POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in
Ingegneria Gestionale

Tesi di Laurea Magistrale

Ruolo dell'Additive Manufacturing nell'industria dello sci

Relatore
Prof.ssa Calignano Flaviana

Candidato
Nicole Dalmasso

Anno Accademico 2020/2021

ABSTRACT

L' Additive Manufacturing, conosciuta anche come stampa 3D, è oggi, la tecnologia digitale più dirompente, capace di stravolgere i tradizionali paradigmi produttivi.
Si tratta di una vera e propria rivoluzione, in quanto la produzione non avviene più per asportazione e sottrazione di materiale dal pieno, ma partendo da un modello matematico sviluppato in ambiente CAD 3D (virtuale) e poi stampando strato dopo strato, quasi come accade nelle comunissime stampanti ad inchiostro che abbiamo in casa o in ufficio.
Da qui il nome di Manifattura Additiva. Esiste in realtà una differenza tra Additive Manufacturing e stampa 3D: la prima rappresenta tutte le tecnologie produttive; mentre la stampa 3D (o 3D Printing), le tecnologie a basso costo che utilizzano una testina di stampa (normativa ASTM).
Questa tecnologia presenta numerosi vantaggi e naturalmente anche dei limiti che la continua ricerca sta spostando sempre più lontano. La sua diffusione e l'interesse verso l'AM sono cresciuti in modo esponenziale solo negli ultimi anni nonostante la nascita vera e propria risalga agli anni '80.
Nel mondo dello sci essa si sta facendo spazio anche se, attualmente, il suo ruolo è limitato quasi esclusivamente alla prototipazione e alla sperimentazione di nuovi materiali e nuove forme.
Nella tesi verrà portato come esempio l'uso dell'AM e la produzione degli scarponi da sci del Gruppo Rossignol Lange, che ho avuto il piacere di visitare nella sede di Montebelluna (TV).

Indice

1. INTRODUZIONE ADDITIVE MANUFACTURING 1

1.1 DEFINIZIONE 1
1.2 STORIA ED EVOLUZIONE DELLA TECNOLOGIA 2
1.3 GENERICO PROCESSO DI AM 3

2. VANTAGGI E SVANTAGGI DELL'AM 7

3. TECNICHE DI AM PER POLIMERI 10

3.1 STEREOLITOGRAFIA (SLA) 11
3.2 POLYJET/PROJECT 12
3.3 FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) 13
3.4 3 DIMENSIONAL PRINTING (3DP) 15
3.5 SELECTIVE LASER SINTERING (SLS) 16

4. MATERIALI 18

5. ADDITIVE MANUFACTUING NEL MONDO DELLO SPORT 21

5.1 LA FLESSIBILITA' DEI SISTEMI DI AM 22
5.2 PROTOTIPAZIONE 22

6. IL CLUSTER DI MONTEBELLUNA 25

7. STATO DELL'ARTE NELLA PRODUZIONE DEGLI SCARPONI DA SCI: IL CASO ROSSIGNOL LANGE 28

7.1 LA PROTOTIPAZIONE 29
7.2 LA STAMPA 3D 31
7.3 LA PRODUZIONE DELLO SCAFO 37
7.4 LA SCARPETTA 39
7.5 ASSEMBLAGGIO 40
7.6 IL CONTROLLO QUALITÀ 40

8. IL FUTURO NELLA PRODUZIONE DI SCARPONI DA SCI 42

8.1 PRIMI ESPERIMENTI DI PRODUZIONE DEFINITIVA CON AM 43
8.2 XENIA MATERIALS 46

9. ALTRE ATTREZZATURE DA SCI STAMPATE IN 3D 49

9.1 CASCHI DA SCI 49
9.2 ATTACCO DA SCI 50

9.3 ATTACCHI RIVOLUZIONARI PER LO SNOWBOARD 51

10. CONCLUSIONI 52

BIBLIOGRAFIA 53

RINGRAZIAMENTI 55

1. INTRODUZIONE ADDITIVE MANUFACTURING

1.1 DEFINIZIONE

Il termine Additive Manufacturing (AM) secondo la norma ASTM F2792-12a (Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies) risulta universale e ufficiale, indicando tutte quelle applicazioni che prevedono l'impiego di una tecnologia il cui processo fondamentale è quello di unire uno o più materiali per realizzare degli oggetti, partendo dai dati di un modello 3D e sovrapponendo uno strato dopo l'altro, al contrario delle tecnologie di produzione sottrattive come quelle fornite dalle macchine utensili tradizionali.

La produzione additiva (o manifattura o produzione a strati) è quindi un processo di produzione industriale impiegato per fabbricare oggetti di geometria complessa partendo da modelli CAD 3D computerizzati, aggiungendo uno strato sopra l'altro in maniera selettiva.
In altre parole, aggiunge ogni sezione dell'oggetto da realizzare, l'una sull'altra e costruisce il prodotto completo.
Ciò avviene in opposizione alle metodologie tradizionali di produzione sottrattiva convenzionale, che partono da un blocco di materiale dal quale vengono rimossi meccanicamente trucioli al fine di ottenere la forma desiderata.
La stampa 3D, altro nome con cui è nota la nuova tecnologia, consente quindi un minore utilizzo di materiale ed una maggiore libertà nella concezione del pezzo, ampliando indefinitamente la gamma di forme e complessità realizzabili.
Ed è proprio questo fattore che ha determinato, e sta tutt'ora determinando, l'espansione della sua applicazione in vari settori e ambiti tra cui automotive, aerospace, biomedicale, gioielleria e sportivo.

1.2 STORIA ED EVOLUZIONE DELLA TECNOLOGIA

Tali tecnologie si sono sviluppate dalla fine degli anni '80, più precisamente la nascita ufficiale risale al 1983, quando il signor Charles ("Chuck") Hull inventò la stereolitografia, una tecnica di Fabbricazione Additiva per polimeri, creando la prima parte stampata in 3D in assoluto.

Nel 1984 viene depositato il brevetto per il sistema di stereolitografia SLA (US4575330). Questa tecnica sfrutta il principio della fotopolimerizzazione e ogni strato viene realizzato tramite un fascio selettivo laser che innesta la reazione di un fotopolimero liquido contenuto all'interno di una vasca. L'azione della luce porta all'indurimento della resina, generando in tal modo l'oggetto in 3D, strato dopo strato.

Bisognerà aspettare ancora 2 anni (1986) per la co-fondazione della 3D Systems, azienda ancora oggi ai vertici del settore. Questa azienda rappresenta la primissima realtà commerciale e, in meno di un anno, debutta sul mercato con la prima stampante per stereolitografia SLA-1.

Nel 1986, inoltre, Carl Deckard, Paul Forderhase e altri ricercatori dell'università del Texas di Austin, studiando la stereolitografia, idearono la Selective Laser Sintering (SLS), un processo simile a quello in precedenza scoperto, ma con la differenza che il fotopolimero precedentemente liquido viene sostituito da un termoplastico in polvere. Il processo prevede l'utilizzo anche in questo caso di una sorgente laser più potente rispetto alla precedente, che fonda lo strato di polvere interessato in maniera selettiva.

Le invenzioni delle altre tecniche avvennero negli anni immediatamente successivi, come anche la nascita di nuove aziende quali la Stratasys, oggi leader nel settore. Ed è proprio a questa azienda che si deve la tecnologia Fused Deposition Modeling, che permette di realizzare i diversi strati tramite un filamento di materiale termoplastico contenuto in bobine ed estruso mediante due testine di stampa.

Il 1995 è stato sicuramente un anno di svolta in quanto, per la prima volta, la tecnologia permise di fondere polveri di metallo e realizzare oggetti con una densità paragonabile a quella ottenibile con l'industria tradizionale.

Ma bisogna aspettare il 2000 per l'uso di materiali definitivi e quindi la produzione non solo più di prototipi. Da qui ci fu la diffusione vera e propria dell'AM.

Queste sono le tecniche di Additive Manufacturing più note e consolidate sul mercato ma i ricercatori sono tutt'ora impegnati nella ricerca di soluzioni e alternative diverse e migliori con l'obiettivo di espandere gli ambiti di applicazione e rendere questa tecnologia sempre più protagonista.

Il possibile impatto economico dell'AM, al momento ancora limitato, presenta tassi di crescita molto elevati e potenzialità enormi. Questa tecnologia potrebbe diventare la *distruptive technology* del nostro secolo impattando su molti aspetti della vita economica e sociale. Si prevedono infatti cambiamenti nella catena degli approvvigionamenti, la necessità di nuove competenze e conoscenze per sfruttare le numerose opportunità e politiche che favoriscono lo sviluppo e la formazione.

1.3 GENERICO PROCESSO DI AM

La Fabbricazione Additiva, come ogni processo produttivo, si compone di diverse fasi sequenziali che consentono la realizzazione del prodotto. La sequenza delle operazioni consiste essenzialmente nello sviluppo di un modello CAD dell'oggetto da produrre, nella suddivisione in strati del modello e nel successivo processo di produzione vero e proprio come è mostrato nella figura seguente.

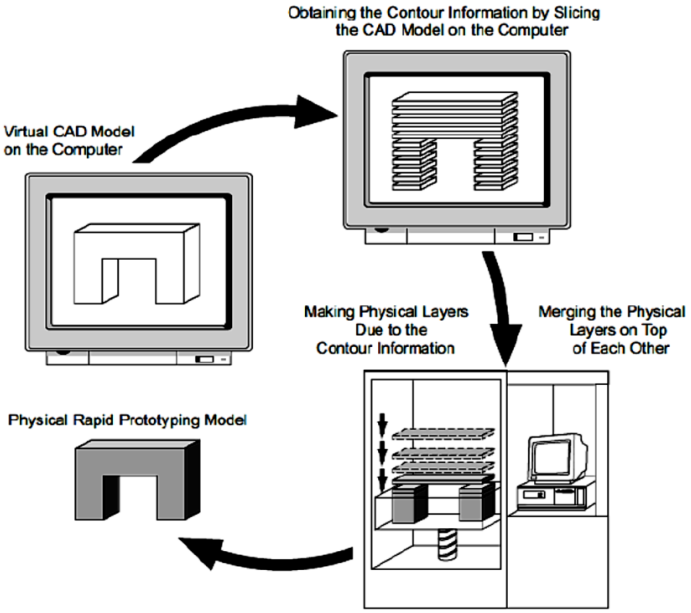

Figura 1 - Generico processo di AM

A seconda dell'applicazione finale e del processo considerato le fasi possono assumere più o meno importanza naturalmente. Nel passaggio dal modello CAD 3D al modello fisico, si generano due possibili errori insiti nella tecnologia stessa che si possono minimizzare, ma non eliminare del tutto: Facetting (nella generazione del file STL) e Stair case (nell'operazione di Slicing).

Più specificatamente, le fasi costituenti il processo di stampa 3D sono le seguenti:

1. Creazione del modello CAD
2. Generazione del file STL (Standard Triangulation Language)
3. Trasferimento file STL alla macchina di stampa
4. Configurazione e settaggio della macchina (orientamento componente, generazione supporti, esecuzione Slicing)
5. Stampa dell'oggetto tramite costruzione sezione
6. Rimozione prodotto (e supporti)
7. Pulizia e post-trattamento (se necessario)
8. Applicazione e uso

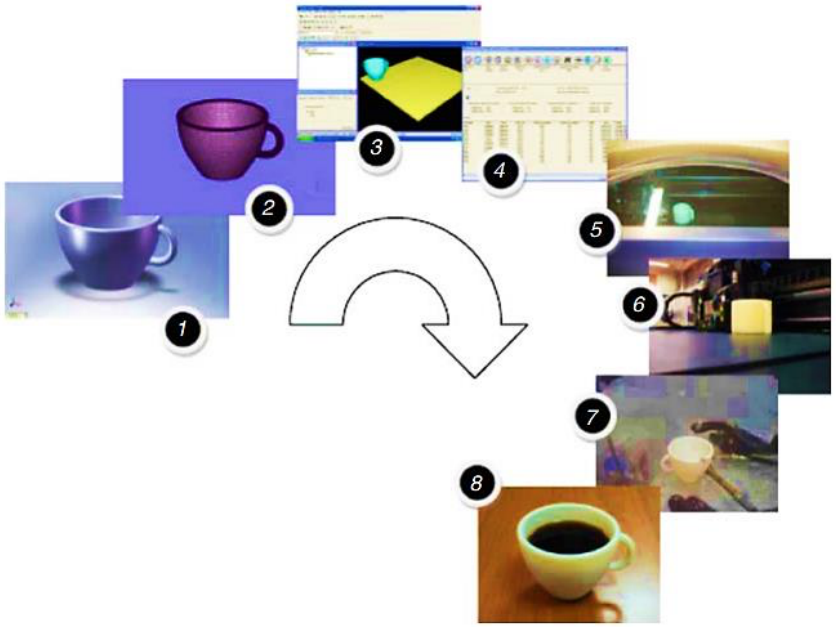

Figura 2 – Illustrazione iter produttivo totale di AM

Prerequisito per l'Additive Manufacturing è sicuramente la disponibilità del modello matematico del componente realizzato su di un sistema CAD 3D, che descrive perfettamente il profilo dell'oggetto. L'utilizzo di questo sistema oggi è diffuso in tutti gli ambiti progettuali.

Il modello viene poi convertito in un file STL, un linguaggio standard, che converte la superficie esterna ed interna in una serie di triangoli di diversa dimensione generati in maniera intelligente mantenendo l'errore cordale costante. L'errore di Facetting sopracitato nasce dall'approssimazione delle superfici curve con i triangoli.

