



# GUIDA ALLA STAMPA 3D

GRANDE FORMATO  
STATO DELL'ARTE  
APPLICAZIONI

## 1. Introduzione

1.1 40 anni di tecnologie per la manifattura additiva **pag. 3**  
Breve storia di queste tecnologie con accenni ai macchinari e ai materiali oggi gestiti in manifattura additiva

1.2 Formati e mercati **pag. 5**  
Come cambia la definizione di piccolo, medio e grande in base alla tecnologia di stampa e al mercato di riferimento

## 2. Lo stato dell'arte dei materiali

2.1 Estrusione con filamento **pag. 8**

2.2 Estrusione di materiale in pasta **pag. 11**  
Ceramiche e impasti da cottura  
Terra e fibre vegetali

2.3 Estrusione con granulo **pag. 13**  
nuovo, riciclato, metallico in matrice

## 3. Stampanti cartesiane

3.1 Come si può gestire l'aumento del volume di stampa **pag. 15**

3.2 Dimensione layer / flusso estruso / volume stampato **pag. 17**

## 4. Delta robot

4.1 Dai centimetri ai metri, una geometria unica per la scalabilità **pag. 21**

4.2 Formati per l'industria **pag. 23**

4.3 Soluzioni per la protesica e il medicale **pag. 25**

## 5. Architettura Crane per l'edilizia

5.1 Meccanica semplice per il grande formato in cemento o terra con fibre vegetali **pag. 29**

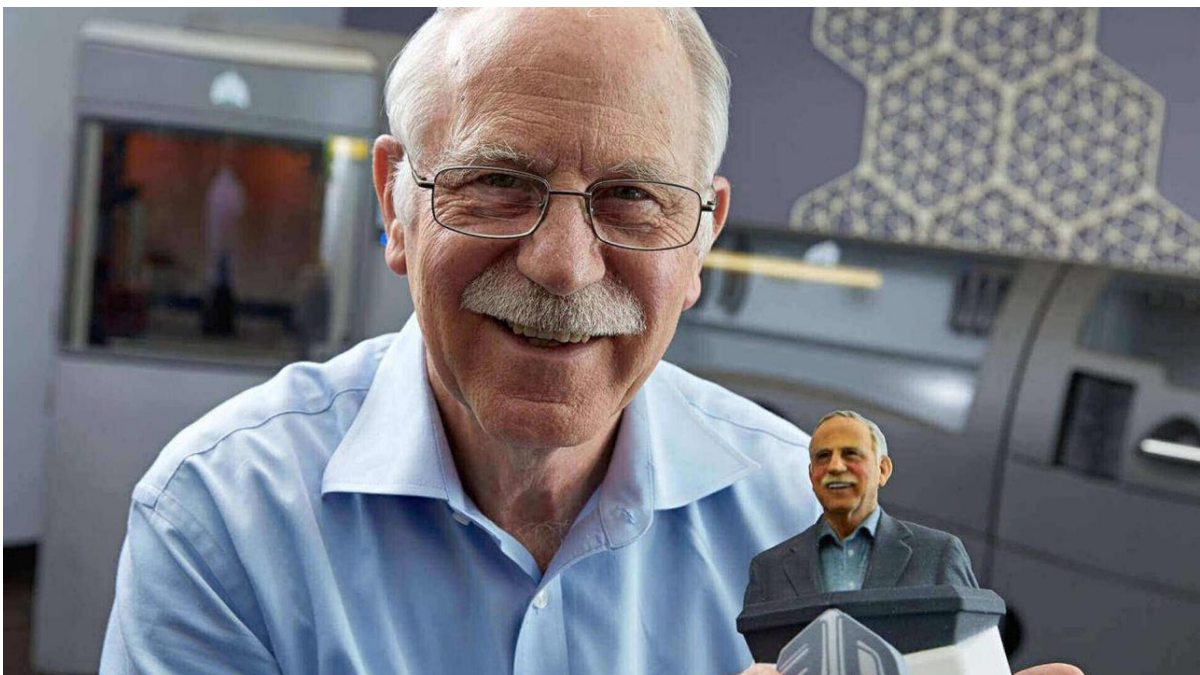
## 6. Tecnologie a confronto

Tabella con matrice caratteristiche delle varie stampanti Wasp **pag. 30**

# 1. INTRODUZIONE

## 1.1 40 anni di tecnologie per la manifattura additiva

Le tecnologie per la manifattura additiva, fra cui la stampa 3D occupa un ruolo di primo piano, hanno origine dall'intuizione di **Chuck Hull** che a metà degli anni '80 intuisce come un solido tridimensionale modellato con strumenti CAD possa essere materializzato in un bagno di resina fotoindurente come una sequenza di strati bidimensionali sovrapposti e disegnati con un raggio laser.



La **stereolitografia**, brevettata da Hull nel 1986, getta le basi per la realizzazione di macchine con tecnologie diverse che - comunque - attraverso la sovrapposizione di strati bidimensionali rendono fisici i modelli realizzati a computer. In questi 40 anni di evoluzione abbiamo potuto assistere a sviluppi in settori strategici, oltre a quelli già conquistati con la prototipazione rapida, quali l'aeronautica per la produzione di parti metalliche approvate per il volo e addirittura la stampa 3D sulla Stazione Spaziale Internazionale per la realizzazione on demand di parti di ricambio e strumenti di lavoro.

Stampare in 3D ancora oggi "fa notizia", specie quando sono settori di particolare interesse o valore sociale ad esserne i protagonisti: protesi di arti e mani a basso costo, cornee trapiantabili create su misura, parti di cartilagini e pelle accresciute su matrici stampate in 3D.

Tutte innovazioni nate dalla possibilità di sperimentare con le soluzioni tecnologiche diventate di pubblico accesso a basso costo grazie alla filosofia dell'**Open Source** e della **Sharing Economy**.

Dal 2010 a oggi la quantità e la qualità dell'innovazione nel settore ha ampiamente superato i traguardi raggiunti nei 30 anni precedenti, imprimendo al settore un'accelerazione che non solo non diminuisce, ma consolida un trend di sviluppo in alcune aree applicative che hanno un impatto reale sulla quotidianità.

Come potrete leggere, la manifattura additiva è uscita dall'ambito della prototipazione per iniziare ad occupare alcune nicchie di produzione che non sempre trovano nella personalizzazione spinta la propria ragion d'essere, ma beneficiano della produzione di piccole serie, magari on demand. Emblematica è la scelta di Adidas di produrre alcune serie di scarpe con soles stampate in 3D, singolarmente e con le tecnologie della Carbon, per il progetto Futurecraft 4. Un progetto che porta i volumi della produzione con manifattura additiva a livelli da mass market.

Con il passaggio dalla prototipazione alla produzione di parti destinate all'uso reale anche la ricerca sui materiali utilizzati ha goduto di significativi avanzamenti: polimeri tecnici per alte temperature o biocompatibili per protesi e impianti, metalli con caratteristiche di resistenza e densità comparabili alle produzioni di tipo sottrattivo, nuove tipologie di resine elastiche o particolarmente robuste, fino ad arrivare alle paste in gres e ceramica per la cottura in forno.

Il tema dei materiali è in pratica l'altra faccia della medaglia delle tecnologie di stampa, dato che solo con i materiali opportuni e adatti alla destinazione d'uso ha senso sviluppare soluzioni applicative specifiche. Pensiamo ad esempio al medicale, dove una combinazione di software di acquisizione, di modellazione e di slicing, va abbinata a macchine capaci di gestire materiali con precise caratteristiche di robustezza o biocompatibilità.

## 1.2 Formati e mercati

Definire le caratteristiche di stampa senza prendere in considerazione le tecnologie utilizzate può portare a compiere degli errori di valutazione.

A nostro avviso i parametri da tenere in considerazione sono numerosi e da correlare fra loro per arrivare a degli elementi oggettivi che permettano di dire se una stampante è ad alta o bassa definizione, se è relativamente lenta o veloce o se è di formato medio o grande.

È chiaro che una stampante che crea oggetti con dettagli nell'ordine della decina di micron per layer e dimensione del punto stampato può già considerarsi di grande formato se riesce ad avere un volume massimo di stampa da 150 x 150 x 150 mm, mentre se fosse a filamento con layer da 200 micron e ugello da 0,5mm sarebbe da considerarsi di piccolo formato, quasi al limite del "minimo sindacale".

