanti pezzi di un carrello di atterraggio per un aeroplano leggero è economicamente vantaggioso produrre con la fabbricazione additiva. Ovviamente il pezzo è stato riprogettato secondo la filosofia della fabbricazione additiva cercando di ridurre al minimo la BOB e cercando di realizzarlo in pochi cicli di stampa riducendo al minimo l'assemblaggio post-produzione.

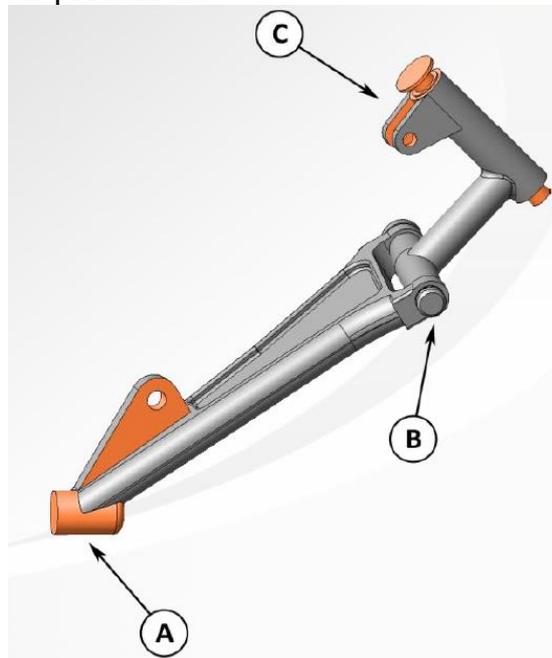


Figura 35: carrello per piccolo aeroplano

Nella tabella seguente sono riportati tutti i costi relativi alla realizzazione del pezzo:

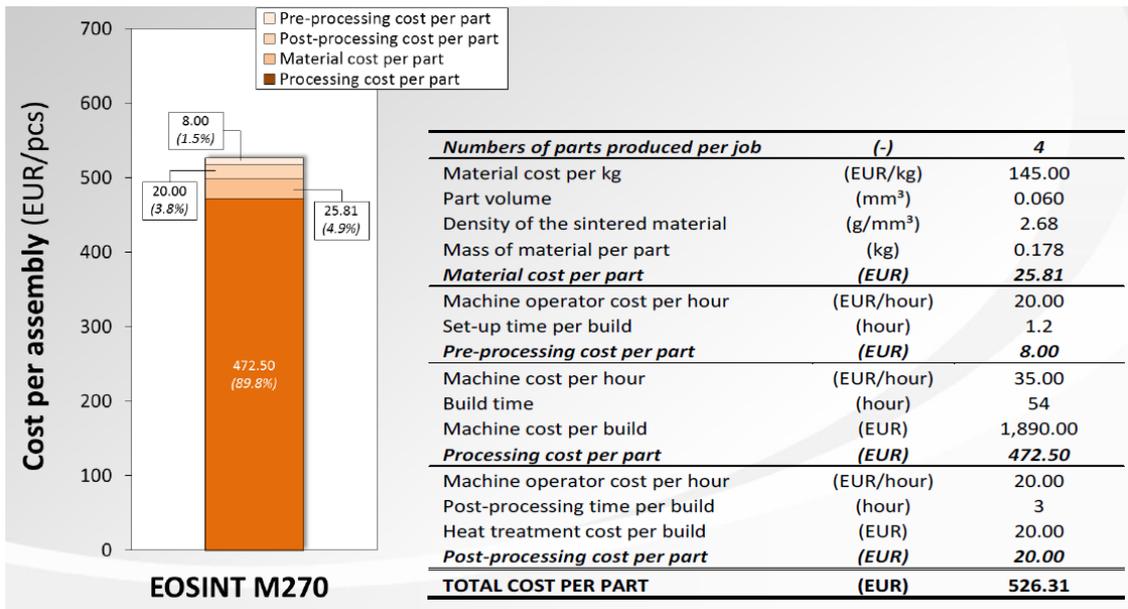


Tabella 5: elenco costi carrello aeroplano

Di seguito utilizzando i dati in tabella riusciamo a tracciare un grafico con analisi break even point relativo al pezzo costruito con fabbricazione additiva o con metodo tradizionale.

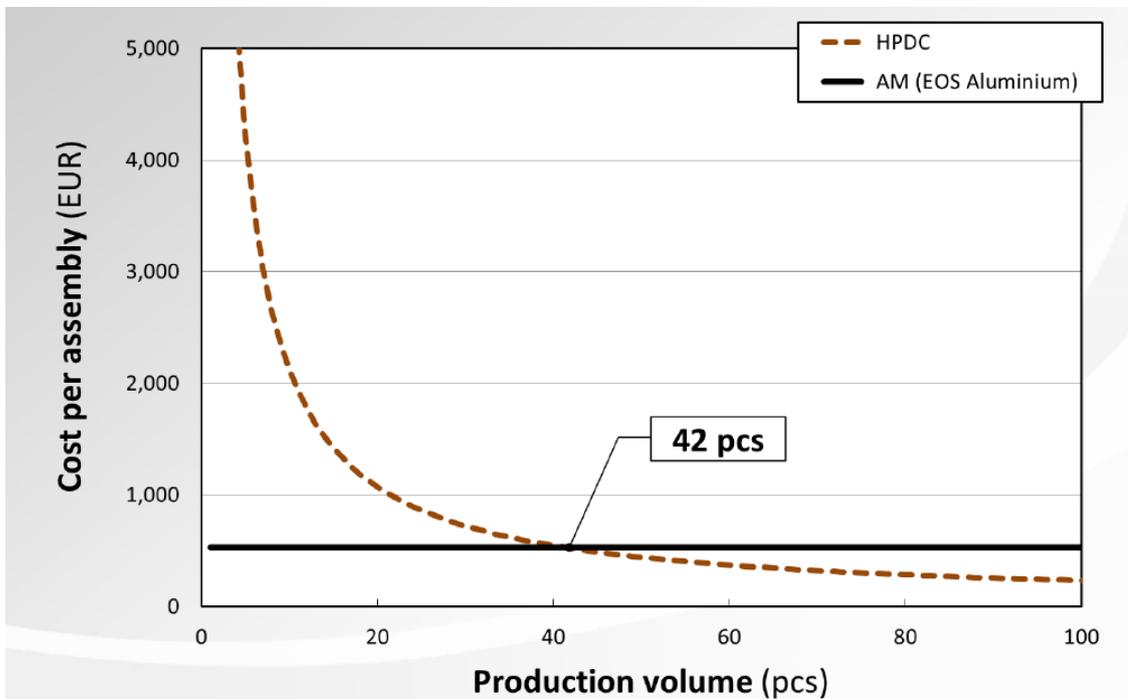


Figura 36: analisi break even poin per carrello aeroplano

Da questa semplice analisi risulta conveniente produrre il pezzo con la fabbricazione additiva fino a un volume di 42 unità. Oltre questa soglia risulta conveniente produrlo con metodo tradizionale [27].