Una tecnica alternativa per ottenere il modello matematico è il Reverse Engineering, un processo che tramite una scansione 3D permette la digitalizzazione di un oggetto fisico. Anche in questo caso un apposito software esegue la triangolazione dei punti, ovvero ne ricostruisce la posizione e genera una mesh triangolare dell'oggetto.

Il file STL è l'interfaccia tra il modello CAD e la macchina di AM, che provvederà a definire gli ulteriori parametri necessari alla stampa. Va fatta una distinzione tra "macchina aperta" e "macchina chiusa" in quanto il vero e proprio settaggio di tutti i parametri può avvenire solo in presenza della prima, mentre la seconda è fornita dai fornitori in forma chiusa e le modifiche consentite sono limitate o nulle.

L'operazione di slicing, ovvero di sezionamento del pezzo in questione compreso di supporti, consiste nella suddivisione virtuale in strati tramite l'intersezione con piani paralleli aventi normale parallela all'asse z e distanti una quantità Δz. Risulta fondamentale l'orientamento del pezzo in quanto può portare ad un maggiore o minore effetto scala post-slicing (2° errore). Lo slicing può essere effettuato in modo costante (eccesso di materiale variabile, sistema più comune) oppure adattativo (errore costante, variano le sezioni e gli spessori). Il secondo metodo punta a minimizzare l'effetto scala e a contenere il più possibile l'errore che ne consegue.

I supporti hanno tre differenti scopi: servono ad ancorare il modello in costruzione all'area di lavoro, a proteggere le pareti laterali durante la lavorazione ma anche a supportare le parti sporgenti. Possono essere dello stesso materiale del pezzo e quindi richiedere una successiva rimozione meccanica oppure in materiale

differente, spesso solubile in acqua, nel caso di tecnologie additive polimeriche, a seconda dello scopo.

La macchina procede poi alla stampa e alla realizzazione del pezzo con diverse modalità a secondo della tecnica utilizzata e del tipo di materiale.

A seguito della stampa e quindi della vera e propria messa in forma del materiale, segue l'estrazione del pezzo dalla stampante e la fase di post-processing. Quest'ultima comprende solitamente la rimozione dei supporti se presenti, la pulizia manuale del pezzo e l'eventuale finitura per migliorare la rugosità superficiale. Questi passaggi sono eseguiti manualmente e la necessità o meno di farli, e lo sforzo richiesto, dipendono dalla tecnica di stampa 3D utilizzata e dall'uso a cui è destinato il pezzo realizzato.

2. VANTAGGI E SVANTAGGI DELL'AM

L' Additive Manufacturing è un processo di innovazione innovativo e le diverse tecniche disponibili presentano vantaggi e svantaggi in base alle caratteristiche stesse del processo. È possibile però identificare alcuni benefici e limiti, distinguendo tra prodotto e processo, che riguardano l'intera tecnologia, e che ne hanno permesso lo sviluppo e la diffusione negli ultimi anni.

Per quanto riguarda il prodotto, i principali vantaggi sono:

- Massima libertà di progettazione e quindi la possibilità di produrre forme altamente complesse senza vincoli, talvolta non ottenibili con l'utilizzo d tecnologie tradizionali
- Il prodotto finale non richiede assemblaggio ma consiste in un unico pezzo integrato. Ciò permette quindi di eliminare numerosi step produttivi classici della produzione tradizionale
- La complessità può essere elevata e non aumenta il numero di step e quindi i tempi di produzione
- Struttura del pezzo leggera in quanto è presente solo il materiale strettamente necessario grazie alla caratteristica base dell'AM, ovvero l'addizione di materiale in contrapposizione all'asportazione di materiale utilizzata tradizionalmente
- Design ergonomico
- Quasi totale assenza di materiale di scarto a differenza dei processi tradizionali "sottrattivi" che costituisce una fonte di economicità. L'uso efficiente dei materiali è infatti caratteristica insita nella tecnologia di AM in quanto la produzione "layer-by-layer" utilizza la minima quantità necessaria riducendo notevolmente i costi per l'azienda.
- Il grado di personalizzazione possibile è elevato, elemento sempre più richiesto nel mercato di largo consumo, senza la necessità di cambiare macchina a attrezzature. Unico requisito è la presenza dei differenti modelli CAD

Invece per quanto riguardo il processo, si possono distinguere i seguenti vantaggi:

- La possibilità di stampare oggetti *on demand* è una delle caratteristiche principali delle metodologie additive e, dal momento che l'intero processo si basa su modelli 3D digitali, questi possono essere inviati in tutto il mondo a costi pressoché nulli e stampati nel luogo interessato. Quindi zero scorte e la sostituzione del magazzino fisico in magazzino virtuale, ed un notevole risparmio di costi.
- Possibilità di realizzare forme illimitate con un'unica macchina
- Assenza di attrezzature, utensili e sistemi di bloccaggio
- Unico step produttivo e presenza di una sola macchina che comporta l'eliminazione dei tempi di settaggio e una notevole velocità con cui si può ottenere la messa in forma dopo aver progettato il componente
- Minimo intervento dell'operatore durante la realizzazione vera e propria che può quindi essere impiegato in altri compiti
- Possibilità di concretizzare in maniera diretta il concetto di "ciò che vedi è ciò che costruisci", riferito al fatto che tramite l'AM si rende possibile realizzare il passaggio da disegno CAD a messa in forma senza la necessità di step intermedi (Gibson, 2010)
- Riduzione del Time To Market (TTM), ovvero il tempo che intercorre tra l'ideazione del prodotto e il momento di messa in vendita sul mercato
- Tempi e costi di produzione sono esclusivamente legati alle dimensioni del prodotto. Da ciò emergono due conseguenze rilevanti: la complessità e la varietà sono gratis.

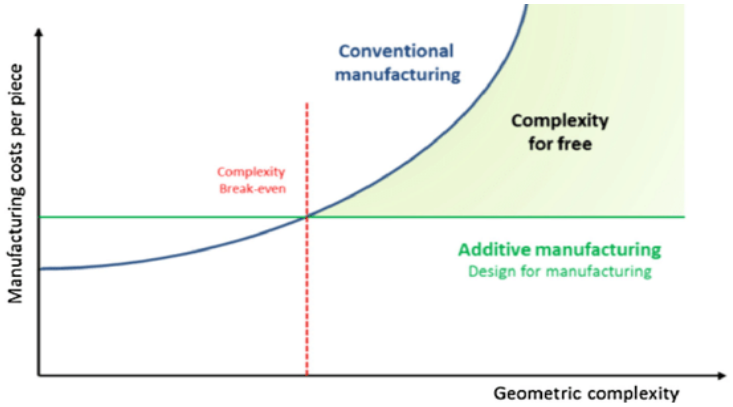

Figura 3- Andamento dei costi in relazione alla complessità geometrica

Tuttavia, ci sono ancora limiti riguardanti tale tecnologia innovativa.

Relativamente al prodotto, i limiti sono:

- I materiali ad oggi presenti sul mercato sono in numero decisamente ridotto rispetto a quelli presenti per le tecniche tradizionali e il loro costo è elevato in quanto spesso sono venduti esclusivamente delle aziende produttrici delle macchine, che applicano quindi un prezzo di monopolio. Inoltre, la combinazione di materiali diversi per ottenerne di nuovi con proprietà intermedie ha dei limiti in quanto, nel caso di polveri, per esempio, il ruolo fondamentale è svolto dalla temperatura di fusione ma anche dal tempo di solidificazione. Va quindi guardata la compatibilità o meno prima di procedere alla combinazione.
- Il prodotto necessita di supporti (fatta eccezione per alcune tecniche) che generano nelle zone di contatto una maggiore rugosità superficiale e la necessità di un post-trattamento. In questo caso si ha del materiale di scorta che difficilmente può essere riutilizzato.

Per quanto riguarda invece il processo:

- I volumi di lavoro sono limitati e non sfruttabili al massimo (fatta eccezione per la tecnica Selective Laser Sintering e Electron Beam Melting) e le dimensioni dei pezzi sono legate alla dimensione della macchina utilizzata
- L'uso ottimale dei materiali è compensato dal consumo maggiore di energia usato dalle stampanti 3D: nel caso di plastiche il consumo energetico può essere 50 volte superiore rispetto ai processi tradizionali. Questo aumento di costi ha ripercussioni sul prezzo finale naturalmente
- La velocità di costruzione è bassa
- Impossibilità di eseguire verifiche durante il processo di produzione in quanto sono assenti sistemi di monitoraggio

3. TECNICHE DI AM PER POLIMERI

La produzione “layer-by-layer” è un concetto molto basilare che può essere implementato con differenti approcci tecnologici; ecco perché, quando si parla di “produzione additiva”, non ci si riferisce ad una singola tecnologia, ma ad un gruppo di tecnologie significativamente differenti più o meno consolidate sul mercato.

Facendo riferimento alla norma ISO/ASTM52921–1 “*Standard Terminology for Additive Manufacturing-Coordinate Systems and Test Methodologies*”, le tecniche di AM si possono classificare secondo sette famiglie di processi:

1. Estrusione, dove il materiale (solitamente un polimero) è distribuito selettivamente mediante un ugello strato dopo strato;
2. Material Jetting, dove gocce di materiale vengono depositate selettivamente per creare i layer (di polimeri, cera o metalli) e indurite tramite un raggio UV;
3. Binder Jetting, dove un agente legante allo stato liquido viene depositato su uno strato di polvere per solidificarlo;
4. Sheet Lamination, dove vengono uniti fogli sottili di materiale per formare il pezzo;
5. Fotopolimerizzazione, basata sulla solidificazione selettiva di un polimero liquido mediante radiazioni UV;
6. Power Bed Fusion, dove un flusso di energia concentrato, fornito normalmente da un laser o un fascio di elettroni, va a fondere localmente uno strato di polvere (metallica o polimerica)
7. Direct Energy Deposition, dove un flusso di energia focalizzato, fornito da un laser, fonde il materiale nel momento in cui esso viene depositato tramite un ugello.

La seguente tabella riporta le tecniche principali analizzate per i materiali polimerici, distinte sulla base dello stato fisico del materiale di partenza (liquido, solido, polvere).

A seconda della tecnica si ottengono spessori e rugosità differenti dati dal processo e dai tipi di materiali disponibili che comportano l'esigenza o meno di effettuare operazioni di post-processing.

TIPOLOGIA	TECNOLOGIE PRINCIPALI
Stampanti a materiale liquido	STEREOLITOGRAFIA (SLA)
	DIRECT LIGHT PROCESSING
	POLYJET/ PROJECT
Stampanti a materiale solido	FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)
Stampanti a polvere	3 DIMENSIONAL PRINTING (3DP)
	SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

Tabella 1 - Tecniche di AM per polimeri

3.1 STEREOLITOGRAFIA (SLA)

Tecnica che presenzia la categoria dei materiali polimerici allo stato liquido. È stata introdotta dall'azienda statunitense 3D Systems e sfrutta il principio della fotopolimerizzazione avvalendosi di un sistema a singolo o doppio fascio elettromagnetico (Hanzlicek e Pentek, 2014).

Una vasca posta al di sotto del laser UV contiene la resina liquida che, grazie alla luce, si solidifica producendo strato dopo strato il prodotto desiderato. Quest'ultimo si trova su una piattaforma di costruzione (elevatore) che viene abbassata per creare tutti i livelli necessari. La struttura dei supporti è necessaria per ancorare il pezzo alla base e per consentire agli strati appena creati di aderire saldamente alla struttura esistente. Si ottiene così la "green part", ovvero la parte intermedia; è necessaria poi la secondo fase in forno UV per ottenere la "red part", la parte finale, completamente solida. I supporti, dello stesso materiale del pezzo vanno rimossi.

La stereolitografia è in assoluto il processo che garantisce migliore precisione e accuratezza in termini di tolleranze dimensionali e rugosità superficiali a fronte però di tempi di produzione alti e vincoli sul

collocamento della macchina dovuto alla presenza di resine termoindurenti molto sensibili alla luce UV.

L'oggetto può essere anche creato dal basso verso l'alto, sollevando l'elevatore strato dopo strato (tecnica di DIRECT LIGHT PROCESSING). Le limitazioni e i vincoli sono più numerosi in quanto i pezzi devono essere di dimensione molto contenuta e leggeri per evitare il rischio di distacco dall'elevatore.

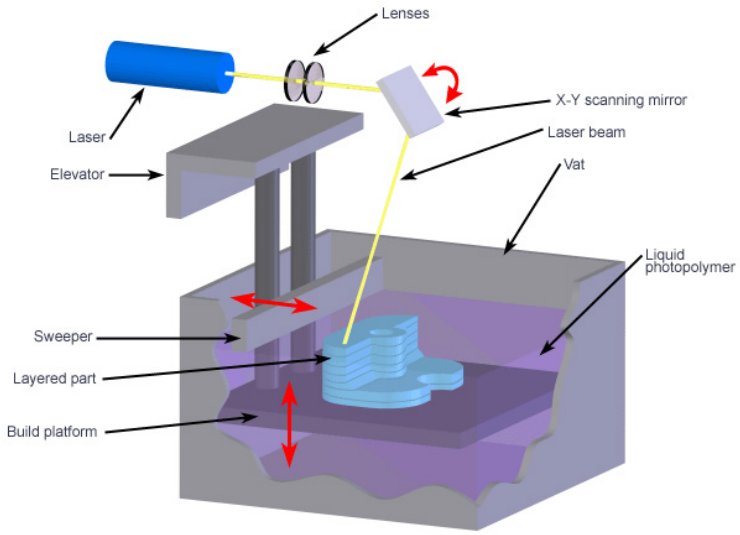

Figura 4 - Rappresentazione stampante SLA

3.2 POLYJET/PROJECT

Tecnica basata sui liquidi che sfrutta il processo di fotopolimerizzazione tramite lampade UV che consiste in una deposizione e contemporanea solidificazione dello strato deposto. La resina termoindurente proviene da una testina di stampa multi-ugello che, muovendosi orizzontalmente sulla piattaforma di costruzione, crea strato dopo strato, immediatamente indurito dalle lampade. Per geometrie complesse e sporgenze sono necessari i supporti che vengono creati in un materiale diverso, simile al gel, rimuovibili tramite soluzione acquosa.