Il rapporto fra dimensioni del voxel - ovvero l'elemento 3D più piccolo che la stampante può creare con il proprio materiale - e volume di stampa fisico ci permette di calcolare quanti voxel possono essere stampati e quindi possiamo mutuare dal mondo della fotografia il concetto di megavoxel, simile ai megapixel, con l'aggiunta della terza dimensione (la Z). **Maggiore è il numero di megavoxel e maggiore sarà la definizione dell'oggetto, restando comunque slegata dalla sua dimensione.**

Per spiegare questo concetto, pensiamo al mondo dei video, dove la definizione di HD per le immagini riguarda la loro dimensione in punti - 1920 x 1080 - e non la dimensione dello schermo su cui sono visualizzate. Allo stesso modo una stampante può creare oggetti "ad alta definizione" solo se dispone di una quantità minima di megavoxel, altrimenti non ci saranno abbastanza punti 3D per risolvere i dettagli dell'oggetto. Ovviamente l'utilizzo di una porzione del volume disponibile fa diminuire il numero di megavoxel disponibili così come un'immagine visualizzata in una parte dello schermo non beneficia dell'intera risoluzione.

Proseguendo nel ragionamento, possiamo avere stampanti che dispongono di molti più megapixel di quelli considerati "HD" e come su uno schermo 4K è possibile comporre più immagini HD, in queste stampanti si avrà l'alta definizione degli oggetti utilizzando solo parte del volume di stampa disponibile. Riassumendo, la definizione delle stampanti dipende dal numero di megavoxel con cui viene riempito il volume di stampa, mentre il formato inteso come dimensioni non determina automaticamente una maggiore o minore definizione.

Unendo i due aspetti possiamo quindi avere stampanti che stampano oggetti piccoli, ma ad alta definizione e quindi con dettagli "microscopici", oppure stampanti con un volume superiore alla media per quella tecnologia, ma con una definizione limitata. Per poter fare dei paragoni, si può partire dal numero medio di megavoxel per ciascuna tecnologia e considerare come la stampante presa in considerazione abbia un voxel più piccolo o un volume di stampa maggiore.

	Rep Rap	Delta WASP 2040	Delta WASP 2040 Turbo2	Delta WASP 4070	Delta WASP 4070 Industrial	Delta WASP 60100	Delta WASP 3MT Personal Fab	Delta WASP 3MT Industrial
Dim. X	200 mm	141 mm	141 mm	283 mm	283 mm	424 mm	707 mm	707 mm
Dim. Y	200 mm	141 mm	141 mm	283 mm	283 mm	424 mm	707 mm	707 mm
Dim. Z	200 mm	400 mm	400 mm	700 mm	700 mm	1000 mm	1000 mm	1000 mm
Vel. stampa	60 mm/s	70 mm/s	200 mm/s	100 mm/s	200 mm/s	60 mm/s	70 mm/s	70 mm/s
Vol. di stampa	8000 cm <sup>3</sup>	24.983 cm <sup>3</sup>	24.983 cm <sup>3</sup>	176.125 cm <sup>3</sup>	176.125 cm <sup>3</sup>	564.783 cm <sup>3</sup>	1.570.322 cm <sup>3</sup>	1.570.322 cm <sup>3</sup>
Voxel. X e Y	400 um	400 um	400 um	700 um	700 um	1200 um	1200 um	1200 um
Voxel. Z tipico	200 um	150 um	150 um	300 um	300 um	600 um	600 um	600 um
Voxel. totali	250.000.000	520.483.363	520.483.363	599.064.319	599.064.319	326.841.991	908.751.126	908.751.126
100 x 100 voxel layer	6,67 sec	5,71sec	2 sec	7 sec	3,50 sec	20,00 sec	17,14 sec	17,14 sec
T stampa cubo 100 <sup>3</sup>	666,67 sec	571,43 sec	200,00 sec	700 sec	350,00 sec	2.000,00 sec	1.714,29 sec	1.714,29 sec
Lato cubo XY	40 mm	40 mm	40 mm	70 mm	70 mm	120 mm	120 mm	120 mm
Lato cubo Z	20 mm	15 mm	15 mm	30 mm	30 mm	60 mm	60 mm	60 mm
Volume cubo	32 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>3</sup>	24 cm <sup>3</sup>	147 cm <sup>3</sup>	147 cm <sup>3</sup>	864 cm <sup>3</sup>	864 cm <sup>3</sup>	864 cm <sup>3</sup>
velocità volumetrica	0,048 cm <sup>3</sup> /s	0,042 cm <sup>3</sup> /s	0,12 cm <sup>3</sup> /s	0,21 cm <sup>3</sup> /s	0,42 cm <sup>3</sup> /s	0,432 cm <sup>3</sup> /s	0,504 cm <sup>3</sup> /s	0,504 cm <sup>3</sup> /s

Definizioni: Il cubo "voxel" ha le misure virtuali di 100 x 100 x 100 unità, ovvero diametro dell'ugello per X e Y e layer height per Z. Questo determina una stampa deformata sulla Z in quanto ho sempre 100 layer

La stampa complessa rappresenta un caso più reale e si basa sul nano di Makerbot e su un'altezza del layer proporzionata a 1/3 del diametro dell'ugello con l'altezza fissata a 666 layer e il resto in proporzione

Per completare questo quadro di valutazione delle caratteristiche dobbiamo aggiungere il fattore tempo, ovvero la capacità della stampante di estrarre materiale con una velocità proporzionata al volume di stampa e alla definizione.

Fare una stampante in cui aumenta la definizione assieme al volume di stampa, mantenendo la dimensione del voxel uguale alla versione di dimensioni normali, potrebbe portare al paradosso di avere un volume di materiale estruso minore legato all'aumento delle masse e dell'inerzia della meccanica a cui si deve ovviare con accelerazione e velocità di spostamento più basse.

Ogni settore di applicazione della manifattura additiva ha delle proprie esigenze di dimensione media degli oggetti che possono essere realizzati ed è abbastanza frequente che la definizione degli oggetti debba avere un valore minimo sotto al quale il prodotto finale non è adatto alla destinazione d'uso. Allo stesso modo, il volume tipico deve poter essere estruso in tempi calcolati in ore e non giorni.

# 2. LO STATO DELL'ARTE DEI MATERIALI

Rispetto ai primi 30 anni di storia delle tecnologie di stampa 3D, gli ultimi 10 anni hanno visto un'evoluzione molto più articolata e specializzata, frutto dell'applicazione della manifattura additiva a settori che precedentemente non erano neppure immaginabili.

Fra tutti segnaliamo l'uso dei **metalli**: da qualche tempo sono stati certificati i componenti metallici prodotti da stampanti 3D per l'impiego in produzione, portando quindi tutta la flessibilità e la complessità delle forme stampabili in ambiti dove la manifattura tradizionale non poteva offrire soluzioni altrettanto valide.

Di base la ricerca si è orientata a portare specifici materiali, già noti e utilizzati con metodi tradizionali, nell'ambito della manifattura additiva. Ovviamente il limite di queste tecnologie è quello di riuscire a depositare o comunque a rendere fisico e stabile il voxel nel materiale scelto. Se questo è sotto forma di un polimero termoplastico, una resina fotoindurente, una polvere sinterizzabile o addensabile chimicamente, un impasto viscofluido, possiamo contare su tecnologie specifiche per la manifattura additiva, mentre altri materiali sono utilizzabili ad oggi solo tramite lavorazione sottrattiva.