- Esempio prodotto plastico:
in questo esempio valutiamo quanti piccoli nottolini in plastica è economicamente vantaggioso produrre con la fabbricazione additiva. Ovviamente il pezzo è stato riprogettato secondo la filosofia dell'additive manufacturing cercando di ridurre al minimo la BOB, eliminando i vincoli indotti dall'utilizzo degli stampi, eliminando i vincoli derivanti dalle operazioni di montaggio cercando di realizzarlo in un solo ciclo di stampa.

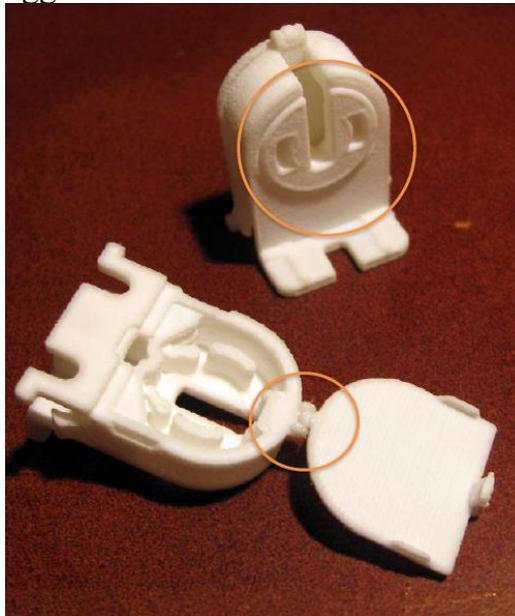


Figura 37: nottolino in plastica

Nella tabella seguente sono riportati tutti i costi relativi alla realizzazione del pezzo:

				EOS P390	EOS P730
Vita utile macchina	(anno)		fornitore	5	5
Ammortamento annuo	(EURO/anno)	C	fornitore	100000	190000
Ore annue lavorate	(h/anno)	H	fornitore	5000	5000
Costo orario macchina	(EURO/anno)	CH	C/H	20	38
Tempo costruzione	(h)	T	software macchina EOS		
Costo macchina per job	(EURO)	CB	CH × T		
Numero di pezzi prodotti in un job	(-)	N	da valutare noto volume di lavoro della macchina		
Costo macchina per pezzo	(EURO)	CP	CH × T/N		
Costo orario della manodopera	(EURO/ora)	O			
Tempo di set-up + post-processing	(ora)	A			
Costo della manodopera per job	(EURO)	OB	O × A		
Costo della manodopera per pezzo	(EURO)	OP	OB/N		
Costo materiale al kg	(EURO/kg)	M	fornitore	54	54
Volume di lavoro	(dm ³)	V	P390=(3.4 × 3.4 × 6.2)dm ³ P730=(7.3 × 3.8 × 5.8)dm ³	~70	~155
Massa di materiale vergine per job	(kg)	U	0.5 × V	~18	~38
Costo del materiale per job	(EURO)	MB	M × U	~950	~2000
Costo materiale per pezzo	(EURO)	MP	MB/N		
Costo pezzo	(EURO)	P	CP+OP+MP		

Tabella 6: costi relativi a nottolino in plastica

Di seguito, utilizzando i dati in tabella, riusciamo a tracciare un grafico con analisi break even point relativo al pezzo costruito con fabbricazione additiva con due diverse stampanti o con metodo tradizionale.

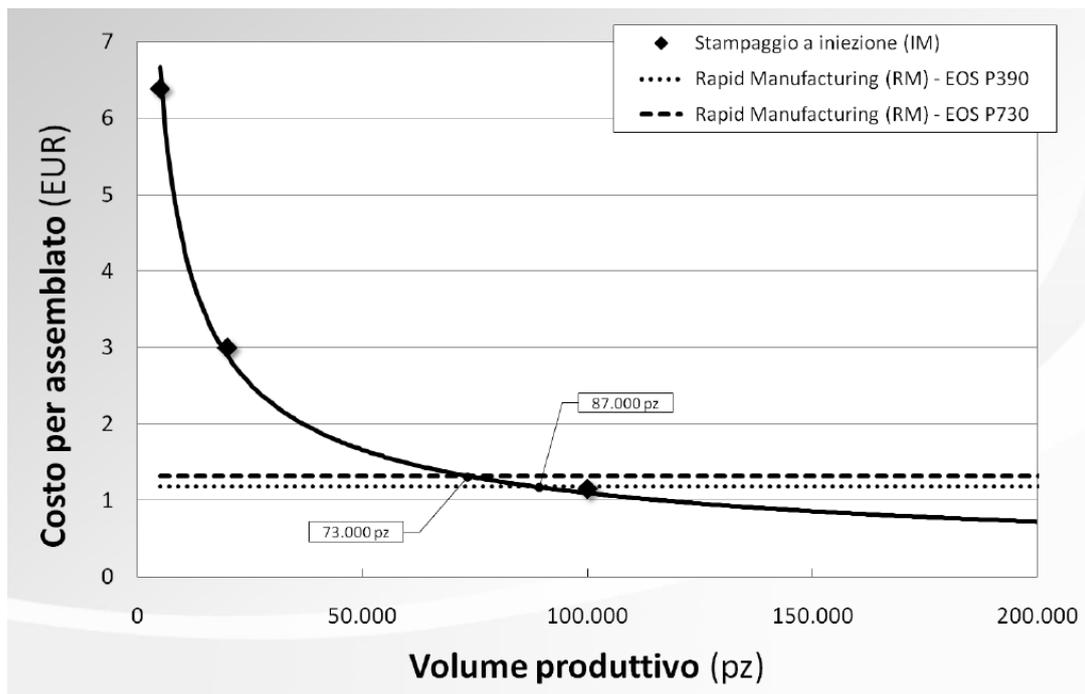


Figura 38: analisi break even point per nottolino

Da questa semplice analisi risulta conveniente produrre il pezzo con la fabbricazione additiva con EOS P390 fino a 87000 unità invece per EOS P730 fino a 73000 unità. Oltre queste soglie conviene produrlo con metodo tradizionale [28].

5.2. Esempi applicazione fabbricazione additiva

la fabbricazione additiva viene considerata da molti come la tecnologia principale che sta portando il mondo nella quarta rivoluzione industriale, implementandola in molti settori e mercati che fino a pochi anni fa venivano considerati non adatti alla stampa 3D. Come già visto nei capitoli precedenti, al giorno d'oggi, si dispone di numerose tecnologie additive che permettono la creazione di prototipi o pezzi funzionali per qualsivoglia applicazione. Questo ha permesso a schiere di architetti, designer, ingegneri e studenti di sviluppare sempre più velocemente modelli da stampare trainando l'innovazione nel settore.

Nei due paragrafi che seguono verranno trattati due esempi altamente innovativi dell'uso della tecnologia di additive manufacturing. Ne primo caso si tratta di un

uso nell'ambito bio-medicale, in questo settore l'utilizzo della stampa 3D è ormai uno standard ed è ampiamente diffusa. Nel secondo caso, invece, la tecnologia di additive manufacturing è stata implementata nel settore dell'edilizia, un settore dove si pensava che la fabbricazione additiva fosse un corpo estraneo.