Il vantaggio notevole è la possibilità di usare diversi materiali contemporaneamente per la realizzazione del pezzo creando combinazioni di proprietà e caratteristiche diverse.

3.3 FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Tecnica nata alla fine degli anni ’80 e ancora oggi una delle più diffuse e utilizzate dalla maggior parte delle stampanti 3D.

Come per tutti i processi di AM, anche nel caso del FDM, il processo produttivo inizia con la realizzazione del modello 3D del componente da stampare e la sua successiva conversione in linguaggio macchina: file in formato STL e successivamente in formato SML (Service Modeling Language), ovvero nel formato supportato dalla stampante.

In questo processo di produzione il materiale è inizialmente allo stato solido e viene deposto in maniera controllata tramite ugelli che si muovono su un piano orizzontale, previa fusione di esso. Quest’ultima avviene in una apposita camera opportunamente riscaldata tramite un sistema di resistenze. Il controllo principale riguarda la temperatura di riscaldamento del materiale e la temperatura di deposizione, molto importante per garantire una facile estrusione e nello stesso tempo per evitare ritiri e deformazioni.

Una volta portato in temperatura, il materiale è quindi estruso attraverso uno o più ugello aventi un foro la cui dimensione determina la dimensione dei roads depositati, corrispondente a sua volta al valore di tolleranza geometrica. Gli ugelli di ogni macchina FDM sono naturalmente intercambiabili e la scelta di quale applicare considera diversi fattori come il materiale da processare, la finitura superficiale richiesta e la dimensione dell’oggetto da realizzare. All’ugello principale è spesso affiancato un secondo ugello responsabile della deposizione di materiale di supporto, diverso dal materiale principale, generalmente acido polilattico (PLA) (Gibson, 2010).

Il materiale viene quindi depositato, secondo un percorso calcolato dal software di macchina in base al modello CAD ed ai parametri di processo impostati, su di una piattaforma elevatrice, tipicamente in materiale idrosolubile. In particolare, la piattaforma è responsabile dello spostamento verticale che permette la stratificazione dell'oggetto.
Il successo di questa tecnica di cui Stratasys ne è il principale produttore è dovuta alla possibilità di utilizzare materiali termoplastici definitivi forniti in bobine dalla stessa azienda statunitense. I principali e più diffusi sono l'ABS, il policarbonato, il nylon, l'ultem e il polifenilsulfone, che consentono la produzione di parti definitive oltre che la prototipazione funzionale. Questi rientrano nella categoria più grande dei polimeri amorfi che, a differenza di quelli semicristallini, hanno un comportamento più prevedibile al variare delle temperature determinando così una maggiore facilità d'uso e di controllo durante la fusione e l'estrusione del materiale stesso.

I parametri di processo e il loro settaggio rivestono un ruolo chiave in questo processo e hanno un'influenza notevole sia sulle caratteristiche meccaniche, sia sulla qualità superficiale. L'ottimizzazione di essi è di elevato interesse in quanto ne dipende anche la velocità di stampa.
"Air gap", "road width", "layer thickness" e "build orientation" sono le variabili che hanno in assoluto più influenza tra le numerose presenti.
Il primo rappresenta la distanza tra due roads vicini e determina il tempo di processo in quanto, al diminuire di tale distanza, aumentano i tempi perché è necessario depositare un maggiore numero di roads a parità di area da stampare. Minore è questa distanza però, migliori sono le caratteristiche finali del prodotto in quanto diminuisce la porosità ed aumenta la densità.
Il parametro "road width" indica la larghezza del materiale estruso che dipende direttamente dalla dimensione del foro dell'ugello utilizzato. Come detto precedentemente, l'intercambiabilità degli ugelli permette di variare facilmente il valore di questo parametro.

Dalla dimensione dell'ugello dipende anche il terzo parametro elencato, ovvero "layer thickness", che indica lo spessore degli strati di materiale depositato. Ciò influisce sulla rugosità delle superfici stampate: più spessi saranno gli strati, maggiore sarà la rugosità.

L'ultimo parametro di interesse è la "build orientation", cioè l'orientamento di crescita del componente rispetto agli assi X, Y, Z. Essa influisce sulla finitura superficiale e sulle proprietà meccaniche dell'oggetto.

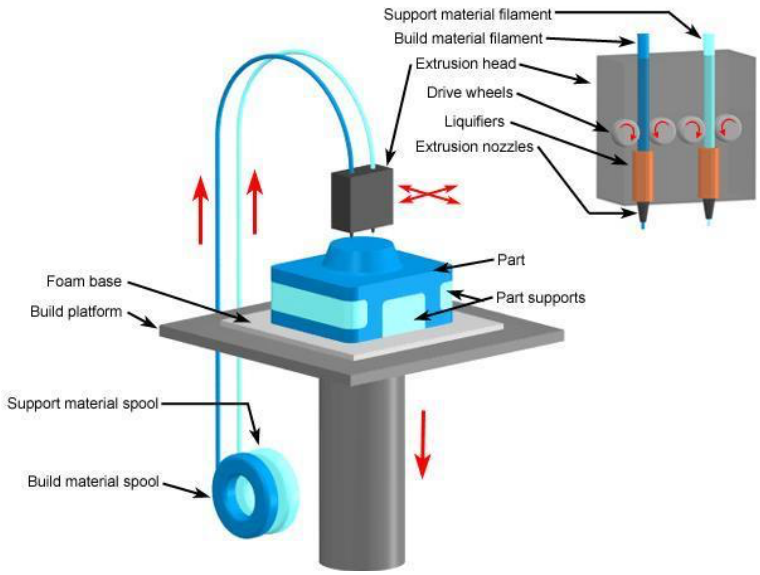

Figura 5 – Rappresentazione stampante FDM

3.4 3 DIMENSIONAL PRINTING (3DP)

Il processo è stato sviluppato e brevettato da E. Sachs e, successivamente, concesso in licenza a cinque aziende. Una testina di stampa depone in maniera selettiva il collante ad alte prestazioni (resina fenolica) su un letto di polvere che impatta, penetra e aggrega le particelle. Il dosaggio è fondamentale per non far affondare la sezione. Una volta completato lo strato un rullo livellatore distribuisce un nuovo strato di materiale in polvere la quale funge anche da supporto fine al termine del processo.

La fragilità del pezzo rende necessario un post-trattamento di infiltrazione per migliorare le prestazioni meccaniche e consolidare la parte.

3.5 SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)

Tecnica consolidata che offre le migliori prestazione e prevede l'aggregazione delle particelle di polvere tramite una sorgente laser puntuale che segue il modello di progettazione 3D digitale.

La radiazione porta a fusione le particelle che vengono poi compresse da un dispositivo di livellamento, un rullo.

La camera di lavoro, nel caso dei polimeri termoplastici è a una temperatura prossima a quella di sinterizzazione (circa 180°) per minimizzare i ritiri di solidificazione e le deformazioni. I vari strati prodotti vanno fatti aderire man mano sempre tramite la sinterizzazione. Successivamente al consolidamento di uno strato, la piattaforma si abbassa per permettere la deposizione di polvere e procedere alla creazione dello strato successivo. Le macchine sono inoltre fornite di un generatore d'azoto per evitare l'ossidazione della polvere.

Una volta terminato il pezzo, questa va fatto raffreddare e poi estratto dalla polvere in cui è immerso. Un'alta percentuale di polvere inutilizzata può essere riutilizzata mischiandola con polvere nuova, perciò questa tecnologia conserva molto materiale di scarto rispetto a quelle tradizionali. Le polveri non interessate dalla fusione inoltre rivestono una funzione di supporto per il pezzo durante il processo di produzione.

L'uso di questa tecnologia di AM è notevole: si realizzano principalmente prototipi di modelli di progettazione rapida, prototipi funzionali, modelli sacrificali per fusione a cera persa, serie di piccoli componenti con produzione di volume ridotto e prodotti personalizzati.

La tecnologia di stampa SLS è nata principalmente per la produzione di prototipi in materiale polimerico, ma, nel corso degli anni, lo sviluppo

tecnologico ha portato alla sua diffusione ed applicazione anche con materiali metallici, ceramici e compositi.

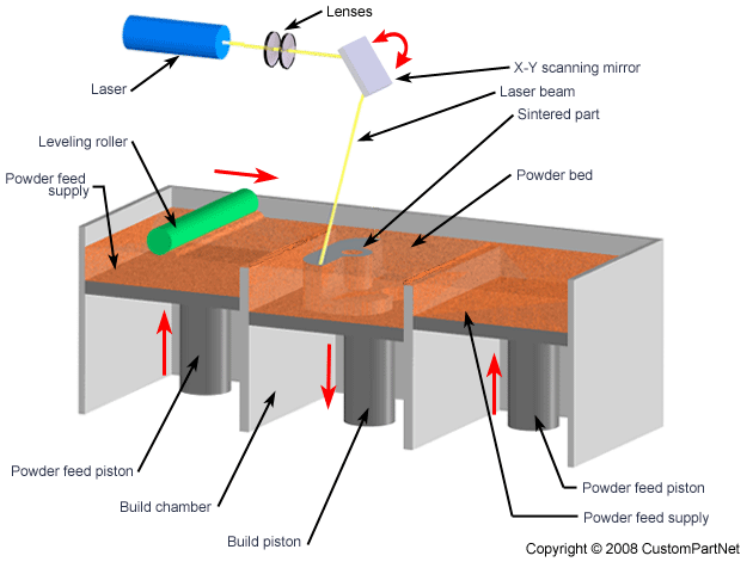

Figura 6 - Rappresentazione stampante SLS

4. MATERIALI

Come anticipato precedentemente, ogni tecnica di Additive Manufacturing ha una gamma di determinati materiali a disposizione in base al tipo di processo.
I materiali polimerici, di cui parliamo in questa tesi, sono la famiglia di materiali più ampia e ogni tipologia presenta diverse proprietà e caratteristiche tra cui scegliere: trasparenza, colore, resistenza alla trazione, temperatura di fusione e altre.
Si possono però distinguere due macro-categorie:

- Materiali termoplastici: possono subire più processi di fusione e solidificazione e mantengono intatte le loro proprietà anche ad alte temperature
- Materiali termoindurenti: una volta raggiunto lo stato solido non è possibile fonderli nuovamente

Il costo dei materiali polimerici è maggiore rispetto al costo degli equivalenti materiali utilizzati nella manifattura tradizionale e spesso sono forniti esclusivamente dalle aziende fornitrici delle stampanti.
Per la stereolitografia si utilizzano resine liquide termoindurenti, fotopolimeri trasparenti che sono commercializzati da 3D System, azienda leader della tecnologia. La presenza del fotopolimero liquido comporta però dei vincoli sull'installazione in quanto è tossico per inalazione. Questo problema è superato se si considerano le tecniche PolyJet/Project dove, in questo caso, il materiale si trova in cartucce stagne che permettono all'operatore di non venire mai a contatto diretto o indiretto con il liquido. Questa soluzione sia Stratasys che 3D System, i principali produttori. Inoltre, i materiali disponibili presentano diverse caratteristiche tra cui trasparenza, opacità, biocompatibilità, resistenza ad alta temperatura, flessibilità a seconda dell'uso e del tipo di prodotto.
Le resine sono materiali viscosi capaci di indurirsi sia a caldo che a freddo e il limite principali è costituito dalla necessità di strutture di supporto. Il livello di dettaglio e di precisione che si ottiene è però elevato.

Fused Deposition Modeling è una tecnologia che fa di nuovo capo a Stratasys la quale fornisce vari materiali appartenenti perlopiù alla famiglia dei termoplastici, di diversi colori in bobine intelligenti. Tra i materiali disponibili abbiamo l'ABS, l'acido polilattico (PLA), il Nylon, il policarbonato (PC), l'Ultem e il polifenilsulfone. ABS è l'acronimo di acrilonitrile-butadiene-stirene. Si tratta di un materiale plastico tra i più utilizzati in quanto è il più economico presente sul mercato e ha ottima resistenza al calore che conseguentemente permette di realizzare componenti piuttosto durevoli. Di contro, è necessario un sistema di ventilazione in caso d'utilizzo perché i fumi che rilascia sono potenzialmente pericolosi per l'uomo. Viene utilizzato ad una temperatura che varia dai 215 °C ai 250 °C. Solitamente si utilizza per i prototipi funzionali ma anche per oggetti finiti e componenti poiché presenta buone proprietà meccaniche, è leggero, rigido, resiliente e facilmente lavorabile. L'ABS ha però il possibile inconveniente, dopo estrusione a bassa temperatura, di ridursi e deformarsi. Questo copolimero non viene solitamente mai utilizzato puro, lo si trova sempre con altri materiali ottenendo variazioni di formulazioni (ABS M30 and ABS M30i, AbSi , ABSplus P430, ABS ESD7), che mostrano specifiche e proprietà migliori.