## 2.1 Estrusione con filamento

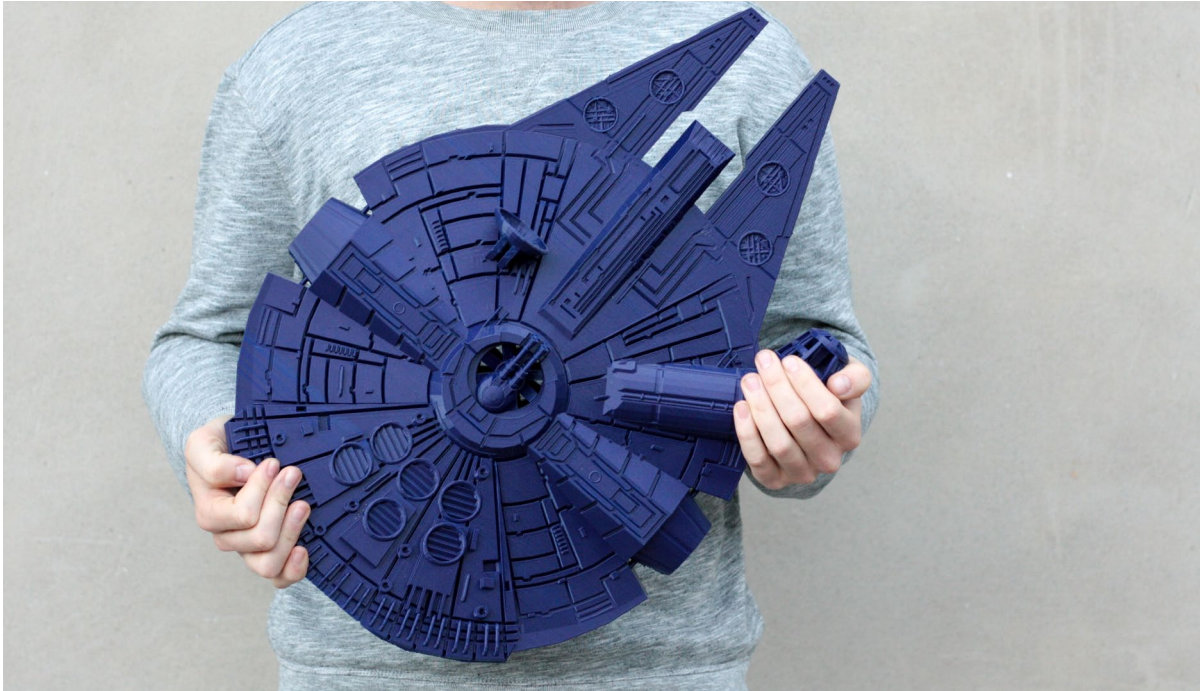
Questo tipo di tecnologia, nota come **FDM** o **FFF**, utilizza polimeri termoplastici e compositi su matrice termoplastica per creare oggetti in cui il materiale è estruso e sovrapposto su strati (layer) senza una matrice di supporto in cui è inserito l'oggetto.

Le temperature di fusione, la dilatazione termica e le caratteristiche fisiche (elasticità, flessibilità, rigidità ecc.) vengono scelte in base alla destinazione d'uso del prodotto finito e da quando anche con questa tecnologia si è passati dai semplici prototipi a oggetti finiti e da utilizzare nel mondo reale, le esigenze sono significativamente cambiate.

Il classico **ABS** è stato rapidamente sostituito con il più sostenibile **PLA**, con la sua rigidità, la natura vetrosa e la temperatura di rammollimento relativamente bassa, ha mostrato i propri limiti applicativi.



L'industria manifatturiera tradizionale conta su un assortimento di polimeri molto ampio e con caratteristiche precise, capaci di spaziare dalla flessibilità e l'elasticità, fino alla resistenza al calore con temperature di fusione di diverse centinaia di gradi.

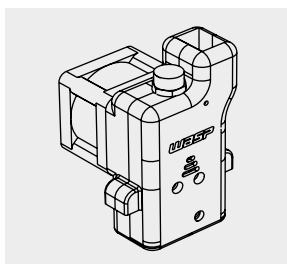


I nomi più noti sono poliammide, polietilene, polipropilene, polistirene, ABS e PLA, ma l'elenco è decisamente più lungo e comprende materiali che si distinguono per una o più caratteristiche come ad esempio la robustezza, l'elevata temperatura di fusione, la memoria di forma o la biocompatibilità. Molti di questi sono stati realizzati in bobine di filamento, ma non è assolutamente scontato che un filamento possa essere utilizzato con qualsiasi stampante 3D FDM.

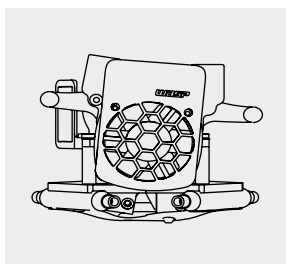
La temperatura per la quale l'estrusore è stato progettato è un primo elemento discriminante, poi il meccanismo di spinta può essere adatto o meno alle caratteristiche fisiche del filamento stesso (pensiamo ad esempio ai filamenti definiti come FLEX rispetto a quelli rigidi) per finire con le dimensioni dell'ugello che determinano la pressione necessaria a mantenere un flusso del polimero nella sua fase fluida e viscosa ai livelli richiesti per la produzione dell'oggetto in un tempo accettabile.

Le attività di sviluppo fatte da CSP in questo ambito hanno portato alla realizzazione di una famiglia di estrusori, intercambiabili sulle stampanti **Delta WASP**, che possono gestire questi nuovi polimeri in modo ottimale.

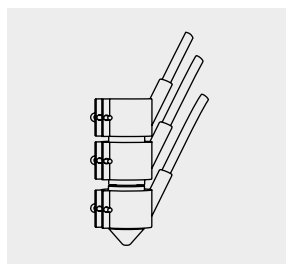
**WASP Spitfire extruder**



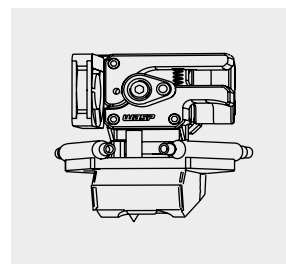
**WASP Zen extruder (dual extruder)**



**WASP pellet extruder**



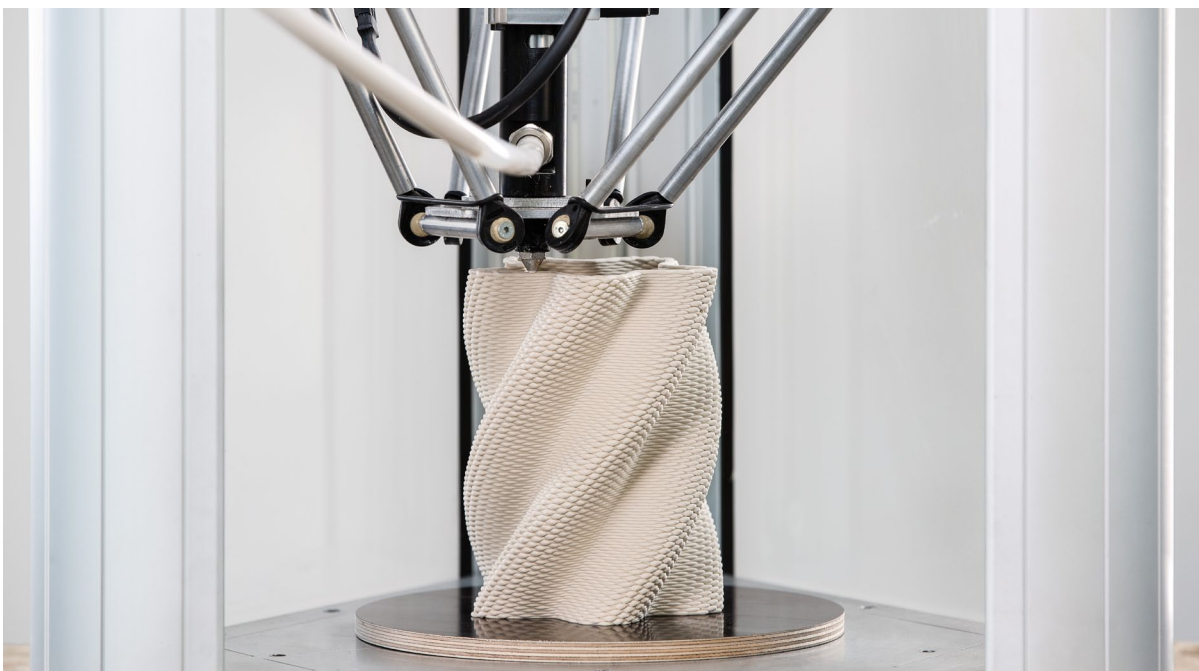
**WASP flex extruder**



MAX TEMP	350°	350°	350°	350°
MATERIALI	PLA, ABS, PETG, PACARBONIO, PVA, HIPS ...	PLA, ABS, PETG, PA CARBONIO, PVA, HIPS ...	PLA, ABS, PP, ...	UP to 50 shore A
DIAMETRO FILAMENTO	1,75mm	1,75mm	GRANULO	3mm
DIAMETRO UGELLO	0.4mm / 0.7mm / 1.2mm	0.4mm / 0.7mm /	3mm	0.4mm / 0.7mm / 1.2mm

## 2.2 Estrusione di materiale in pasta

Decisamente diversa, ma non meno interessante, è la produzione di oggetti con paste di argilla, ceramica, gres, cementi e altri materiali terrosi. Alcuni di questi materiali sono soggetti a un processo di indurimento chimico (cementificazione) a bassa temperatura, mentre altri richiedono la cottura in forno per la sinterizzazione delle particelle (greificazione).