5.2.1. Sostituzione anca con protesi stampata in 3D

Le tecnologie di produzione additiva (AM), note anche come stampa 3D, hanno dimostrato negli ultimi 30 anni un'enorme crescita dallo sviluppo delle prime macchine polimeriche alla produzione di parti metalliche funzionali con caratteristiche avanzate e bioprinting. AM combina l'uso del design digitale per creare un modello 3D della parte e produrre la parte aggiungendo strati di materiali utilizzando tecniche diverse. AM consente di produrre non solo prototipi, ma componenti perfettamente funzionanti per l'industria aerospaziale, l'industria automobilistica, la medicina e così via. Data la modalità di produzione strato per strato, le parti di forma complessa possono essere realizzate senza l'utilizzo di strumenti e giunti aggiuntivi. Selective Laser Melting (SLM) è uno dei metodi più promettenti e utilizzati tra le tecniche di metallo AM. A causa delle particelle di polvere completamente fuse, le parti prodotte hanno un'alta densità relativa vicina al 100% e le alte velocità di raffreddamento inducono microstrutture stabili e elevate proprietà meccaniche.

La sostituzione dell'endoprotesi è una delle tecniche più efficaci per il trattamento chirurgico di pazienti con lesioni e malattie dell'articolazione dell'anca. La richiesta di sostituzione di endoprotesi è in aumento a livello globale. Secondo il registro dell'artroplastica dell'anca, circa 40.000 interventi chirurgici artroplastici vengono eseguiti ogni anno nei paesi dell'Europa settentrionale; allo stesso tempo vengono eseguiti oltre un milione di interventi chirurgici in tutto il mondo e si prevede che raddoppieranno nei prossimi 20 anni.

Nonostante l'elevata efficienza del trattamento di trapianto di protesi in lega di titanio, un'alta percentuale di pazienti richiede un intervento di revisione 10-15 anni dopo il primo impianto.

Il metodo più frequente di sostituzione di un impianto instabile è l'installazione di componenti acetabolari con fissazione a pressione in presenza di ossa di supporto non danneggiate. I sistemi acetabolari a tre fianchi sono modellati in base ai dati di tomografia computerizzata (TAC) del paziente, progettando un modello 3D delle ossa dell'anca del paziente considerando difetti ossei e consentendo angoli di orientamento dimensionale del componente acetabolare. Le leghe di titanio, in particolare Ti-6Al-4V, sono utilizzate in molti settori. Una delle applicazioni

principali di tale lega è la produzione di impianti medici, questo è dovuto alla sua elevata biocompatibilità e una combinazione di proprietà meccaniche.

Poiché la tecnologia SLM consente la produzione di parti con geometria e forma complessa, è possibile realizzare impianti su misura per ciascun paziente specifico e allo stesso tempo migliorare la superficie dell'impianto con una struttura reticolare per una migliore osteointegrazione.

Un'altra tecnica di produzione di additivi metallici per la produzione di parti complesse da polveri di lega di titanio è l'Electron Beam Melting (EBM), che utilizza l'energia del fascio di elettroni per fondere la polvere di metallo strato per strato in camera di vuoto in modo da impedire ossidazioni; una tecnologia promettente per la fabbricazione di singoli impianti da leghe di titanio. Solitamente, i dati anatomici del paziente vengono ricostruiti in 3D e utilizzati per la modellazione geometrica degli impianti.

Con questo esempio si vuole mostrare la possibilità di produrre singoli sistemi di revisione acetabolare per eseguire una sostituzione di endoprotesi rivista di un impianto dell'anca realizzato in lega di titanio utilizzando AM e i dati della configurazione ossea del paziente acquisita dalla TAC (tomografica computerizzata). I dati della TAC vengono utilizzati per la stampa 3D di un modello polimerico dell'osso del paziente, creando un prototipo dell'impianto per modellare il processo chirurgico.

I dati forniti dalla TAC della struttura dell'osso dell'anca del paziente in formato file DICOM sono stati utilizzati per creare un modello fisico dell'osso dell'anca del paziente, che è stato quindi prodotto tramite Selective Laser Sintering (SLS).

Per costruire l'impianto è stata usata un'innovativa lega di Titanio.

L'impianto metallico è stato prodotto utilizzando la macchina SLM Solutions SLM 280HL con i parametri impostati che forniscono la densità relativa di circa il 99,9%. L'accuratezza di costruzione dell'impianto fabbricato è di circa 200 micron.

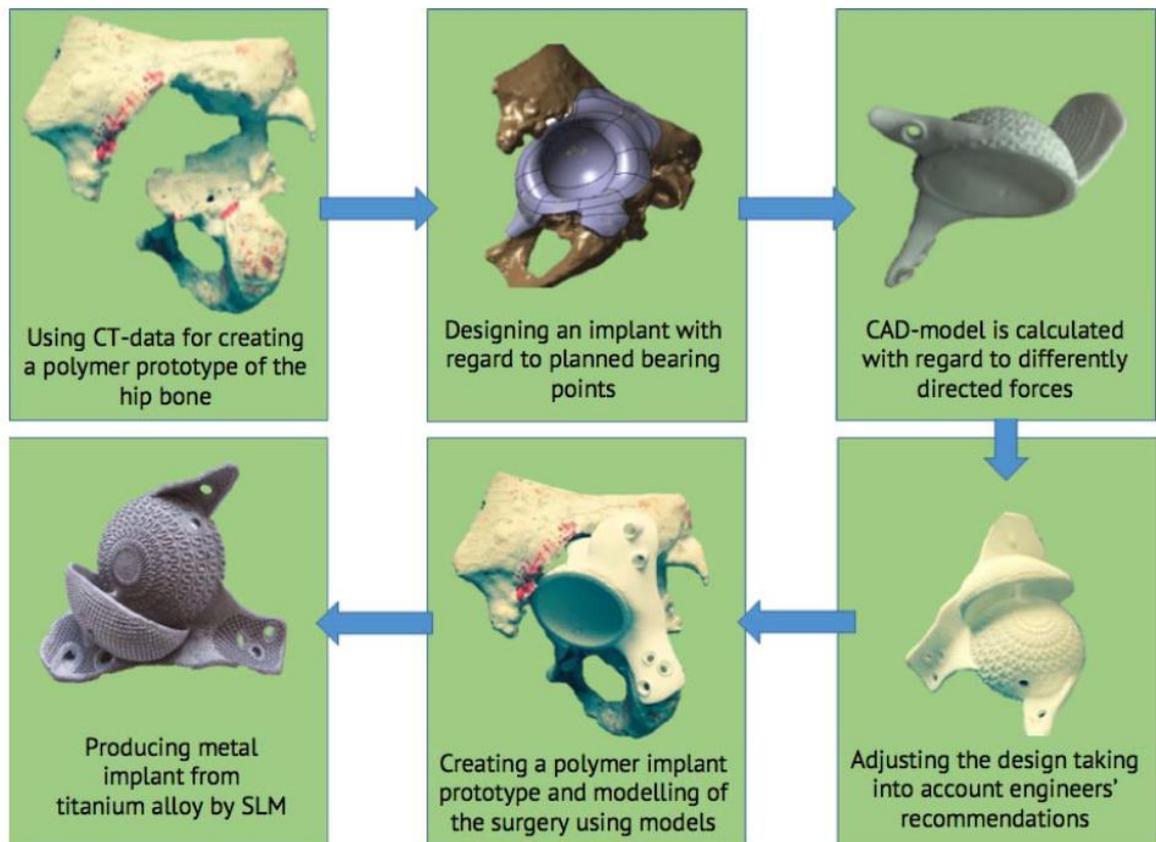


Figura 39: Sequenza di operazioni svolte per produrre un impianto tramite produzione additiva