Ci sono poi altri tipi di plastiche utilizzate, come il PVA, che permettono di superare questi limiti. Alcune sono idrosolubili, biodegradabili in acqua, e quindi utilizzate per la costruzione dei supporti.

Il PLA (acido polilattico) è il secondo dei materiali più comunemente usati. Tra i vantaggi si ha sicuramente il basso costo, la resistenza meccanica, ma soprattutto il fatto che è un polimero di origine biologica, bioassimilabile e biodegradabile che può essere ottenuto da alcune sostanze vegetali come l'amido di mais o l'amido delle patate. D'altra parte, proprio perché è un materiale biodegradabile c'è il rischio che questo si deteriori molto rapidamente anche a causa dell'umidità presente nell'aria rendendo il ciclo vita dei prodotti particolarmente limitato: la decomposizione avviene in media in 8 - 12 settimane. Per ottenere proprietà superiori può essere additivato con cariche minerali, per migliorare la resistenza alle sollecitazioni termiche, la resistenza a flessione e a torsione.

Per la tecnica FDM, i due materiali più utilizzati sono gli ultimi due, cioè ABS e PLA Hanno caratteristiche differenti che possono essere confrontate:

- l’ABS, rispetto al PLA, sopporta temperature più alte e possiede un coefficiente di attrito inferiore
- l’ABS deve essere estruso a temperature superiori rispetto al PLA (200 - 250 °C), per evitare quindi ritiri pericolosi durante il raffreddamento e c’è la necessità di installare un piatto riscaldato
- l’utilizzo di ABS produce emissioni dannose, mentre il PLA è idrosolubile a temperature superiori a 80°C

Il Nylon invece è un materiale della famiglia delle poliammidi sintetiche (11-12) con particolari proprietà meccaniche. È il materiale più comunemente utilizzato nel processo di Selective Laser Sintering e viene spesso rinforzato, ovvero caricato con sfere di vetro, particelle di alluminio o fibre corte di carbonio per incrementarne la rigidezza. Di base è in fatti un materiale alquanto flessibile che può sopportare piccoli urti e resistere ad una certa pressione se piegato.

Le caratteristiche del policarbonato (PC) sono invece date essenzialmente dal basso peso specifico, dalla leggerezza, dall’elevata resistenza all’urto, dalla buona resistenza termica, dalla stabilità dimensionale, dalla impermeabilità all’acqua e all’umidità e dalla trasparenza ottica. La temperatura di utilizzato può variare da 220 °C a 230 °C.

Infine, va nominato il Peek, uno dei termoplastici semi-cristallini più performanti disponibili oggi, in grado di sostituire i materiali metallici viste le elevate prestazioni. Nonostante le proprietà simili è però più leggero di circa il 70% rispetto ai metalli comparabili. Viene utilizzato soprattutto nel settore medico e aerospaziale. L’alta temperatura (372 °C) che richiede, comporta che esso possa essere esclusivamente lavorato da una macchina prodotta dall’azienda tedesca EOS, la “Formiga P800”.

5. ADDITIVE MANUFACTUING NEL MONDO DELLO SPORT

Le richieste dei clienti sempre più specifiche e in rapida evoluzione e le crescenti esigenze in termini di prestazioni dei prodotti, sfidano costantemente i produttori di attrezzature sportive a proporre prodotti nuovi e migliorati per rimanere competitivi. La produzione additiva può contribuire notevolmente a migliorare lo sviluppo di nuovi prodotti fornendo un approccio efficiente alla prototipazione rapida. Ciò ha determinato un'attenzione e un interesse crescente per questa tecnologia innovativa, della quale non sono ancora stati esplorati tutti i possibili benefici trovandosi attualmente in una fase iniziale di adozione.

Gli ampi vantaggi devono però essere contro bilanciati dalla necessità di garantire fattibilità economica alle aziende del settore.

Prodotti custom-fit e forme innovative altamente personalizzabili rappresentano oggi la chiave dello sviluppo: l'attrezzatura spesso impatta significativamente sulle performance, soprattutto se parliamo di atleti professionisti.

Il processo innovativo nell'industria dello sport è influenzato da una combinazione di due approcci, "technological push" e "demand pull", che si concretizzano in due principali fonti d'innovazione identificabili nelle risorse interne dell'azienda e nei clienti. In particolare, il primo approccio guarda maggiormente all'innovazione di processo mentre il secondo a quella di prodotto tramite il coinvolgimento diretto dei consumatori.

Quest'ultimi vengono integrati nelle prime fasi del processo di innovazione per formare i cosiddetti "prosumer", persone attivamente coinvolte non solo nella creazione di un prodotto, ma anche come principali clienti. In effetti, il 10-38% degli utenti di prodotti di consumo ha un impatto sullo sviluppo e la modifica dei prodotti (Franke e Shah, 2003). Ciò dimostra quanto sia importante la collaborazione con i consumatori e quanto sia potenzialmente grande l'impatto dell'AM nel semplificare questa collaborazione.

Ciononostante, l'uso dell'AM oggi presenta ancora dei limiti: piccola gamma di materiali processabili (soprattutto quelli definitivi), produzione di massa inefficiente e dispendiosa, mancanza di strumenti di progettazione integrati al fine

di controllare l'effettiva stampabilità della soluzione soprattutto in caso di componenti complessi, e strumenti consolidati di supporto alle decisioni sulla selezione del trade-off ottimale tra requisiti funzionali, tecnici e produttivi.

5.1 LA FLESSIBILITA' DEI SISTEMI DI AM

La flessibilità è un obiettivo di prestazione fondamentale e un modo per ottenere un vantaggio competitivo nel sempre più competitivo mercato globale, consentendo di rispondere alle mutevoli esigenze odierne. I macchinari e le stampanti per la fabbricazione additiva sono spesso descritti e designati come "flessibili", ma in che termini? Studi contemporanei identificano che l'uso delle tecnologie di AM facilita il raggiungimento della flessibilità all'interno delle operazioni di produzione ed è in grado di produrre prodotti fisici complessi direttamente da modelli computerizzati 3D senza la necessità di strumenti.

Questa tecnologia definita "rivoluzionaria", un tempo limitata esclusivamente alla produzione di prototipi, è oggi impiegata in un'ampia gamma di applicazioni commerciali, inclusa la produzione di prodotti definitivi per l'utente finale.

La flessibilità è un concetto complesso, multidimensionale che attraversa l'intera organizzazione e spesso risulta difficile da concettualizzare.

Fondamentalmente, in ambito di fabbricazione additiva, questo concetto è utilizzato per designare la possibilità di riadattare facilmente la produzione per rispondere alla domanda di nuovi prodotti e alle esigenze dei singoli clienti.

Si tratta quindi di flessibilità dei processi manifatturieri e di lavorazione che conseguentemente portano ad una produzione più sostenibile grazie a una notevole riduzione di scarti rispetto alla produzione convenzionale.

5.2 PROTOTIPAZIONE

Poiché i nuovi prodotti tendono ad avere maggiori possibilità di essere difettosi, di solito i prototipi vengono sviluppati per essere sottoposti a test ed eliminare quei difetti prima che vengano effettuati investimenti considerevoli (Pham e Gault, 1998).

Soprattutto nel settore sportivo, un prodotto impeccabile in termini di forma, vestibilità e funzionalità è molto importante per migliorare le prestazioni dell'atleta e utilizzatore da un lato e per evitare dolori e lesioni dall'altro.

L'utilizzo delle tecnologie di AM per il processo di prototipazione può avere un impatto significativo sulla durata dell'intero ciclo di sviluppo, commercializzazione e lancio del prodotto, portando ad una riduzione significativa del time-to-market. La possibilità di fare modifiche e aggiornare il design di prodotto richiede infatti qualche ora anziché qualche mese poiché le regolazioni sul file CAD possono essere apportate e implementate molto rapidamente. Ciò riduce il gap tra le piccole aziende e le multinazionali in quanto anche le prime possono apportare cambiamenti e consegnare prodotti finiti in tempi brevi. L'alta flessibilità a livello di design costituisce un altro vantaggio in quanto, soprattutto con la prototipazione, si possono ideare nuovi modelli che superano i limiti dati dalla produzione convenzionale.

Il fattore convenienza è dato anche dalla flessibilità del luogo di produzione che consente un lavoro più efficiente con gli atleti per la prototipazione e i test, che comportano numerose iterazioni del prodotto, innalzando qualità e performance. I processi di AM usati in fase di prototipazione risultano inoltre essere meno costosi, come conferma uno studio di Waterman e Dickens (1994) specifico sui costi di sviluppo, i quali possono essere ridotti del 60-90% utilizzando l'AM rispetto alla prototipazione tradizionale.

Questo grazie anche al fatto che la prototipazione virtuale e la digitalizzazione del prodotto rendono progettazione e valutazione un'unica fase. Si parla ora di sviluppo "trial and error" dove le simulazioni servono per imparare ed esplorare soluzioni innovative, portando un alto grado di flessibilità nello sviluppo prodotto. La Fabbricazione Additiva è stata concepita proprio con questo scopo inizialmente assumendo a tal proposito il nome di Prototipazione Rapida. Ma è importante effettuare una distinzione a livello di tipologia di prototipi possibili, ognuno dei quali ha obiettivi differenti.

- Prototipi concettuali: valutazione della forma, verifiche di montaggio e analisi delle difficoltà tecnologiche sono i principali obiettivi, il materiale per la realizzazione non è importante come anche la tecnologia di fabbricazione utilizzata.
- Prototipi funzionali: servono per la valutazione delle prestazioni con prove funzionali e per l'ottimizzazione del prodotto per la funzione che deve svolgere. Il materiale deve essere simile a quello definitivo.
- Prototipi tecnici: sono prodotti per la valutazione delle prestazioni del prodotto e del ciclo di fabbricazione e per l'ottimizzazione delle tecnologie di fabbricazione, che dovrà essere simile a quella usata in via definitiva. I materiali sono molto simili a quelli finali.
- Prototipi preserie: necessari per la valutazione finale del prodotto e le modifiche possono essere poche e marginali. Sia il materiale utilizzato, sia la tecnologia di fabbricazione sono definitivi.

6. IL CLUSTER DI MONTEBELLUNA

Oggi ci troviamo in un mondo caratterizzato da un'evoluzione rapida a livello sociale ed economico. La produzione di massa e il sistema di distribuzione assumono sempre più importanza e l'innovazione tecnologica rende le dinamiche sempre più competitive. L'innovazione di prodotto e di sviluppo prodotto possono diventare fattore chiave di successo per avere un vantaggio competitivo sostenibile nel lungo periodo.

Questa capacità innovativa, per quanto riguarda l'industria dello sport e in particolare delle calzature sportive, è sviluppata e riconosciuta a livello internazionale nel distretto industriale di Montebelluna, in Veneto, che conta circa 420 aziende specializzate nel design, sviluppo, produzione e distribuzione di scarpe/calzature sportive. La produzione dedita all'industria dello sci e, in particolare, agli scarponi da sci, riveste una percentuale importante della produzione globale, circa il 75%. Va sottolineato che l'industria dello sport e le sue attrezzature sono molto focalizzate sul cliente e si basano fortemente sulla percezione del consumatore.

Il successo industriale di queste aziende è correlato ai vantaggi dati dalla localizzazione che caratterizzano la zona di Montebelluna tra cui: la combinazione di abilità artigianali con la tecnologia, la profonda conoscenza del mercato e del prodotto e l'elevata capacità d'innovazione. Inoltre, l'intensità e la trasparenza, nei limiti concorrenziali, tra le aziende hanno facilitato la diffusione della conoscenza e la presenza di protocolli che premiano la collaborazione ostacolando comportamenti opportunistici favorendo lo sviluppo di rapporti interaziendali basati sulla fiducia.

Una delle principali fonti di vantaggio competitivo del cluster di Montebelluna è sicuramente la posizione geografica strategica e la sua vicinanza con le Alpi che hanno portato ad una domanda altamente sofisticata di scarponi da sci e altra attrezzatura sportiva. La passione per la montagna ha quindi fatto da driver per il successo.

L'integrazione nei sistemi di progettazione esistenti, basati su CAD e CAM, di tecnologie di prototipazione rapida può consentire di comprimere ulteriormente il time-to-market attraverso una riduzione dei tempi e dei costi associati tradizionalmente allo sviluppo dei prototipi. In un mercato ormai caratterizzato da esigenze dei clienti in rapido mutamento e cicli di vita dei prodotti molto brevi, come quello che in questione, può consentire a un'azienda di sfruttare in modo più efficace gli sforzi innovativi del prodotto attraverso il trasferimento di tecnologie e conoscenze accumulate alle generazioni successive di prodotti.

Da un'analisi condotta dall'Università degli studi di Firenze, emergono tre drivers o macrofattori che hanno un'influenza positiva sul successo di un nuovo prodotto del settore calzaturiero sportivo:

- approccio del team, che deve essere multifunzionale e "aperto" per poter integrare il prezioso contributo anche di fonti esterne di innovazione e conoscenza;
- orientamento al cliente, e coinvolgimento in varie fasi del processo, fondamentale per la selezione del concept di prodotto, per anticipare bisogni e trend e per comprendere meglio i problemi legati all'uso delle calzature tecniche quali gli scarponi da sci;
- tecnologia, uso intensivo di sistemi di computer-aided per ridurre costi e tempi.

Nella stessa area geografica sono presenti anche aziende che svolgono una funzione "di supporto" e complementare all'industria della calzatura sportiva, come le aziende produttrici di plastica, stampi e macchinari specializzati.