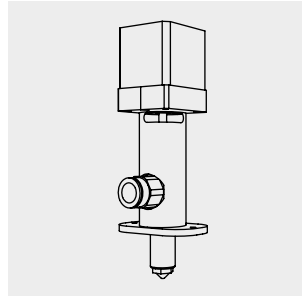


In questo campo lo sviluppo di CSP si è indirizzato sia nell'ambito della formulazione degli **impasti**, sia nel processo di estrusione degli impasti stessi.

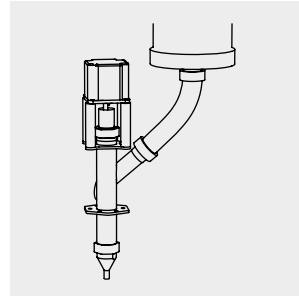
Nel primo ambito lo sviluppo è stato per quelle soluzioni che offrivano la densità e la natura di fluido non newtoniano richieste per creare forme estruse immediatamente stabili.

Nel secondo ambito sono stati sviluppati dei meccanismi in grado di offrire un preciso controllo nel processo di estrusione assieme al mantenimento di un flusso di materiale verso il sistema di estrusione stesso. Il risultato è una gamma di soluzioni, caratterizzate dal materiale estruso, che combina definizione di stampa, volume e megavoxel per soddisfare esigenze specifiche.

LDM WASP extruder



WASP Zen extruder  
(dual extruder)



MAX TEMP

freddo

freddo

MATERIALI

Porcellana, Gres, argilla,  
terraglia ...

Porcellana, Gres, argilla,  
terraglia ...

DIAMETRO  
FILAMENTO

IMPASTO

IMPASTO

DIAMETRO  
UGELLO

1.2mm

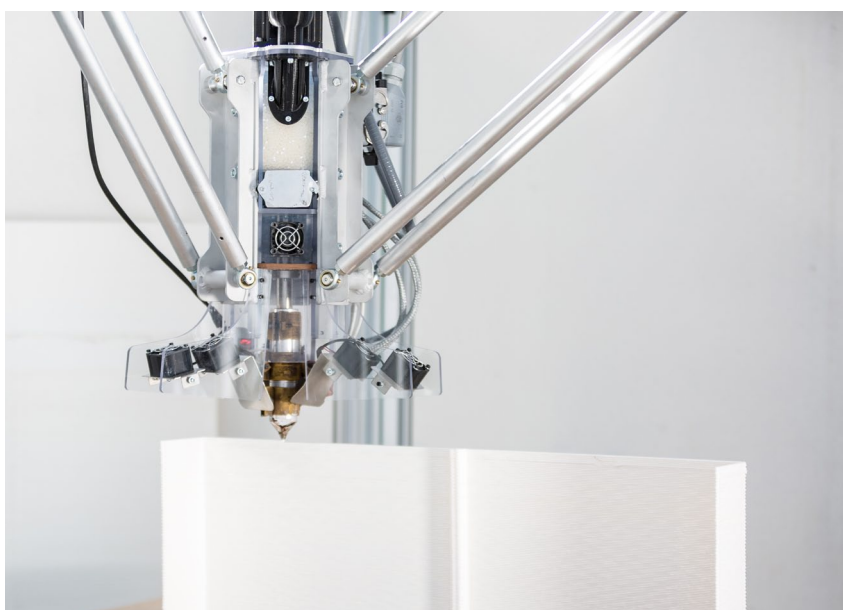
2 mm / 4 mm / 6 mm / 8mm

Per le stampe di dimensioni superiori al metro, WASP ha realizzato un sistema a **tramoggia** con un estrusore da 8 cm che gestisce materiali poveri in cui argilla e fibra vegetale vengono miscelati per la realizzazione di elementi adatti alla fabbricazione di strutture abitative.



## 2.3 Estrusione con granulo

Rispetto alla soluzione a filamento, il **granulo** consente di raggiungere volumi di materiale estruso altrimenti non possibili. I sistemi di riscaldamento, miscelazione ed estrusione sono paragonabili a quelli utilizzati per la produzione del filamento, ma la loro dimensione è stata ridotta fino a rendere l'intero meccanismo adatto alla movimentazione con i sistemi di stampa 3d.



Rispetto alla soluzione a filamento, il granulo consente di raggiungere volumi di materiale estruso altrimenti non possibili. I sistemi di riscaldamento, miscelazione ed estrusione sono paragonabili a quelli utilizzati per la produzione del filamento, ma la loro dimensione è

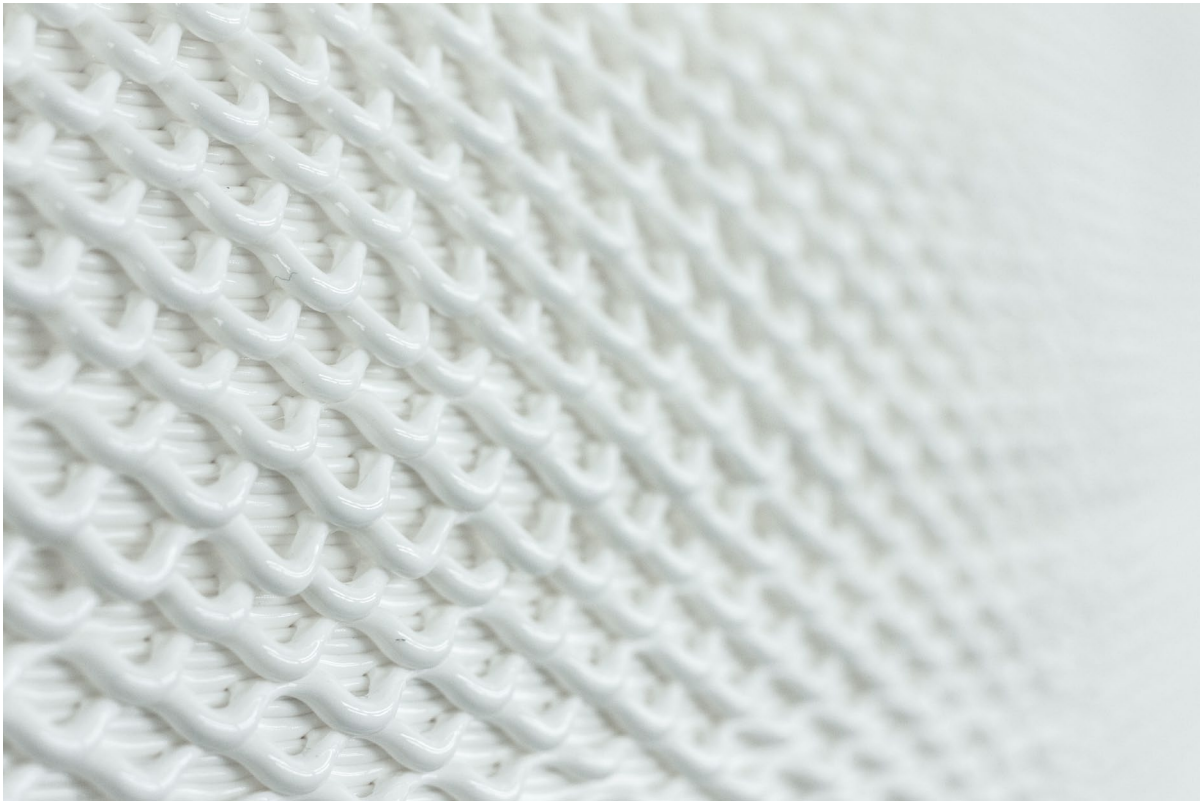
stata ridotta fino a rendere l'intero meccanismo adatto alla movimentazione con i sistemi di stampa 3d.

Si tratta di un avanzamento tecnologico di grande rilevanza in quanto non solo permette di portare il volume di materiale estruso a nuovi livelli - adatti alla realizzazione di pezzi di grandi dimensioni in tempi ragionevoli - ma anche per l'impatto sulla formulazione dei materiali stessi di stampa.