Utilizzando i dati forniti dalla TAC della struttura ossea del paziente, è stato formato un modello 3D dell'osso dell'anca abbinando le dimensioni e la forma dell'osso del paziente. Il modello in poliammide dell'osso iliaco è stato quindi stampato in 3D utilizzando una macchina SLS. La precisione di costruzione del modello SLS è di circa 100 micron. Al fine di tenere conto delle gravi deformazioni dell'osso dell'anca, un modello fisico dell'impianto dell'anca acetabolare è stato realizzato con argilla polimerica, che tiene conto delle deformazioni e dei punti futuri del cuscinetto. Successivamente, il modello di impianto polimerico è stato scannerizzato in 3D e la configurazione dell'impianto è stata ulteriormente progettata considerando il centro di rotazione dell'impianto.

Utilizzando il modello CAD dell'impianto, la sua superficie è stata parzialmente testurizzata per aumentarne la rugosità e creare aree con elevata superficie specifica al fine di aumentare la superficie di contatto con l'osso umano e migliorare l'implementazione. Il modello CAD ottenuto è stato utilizzato per produrre un modello di impianto in poliammide, simulando la sostituzione dell'endo-protesi con i modelli realizzati.

Il modello CAD dell'impianto è stato posizionato rispetto alla piastra di costruzione della macchina SLM utilizzando il software Materialise Magics; sono

state inoltre create strutture di supporto per preservare la geometria dell'impianto durante il processo di costruzione. L'orientamento dell'impianto è stato scelto in modo tale da ridurre al minimo le sollecitazioni termiche durante la fase di stampa minimizzando numero e dimensione dei supporti.

Dopo il trattamento termico sono stati eliminati i supporti, l'impianto è stato pallinato, ulteriormente pulito e preparato dal personale medico; l'impianto è stato quindi installato nel paziente durante l'intervento chirurgico. La supervisione postoperatoria ha mostrato buoni risultati; il paziente ha mostrato un veloce recupero ed in breve tempo è tornato a camminare.

Le capacità delle tecnologie di produzione additiva hanno dimostrato di produrre con successo un componente su misura di un'endoprotesi di impianto dell'anca in lega Titanio.

Poiché la configurazione dell'impianto corrisponde alle caratteristiche anatomiche del paziente, il rischio di sviluppo precoce instabilità è ridotto, il tempo di intervento chirurgico è ridotto insieme alla perdita di sangue e al rischio di sviluppo di complicanze infettive. La possibilità di creare una superficie testurizzata dell'impianto mediante la tecnologia SLM consente di migliorare potenzialmente il processo di osteo-integrazione creando aree con elevata superficie specifica [30].

5.2.2. Edilizia 3D

Nel 2004, il professor Behrokh Khoshnevis dell'Università della Carolina del Sud ha stampato il primo muro in 3D. Da allora, questa innovazione è in costante crescita ed è ora possibile costruire una casa in sole 20 ore. Il professore ha sviluppato una stampante 3D con tecnologia FDM, montata su un braccio robotico, che estrude strati di cemento anziché plastica per creare un modello 3D.

Questa tecnologia ha dimostrato tutte le qualità necessarie per utilizzare la produzione additiva nei cantieri: riduzione dei costi e degli sprechi, maggiore velocità di costruzione, riduzione degli incidenti, forme architettoniche complesse. La sua scoperta segnò l'inizio della stampa 3D nelle costruzioni. Tuttavia, rimane molto meno utilizzato di alcuni settori come l'aeronautica o la medicina.



Figura 40: esempio costruzione 3D con tecnologia FDM

I giganti delle costruzioni stanno rapidamente realizzando il potenziale delle tecnologie 3D e il loro impatto sul futuro delle costruzioni. Il mercato concreto della stampa 3D dovrebbe raggiungere 56,4 milioni di \$ nel 2021. Sempre più aziende stanno avviando nel settore per creare progetti nuovi e innovativi. Alcuni sono più futuristici, altri sono molto più concreti, come la casa stampata in 3D di Apis Cor in 24 ore. La stampa 3D in calcestruzzo si sta sviluppando rapidamente e si basa su tecnologie e materiali diversi, offrendo molti vantaggi ai suoi utenti. Tuttavia, la tecnologia è ancora agli inizi ed è vincolata dalle attuali limitazioni.

Questo metodo detto, Contour Crafting, prevede che il materiale da costruzione venga depositato per creare un modello 3D su larga scala con una finitura superficiale liscia. Le rotaie sono installate intorno al terreno dell'edificio che fungerà da struttura per dirigere il braccio robotico. Si muove avanti e indietro per estrarre il calcestruzzo, strato per strato. Sono previste cazzuole posizionate lateralmente e sopra l'ugello per appiattire gli strati estrusi.

In questo processo, il calcestruzzo convenzionale non può essere utilizzato in quanto dovrebbe essere indurito prima di poter continuare il processo. Se fosse stampato in 3D, non sarebbe in grado di sostenere il proprio peso. Pertanto, il calcestruzzo viene utilizzato con proprietà a presa rapida.

Queste macchine hanno dimensioni conformi agli standard abitativi (32 m di lunghezza, 10 m di larghezza e 6,6 m di altezza). Ciò consente loro di stampare in 3D strutture complete e assemblate sul posto. Questo viene fatto mescolando

calcestruzzo e fibre di vetro sul posto che in seguito viene usato per il processo di stampa.



Figura 41: calcestruzzo a presa rapida per costruzione 3D

I diversi stakeholder hanno sviluppato macchine che utilizzano una varietà di tecnologie diverse per la stampa 3D del calcestruzzo. La società francese Constructions-3D ha creato una stampante 3D polare che stampa mentre si trova all'interno del cantiere e poi esce dalla porta d'ingresso dell'edificio una volta terminata la costruzione. È costituito da una base meccanica e un braccio robotizzato con un ugello per estrarre il materiale all'estremità. Questo braccio offre un'area stampabile di oltre 250 m² e alta oltre 8 metri.

Altre società si sono specializzate nell'estrusione di materiali diversi dal cemento. Il processo brevettato di BatiPrint 3D è un esempio lampante: l'Università di Nantes, Bouygues Construction e Lafarge Holcim hanno unito le forze per sviluppare un robot industriale che stampa 3 strati di materiale contemporaneamente. Due di questi strati sono una schiuma polimerica, con il terzo strato in cemento. Benoit Furet, professore all'Università di Nantes, spiega “la schiuma porta isolamento interno ed esterno; il calcestruzzo dona rinforzo alla struttura portante antisismica.