La loro vicinanza rende questa zona un punto focale per tutte le aziende leader del settore che, nonostante abbiano spostato la maggior parte delle funzioni aziendali all'estero, mantengono almeno la parte commerciale nel vicentino così da avere un rapporto diretto e immediato con i fornitori. Quest'ultimi possono infatti essere un'ulteriore e importante fonte di innovazione di prodotto e innovazione tecnologia.

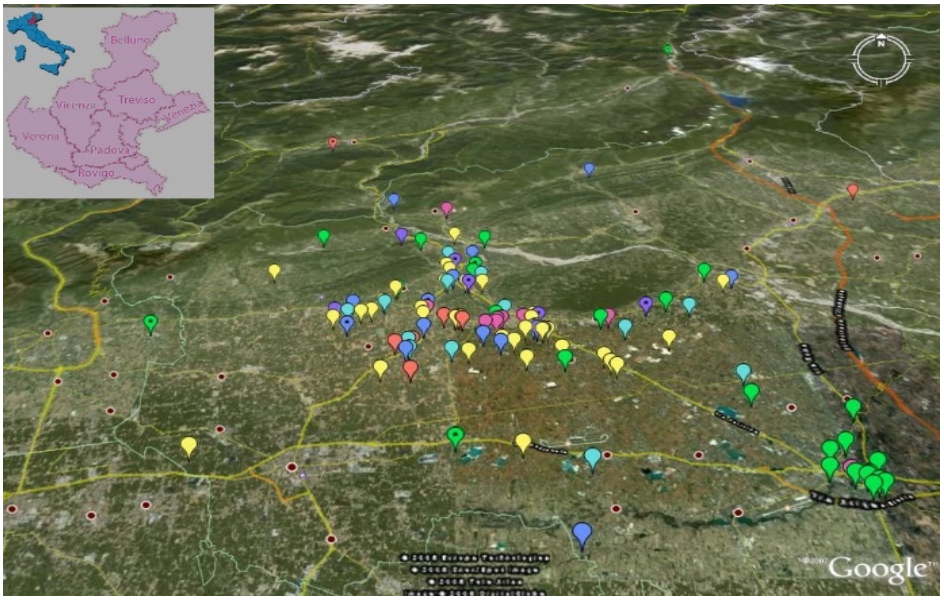

Figura 7 - Vista del distretto industriale di calzature sportive di Montebelluna

7. STATO DELL'ARTE NELLA PRODUZIONE DEGLI SCARPONI DA SCI: IL CASO ROSSIGNOL LANGE

Il Gruppo Rossignol è uno dei principali attori presenti sul mercato delle attrezzature per sport invernali classificandosi al primo posto nel settore dello sci grazie al marchio Rossignol, e al secondo posto nel settore degli scarponi da sci grazie ai marchi Rossignol e Lange.

Il Gruppo sta rafforzando la sua posizione di leader nel settore delle attrezzature, uno dei suoi core business e accelerando il suo sviluppo attraverso una strategia di diversificazione.

L'innovazione tecnologica è uno dei valori base e parte integrante del DNA del Gruppo, da sempre promotore di prodotti performanti e intuitivi.

Una delle maggiori filiali produttive e di R&D del Gruppo Rossignol si trova in Italia, naturalmente nel distretto per eccellenza delle calzature sportive: Montebelluna. Lo stabilimento veneto Rossignol Lange è presente fin dagli anni '60, impiega circa 110 dipendenti fissi a cui si aggiungono gli stagionali nei periodi di produzione, ed è rimasto tra i pochi nel settore degli scarponi da sci a mantenere una parte di produzione "made in Italy" occupandosi dell'ideazione, dello sviluppo e dell'industrializzazione di tutti i prodotti del gruppo legati alla scarpa.

Nel sito di Montebelluna si trova l'avanzato reparto di ricerca e sviluppo dello scarpone da sci dei marchi Rossignol e Lange e del pattino da ghiaccio del marchio Risport. Si trova qui, inoltre, anche il reparto racing (attrezzatura per atleti professionisti e semi-professionisti) e alcune linee di produzione attive (di scarponi da sci e di pattini da ghiaccio) fondamentali per mantenere il know-how produttivo all'interno dell'azienda nonostante la vera produzione sia stata ormai spostata in altri Paesi per motivi economici.

Il varo valore aggiunto di questa sede è rappresentato però dalla progettazione, da cui nascono i nuovi concept di prodotto per entrambi i marchi. I progettisti per i prodotti Rossignol e Lange sono i medesimi, altamente specializzati e qualificati.

Ho avuto il piacere di visitare la sede di Montebelluna del Gruppo Rossignol Lange potendo interfacciarmi direttamente con alcuni ingegneri progettisti che lavorano

quotidianamente con le due stampati 3D presenti in azienda. Ho inoltre visitato le linee produttive presenti sia degli scarponi da sci che del pattino da ghiaccio vedendo così tutti gli step, a partire dall'essicazione dei granuli di poliuretano fino al confezionamento del prodotto finito. Era inoltre in funzione una delle due macchine presenti, la BlueTek Fortuna HT 750, per la stampa di un gambetto volto alla prototipazione, di cui riporto le foto in seguito.

Figura 8 - Parti principali scarpone da sci Lange

7.1 LA PROTOTIPAZIONE

Tutto parte dal piede e dalla sua scannerizzazione attraverso macchinari scanner sofisticati che consento lo studio della morfologia e dell'anatomia del piede così da ricavare i volumi corretti e le forme ottimali. Grazie alla stampante 3D si arriva ad avere la riproduzione del piede in tre dimensioni, base di partenza per tutti i successi step. La forma viene poi ricavata tramite l'Additive Manufacturing utilizzando la tecnologia FDM, ovvero la stampa a filo, dopo aver eseguito tutti i passaggi di slicing e di triangolazione del pezzo.

Partendo proprio da questa prima forma, si ricava poi la forma interna dalla scarpetta, ovvero la parte soft dello scarpone. Da quest'ultima deriva quella interna dello scafo e quindi la forma dello scafo vero e proprio che comprende tutti i differenti spessori integrati.

In questo processo, che avviene unicamente nelle prime fasi della progettazione, domina la manualità che comporta la necessità di avere un know-how e delle competenze molto elevate. La costruzione della forma dello scafo avviene infatti inserendo manualmente piccole tessere di legno calibrate, e incollate tramite stucco, per creare differenti spessori in base alla zona.

Dal reparto modelleria si passa poi alla scannerizzazione del pezzo eseguita con una macchina laser senza contatto (precisione - tolleranza di 2 centesimi).

I punti rilevati vanno a formare la cosiddetta “nuvola di punti” che verrà poi trasformata dal software in formato STL, rielaborato da CAD per costruire il modello matematico. In questo modo si può analizzare approfonditamente lo stampo e fare i controlli tecnici e numerici. Prima di inviare il file agli stampisti che provvederanno alla produzione vera e propria, viene fatta un’ulteriore analisi volta a visualizzare lo stato di riempimento del pezzo in modo da assicurarsi l’assenza di problematiche quali sacche d’aria o zone incomplete.

La prototipazione viene quindi usata eseguire verifiche e test. I prodotti non sono funzionali in quanto il materiale usato in questa fase è simile ma non definitivo e la tecnologia è molto differente da quella utilizzata in fase produttiva il che comporta differenze importanti a livello di prestazioni.

Figura 9 - Mosaico di tessere di legno eseguite in fase di progettazione

7.2 LA STAMPA 3D

La sede del Gruppo Rossignol Lange di Montebelluna possiede due diverse stampanti 3D, entrambe che utilizzano la tecnologia Fused Deposition Modeling (FDM). Si tratta innanzitutto di "stampanti da ufficio", di piccole dimensioni, collocabili in ogni stanza senza alcun vincolo d'installazione.

La prima macchina, acquistata nel 2006, è dell'azienda Stratasys: la Fortus 250mc. Nonostante sia ormai abbastanza datata, è considerata la più affidabile e in termini di precisione è una garanzia.

Le dimensioni della macchina sono contenute (254 x 254x 305 mm) e consentono la realizzazione di pezzi in ABSplus durevoli nel tempo, stampabili in 9 possibili colori. La precisione è di 0.2413 mm e i possibili spessori dello strato sono 0,33-0,25-0,17 mm.

Si tratta di un sistema chiuso e questo significa che i parametri vengono dati e le modifiche consentite sono limitate solo ad alcune regolazioni.

Inoltre, per lo stesso motivo, l'unico materiale possibile e utilizzabile è fornito dalla Stratasys stessa, in forma di bobine, con prezzi molto superiori alla media.

Questa macchina consente esclusivamente la prototipazione con lo scopo di fare verifiche tecniche, degli spessori e delle parti da accoppiare, perché l'ABS fornito dall'azienda produttrice è un materiale molto più rigido rispetto a quello utilizzato in fase definitiva per la produzione degli scarponi.

I supporti necessari all'ancoraggio dei pezzi alla piattaforma di stampa e al sostegno di alcune parti, sono sempre in ABS, ma differente rispetto a quello di stampa. Si tratta di un ABS solubile in una soluzione acquosa che permette quindi, oltre alla tradizionale rimozione dei supporti in maniera meccanica, lo scioglimento di essi tramite immersione in una macchina contente una soluzione di soda.

Figura 10 - Stampante 3D Fortus 250mc nello stabilimento produttivo di Montebelluna

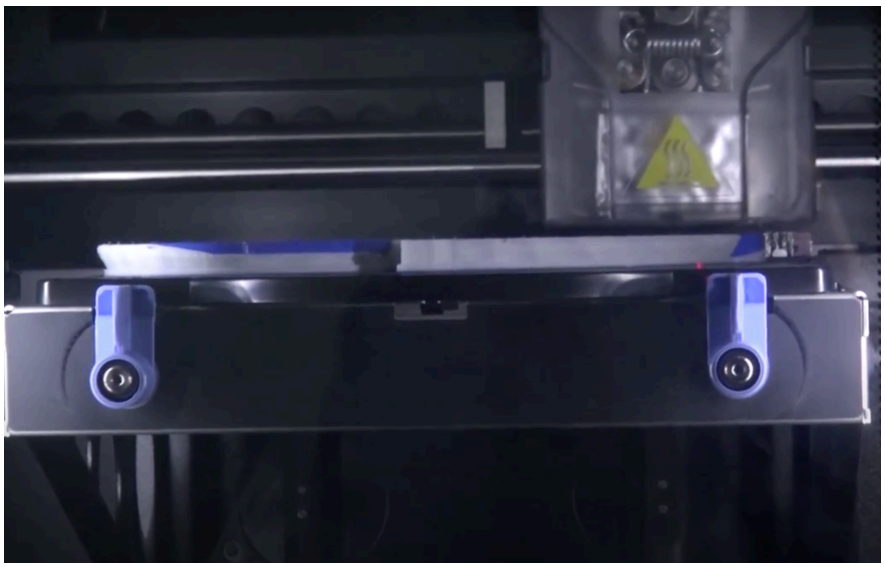

Figura 11 - Fortus 250mc in azione durante la produzione dello scafo

La seconda macchina, più recente (risale circa a 4 anni fa), è la Fortuna 750 HT della BlueTek. Si tratta in questo caso di un sistema aperto che consente quindi di utilizzare qualsiasi materiale in commercio e non solo. È infatti possibile estrudere il proprio materiale così da stampare a filo con il materiale di produzione definitivo.

L'area di stampa possibile è superiore alla macchina della Stratasys: 400 x 400 x 750 mm. La camera di stampa è riscaldabile e regolabile fino alla temperatura di 60°, la stampante è coibentata in modo che all'esterno non si possa raggiungere

temperature pericolose. È stata concepita per dare la possibilità all'utente finale di stampare una più vasta gamma di materiali polimerici potendo utilizzare bobine di grandi dimensioni poste all'interno della camera escludendo di fatto la possibilità di assorbimento di umidità e sfruttando il vantaggio di essere all'interno della camera calda. Questo permette la stampa di tutti i polimeri a una temperatura di estrusione fino a 250 °C, diminuendo significativamente il rischio di ritrazione, tipica di alcuni materiali.

Tra le caratteristiche salienti di questa stampante sono presenti, la possibilità di sperimentare varie temperature e varie velocità anche diverse da quelle consigliate, essendo sia il software sia la scelta dei filamenti non vincolati da firmware o chip, che ne bloccano l'utilizzo.

Il piano di stampa è estraibile e intercambiabile in base al materiale polimerico che si andrà ad utilizzare. Questo permette di effettuare la miglior scelta con l'obiettivo di ancorare il pezzo al piano ed evitare deformazioni. Ci sono infatti alcuni materiali che aderiscono esclusivamente a sé stessi, quindi è bene creare un primo foglio di materiale prima di passare alla realizzazione del pezzo oppure apposite costruzioni intorno.

A differenza dell'altra macchina di stampa 3D, nella Fortuna 750 HT, sono presenti due ugelli, uno per l'estrusione del materiale di stampa, uno per quello dei supporti. Questo consente un miglior risultato ma la complessità è maggiore e i tempi più elevati. Inoltre, è richiesto un minimo grado di complicità tra i due materiali utilizzati. L'azienda, infatti, sceglie spesso per l'opzione più semplice, ovvero utilizzare un unico materiale sia per il pezzo che per i supporti.

In questo caso la rimozione è esclusivamente meccanica e viene fatta a mano.

Gli ugelli possono però essere cambiati molto facilmente e rapidamente dall'operatore stesso in base al tipo di materiale, alla sua densità e al tipo di lavoro che si vuole ottenere.