L'industria delle termoplastiche ha nel granulo il formato standard di fornitura e questo rende molto più semplice ed economico l'approvvigionamento delle quantità richieste dalla produzione di oggetti in medie e grandi dimensioni (dai 3 kg di peso in su). Oltre a questo significativo vantaggio, il granulo si presta molto bene alla realizzazione estemporanea di compositi in cui il granulo termoplastico viene combinato ad altri materiali che possono essere dosati con precisione o con una successiva approssimazione fino al raggiungimento del risultato desiderato.

Le opportunità offerte da questa soluzione sono quindi sia in ambito produttivo, sia in quello della sperimentazione di nuovi compositi che, una volta messi a punto, possono restare sotto il controllo di chi li ha sviluppati dato che la formulazione non va condivisa con un fornitore per la sua produzione.

Di recente è stata avviata la sperimentazione di compositi con materiali inerti quali le **polveri ceramiche** su matrice **plastica calcinabile** per la realizzazione di oggetti che, una volta cotti in forno, perdono la matrice lasciando solo le particelle ceramiche sinterizzate. La medesima sperimentazione è in corso con polveri metalliche ed i risultati sono promettenti portando la realizzazione di oggetti metallici anche nell'ambito della stampa a deposizione di materiale fuso.



# 3. STAMPANTI CARTESIANE

A questa categoria appartengono quelle stampanti che muovono il blocco di estrusione attraverso una meccanica che si sposta su tre assi orientati secondo un sistema cartesiano X, Y e Z. Ogni asse viene gestito solitamente da un motore e lo spostamento è basato su questa corrispondenza.

La struttura meccanica di movimentazione ha quindi cinghie, guide e carrelli che permettono di portare la testa di estrusione in qualsiasi punto dello spazio tridimensionale che, per questa tipologia di stampanti, ha la forma di un parallelepipedo rettangolo. X e Y sono solitamente gli assi sui quali viene spostata la testa di estrusione, mentre il piano di stampa viene avvicinato e allontanato dalla testa di stampa con un movimento relativo (o si alza la testa o si abbassa il piano).

Esistono numerose variazioni sul tema delle **stampanti cartesiane**, dove il piano di stampa può essere movimentato o fisso e di conseguenza la testa di estrusione viene spostata sui 2 o 3 assi rimanenti. Ciascuna di queste soluzioni ha i suoi vantaggi e svantaggi, determinando le prestazioni della stampante soprattutto sul fronte della precisione di posizionamento e sulla velocità con cui può essere spostata la testa di estrusione.

## 3.1 Come si può gestire l'aumento del volume di stampa

Quando gli assi di movimentazione della testa di estrusione sono ben definiti sotto il profilo meccanico, magari con una cinghia e una barra o una guida lineare, può sembrare semplice aumentare le dimensioni del parallelepipedo rettangolo allungando uno o più assi.

Portare un lato X o Y da 20 a 40 cm può essere risolto allungando le parti che movimentano la testa di estrusione o il piano di stampa su quell'asse, ma il primo

effetto di questa modifica è la diminuzione della rigidità del sistema meccanico a cui si può rimediare aumentando ad esempio il diametro o la dimensione della guida su cui si sposta la testina. A cascata aumenta la massa da spostare e quindi diminuisce l'accelerazione a cui si può sottoporre la meccanica senza compromettere la precisione e la gestione delle inerzie.

In pratica, aumentare le dimensioni di una stampante cartesiana porta ad una situazione paradossale dove la struttura - per mantenere la rigidità - va necessariamente irrobustita e di conseguenza aumentando le masse in gioco diventa difficile mantenere una velocità di stampa (mm/s) adeguata al volume. Anzi, spesso una cartesiana grande deve stampare più lentamente di una con identica geometria, ma con dimensioni minori.

Una soluzione per ovviare a questa diminuzione della velocità di movimento è l'aumento del volume estruso attraverso un ugello di dimensioni maggiori e, conseguentemente, un minor numero di layer da stampare a parità di dimensioni dell'oggetto. Con le architetture cartesiane sono state realizzate delle macchine che con appositi sistemi riescono a estrarre cemento, ma si tratta di strutture che ricordano i carri ponte e che pertanto non sono di facile trasporto e assemblaggio (servono macchinari sul posto per assemblare la struttura).

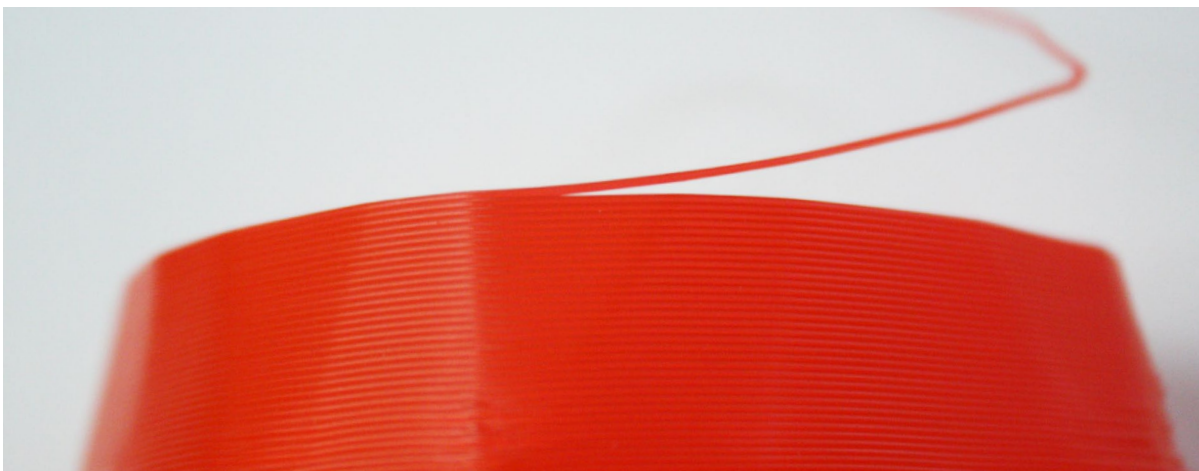
Se realizzate come postazioni fisse, possono essere utilizzate per produrre elementi "prefabbricati" con cui assemblare strutture di grandi dimensioni. Rispetto ai tradizionali casseri, la produzione con stampa 3D permette di produrre strutture molto più complesse e al tempo stesso più leggere e trasportabili. Il limite pratico è quindi legato al fatto che per l'edilizia questa soluzione richiede una struttura a pantografo, che non risulta adatta ad un facile impiego sul campo.



## 3.2 Dimensione layer / flusso estruso / volume stampato

Nella manifattura additiva ci sono vari parametri che permettono di valutare le prestazioni della stampante. Ovviamente a seconda della tecnologia questi parametri possono cambiare, ma alcune relazioni restano valide quasi per tutte le tecnologie.

Tornando all'ambito di questo documento, dedicato alla deposizione di materiale tramite estrusione, il rapporto fra i tre parametri principali, non considerando la definizione della stampante già ampiamente illustrata nel capitolo ad essa dedicato in precedenza, ci permette di capire quanto la stampante sia ad elevate prestazioni o meno. L'altezza del layer di stampa – per la stampa ad estrusione – è vincolata nel valore minimo dalla risoluzione minima gestita senza errore sull'asse Z, mentre il valore massimo dipende dal diametro dell'estrusore.



Perché i layer siano fra loro ben saldati, è necessario che l'estrusore possa spalmare il materiale sul layer precedente e questo avviene solo se l'altezza dello strato è minore del diametro dell'ugello. Il rapporto tra ugello e layer determina quanto il nuovo strato sia più largo che alto. Più il layer aumenta di spessore rispetto all'ugello e più le sue pareti laterali saranno curve, conferendo all'oggetto un aspetto più "stratificato".