L'architetto italiano Enrico Dini è stato il primo in Italia a sviluppare questa tecnologia. Più recentemente, ha sviluppato un interessante processo di stampa 3D usando la sua stampante 3D "D-Shape". Questa macchina si basa sul legame di polveri solidificate strato per strato tramite un materiale legante. Gli strati di sabbia

vengono depositati in base allo spessore desiderato prima che una testina di stampa versi goccioline (il legante) per indurire la sabbia. Questa macchina da 4 x 4 metri è in grado di creare grandi strutture di dimensioni fino a 6 metri cubi.

La società olandese MX3D ha sviluppato un metodo di costruzione unico chiamato WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing), che consente di stampare in 3D strutture metalliche con un robot a 6 assi che rilascia 2 kg di materiale all'ora.

Questo robot è stato il risultato della collaborazione con Air Liquide e ArcelorMittal ed è dotato di un saldatore e un ugello per saldare, strato per strato, barre di metallo. Questo processo è anche compatibile con altri materiali metallici come acciaio inossidabile, bronzo, alluminio e Inconel. La macchina può essere paragonata a una sorta di saldatore gigante.

Innanzitutto, la stampa 3D in calcestruzzo consente di risparmiare molto tempo. In particolare, l'utilizzo di queste tecnologie riduce potenzialmente un lavoro di 2 settimane a soli 3-4 giorni. Inoltre, ciò riduce i rischi di lesioni sul lavoro. Benoit Furet dell'Università di Nantes spiega che "la riduzione delle difficoltà e dei rischi è una realtà, abbiamo realizzato strutture di 3,8 m di altezza senza impalcature. Inoltre, il cantiere è molto silenzioso. "

Il suo team è riuscito a stampare in 3D una casa di 95 m² in soli 5 giorni.

Benoit afferma che la loro tecnologia BatiPrint ha anche reso più semplice la creazione di forme curve a un costo inferiore. Inoltre, poiché le stampanti 3D non hanno bisogno di "mangiare o dormire", non smettono di funzionare fino al termine del progetto. Ciò riduce notevolmente i tempi di consegna.

In termini di utilizzo dei materiali, la stampa 3D è economica. Con l'uso di processi additivi anziché sottrattivi, vengono utilizzati meno materiali rispetto ai processi di produzione tradizionali. Ciò riduce l'impatto ambientale poiché vengono prodotti meno rifiuti.

Tuttavia, ci sono ancora limitazioni al sogno di realizzare abitazioni con stampa 3D. Attualmente, il processo di stampa 3D degli edifici non è ancora riconosciuto come metodo di costruzione da molti organismi di codici e standard. Poiché le strutture stampate non sono tradizionali, i calcoli della resistenza e della resistenza nel tempo sono difficili da realizzare, ecco perché i lavori in tale settore dovranno essere testati caso per caso. " Questi organismi di standard si preoccupano se queste strutture sono veramente solide e se possono resistere al loro ambiente.

Poiché ora la stampa 3D consente di creare strutture più rapidamente, è ideale per combattere la crisi abitativa. Di conseguenza alcune aziende stanno si stanno interessando alla produzione additiva. Ciò include la società italiana WASP, che mira a costruire un mondo più sostenibile attraverso la stampa 3D. Hanno sviluppato una delle più grandi stampanti 3D al mondo in grado di costruire case con materiali di provenienza locale utilizzando energia solare, eolica o idroelettrica. Ciò consente alle regioni che non hanno ancora accesso all'elettricità di stampare strutture 3D rispettose dell'ambiente con risorse locali.

Allo stesso modo in Brasile, Anielle Guedes ha fondato Urban3D per rispondere

alla crisi immobiliare in Brasile. La sua azienda stampa in 3D parti di edifici in una fabbrica dedicata prima di assemblarli in loco. Ciò le consente di creare edifici di altezza impossibile se il processo di stampa 3D fosse eseguita in loco. La società sta attualmente testando diversi prototipi e spera di fornire una soluzione per lo sviluppo delle baraccopoli brasiliane [31].

Un ulteriore esempio di stampante 3D per costruzioni case è quello fornito dall'azienda ICON con l'innovativa Vulcan II. È la prima stampante per l'edilizia disponibile in commercio da ICON. Progettata specificamente per produrre edifici resilienti in tempi rapidi, in modo più economico e con maggiore libertà di progettazione. La capacità di stampa è di circa 185 mq. Ha una larghezza regolabile (per adattarsi a dimensioni diverse) e per il trasporto viene utilizzato un apposito rimorchio in modo da non richiedere complicate operazioni di montaggio. Utilizzando questa tecnologia, è possibile stampare una casa personalizzata più velocemente, con meno rifiuti e ad un costo inferiore rispetto ai tradizionali metodi di costruzione domestica.

Vulcan II è dotato di controlli intuitivi gestibili anche da un tablet, monitoraggio e supporto sono remoti, illuminazione a LED integrata per la stampa di notte o in condizioni di scarsa illuminazione e una suite di software personalizzata che garantisce la configurazione, le operazioni e la manutenzione nel modo più semplice e diretto possibile [32].

5.3. Impatto della fabbricazione additiva sulla Supply Chain

Già in precedenza, abbiamo notato che la libertà di progettazione che sperimentano gli sviluppatori di prodotti è una caratteristica interessante delle tecnologie di Additive Manufacturing. Allo stesso tempo, la fabbricazione di prodotti è generalmente percepita come piuttosto costosa, a causa, ad esempio, dell'elevato consumo di energia del processo AM e dei tempi di produzione relativamente lunghi. Ma quello che vedremo è che il consolidamento delle funzionalità dei componenti in un unico pezzo in combinazione con la produzione decentralizzata può compensare questi svantaggi. Qui, con il consolidamento, indichiamo la riprogettazione di una parte o di un prodotto assemblati, in modo tale che i suoi componenti costitutivi siano sostituiti da un minor numero di componenti, ma più complessi, in modo tale da evitare assemblaggi in una seconda fase.

5.3.1. Analisi comparativa tra metodo tradizionale e fabbricazione additiva

- **Struttura della catena di approvvigionamento**

In genere, nella produzione convenzionale tutti i componenti devono essere disponibili prima che possa iniziare l'assemblaggio. Se un certo numero di componenti viene ignorato perché la loro funzionalità è integrata in una parte stampata in 3D, non sono più necessarie le relazioni con i fornitori corrispondenti riducendo gli sforzi di sincronizzazione. Di conseguenza, la necessità di una pianificazione della produzione a più livelli diminuisce porta a diminuire i rischi e i costi associati.

- **Inventari della catena di approvvigionamento**

Il consolidamento delle funzioni grazie all'integrazione implica che le materie prime siano utilizzate direttamente nella produzione del prodotto finale. Di conseguenza, gli stock a valle non sono più necessari. In particolare, per i prodotti personalizzati, ciò può avere conseguenze di vasta portata. Oggi, la personalizzazione viene in genere ottenuta con progetti di prodotti modulari, in cui i requisiti dei clienti vengono soddisfatti combinando i giusti componenti in un unico prodotto finale. Mentre un design modulare del prodotto consente il rinvio della configurazione desiderata del prodotto, la modularità comporta il sacrificio di inventari spesso elevati di molti componenti diversi per ottenere tempi di risposta rapidi. Con la stampa 3D, gli inventari dei componenti possono diventare parzialmente evitabili a causa della forte digitalizzazione del processo di fabbricazione. Infine, gli inventari delle materie prime si riducono a causa del fatto che viene sprecato meno materiale rispetto alla produzione con tecniche sottrattive tradizionali.