Figura 12 - Stampante 3D BlueTek Fortuna HT 750 e bobina tipo utilizzata dalla macchina

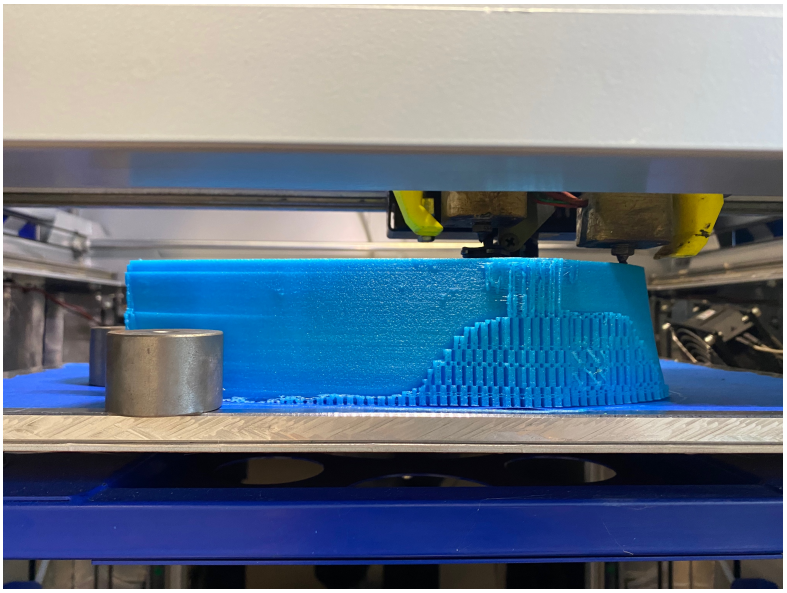

Figura 13 - Fortuna HT 750 in azione durante la produzione del prototipo del gambetto

I passaggi fondamentali, in entrambe le macchine, sono:

- la scelta della temperatura di estrusione del filamento
- la scelta della temperatura della camera di lavoro
- la scelta del posizionamento, dell'orientamento del pezzo
- la scelta dei supporti, in che zona e con quale frequenza posizionarli
- la scelta dei parametri di estrusione del filo (non possibile con la Stratasys Fortus 250mc).

I primi due punti sono particolarmente delicati in quanto i ritiri di materiale, molto diffusi, dipendono da queste due temperature.
Per quanto riguarda l'orientamento e il posizionamento, il SW di slicing utilizzato dal Gruppo fornisce dei suggerimenti che l'operatore può però andare a modificare in base all'esperienza e alle esigenze che ha.
A seguito della definizione di tutti i parametri, il SW mostra il percorso di stampaggio. È utile fare un controllo andando a verificare se tutte le zone sono adeguatamente supportate e se l'orientamento del pezzo è ottimale.

La tecnologia di stampa 3D FDM si può definire anisotropa, ovvero la resistenza del pezzo non è uguale in tutte le direzioni ma tenderà ad essere maggiore nella direzione z.
Un corpo isotropo, a differenza, è un corpo capace di mantenere le sue proprietà fisiche in tutte le direzioni. In pratica, se applicando una tensione in qualsiasi direzione ad un materiale, la deformazione elastica risulta sempre invariata, il materiale è isotropo.
Nella stampa 3D che sfrutta la tecnologia FDM, il sovrapporsi degli strati avviene meccanicamente e non a livello molecolare. Ciò genera sezioni del modello più esposte a sollecitazioni meccaniche che potrebbero portare più facilmente alla rottura dell'oggetto. È infatti più probabile di avere un distacco tra layer dovuto ad una minore densità di materiale nei punti di sovrapposizione rispetto alla rottura di un prototipo per un distacco molecolare sulla sezione di un layer.
Ogni layer è infatti compatto su tutta la sua superficie mentre risulta meno denso sui punti di contatto tra layer.
Al fine di ottimizzare la tenuta meccanica degli oggetti stampati in FDM va quindi ottimizzata la progettazione tenendo conto di questi possibili problemi e delle diverse tenute sui vari assi.

Figura 14 - Dimostrazione del metodo di giunzione tra i vari layer di stampa realizzati con tecnologia FDM

Come già detto in precedenza, uno degli svantaggi dei processi di Additive Manufacturing, è l'impossibilità di eseguire verifiche durante il processo di produzione in quanto sono assenti sistemi di monitoraggio. Per superare questo problema, i progettisti nella sede di Montebelluna hanno installato delle telecamere in entrambe le stampanti collegate a diversi devices, così da poter controllare in ogni momento e in ogni luogo, lo stato di avanzamento ed eventuali problemi. Questa semplice soluzione ha permesso di fermare le produzioni in caso di errori in diversi momenti, così da salvaguardare il pezzo prodotto fino a quel momento e non sprecare ulteriormente bobina, anche perché molto spesso le stampanti vengono avviate durante il weekend per ottimizzare i tempi.

L'Additive Manufacturing viene quindi utilizzato solo per eseguire prototipi di controllo e di verifica prima della produzione vera e propria e per fare diverse prove di forma e materiale in fase di progettazione e di sviluppo di nuovi prodotti da lanciare sul mercato.

I modelli matematici da cui viene ricavato poi l'oggetto stampato nascono da un uso congiunto di direct engineering e reverse engineering. A seconda dell'obiettivo, si parte realizzando il disegno su CAD 3D oppure dalla scannerizzazione di scarponi e parti di esso già esistenti andando ad utilizzare il software CAD 3D solo per fare qualche modifica.

La personalizzazione totale del prodotto riguarda solamente i pattini da ghiaccio in quanto i costi più contenuti permettono ciò. La maggior parte degli atleti professionisti si affidano infatti al sito produttivo di Montebelluna per realizzare i loro pattini che vengono costruiti partendo dalla scannerizzazione precisa dei loro piedi. Questa viene poi rimodellata su CAD 3D per renderla stampabile e di

conseguenza, utilizzabile. La stampa che viene prodotta è cava all'interno e i supporti presenti internamente non necessitano di rimozione.
Ciò non è possibile con gli scarponi da sci per motivi economici e visto il più elevato volume produttivo. Viene creato uno stampo utilizzando l'Additive Manufacturing precedentemente e poi trasformato in alluminio, eccezionalmente per atleti di fama mondiale.

7.3 LA PRODUZIONE DELLO SCAFO

Lo scarpone da sci moderno nasce da una studiata miscela di granuli di poliuretano con una misura variabile di colorante (dal 2% al 4%). Il materiale viene quindi aspirato in un essiccatore dove viene preriscaldato e essiccato in modo da rimuovere tutta l'umidità. Una macchina dedicata procede poi alla plastificazione, ovvero la fusione del materiale in modo che questo possa essere iniettato nello stampo prevalentemente in alluminio e acciaio.
Le parti hard sono due: lo scafo e il gambetto. Lo stampo dello scafo a sua volta è composto da un guscio superiore e un guscio inferiore che realizzano contemporaneamente la parte esterna ed interna.
Segue il raffreddamento dei pezzi, che vengono poi estratti dalle rispettive forme da un robot manipolatore. Il passaggio successivo è la cosiddetta tampografia dove vengono applicate le decorazioni, tra cui il marchio, allo scarpone, tramite un tampone che preleva ripetitivamente inchiostro da un clichè.
A tutte le parti che possono venire a contatto con le mani, viene tolto lo spigolo tagliente, ovvero vengono arrotondati gli spigoli per rendere il prodotto maggiormente sicuro nell'uso quotidiano.
Si passa poi all'assemblaggio dei due componenti, ovvero scafo e gambetto, tramite viti che possono essere avvitate o rivettate. Vengono infine aggiunti i ganci, tipicamente 4, e le leve necessarie che consentono di "chiudere" lo scarpone intorno alla gamba.
La produzione definitiva della parte hard dello scarpone da sci non vede quindi l'Additive Manufacturing come tecnologia produttiva. Questo è dovuto al fatto che la produzione con stampo dà come risultato un prodotto naturalmente più

compatto e di conseguenza più resistente grazie proprio all'iniezione e alla pressione richiesta per essere eseguita.
Utilizzando l'Additive Manufacturing e, precisamente la tecnica Fused Deposition Modeling, il materiale ha invece una pressione irrisoria in quanto viene solamente "posato", strato dopo strato.

7.3.1 LA TECNOLOGIA DUAL CORE

Uno degli ultimi brevetti del Gruppo francese si chiama è il sistema Dual Core, una rivoluzione tecnologica nel mondo dello scarpone che è stata inventata e prodotta nei laboratori dello stabilimento veneto di Rossignol Lange. Una svolta tecnologica che permette di iniettare in un'unica stampa materiali con caratteristiche diverse e quindi di ottenere un prodotto con durezze differenti in punti specifici a seconda del tipo di sciata dell'atleta. In sostanza il Dual Core consente di modulare in modo preciso rigidità differenti tramite tre punti di iniezione sullo scafo e altri due sul gambetto.
La prima iniezione è in una quantità limitata che non riempie completamente lo stampo ma raggiunge solo alcuni punti appositamente studiati tramite software. Prima della solidificazione di questo, viene fatta una seconda iniezione con un altro materiale che attraversa il primo materiale andando a riempire tutte le cavità lasciate vuote e completando il riempimento dello stampo.
Nel caso della Lange, il materiale utilizzato nelle due iniezioni è il medesimo, ovvero un poliuretano, ma con modulo diverso.
Questa tecnologia di coiniezione è stata una svolta in quanto fino a prima della deposizione del brevetto, il concetto utilizzato nella produzione degli scarponi da sci era quello della bi-iniezione.
Lo stampaggio a bi-iniezione è una tecnica che permette di impiegare due tipi di plastica contemporaneamente andando ad una maggiore durezza. Con questa soluzione è possibile unire le caratteristiche e le qualità estetiche di due diversi materiali. Attualmente è la tecnologia sfruttata nella realizzazione dei gambetti e degli scafi da tutte le aziende del settore, fatta eccezione naturalmente per Rossignol Lange.

La bi-iniezione ha come differenza rispetto alla coiniezione il fatto che la seconda iniezione è fatta dopo l'indurimento della prima. Questo significa che il primo materiale si presenta ormai impenetrabile e la possibilità che rimangono cavità, seppur piccole, è presente. Quello che avviene in pratica utilizzando questa tecnica è quindi un aumento dello spessore in quanto si ha la deposizione di uno strato sopra un altro. La coiniezione invece supera questo problema andando a studiare il flusso delle due iniezioni e quindi creando zone appositamente con un materiale piuttosto che un altro con caratteristiche ben definite. Parametro fondamentale da definire è la densità e la velocità con cui i flussi di materiali vanno iniettati in quanto da ciò dipende direttamente il risultato finale.

I materiali sono in genere polimeri quali:

- polietere (polimero elastico, leggero e resiliente, caratterizzato da reattività veloce e alta elasticità)
- poliuretano ad alta densità (ottimo per ottenere scafi molto rigidi e resistenti ad urti ed abrasioni)
- polytec lite (polimero più leggero, ideale per la costruzione di scarponi junior)

7.4 LA SCARPETTA

Lo studio parte dal piede e grazie al database sviluppato negli anni, l'azienda riesce a sviluppare delle forme anatomiche rispondenti al prodotto finale. Ogni forma è diversa in base al tipo di scarpone che si vuole ottenere e alla clientela a cui è destinato. Lo studio dei diversi materiali è fondamentale per ottenere il giusto compromesso tra comfort e tecnicità, due aspetti in contrapposizione.

Il gruppo Rossignol Lange dispone di una gamma molto ampia di prodotti, quindi è importante sviluppare prodotti con caratteristiche differenti a seconda dal tipo di cliente che si vuole raggiungere.

Il taglio di tutti i materiali e della tomaia è fatto da una macchina che si basa sui disegni precedentemente creati a computer da un operatore e trasformati in un file apposito. In totale, i pezzi che compongono la scarpetta sono circa 30-40, realizzati con diverse tecnologie e in diversi materiali. La loro applicazione viene

fatta quasi esclusivamente in modo manuale in quanto non esiste macchina in grado di garantire il livello di qualità raggiunto dall'operatore. In particolare, la cucitura dell'intera scarpetta è l'operazione più delicata, non eseguibile tramite macchina e, visto il tempo che richiede e conseguentemente i costi che ne derivano, questo processo è ormai delocalizzato in Paesi dell'Est.

7.5 ASSEMBLAGGIO

Dopo l'assemblaggio del gambetto e dello scafo tramite viti visto precedentemente, si ha il secondo e ultimo assemblaggio con l'unione della parte soft e della parte hard, ovvero della scarpetta con lo scafo.

7.6 IL CONTROLLO QUALITÀ

Il controllo qualità viene fatto fin dalle prime fasi del processo produttivo su ogni singolo componente e meccanismo, fino ad arrivare poi al prodotto finito.

Sulla parte soft, ovvero la scarpetta, vengono fatte delle prove vita su tutti i diversi tessuti utilizzati e sulle tomaie attraverso apposite macchine, e viene valutata la dispersione termica all'interno delle scarpette attraverso un colorimetro digitale. Questi processi di misurazione di quelle che sono, per i clienti, delle percezioni, sono fondamentali anche per poter fare un benchmark con prodotti concorrenti così da analizzare i propri punti di forza distintivi e aspetti che devono essere migliorati.

Per quanto riguarda le leve, e quindi tutti i ganci, si misura la loro tenuta meccanica sottoponendole a diverse prove di resistenza per verificare l'usura nel tempo, anche a diverse temperature.