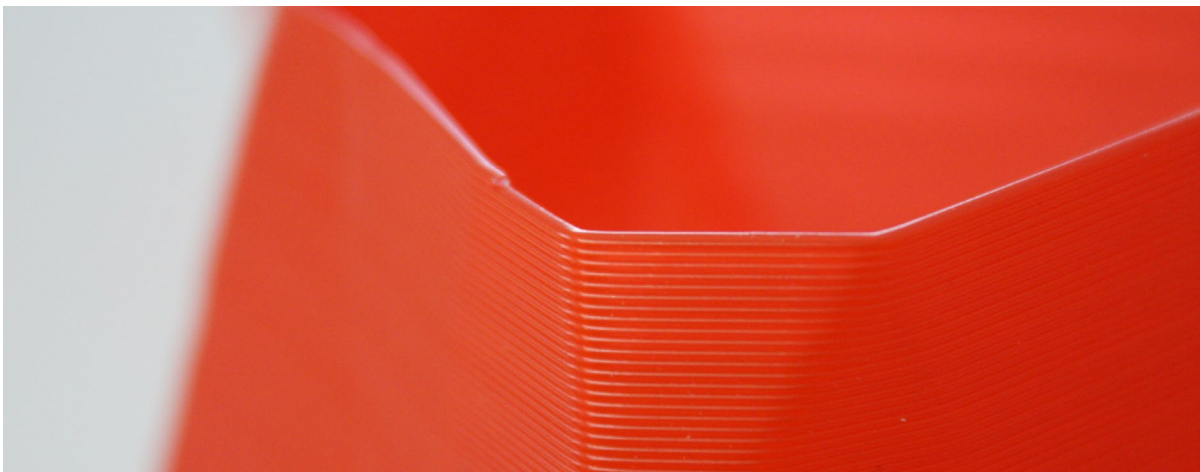
Lo spessore del layer condiziona anche la definizione delle pendenze molto ridotte rispetto al piano XY. Più layer a parità di altezza consentono migliore definizione ad esempio della parte superiore e inferiore di una sfera, mentre una forma squadrata o con inclinazioni decise può essere di buona qualità anche con layer spessi rispetto all'estrusore. In ogni caso, la resa dei layer è sempre legata al diametro dell'ugello e a parità di stampante, uno spessore di layer pari a un

quarto dell'ugello offre una elevata definizione sull'asse Z, mentre la metà può essere considerata come la definizione "standard".

Se cambiamo il diametro dell'ugello, possiamo modificare l'altezza del layer in proporzione per ridurre il tempo di stampa, ma utilizzando un numero di voxel minore, avremo un oggetto che ha comunque una definizione minore.

L'equazione ugello e **layer più piccoli = definizione più elevata** a parità di volume è intuitiva e quindi se vogliamo la medesima definizione di un oggetto con ugello e layer più grandi, lo dobbiamo stampare più in grande. Con l'aumento del diametro dell'ugello e dell'altezza del layer, cambia anche il volume di materiale che può essere estruso per unità di tempo. Questo non variando la velocità di movimento della testa di estrusione.

Con le termoplastiche e il filamento, ci sono dei limiti fisici dovuti alla conducibilità termica della plastica, alla lunghezza della camera di fusione e alla possibilità di mantenere il controllo su estrusione e ritrazione.



Con il filamento da 2,85mm e un estrusore da 0,4mm, quando si supera il volume di 8 mm<sup>3</sup> di estruso c'è la possibilità che il filamento non faccia in tempo a fondere e quindi vengano persi passi sullo spingi filo. In parte si può compensare aumentando la temperatura di stampa, ma questa soluzione ha notevoli criticità sulle stampe che hanno significativa movimentazione senza stampa, perché l'effetto di "oozing" (perdita di materiale per colatura dall'ugello) diventa più pronunciato.

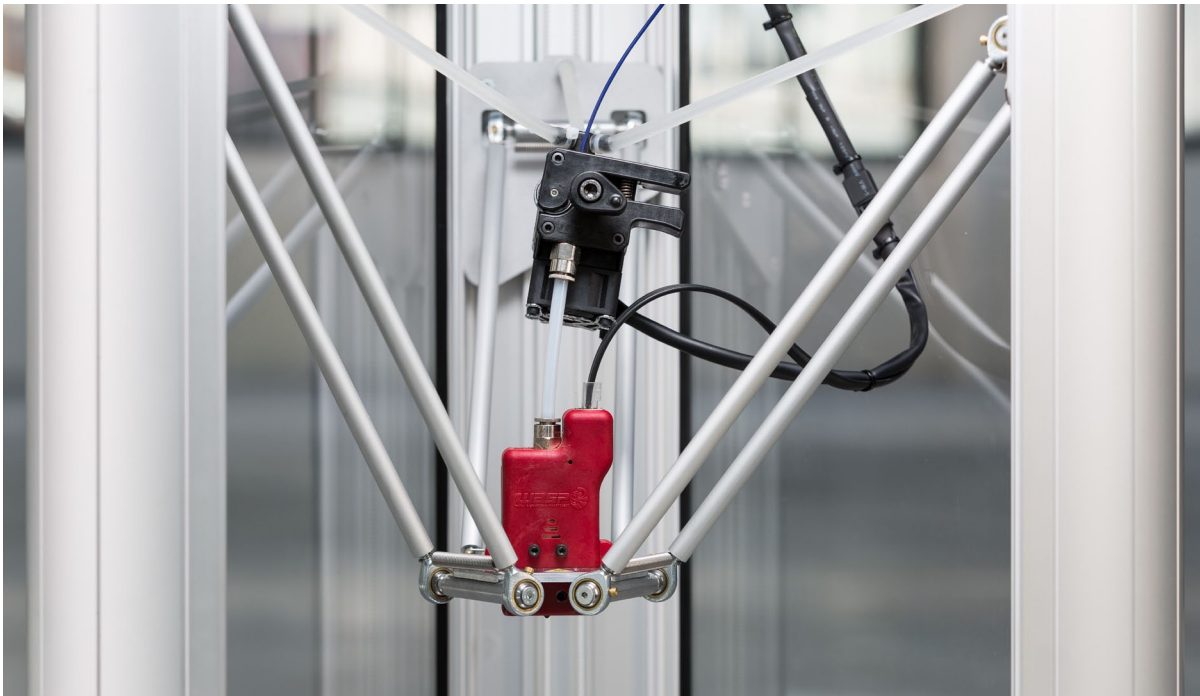
Oltre un certo limite, poi, non è proprio possibile fondere il materiale con sufficiente rapidità. Il filamento da 1,75mm può fondere più **rapidamente** rispetto al 2,85mm in quanto il calore deve attraversare meno spessore, ma la velocità di scorrimento dello stesso all'interno dell'ugello è molto maggiore e annulla in parte il vantaggio del minor diametro.

La "riserva" di materiale fuso in un estrusore alimentato con filamento sottile è inoltre minore a parità di lunghezza della parte calda.

La vera soluzione per superare i limiti degli estrusori a filamento circa i volumi che possono essere estrusi è il passaggio alla tecnologia del **pellet** dove è il meccanismo a vite a controllare il flusso e non più la spinta del filamento solido sulla plastica fusa nella parte calda. A volumi di materiale estruso importanti possono quindi essere abbinati volumi di stampa altrettanto importanti, mantenendo il tempo di stampa degli oggetti nell'ordine di grandezza delle ore; diversamente – con il filamento – oggetti volumetricamente importanti richiedono inevitabilmente decine di ore se non giorni.

## 4. DELTA ROBOT

La geometria che CSP ha scelto di favorire rispetto alla soluzione cartesiana deriva dai **robot industriali delta**. Con una struttura a piramide invertita a base triangolare e la punta su cui è fissato l'estrusore, si può intuire che spostando i tre segmenti che congiungono la punta su tre barre verticali la punta potrà spostarsi nello spazio.



Rispetto alle cartesiane, le delta hanno un **volume di stampa cilindrico** e hanno dimensioni sviluppate verticalmente per poter gestire lo spostamento dei tre bracci che, necessariamente, devono poter essere sollevati della loro lunghezza su ciascuno dei tre pilastri della stampante per raggiungere l'intera area di stampa orizzontale.

Un altro elemento significativo di questa architettura è la mancanza di un asse di spostamento diverso dagli altri due: tutti e tre i bracci si muovono per portare la punta dell'estrusore in una qualsiasi coordinata X, Y e Z del volume di stampa. **Nelle cartesiane, la Z è solitamente diversa da X e Y** sia in termini di precisione, sia di velocità.

Nelle stampanti delta la velocità di movimento è omogenea sui 3 assi, consentendo anche soluzioni che prevedono spostamenti sull'asse Z durante la creazione di ciascun singolo layer senza un incremento del tempo di stampa dell'oggetto. Su una cartesiana invece questo accorgimento inciderebbe significativamente sul tempo di stampa.

## 4.1 Dai centimetri ai metri, una geometria unica per la scalabilità

La distanza fra i tre pilastri, lati del prisma a base triangolare della stampante delta, determina il diametro del volume di stampa cilindrico. Per poter raggiungere tutti i punti di quest'area, la lunghezza dei tre bracci dev'essere proporzionata al diametro di stampa. Di conseguenza la stampante deve essere alta almeno quanto i bracci per avere un'altezza della Z pari a zero e ogni incremento dell'altezza della stampante si traduce immediatamente in un aumento del volume di stampa sull'asse Z.