- **Tempi di produzione e trasporto decentrati**

Le strutture di stampa 3D possono essere piuttosto modeste e quindi si prestano alla produzione decentralizzata, ancor più se le scorte di componenti sono limitate. Chiaramente, la produzione vicina ai clienti può ridurre considerevolmente i tempi di distribuzione e trasporto finali. Il fatto che le materie prime debbano essere fornite in questi luoghi decentralizzati non è un problema serio poiché riguarda il trasporto di pochi materiali di base e

facilmente immagazzinabili (per produzioni metalliche in genere sono polveri). La necessità di pezzi di ricambio in luoghi remoti come ad esempio spesso incontrati nel settore minerario o durante le missioni umanitarie può trarre vantaggio anche dalla produzione decentralizzata.

- **Tempi di consegna dei componenti**
La maggior parte dei componenti in un processo di assemblaggio classico sono ordinati da fornitori esterni, ma anche se sono fabbricati in un reparto dello stesso stabilimento che consegna il prodotto finale, devono essere pianificati in anticipo, secondo ad es. una metodologia MRP. In genere, i componenti vengono prodotti in lotti per motivi di efficienza, facendo incrementare ulteriormente i tempi di consegna e le scorte, mentre potrebbero verificarsi ulteriori ritardi a causa di problemi di accodamento in caso di saturazione della linea produttiva. Pertanto, il consolidamento tramite la fabbricazione additiva può portare a riduzioni dei tempi di consegna nella catena di approvvigionamento.
- **Responsabilità del cliente**
Come accennato in precedenza, nella produzione convenzionale i tempi di risposta brevi dei clienti sono generalmente realizzati tramite elevati inventari di prodotti o moduli e componenti finali. Comunemente questo approccio provoca una notevole quantità di capitale investito e quindi riduce la liquidità di un'azienda. L'approccio opposto è rappresentato da un minor numero di scorte ma tempi di attesa dei clienti più lunghi poiché è necessario ordinare componenti specifici, che possono ridurre le vendite. La flessibilità e la velocità di impostazione o modifica di un processo di produzione con la fabbricazione additiva possono fornire un'alternativa. In particolare, spesso gli investimenti in scorte di materie prime sono sufficienti per fornire la reattività richiesta. I tempi di trasporto ridotti, raggiunti dalla vicinanza del cliente, contribuiscono anche a ridurre i tempi di risposta del cliente.

5.3.2. Costi e benefici sulla supply chain della fabbricazione additiva

Come emerge dai capitoli precedenti, la decisione finale di investire in AM dipende da un attento compromesso tra costi e benefici. AM può apparire come un processo costoso, ma quando si guarda il suo impatto a livello di supply chain, ci sono vantaggi significativi in termini di riduzione delle scorte (quindi miglioramento della liquidità, ovvero liberazione di capitale per gli investimenti), lead time più brevi e tempi di risposta dei clienti più veloci. Anche la riduzione dei rifiuti di materiali durante la produzione è ovviamente vantaggiosa.

AM è una tecnologia di produzione che dipende fortemente dalla digitalizzazione e pertanto richiede competenze molto diverse dalla produzione classica. In generale, i progettisti e gli ingegneri informatici sono specialisti altamente qualificati, mentre la quantità richiesta di manodopera meno qualificata a livello di operatore macchina è inferiore rispetto alla produzione convenzionale. Di conseguenza, il costo del lavoro manuale in percentuale del prezzo complessivo del prodotto è piuttosto basso, il che è un argomento per individuare i processi di produzione nei paesi con salari elevati, invece di trasferirli in paesi con salari bassi. In effetti, osservando che i costi di manodopera in Cina sono attualmente circa cinque volte più alti rispetto al 1990 molte aziende hanno deciso di riportare la produzione di prodotti ad alta tecnologia in Europa e negli Stati Uniti. Inoltre, come abbiamo visto, la produzione decentralizzata diventa attraente una volta che gran parte del processo è principalmente basata su capacità progettuali.

Per lo stesso motivo, la fabbricazione additiva sembra essere un candidato eccellente per la produzione di cloud. Sebbene il prezzo dei dispositivi di stampa 3D stia diminuendo drasticamente, i costi delle apparecchiature professionali di alto livello sono ancora significativi, in particolare in considerazione del fatto che la maggior parte della produzione riguarda articoli a movimento lento mentre i cicli di vita tecnologici delle apparecchiature sono brevi. Tuttavia, la combinazione di flessibilità di progettazione del prodotto, trasferimento digitale dei dati del prodotto e caratteristiche del processo relativamente stabili (meno variabili) rende relativamente semplice esternalizzare il processo di produzione a fornitori di servizi AM specializzati. In effetti, il numero di tali fornitori è in rapida crescita; possono offrire non solo processi di produzione in quanto tali, ma sempre più supporto alla progettazione.

5.3.3. Gestione logistica sui pezzi di ricambio con la fabbricazione additiva

Finora abbiamo discusso principalmente di prodotti destinati agli utenti finali. Un importante gruppo aggiuntivo sono i prodotti che servono come parti di ricambio di altri beni (macchine, veicoli, aeromobili o costruzioni edili). Tali parti possono eventualmente non funzionare correttamente o addirittura guastarsi completamente e quindi devono essere riparate o sostituite. Poiché i costi dei tempi di fermo di un'attività possono essere elevati, spesso si sceglie di limitare i tempi di fermo sostituendo la parte difettosa e smaltendola o riparandola off-line. In ogni caso, dovrebbero essere disponibili parti di ricambio. Di conseguenza, si possono creare grossi inventari per parti di ricambio (di molti articoli diversi) per sopperire ad un possibile guasto. Questo però comporta un investimento significativo. In genere, la domanda di pezzi di ricambio è bassa poiché spesso non dovrebbero verificarsi guasti per un prodotto ben progettato. Quindi, molte scorte sono effettivamente legate per articoli a bassa domanda.

Come discusso da Gibson et al., i pezzi di ricambio a basso volume sono prodotti principalmente su apparecchiature generiche (ovvero non dedicate) (ad es. Stazioni di lavoro CNC). Il fatto che richiedano un tempo di allestimento oltre a strumenti e dispositivi speciali rende i costi di produzione complessivi relativamente elevati. Sembra quindi naturale pensare alla stampa 3D per queste parti come alternativa. Proprio come per i pezzi regolari, è probabile che, a seguito della stampa 3D, gli inventari diminuiscano mentre la reattività può essere mantenuta o addirittura migliorata. Dati i lunghi tempi di consegna delle parti di ricambio, è facile notare che scorte basse riducono contemporaneamente il rischio di obsolescenza. Tuttavia, ci sono più ragioni per cui AM può essere considerato idoneo per il settore dei pezzi di ricambio. A monte della supply chain non è raro che ad un certo punto un fornitore decida di interrompere la produzione di pezzi di ricambio, ad esempio perché i bassi volumi non sono più commercialmente interessanti rispetto ad altre produzioni. Nella migliore delle ipotesi, il proprietario dell'asset (o il fornitore di servizi) ha la possibilità di acquistare una volta un set finale di parti per coprire l'eventuale domanda durante l'intero ciclo vita residuo dei suoi asset ma in ogni caso ci si assume il rischio di avere un elevato magazzino a rischio obsolescenza. In tal caso, la possibilità di stampare la parte direttamente all'occorrenza, sulla base di un file CAD memorizzato, rappresenta una valida alternativa.