Lo scafo è invece soggetto a varie prove ad impatto come quella che utilizza due pendoli per verificare la resistenza delle due parti esposte a maggior sollecitazione nella parte frontale. In questo caso, il pezzo si trova ad una temperatura di -20°C che lo rende particolarmente rigido così da effettuare la verifica nelle condizioni più estreme. Questi test sono molto utili anche in fase di progettazione per andare a verificare gli spessori minimi adottabili e diversi tipi di plastica possibili.

Terminate le fasi di produzione e assemblaggio in linea, viene fatto un ultimo controllo qualità che comprende la valutazione del prodotto finito secondo determinate specifiche definite durante il campionario e un controllo estetico e funzionale secondo un campione di riferimento e delle specifiche scritte ben definite. Tutto ciò è svolto pezzo per pezzo da operatori specializzati e registrato così da poterne avere tracciabilità. Eventuali non conformità portano al fermo del lotto che verrà sottoposto ad ulteriori controlli più stringenti.

8. IL FUTURO NELLA PRODUZIONE DI SCARPONI DA SCI

Per le grandi aziende tra cui il gruppo Rossignol Lange, la produzione vera e propria degli scarponi da sci utilizzando la tecnica dell'Additive Manufacturing, rappresenta ancora un'utopia, al momento non realizzabile a causa degli alti volumi produttivi e di altre problematiche trattate nei capitoli precedenti.

Nella sede di Montebelluna l'utilizzo di questa tecnologia ha comunque un ruolo fondamentale e, vista ormai l'età delle macchine in possesso, il Gruppo sta pensando ad innovarsi.

Oggi l'evoluzione a livello di macchinari è elevatissima e le aziende si trovano di fronte al dilemma se acquistare nuove stampanti più evolute oppure adottare qualche altra strategia come, per esempio, il noleggio a lungo termine. Questo dipende naturalmente anche dal prezzo di vendita e dall'uso che se ne fa. Le stampanti considerate "da ufficio", come quelle presenti a Montebelluna, hanno costi irrisori per un Gruppo come quello Rossignol Lange. Altro range di prezzo invece per quelle stampanti da produzione che richiedono spazi maggiori e hanno volumi produttivi più elevati. In entrambi i casi, il noleggio potrebbe essere una soluzione intelligente così da avere sempre a disposizione i più recenti macchinari presenti sul mercato.

La stampante della Formlabs sarà probabilmente la prossima ad arrivare nel sito produttivo di Montebelluna, fortemente voluta dal team di progettisti in quanto ottima soluzione guardando il rapporto versatilità-prezzo.

Per il momento, l'azienda rimane orientata sulla tecnologia FDM, perché la prima tecnica approdata anni fa sul mercato per non specialisti ma adatta anche a produzioni "da ufficio", più semplici e ridotte. La FDM attualmente copre circa il 90% delle esigenze aziendali del sito; laddove c'è la necessità di produrre con altra tecnologia, l'azienda si appoggia esternamente commissionando e acquistando pezzi già pronti.

Visto gli enormi progressi che si sono registrati negli ultimi anni in questo campo, i progettisti del Gruppo sono sicuri che nel futuro si arriverà sicuramente a produrre utilizzando l'Additive Manufacturing.

Ma ci sono già piccole realtà, spesso sconosciute, che usano l'AM per produrre gli scarponi da sci e altra attrezzatura definitiva.

8.1 PRIMI ESPERIMENTI DI PRODUZIONE DEFINITIVA CON AM

Il primo a proporre uno scarpone da sci definito realizzato con l'AM è stato Franz Egger. Lo scarpone EasyStand si è infatti aggiudicato il premio come concept più innovativo all'ISPO di Monaco (la fiera di articoli sportivi più importante).

Fondamentale è stata la collaborazione con la CRP Technology, azienda che ha rivoluzionato il mondo dell'Additive Manufacturing introducendo i materiali Windform 3D Printing, che hanno permesso alla tecnica della Selective Laser Sintering (SLS) di realizzare parti ad alte prestazioni, finite e funzionali.

In particolare, lo scarpone in questione, è fatto con il Windform SP, un composito a base poliammidica caricato con fibra di carbonio che rappresenta il top di gamma della famiglia. È un materiale altamente duttile, con la massima resistenza meccanica. È inoltre impermeabile e con ottime caratteristiche di tenuta sia ai liquidi (acqua, olio, …) che ai gas, aspetto fondamentale visto le condizioni tipiche di utilizzo dello scarpone da sci.

Windform SP, inoltre, può essere utilizzato in presenza di elevate sollecitazioni a fatica, anche in presenza di vibrazioni o urti di tipo temporale senza rischio di rottura. È consigliato anche in per applicazioni dove è richiesta resistenza a danneggiamenti, vibrazioni e deformazioni e può assicurare la riproduzione di dettagli piccoli. Diversamente da altri materiali utilizzatati con l'Additive Manufacturing, Windform SP è in grado di conservare le proprie caratteristiche distintive e particolari anche a basse temperature, aspetto che riveste grande importanza nel caso di prodotti per lo sci e per la stagione invernale.

L'aspetto innovativo di questo progetto consiste, oltre naturalmente nell'utilizzo della stampa 3D e della tecnica SLS come processo di fabbricazione, nella presenza di tre diverse solette all'interno dello scarpone, di diverse dimensioni e spessori, tutte più alte nella parte anteriore rispetto che nella parte posteriore. Questa differenza di altezza garantisce una vestibilità migliore sia nella zona del tallone, sia in punta dove c'è un maggiore spazio per le dita. Lo sciatore riesce a esercitare

una pressione più forte a inizio curva e una migliore presa, che si traducono in un modo di sciare più sicuro e meno esposto al rischio di lesioni. Lo scarpone è caratterizzato da una soletta divisa e una zeppa integrata, collegata a un regolatore mediante un'asticella, che permette di portare la zeppa in tre diverse posizioni, ovvero di cambiare l'altezza del piede nello scarpone.

Il secondo caso ha come protagonista gli scarponi dell'azienda TAILORED FITS che, dopo aver collaborato con Materialise per ideare una soluzione e un processo di stampa personalizzati, oggi può passare da una scansione a uno scarpone stampato in 3D realizzato completamente su misura per il piede di chi lo indossa. L'obiettivo era creare uno scarpone confortevole e allo stesso tempo sufficientemente performante che consentisse la giusta trasmissione di potenza. La personalizzazione è garantita e avviene tramite la scansione dei piedi dello sciatore, fatta utilizzando un'applicazione disponibile su tablet.
Una volta completato, il progetto passa alla stampante 3D, dove il disegno astratto di un computer viene trasformato in un paio di scarponi pronti all'uso.
La partnership di co-creazione con Materialise è stata fondamentale proprio nell'automatizzazione dei progetti e nella loro ingegnerizzazione pressoché immediata.
La tecnica identificata come ottimale è stata la Fused Deposition Modeling (FDM). La progettazione ha richiesto una particolare attenzione in modo da garantire che il materiale potesse essere flessibile nei punti di contatto più morbidi e sufficientemente resistente da reggere nelle zone d'impatto più forte. Questo ha comportato la preventiva identificazione delle diverse posizioni in cui viene esercitata pressione specificando la resistenza o la flessibilità necessarie. Il know-how elevato delle strutture reticolari per creare la funzionalità localizzata è stato determinante per raggiungere lo scopo di creare un concept di scarpone innovativo comprendente di un unico pezzo che si adatta come un calzino, andando in pratica a replicare la parte inferiore della gamba.

Figura 15 - Scarponi TAILORED FITS della Materialise

Ma l'esperimento più sfidante e innovativo fa capo a Stratasys, leader globale nella stampa 3D, che ha sviluppato e testato sul campo il primo paio in assoluto di sci completamente funzionali stampati in 3D. La tecnologia scelta dall'azienda è stata la Fused Deposition Modeling (FDM) perché funziona con una gamma di materiali termoplastici adatti ad ambienti esterni. Nello specifico, è stata utilizzata la resina ULTEM 9085 perché offre un'eccellente resistenza meccanica e resistenza alle variazioni di temperatura e umidità, oltre a un livello di rigidità giusto per il progetto. Ma naturalmente, uno sci moderno ha dei requisiti base come uno strato inferiore in grado di assorbire la cera, le lamine e una struttura tipicamente realizzata laminando diversi materiali (legno, plastica, metallo, ecc.) insieme a resina epossidica sotto pressione. In questo caso, la struttura, il corpo principale dello sci, è stato creato con parti stampate in 3D.

Il tutto è stato disegnato tramite il SW SolidWorks, e dopo numerose iterazioni, tramite il sistema di produzione Fortus 900mc, in 3 giorni, sono state stampate due parti, punta e coda. L'unione di tutti i pezzi, stampati in 3D e non, è stato l'ultimo step. Un team di Stratasys, tra cui il CIO, ha testato lo sci sulle piste del Nord America, e il feedback è stato più che positivo.

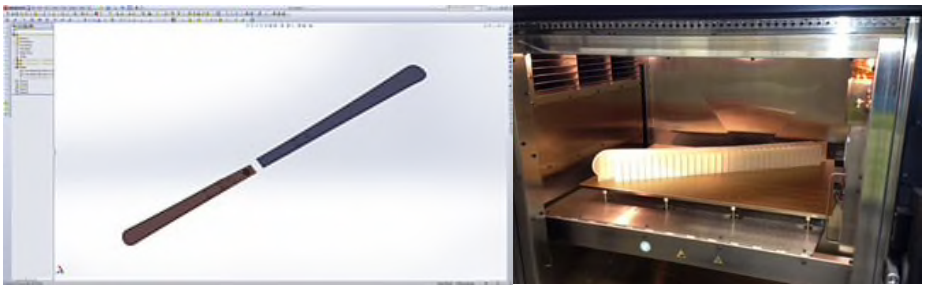

Figura 16 - Fasi produzione sci Stratasys

8.2 XENIA MATERIALS

Nel 1995, nel vicentino, è nata una start-up rivoluzionaria collocabile inizialmente nel settore aerospaziale, dove c'era sempre più bisogno di materiali leggeri e resistenti in sostituzione di quelli metallici. L'alternativa migliore e più semplice è naturalmente la plastica, ma la riduzione di peso va di pari passo con quella della resistenza. Da qui sono nati i materiali compositi e il concetto di "metal replacement" ha iniziato a diffondersi in diversi campi.

I materiali compositi sono ottenuti mediante l'unione di almeno due componenti (matrice e fibra) dalle caratteristiche chimico-fisiche tali da renderli diversi, insolubili e separati tra solo. Le fibre conferiscono la resistenza e la rigidezza, le matrici funzionano da materiale di riempimento e, nel nostro caso, possono essere sia prodotti termoindurenti sia termoplastici.

Nel 2013, l'Atomic, noto marchio austriaco nel mondo dello sci, inizia a sviluppare con Xenia Materials, il prototipo dello scarpone Redster, fatto con materiali termoplastici caricati di carbonio che rendevano la struttura più leggera ma nello stesso tempo rigida.

Il materiale di partenza, nel caso di compositi, è costituito da granuli di plastica nei quali è annegata la fibra. Il processo avviene fondendo i granuli in una pressa che inietta il materiale fuso all'interno di uno stampo freddo dove si solidifica secondo la geometria dell'impronta dello stampo. Si tratta quindi di un passaggio di stato fisico e quindi il processo è reversibile. I materiali termoplastici utilizzati possono essere diversi: poliammidi, poliolefine, TPU, PEBA sono i nomi più comuni; questi possono però essere caricati con le fibre (carbonio, vetro o aramidica) per modificarne le caratteristiche meccaniche. La fibra di carbonio ha peso specifico

inferiore, elevata resistenza, rigidità meccanica e costi superiori rispetto a quella di vetro. In compenso quella di vetro ha un'elevata tenacità. Se si cerca leggerezza e resistenza alla deformazione, il carbonio rappresenta sicuramente la soluzione vincente, se invece si vuole un po' più di flessibilità e si tollera un aumento del peso, la soluzione potrebbe essere la fibra di vetro o un misto carbonio/vetro.

Da qui, le tre grandi famiglie termoplastiche di Xenia sono: Xecarb (polimero termoplastico più carbonio), Xeglass (polimero termoplastico più vetro), e Xebrid (polimero termoplastico più fibre miste). Questa rappresenta però solo una prima catalogazione in quanto la forza dell'azienda è nella personalizzazione. Le variabili sono molte, non solo il materiale termoplastico di partenza, ma anche la forma della fibra, la densità, la percentuale di caricamento, che arriva fino al 50%.

Dal 2013, lo sport e in particolare lo sci, è diventato il core business di Xenia che ha portato il know-how aerospaziale in questo mondo. L'ingegnerizzazione di prodotto è il primo passo fondamentale, visto l'elevato grado di personalizzazione possibile. Dopo la produzione vera e propria dei materiali, sono stati ormai consolidati una serie di test volti a fare prove di trazione, allungamento, flessione e impatto, per testare le proprietà meccaniche fino a -30°C. E dopo aver passato le prove interne all'azienda, lo scarpone viene provato sul campo, test da cui dipende l'esito finale che potrebbe portare anche ad una ripetizione totale del processo. Perché non è detto che quello che funziona perfettamente secondo rigorosi test interni sia perfetto anche all'atto pratico. Ma ci sono anche casi al contrario, le scommesse, in cui nel mondo reale il risultato è migliore di quello di quello teorico di laboratorio. È il caso delle protezioni (parastinchi e parabraccia) in PEBA caricato di carbonio del marchio SHRED, che integrano la tecnologia Slytech, divenuta ormai uno standard tra i costruttori di protezioni.