Sotto il profilo delle masse in gioco, le tre colonne non vengono movimentate, ma sono le guide su cui si spostano i carrelli ai quali sono fissati i bracci e quindi aumentare le dimensioni del volume di stampa impatta solo sulla lunghezza e la distanza delle colonne, assieme alla lunghezza dei bracci.

Dato che sono solo i bracci/carrelli e l'estrusore a muoversi, non si ha lo stesso incremento delle masse in movimento che rende difficoltoso l'ingrandimento delle stampanti cartesiane e infatti l'assortimento di stampanti delta 3D di CSP/WASP spazia dai 20x40 cm fino ai metri senza che il peso delle stampanti aumenti in proporzione diretta e assuma quei valori che ne rendono molto difficile il trasporto.

La contropartita per una simile geometria è una **matematica molto più sofisticata** e necessariamente a virgola mobile per gestire la trigonometria necessaria alla trasformazione delle tre coordinate cartesiane nella posizione dei tre carrelli/vertici sulle tre colonne.

Se il cuore della stampante non ha una potenza di elaborazione adeguata, la matematica dovrà sviluppare calcoli con un numero limitato di decimali e questo porterà a delle approssimazioni nella posizione dei voxel che, per forme regolari

con ampie superfici piane, si traducono in visibili striature nella stampa. Allo stesso modo, velocità di movimento e di stampa elevate richiedono altrettanta potenza.

Il quadro che emerge da questa analisi evidenzia come l'aumento delle dimensioni del volume di stampa sia su X e Y, sia su Z non abbia per questa architettura il medesimo impatto che ha sulle meccaniche delle geometrie cartesiane, ma allo stesso tempo richieda un cuore per l'elaborazione e conversione delle coordinate decisamente più potente rispetto a una cartesiana, anche perché la velocità di movimento può rimanere elevata e paragonabile a quella raggiunta dai modelli più piccoli.

In pratica, **la velocità della stampante** nella movimentazione della testa di estrusione **dipende principalmente dai motori** e dalla scheda che li pilota. In base a questo, è facile capire perché l'assortimento di WASP veda diversi modelli in versione base e Turbo con una meccanica identica e due schede elettroniche di diversa potenza.

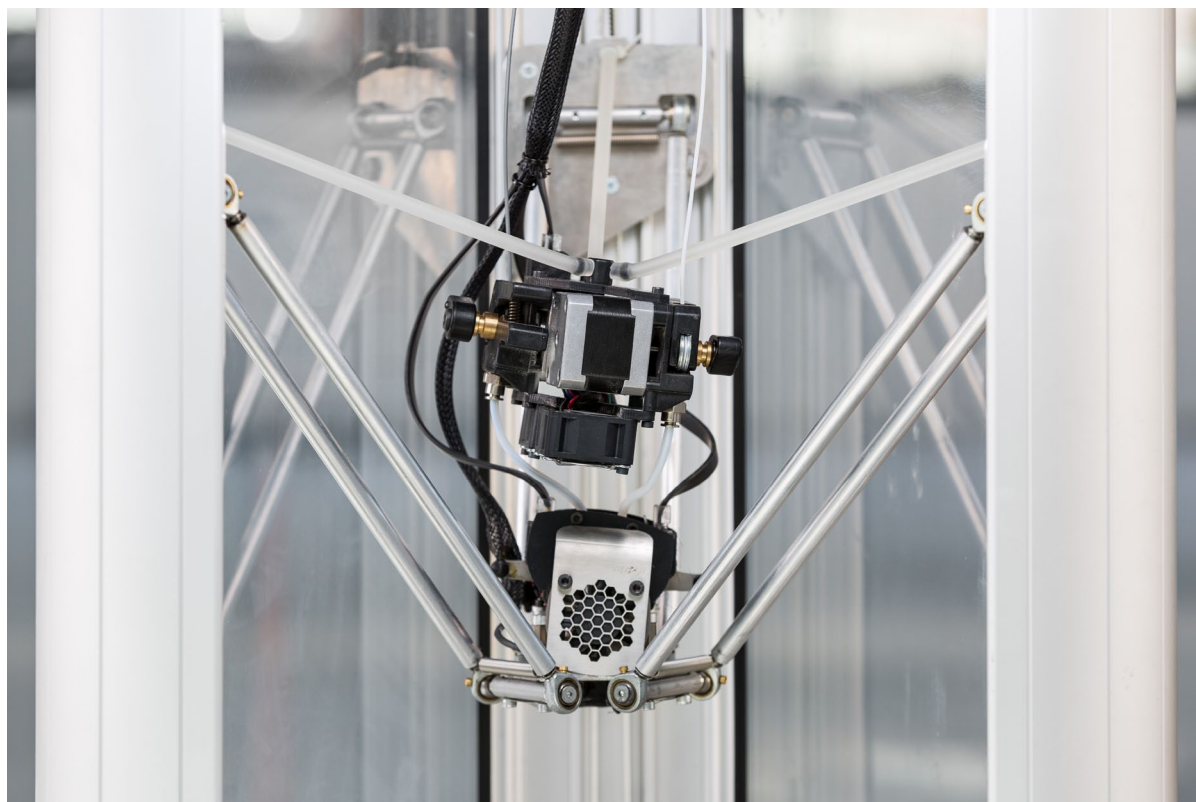
## 4.2 Formati per l'industria

Quando si parla di **stampa 3D per l'industria**, non si può pensare solo alle dimensioni, ma anche i materiali hanno la loro importanza. Le attività di CSP si sono quindi sviluppate sulle direttrici funzionali principali: volume di stampa, tipologia dei materiali e prestazioni della stampante.

Sul primo fronte la particolarità dell'architettura delta ha permesso di proporre i formati dei modelli **60100** (60x100cm) e **3mt** (90x100 cm) nelle versioni industriali con camera termicamente isolata e a temperatura controllata, adatta alla produzione di parti in materiali in cui la ritrazione termica può essere un elemento critico.

Gli estrusori sono anche disponibili per due diversi range di temperature, con e senza camicia interna in teflon, mentre per le applicazioni bimateriale l'estrusore **Zen** rappresenta una soluzione tanto innovativa quanto efficace grazie al **sistema basculante** che evita l'impatto della testina non in uso con il pezzo in stampa, oltre a mantenerne la temperatura grazie a un sistema meccanico di chiusura dell'ugello.

La lista dei materiali tecnici in filamento collaudati su questi modelli Industrial





comprende ASA, PLA, ABS, Flex, HIPS, PETG, TPU, POLIPROPILENE, ABS+PC, NYLON, NYLON+CARBONIO e PMMA (Plexiglass).

Sempre su questa linea è possibile, per i modelli di dimensioni maggiori come la 3MT, montare gli **estrusori a pellet** per realizzare oggetti di grandi dimensioni ed elevata robustezza (ad esempio sedie, sgabelli e altro mobilio) grazie alla significativa dimensione del foro dell'estrusore a cui corrisponde un'altezza del layer significativa, assieme a una larghezza dell'estrusione altrettanto importante.

Ovviamente con questo estrusore non è obbligatorio stampare solo oggetti grandi, ma va tenuto presente che l'estrusore a pellet ha una dimensione dell'ugello tale da rendere **poco sensata la stampa di oggetti che hanno piccoli dettagli** e richiedono layer sottili (sotto il quarto del diametro dell'ugello).



## 4.3 Soluzioni per la protesica e il medicale

Sfruttando le stampanti di dimensioni maggiori come la **Delta WASP 40 70 Industrial** e i filamenti tecnici individuati per la realizzazione di corsetti, protesi e stampi per gli impianti, CSP ha dato vita alla divisione **Wasp MED**. Una serie di applicazioni e un set di strumenti tecnologici sono stati combinati per offrire delle soluzioni verticali e di sperimentata efficacia.

Il **corsetto ortopedico** correttivo ad esempio è una soluzione che combina la scansione 3D alla stampa con materiale flessibile e tenace. Il paziente viene acquisito come modello in scala 1:1, dopodichè il medico ortopedico - attraverso un add-on dedicato per software open source - modella il corsetto secondo le misure del paziente e le esigenze di correzione.