Altrettanto rilevante per il business delle parti di ricambio potrebbe essere la possibilità di riparare parti con tecnologia AM. Le parti usurate che erano state precedentemente scartate perché costose da riparare possono diventare riparabili con AM e quindi ridurre significativamente i costi di manutenzione. Il potenziale

è dimostrato grazie all'esempio di una punta del bruciatore utilizzata nelle turbine a gas di Siemens. Si è stato in grado di ridurre i tempi di riparazione del 90% e i costi di riparazione associati del 30% [33].

Anche se un pezzo di ricambio fabbricato in modo convenzionale sembra essere la soluzione tecnicamente e commercialmente migliore, può comunque sembrare utile stampare in 3D un pezzo di ricambio come soluzione temporanea. In altre parole, la parte stampata colmerebbe il periodo fino a quando non sarà disponibile il pezzo di ricambio previsto.

Ci sono anche argomenti contro l'uso di pezzi di ricambio stampati. Le caratteristiche delle parti possono peggiorare in modo significativo. Ad esempio, in base alle caratteristiche del processo di fabbricazione additiva, spesso il costo unitario e l'affidabilità della parte costruita con AM risultano inferiori rispetto alla versione fabbricata in modo convenzionale.

Nel complesso, dovrebbe essere chiaro che anche per le attività relative ai pezzi di ricambio è necessaria una valutazione dettagliata dei costi e dei benefici derivanti dall'applicazione della stampa 3D. Sembra certo, tuttavia, che le tecnologie AM, con le loro caratteristiche uniche, abbiano l'opportunità di trasformare il settore dei pezzi di ricambio nel prossimo futuro. Le applicazioni descritte possono prestarsi come prezioso punto di partenza per motivare un eventuale vantaggio economico.

6. Conclusioni

La produzione additiva ha una nicchia di mercato con un enorme potenziale di crescita se si abbassano le principali barriere all'ingresso. È chiaro che il progresso nella tecnologia porterà a produrre oggetti più velocemente, con parti sempre più complesse e con combinazioni multiple di materiali, colori e finiture.

La sfida rimane, tuttavia, nell'ottenere oggetti funzionali. Bisognerà continuare a sviluppare le due tecnologie principali che caratterizzano l'Additive manufacturing, i materiali e le apparecchiature di stampa.

La buona notizia è che c'è un interesse significativo nel settore industriale per l'adozione di AM proponendola come una delle principali alternative tecniche di produzione per la prossima generazione di prodotti.

La logistica aziendale è in perenne evoluzione. Le aziende come United Parcel Service e Amazon utilizzano stampanti a polimeri 3D in luoghi di produzione più vicini al cliente finale in modo da ridurre i trasporti. Come per i polimeri plastici, anche la stampa 3D a leghe metalliche avrà anche un impatto sulla supply chain. Le aziende sono in grado di inviare elettronicamente i file CAD tra luoghi con fusi orari diversi e stampare i componenti il più vicino possibile all'utente finale, quindi i tempi di consegna possono essere abbreviati e i costi associati alla consegna di conseguenza saranno ridotti. Questa riduzione dei costi indurrà, alcune aziende a ripensare la decisione di produrre componenti offshore. Allo stesso modo, le aziende che normalmente avevano un inventario abbastanza elevato di componenti, per sopperire a qualche picco di domanda, vedranno ridurre i propri livelli di stock.

Nel prossimo futuro, se le velocità di stampa aumenteranno, i componenti saranno prodotti solo quando il cliente ordina i pezzi. Negli Stati Uniti la Defence Logistics Agency è stata una delle prime ad adottare questo tipo di strategia, e probabilmente anche altre nazioni e società seguiranno l'esempio di questo tipo di attività.

La circolazione delle merci costa tempo e denaro, il che a sua volta può portare il consumatore alla ricerca di prodotti alternativi più economici e prontamente disponibili. Questo è il motivo per cui le aziende utilizzano la stampa 3D, cercando di fornire i prodotti riducendo i tempi d'attesa.

Il vecchio modello tradizionale della supply chain si concentra su costi bassi e volumi elevati, a beneficio di settori come quello automobilistico ma spesso dannoso per l'aerospaziale e il biomedico.

La produzione additiva consentirà una nuova focalizzazione della supply chain su volumi bassi, inventario inferiore e rapide consegne. Ciò implica di localizzare l'hub di produzione in qualsiasi parte del mondo e quindi il costo del lavoro influirà sempre meno sulle scelte manageriali.

Nel 2016, la Marina degli Stati Uniti ha installato una stampante 3D sulla nave da assalto anfibia, USS Essex, per dei test. La Marina sta addestrando i velisti a gestire questa tecnologia, quindi se una parte necessaria non è presente nell'inventario di bordo, i velisti possono progettare e stampare la parte su richiesta entro poche ore o giorni, consentendo una più rapida risposta alle esigenze della nave.

Il colosso delle spedizioni, Maersk, sta sperando di sperimentare la stampa 3D puntando a ridurre gli elevati costi di trasporto attuali. L'idea è di installare una stampante 3D su una nave mercantile per consentire all'equipaggio di stampare pezzi di ricambio su richiesta. Maersk spedisce in maniera telematica il progetto all'equipaggio, che semplicemente dovrà stampare il pezzo.

Il gigante delle spedizioni Amazon ha presentato un brevetto per le stampanti 3D montate all'interno dei camion, che potevano quindi stampare gli acquisti dei clienti al volo e consegnarli immediatamente. Il business case di questa idea è che stampare il componente vicino all'utente farà risparmiare denaro rimuovendo la necessità di importare la parte e conservarla in un magazzino. Un'altra società che trascende le regole di consegna della supply chain è CloudDDM, fornitore di servizi di produzione additiva per vari settori. Cloud DDM e le loro centinaia di macchine da stampa, sono collocate su un hub di spedizione UPS. La società è in grado di stampare le parti richieste dal cliente e farle spedire durante la notte a condizione che possano essere stampate entro il tempo limite di consegna.

Tra 20 anni, la stampa 3D sarà una tecnica di produzione comunemente accettata. Dal momento che la maggior parte delle società non sarà in grado di farlo direttamente, verrà a crearsi un settore di fornitori di tale servizio, quindi le aziende probabilmente si concentreranno sulla fase progettuale mentre esternalizzeranno a hub specializzati la fase produttiva additiva. Ciò significa che la supply chain per lo più integrata verticalmente di oggi tenderà ad evolversi in una catena logistica più orizzontale.