Xenia ha ora due grandi sfide del futuro. La prima è una sfida ecologica in quanto i materiali termoindurenti sono irreversibili, non possono più tornare allo stato di partenza per essere ristampati e sono difficilmente smaltibili a fine vita. L'obiettivo è quello di trovare soluzioni con basi termoplastiche riciclate e fibre a partire da materiale di scarto della produzione oppure di utilizzare basi termoplastiche con origine in gran parte vegetale, come i PEBA realizzati a partire dall'olio di ricino.

La seconda grande sfida è quella di sviluppare una sorta di *wearable technology* basata sul materiale stesso. Il carbonio, anche in combinazione con altri additivi, ha conducibilità elettrica e termica e i nuovi materiali intelligenti potrebbero registrare diversi fattori e adattarsi alle condizioni e all'utilizzatore, per sfruttare al meglio lo stesso prodotto, per esempio lo scarpone, in funzione del tipo di neve, pendio, temperatura, sciatore.

Sono diversi i marchi dell'industria dello sci che hanno già scelto Xenia Materials come ingrediente per i loro migliori prodotti, tra gli altri, Salomon, Atomic, Dalbello, Nordica, Tecnica, Roxa.

9. ALTRE ATTREZZATURE DA SCI STAMPATE IN 3D

Attualmente, i primi esperimenti di produzione definitiva che utilizzano la tecnologia della Fabbricazione Additiva, riguardano i caschi da sci e gli attacchi, anche se si tratta di una produzione limitata e su richiesta.
Per quanto riguarda la restante attrezzatura utilizzata dallo sciatore come bastoncini, le protezioni per le braccia e i parastinchi, l'Additive Manufacturing, al momento viene utilizzato solo nella fase di prototipazione per eseguire delle verifiche concettuali ed estetiche.
L'azienda statunitense Slytech, fondata dal campione di sci Ted Ligety, è sempre all'avanguardia e alla costante ricerca di tecnologie e materiali innovativi per le protezioni da sci, diventate un punto di riferimento nel settore.
Sia le protezioni per gli avambracci, sia i parastinchi, sono infatti prodotti in SLYTECH SHIELD, una combinazione di materiali progettata con i più avanzati tecnopolimeri per renderla estremamente rigida e durevole a tutte le temperature.

9.1 CASCHI DA SCI

Uno dei primi caschi da sci prodotti con la stampa 3D lo si deve all'azienda Tech-Path che ha avviato questo progetto su richiesta di un cliente, il quale ha collaborato durante tutte le fasi e i processi condividendo le varie scelte e rendendolo effettivamente un progetto di co-design. Ciò ha permesso di ridurre notevolmente i tempi di sviluppo prodotto e le problematiche legate alla progettazione di un prodotto così complesso unendo l'aspetto estetico, il comfort e l'ergonomia. Il punto di partenza è stata la scansione ottica 3D di alcuni caschi già presenti sul mercato, per ricercare la vestibilità migliore, passando poi alla modellizzazione tramite software CAD 3D delle superfici principali, tenendo conto di tutte le specifiche e delle esigenze tecniche.
Sono stati poi studiati i vari meccanismi di apertura e bloccaggio di tutti particolari, facendo numerose verifiche virtuali prima di passare alle prove fisiche attraverso il prototipo.

La tecnica utilizzata è stata la Selective Laser Sintering per realizzare ogni particolare. Le valutazioni estetiche funzionali sono state eseguite dopo aver assemblato il casco come prodotto finale.

Il secondo esperimento vede come protagonista l'azienda cinese ProtoFab che ha realizzato il casco "Blizzard" con fotocamera integrata. La scelta della stampa 3D ha permesso di creare una forma innovativa studiata per migliorare l'aerodinamicità senza inficiare sulla necessità di protezione che deve fornire questa importante attrezzatura per gli sciatori. Il modello è stato progettato come un singolo pezzo dagli specialisti tecnici tramite software. A seguito della stampa il pezzo è stato pulito e i supporti sono stati rimossi. Per raggiungere poi la lucidatura desiderata, sono state necessarie più levigature con carta vetrata. La verniciatura e la lucidatura sono state l'ultimo step prima della consegna al cliente.

Figura 17 - Varie fasi di produzione del casco "Blizzard"

9.2 ATTACCO DA SCI

L'attacco da sci "Pindung" è nato dalla collaborazione tra due aziende tedesche, la BAM e Trindo Digitalmanufaktur GmbH, orientata da sempre a sviluppare prodotti innovativi per alpinisti e sciatori professionisti.

La tecnica di stampa utilizzata è la Selective Laser Sintering, scelta come la soluzione migliore per ottenere la perfetta combinazione tra resistenza e leggerezza. Quest'ultima è infatti il punto di forza di questo pezzo, in quanto

ammonta solamente a 800 grammi, grazie ai materiali plastici innovativi utilizzati per la sua realizzazione.

9.3 ATTACCHI RIVOLUZIONARI PER LO SNOWBOARD

La stampa 3D ha reso possibile anche lo sviluppo di questo innovativo attacco che riguarda il mondo dello snowboard, creato e ideato dall'azienda statunitense Burton, leader in questo ambito.

L'industria ha lottato per anni alla ricerca di una soluzione per sviluppare attacchi da snowboard a scatto, ovvero con lo stesso meccanismo di quelli degli sciatori, che non compromettessero la sicurezza e le prestazioni. Burton, dopo 4 anni di studi e lavoro, ha creato l'attacco "Step-On" grazie all'uso della stampa 3D che ha permesso di ridurre notevolmente i tempi. L'azienda ha infatti diverse stampanti 3D che utilizza da alcuni anni per la ricerca, lo sviluppo e la prototipazione e che sono state responsabili della creazione di alcuni degli altri prodotti recenti di successo di Burton. Le stampanti 3D SLS dell'azienda hanno permesso al team Burton di prototipare e testare, e prototipare di nuovo a un ritmo rapido, piuttosto che dover inviare i progetti a una struttura esterna e attendere che i prototipi vengano rispediti loro in un processo che può richiedere mesi. L'industria dello snowboard ha cercato senza successo di trovare un attacco a scatto step-in soddisfacente per più di un decennio; il fatto che Burton sia stato in grado di trasformare l'idea concettuale in un prodotto pronto per il mercato in quattro anni è un'ulteriore dimostrazione di cosa può fare la stampa 3D per lo sviluppo del prodotto.

10. CONCLUSIONI

Da quanto è emerso nel seguente elaborato si può affermare che l'Additive Manufacturing nel mondo dello sport e in particolare dello sci, avrà un ruolo sempre più importante e di rilievo negli anni a venire.

La prototipazione è al momento l'unica fase in cui questa tecnologia produttiva viene usata costantemente, fatta eccezione per alcuni esperimenti.

Le principali limitazioni viste riguardano le caratteristiche tecniche ottenibili, i costi e i tempi di produzione. L'enorme e continua evoluzione che caratterizza questi ultimi anni fa pensare che, presto, la prototipazione non sarà più l'unico aspetto a sfruttare l'AM e che la produzione in serie di componenti e/o di interi pezzi sarà l'obiettivo futuro. Le aziende del settore hanno ormai abbracciato in toto queste nuove tecniche e tutti i vantaggi che comportano e, una volta superati i limiti esplicitati prima, l'Additive Manufacturing non potrà che espandersi in tutti i livelli dell'organizzazione. A tal proposito, i progettisti del gruppo Lange Rossignol si sono dimostrati fiduciosi nell'impiego futuro di stampanti 3D sempre più all'avanguardia e in grado di assicurare performance elevate e sicure.

Sono grata di aver avuto l'enorme possibilità di visitare lo stabilimento Rossignol Lange di Montebelluna, in quanto mi ha permesso di approfondire le mie conoscenze riguardo questa tema andando ad unire due settori a cui sono particolarmente legata e che, personalmente, trovo molto interessanti.

BIBLIOGRAFIA

Bacchetti A., Zanardini M., 2018, Additive manufacturing: cos'è e come funziona la manifattura additiva. Disponibile a: https://www.internet4things.it/iot-library/che-cose-il-3d-printing-e-come-si-colloca-nellambito-industry-4-0-e-iot

Brock J. M., Montero M., Odell D., Roundy S., 2000, *Fused Deposition Modeling (FDM) Material Properties Characterization*. Disponibile a: http://scholar.google.com.au/scholar.

Ciappei C., Simoni C., *Drivers of new product success in the Italian sport shoe cluster of Montebelluna*. In: Emerald

CRP Technology, EasyStand. Disponibile a: https://www.crptechnology.com/it/easystand-ispo-2015-prototipo-scarpone-sci-windform-stampa-3d/

Deomore S., Raykar S., 2021, *Multi-criteria decision making paradigm for selection of best printing parameters of fused deposition modeling.* In: Science Direct

Eyers D., Potter A., Gosling J. and Naim M., 2018, *The flexibility of industrial additive manufacturing systems*. In: Emerald

Franke N. and S. Shah, 2003, *How communities support innovative activities: an exploration of assistance and sharing among end-users*, Research Policy, Vol. 32 No. 1, pp. 157-178. In: Springer

Gao X., Yu N., Li J., 2020, *Influence of printing parameters and filament quality on structure and properties of polymer composite components used in the fields of automotive*, Structure and Properties of Additive Manufactured Polymer Components, Part 2, 2020, Pages 303-330. In: Science Direct

Gibson I., Rosen D. W., Stucker B., 2010, *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct*

Hanzlicek I., Pentek M., 2014, *Computational Modeling of Stereolithography*. In: IEEE.

Jordan J.M., 2019, *Additive manufacturing ("3D printing") and the future of organizational design: some early notes from the field.* In: Science Direct

Kruth J., 2007, *Consolidation phenomena in laser and powder-bed based layered manufacturing.* In: Science Direct

Materialise, TAILORED FITS. Disponibile a: https://www.materialise.com/it/cases/tailored-fits-va-fuori-pista-nel-design-degli-scarponi-da-sci

Park JH., Goo B. and Park K., 2019, *Topology Optimization and Additive Manufacturing of Customized Sports Item Considering Orthotropic Anisotropy*. Int. J. Precis. Eng. Manuf. 20, 1443–1450. In: Science Direct

Pazhamannil R., Govindan P., 2020, *Current state and future scope of additive manufacturing technologies via vat photopolymerization.* In: Science Direct

Pearson A., 2020, *Stratasys hits the slopes with 3D printed skis*. Disponibile a: https://www.stratasys.com/explore/blog/2014/3d-printed-skis

Pham D., Gault R.S., 1998, *A Comparison of Rapid Prototyping Technologies.* In: Science Direct

Primavesi C., 2021, Xenia Materials, In: Race Ski Magazine

Protofab, Casco da sci Blizzard con Drone.
Disponibile a: https://it.3dprotofab.com/blizzard-ski-helmet-3d-model-with-drone.html

Qureshi A. J., Mahmood S., 2015, *Design for Scalability and Strength Optimisation for components created through FDM process.* In: Science Direct

Stampa3dstore, *Pindung, il primo attacco da sci superleggero stampato in 3d.* Disponibile a: https://www.stampa3dstore.com/pindung-il-primo-attacco-da-sci-superleggero-stampato-in-3d/

Scott C., 2016, *Burton Snowboards Uses 3D Printing to Solve Longtime Snowboarding Conundrum.* Disponibile a: https://3dprint.com/159425/burton-snowboards-3d-printing/

Van der Schueren B., Kruth J. P., 1995, *Powder deposition in selective metal powder sintering*. Rapid Prototyping Journal, 23-31. In: Emerald

Vinto S., Additive manufacturing: una storia di brevetti. Disponibile a: https://www.ilprogettistaindustriale.it/additive-manufacturing-una-storia-di-brevetti/

Xenia Materials, *XECARB 6 C30, The World Champion of Composites*. Disponibile a: https://www.xeniamaterials.com/wp-content/uploads/2016/01/Xenia_Atomic_ENG.pdf

3D Printing Creative. Lo scarpone da sci in 3D con Windform. Disponibile a: https://www.3dprintingcreative.it/lo-scarpone-da-sci-in-3d-con-windform/

RINGRAZIAMENTI

Il ringraziamento più grande va alla mia famiglia, mamma, papà, Emily e Sofi, che mi hanno sempre supportato ma, soprattutto, sopportato in questo lungo percorso, fatto di gioie ma anche di tanti momenti no. Mi avete insegnato a crederci sempre e la vostra fiducia e pazienza sono state immense.
Un grazie enorme anche ad Albi che, oltre ad essere sopravvissuto alle mie sessioni d'esame (cosa non da poco), all'ansia e alla tachicardia, mi ha insegnato a prendere la vita con un po' più di filosofia e leggerezza.

Ringrazio particolarmente la professoressa Flaviana Calignano per avermi dato l'opportunità di svolgere questo progetto, per la sua totale disponibilità e gli apprezzati consigli che mi dato.

Un grazie di cuore all'azienda Lange Rossignol a Montebelluna, e in particolare alla figura dell'Ing. Stefano Moncher per il prezioso tempo dedicatomi, per la sua disponibilità ad aiutarmi e per avermi dato l'opportunità di visitare il sito produttivo italiano di questo fantastico Gruppo.

E infine, devo ringraziare lo sci, sport che mi ha dato tanto, fatto di tanti sacrifici, spesso ingombrante nella vita universitaria, ma al quale non avrei mai rinunciato.