Grazie a un'interfaccia dotata di automatismi e a procedure semplificate lo specialista genera il file di stampa con alcuni accorgimenti che ne garantiscono la precisione e la stabilità della forma durante l'intero processo di stampa, che può essere fra le 20 e le 40 ore a seconda delle dimensioni del paziente.

L'**affidabilità** delle **Delta WASP Industrial** permette, anche grazie alla camera con temperatura controllata, di affrontare stampe di durata significativa con serenità. I meccanismi di controllo del filamento sono poi garanzia di un facile recupero in caso di fine del filamento durante la stampa, superando così anche



gli eventuali imprevisti nei momenti in cui il processo non è presidiato.

Grazie a uno speciale filamento tecnico, Wasp MED è in grado di offrire una soluzione per le protesi impiantabili che porta direttamente in sala operatoria la produzione della protesi. La stampante produce uno stampo che può essere sterilizzato grazie alla resistenza del materiale alle temperature elevate, mentre la sua flessibilità permette di estrarre facilmente l'impianto senza che venga danneggiato.

**Il software** gioca un ruolo importante per la creazione dello stampo: si parte dalle scansioni in formato elettronico del paziente, quindi si crea la forma richiesta per l'impianto e successivamente viene realizzata la struttura attorno allo stesso, con tutti gli elementi che ne permettono da un lato la stampa in materiale flessibile e dall'altro il corretto riempimento con il materiale che - una volta colato e indurito - sarà pronto per essere impiantato.

Per le invasature degli arti inferiori per protesi, la soluzione che Wasp MED sta sviluppando parte dalla scansione del paziente e ricorre a materiali tecnici come i tecnopolimeri per offrire la robustezza e il comfort richiesti per un simile oggetto. L'obiettivo di questa applicazione è **la progettazione** di una invasatura che già **tiene conto degli allineamenti** e delle esigenze di bilanciamento dell'utilizzatore, riducendo il più possibile la realizzazione di prototipi per le approssimazioni successive a cui solitamente viene sottoposta la forma della protesi stessa.

Minore è il numero di questi prototipi e minore sarà l'impegno richiesto al paziente per le prove, oltre a rendere tutto il processo più breve e più economico. Queste sono solo alcune delle soluzioni di sperimentata efficacia che Wasp MED ha messo a punto; altre soluzioni sono in avanzata sperimentazione assieme ad alcune attività di sintesi fra tecnologia e medicina.

# 5. ARCHITETTURA CRANE PER L'EDILIZIA

Stampare in **scala architettonica** richiede stampanti con particolari accorgimenti, che normalmente non sono importanti per la stampa in piccolo formato.

Una stampante in scala architettonica deve potere essere **montata e smontata rapidamente**, deve resistere alle intemperie, deve essere sicura, in particolare in mancanza di corrente non devono cadere carichi, deve avere delle masse in movimento ottimizzate per aumentare le accelerazioni, deve essere più grande dell'oggetto da stampare oppure deve essere modulare, deve essere stabile in particolare per far fronte a vento e agenti atmosferici esterni.

L'estrusore deve essere adatto ai singoli materiali. Ogni materiale infatti richiede accorgimenti adeguati, materiali caricati con fibre più o meno lunghe cambiano il sistema di caricamento dell'estrusore.

Prima di tutto, però, una stampante per edilizia deve **stampare a terra**, mentre normalmente le stampanti stampano su piatti di stampa rimovibili.



Tutti questi accorgimenti sono inseriti nella nuova stampante **CRANE WASP**. Si tratta di una evoluzione della Big Delta WASP, la stampante in configurazione delta che ha guidato la ricerca di CSP per anni. Il modello delta è stato abbandonato perché la stampante per potere stampare a una altezza di 5 metri doveva essere alta almeno 12 metri.

Questa altezza portava a problemi di stabilità in caso di vento e rendeva impossibile coprire l'area di lavoro, cosa che si rende necessaria in molte situazioni climatiche di caldo intenso, freddo, o umidità.

La CRANE WASP, inoltre, è una **stampante modulare** che nasce e si sviluppa sulla costruzione assumendo le forme e le estensioni necessarie a costruire qualsiasi abitazione in libertà di forma (tondeggiante o squadrata) e dimensione.



Le numerose prove fatte per la realizzazione di una stampante adatta all'edilizia - caratterizzata dalle **dimensioni nell'ordine dei metri** - hanno portato CSP alla sperimentazione di una geometria diversa dalle precedenti e **più simile a quella di una gru**. Questa stampante usa un braccio imperniato sulla guida posta al centro per portare l'estrusore in qualsiasi punto della sua area utile.

Come per le delta, anche la CRANE WASP copre la maggiore area, **ha un'area di stampa circolare** ma può stampare qualsiasi forma ed è stata progettata per poter essere utilizzabile in modo collaborativo (più stampanti) su modulo esagonale. La leggerezza delle strutture a traliccio assieme all'essenzialità delle parti in movimento rendono questa stampante di facile trasporto, montaggio e utilizzo.

A differenza della Big Delta WASP, la CRANE WASP utilizza un innovativo sistema di estrusione che porta sul punto di stampa solo l'ugello, tenendo la parte di pompaggio e caricamento a terra. Con questo accorgimento le masse in movimento sono ridotte e il processo di carica del materiale può essere svolto con continuità in un'unica tramoggia, senza interrompere la stampa. La compatibilità è con tutti i materiali viscosi quali le argille, i cementi densi e le mescole terrose.

In termini di misure, il team di sviluppo ha scelto dimensioni che permettono a una singola persona di svolgere le attività di preparazione del materiale, caricamento e gestione della macchina stessa. Con un **diametro di 6,6 metri**, calcolando lo spessore delle pareti che verranno stampate, CRANE WASP può realizzare moduli abitativi circolari con 26 mq calpestabili e un'**altezza delle pareti di 3 metri** con ogni modulo di stampa, ma può sincronizzare i movimenti di indefiniti moduli risolvendo di fatto il problema della dimensione di stampa.

## 5.1 Meccanica semplice per il grande formato in cemento o terra con fibre vegetali

Ricordando sempre l'approccio di CSP - ovvero la realizzazione di elementi abitativi a basso costo, con il minor impatto possibile in termini di utilizzo delle risorse, basso impatto ambientale e sostenibilità - tutto il processo di produzione ed estrusione è stato ideato per gestire materiali che vanno oltre il cemento tradizionale e sfruttano quello che è disponibile sul sito di costruzione per l'impasto con fibre vegetali da reperire in prossimità e - ove possibile - dagli scarti della produzione agricola locale.

Per consentire la preparazione del materiale da estrarre in ambiti territoriali diversi, sono state elaborate diverse "ricette" che consentono l'impiego di una buona varietà di terre e di vegetali senza perdere di qualità nel risultato finale attraverso un processo di compensazione per mantenere il risultato in un intervallo ottimale.

Indispensabile è comunque l'aggiunta di piccole quantità di materiali tradizionali per ottenere la conservazione piuttosto che l'irrobustimento del materiale estruso.

## 6 Tecnologia a confronto

	AREA DI STAMPA	MATERIALI	DIAMETRO FILAMENTO	DIAMETRO UGELLO
<b>Delta WASP 4070 Industrial</b>	Ø 40cm X 70cm	PLA, ABS, PVA, HIPS, PP, PA carbonio	1.75mm	0.4mm / 0.7mm / 1.2mm
<b>Delta WASP 60100</b>	Ø 60cm X 100cm	PLA, ABS, PETg, PP, PA carbonio	1.75mm	0.4mm / 0.7mm / 1.2mm
<b>Delta WASP 40100 Clay</b>	Ø 40cm X 100cm	Porcellana, Gres, Terraglia, Refrattario...	impasto	2mm, 4mm, 6mm, 8mm
<b>Delta WASP 3MT Industrial</b>	Ø 100cm X 100cm	PLA, ABS, PETg, PP, PA carbonio, TPU	1.75mm granulo	0.4mm / 0.7mm / 1.2mm 3mm
<b>Crane WASP</b>	Ø 660cm X 300cm	Cemento, Argilla	impasto	25mm
<b>Delta WASP 12MT</b>	Ø 500cm X 500cm	Cemento, Argilla	impasto	50mm

Maggiori informazioni:  
[www.3dwasp.com](http://www.3dwasp.com)  
[info@3dwasp.com](mailto:info@3dwasp.com)  
 Tel.: 0545 87858



Scritto da Simone Majocchi per CSP Srl