Un altro sviluppo non trascurabile del fenomeno della stampa 3D sarà sempre più quello dei produttori fai da te. Ci saranno sempre più persone che compreranno apparecchi di stampa additiva da avere in casa così da prodursi in proprio i beni che un tempo avrebbe acquistato. Questo porterà a non ragionare più con schemi fissi che separano nettamente i produttori e i consumatori ma verrà a crearsi una nuova figura che incarna entrambe le parti.

Alla fine di questo studio possiamo affermare che il futuro della produzione industriale sarà additivo? Rispondere a questa domanda ora potrebbe essere prematuro ma non inopportuno.

Allo stato attuale risultano settori dove l'adozione di questa tecnologia ha portato a creare degli standard, quindi più che soppiantare le tradizionali tecniche industriali l'additive manufacturing lavorerà in parallelo alle tecniche costruttive tradizionali e con il crescente sviluppo delle tecnologie dei materiali e delle stampanti, con il tempo, riuscirà ad aggredire settori industriali dove al giorno d'oggi risulta utopistico produrre con fabbricazioni additive.

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: schema politica dei prezzi.....	10
Figura 2: progettazione sequenziale prodotto – processo	17
Figura 3: concurrent engineering	18
Figura 4: ciclo della fabbricazione additiva	20
Figura 5: tecniche fabbricazione additiva	22
Figura 6: confronto superficie SLS vs SLM	24
Figura 7: schema processo SLS e SLM	25
Figura 8: schema Electron Beam Melting.....	26
Figura 9: schema 3DP	27
Figura 10: schema polyjet	28
Figura 11: schema stereolitografia	29
Figura 12: schema MJM.....	30
Figura 13: Schema Drop on Demand.....	31
Figura 14: schema LoM	32
Figura 15: Schema FDM.....	33
Figura 16: pneumatico 3D a nido d’ape.....	34
Figura 17: Made in Italy, numero di aziende per area geografica	44
Figura 18: Utilizzo delle tecnologie digitali in Italia per dimensione aziendale .	45
Figura 19:Utilizzo delle tecnologie digitali in Italia per area geografica	46

Figura 20: ragioni del non utilizzo delle tecnologie 3D.....	46
Figura 21: stampante 3D Renishaw AM 250.....	51
Figura 22: stampa 3D Renishaw AM 400.....	52
Figura 23: Stampante 3D Renishaw RenAM 500Q.....	53
Figura 24: esempio produzione pezzo con stampa EOS.....	58
Figura 25: stampante 3D EOS FORMIGA P110.....	58
Figura 26: stampante 3D EOS P396	59
Figura 27: stampante 3D EOS P770	60
Figura 28: stampante 3D EOS P810	61
Figura 29: stampante 3D EOS M 100.....	62
Figura 30:stampante 3D EOS M 390.....	63
Figura 31: stampante 3D EOS M 400.....	64
Figura 32:stampante 3D PRECIOUS M 080	65
Figura 33: ecosistema software EOS	66
Figura 34: grafico coda lunga	71
Figura 35: carrello per piccolo aeroplano	72
Figura 36: analisi break even poin per carrello aeroplano	73
Figura 37: nottolino in plastica	74
Figura 38: analisi break even point per nottolino	76

Figura 39: Sequenza di operazioni svolte per produrre un impianto tramite produzione additiva	79
Figura 40: esempio costruzione 3D con tecnologia FDM	81
Figura 41: calcestruzzo a presa rapida per costruzione 3D.....	82

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 : Fattori performance Supply Chain.....	3
Tabella 2: esempi additive manufacturing	39
Tabella 3: tabella materiali metallici EOS	68
Tabella 4: tabella materiali plastici EOS.....	69
Tabella 5: elenco costi carrello aeroplano.....	73
Tabella 6: costi relativi a nottolino in plastica	75

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

- [1] https://it.wikipedia.org/wiki/Gestione_della_catena_di_distribuzione
- [2] Sunil Chopra, Supply Chain Management, Strategy, Planning and Operations, 3rd ed, Pearson Prentice Hall™, p.44.
- [3] A.Pareschi, E.Ferrari, A.Persona, A.Regattieri, Logistica integrata e flessibile, 2nd ed, 2011, Esculapio, p.222.
- [4] Sunil Chopra, Supply Chain Management, Strategy, Planning and Operations, 3rd ed, Pearson Prentice Hall™, p.55.
- [5] [https://it.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A0_\(economia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Qualit%C3%A0_(economia))
- [6] <http://www.dptcorporate.com/it/focus-on-concurrent-engineering/>
- [7] <https://www.innovationpost.it/2018/09/17/tutto-quello-che-ce-da-sapere-sulladditive-manufacturing-guida/>
- [8] <https://it.wikipedia.org/wiki/Slicing>
- [9] <https://www.laprimapagina.it/2016/07/25/ruote-del-futuro-pneumatici-airless/>
- [10] Dr.Ravi Shankar Kalva, “3D Printing - The Future of Manufacturing (The Next Industrial Revolution)”, International Journal in Innovation and Technology, 2015, 1 Febbraio, pp. 184-190.
- [11] Markillie P, “A third industrial revolution”, The economist, 21 Aprile 2012.
- [12] Frost & Sullivan, Connected Supply Chains of the Future Take Shape as Change is Unleashed from Concept to Production, 2016
- [13] Sharon L. N. Ford, “Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness, p. 1.
- [14] Sharon L. N. Ford, “Additive Manufacturing Technology: Potential Implications for U.S. Manufacturing Competitiveness p. 7.

[15] Yunguang Long, Jieyi Pan, Qinghui Zhang & Yingjie Hao, “3D printing technology and its

impact on Chinese manufacturing, p. 4.

[16] <https://www.sharebot.it/>

[17] Rusconi G., “ Perché la stampa 3D, industria 4.0, quarta rivoluzione industriale, digital manufacturing, fabbrica del futuro: tutti concetti che hanno un fondamento radicato anche in Italia”, il sole 24 ore, 2015.

[18] Longo, A. “Stampanti 3D in azienda: ecco la rivoluzione che crea lavoro”. Repubblica, 2015.

[19] Banzi, M., De Benedetti, C., Luna, R., Reboani, P., Venturi, S., Tarantola, M. Micelli, S. Make in Italy. Il 1° rapporto sull’impatto delle tecnologie digitali nel sistema manifatturiero italiano. Fondazione Nord Est e Prometeia, pp. 5-101.

[20] <http://www.renishaw.it>

[21] https://www.eos.info/systems_solutions/plastic

[22] https://www.eos.info/systems_solutions/metal

[23] https://www.eos.info/systems_solutions/software

[24] <https://www.eos.info/material-m>

[25] <https://www.eos.info/material-p>

[26] <https://www.boraso.com/glossario/definizione-di-long-tail-keywords>

[27] Rm Lab, Politecnico di Torino, “Riprogettazione componente metallico”

[28] Rm Lab, Politecnico di Torino, “Riprogettazione componente plastico”

[30] Popovich A, Sufiiarov V, Polozov I, et al., 2016, Producing hip implants of titanium alloys by additive manufacturing. International Journal of Bioprinting, vol.2(2): 78–84.

[31] <https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-construction-310120184/>

[32] <https://www.iconbuild.com/>

[33] Karl Ott et al. / *Procedia Manufacturing* 33 (2019) 123–130