

*Manuale*

**Stampa 3D basata su ECVET  
curriculum e formazione  
modulo di educazione  
tecnologica automotive**

*sviluppato nel quadro del progetto intitolato*

**Stampa 3D compatibile con ECVET  
moduli di formazione per  
tecnologie automobilistiche**

*acronimo*

**3D4AUTO**

*azione n.*

**2021-1-SK-KA220-VET-000034617**

# INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA DI STAMPA 3D NEL SETTORE AUTOMOTIVE</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Storia della stampa 3D</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>La stampa 3D nella tecnica automobilistica</b>	<b>5</b>
<b>1.3</b>	<b>Utilizzo della stampa 3D nel processo educativo</b>	<b>6</b>
<b>1.4</b>	<b>Possibile sviluppo delle capacità dello studente in preparazione alla pratica</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>COMPONENTI DELLA STAMPANTE</b>	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Parti meccaniche</b>	<b>12</b>
2.1.1	Estrusore	12
2.1.2	Letto di stampa	13
2.1.3	Hot Ends	14
2.1.4	Filamenti	15
2.1.5	Ingranaggi	17
2.1.6	Cartuccia riscaldante	18
2.1.7	Termistore	19
2.1.8	Ugello	19
2.1.9	Ventola di raffreddamento	20
2.1.10	Asse X-Y-Z	21
2.1.11	Finecorsa	22
2.1.12	Viti di manovra	22
2.1.13	Cinghie	23
2.1.14	Motore passo-passo	24
<b>2.2</b>	<b>Componenti elettrici</b>	<b>25</b>
2.2.1	Alimentazione	25
2.2.2	Schede madri	26
2.2.3	Slot per schede SD	27
2.2.4	Driver per i motori passo-passo	27
2.2.5	Schermo e interfaccia utente	28
<b>3</b>	<b>CREAZIONE DI OGGETTI IN UN AMBIENTE VIRTUALE</b>	<b>29</b>



<b>3.1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>29</b>
<b>3.2</b>	<b>Disegno 3D</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Software OnShape</b>	<b>30</b>
<b>3.4</b>	<b>Creare una parte/oggetto su OnShape</b>	<b>30</b>
<b>3.5</b>	<b>Tecniche di disegno</b>	<b>38</b>
3.5.1	Fare angoli arrotondati in disegni 2D e 3D	39
3.5.2	Disegno del modello circolare	42
<b>3.6</b>	<b>Introduzione a STL</b>	<b>47</b>
<b>3.7</b>	<b>Ultimaker Cura Software</b>	<b>48</b>
<b>3.8</b>	<b>Importazione dei file STL e slicing in Ultimaker Cura</b>	<b>49</b>
<b>3.9</b>	<b>Conclusione</b>	<b>52</b>
<b>4</b>	<b>TECNICHE DI SLICING</b>	<b>54</b>
<b>4.1</b>	<b>Slicing uniforme</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>Effetto scala</b>	<b>58</b>
<b>4.3</b>	<b>Slicing adattivo</b>	<b>60</b>
<b>4.4</b>	<b>Slicing a strati curvi</b>	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>Slicing diretto</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>UTILIZZO DELLE TECNICHE DELLA STAMPANTE 3D</b>	<b>66</b>
<b>5.1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>66</b>
<b>5.2</b>	<b>Tecnologie di stampa: stampa a base liquida</b>	<b>67</b>
5.2.1	Fotopolimerizzazione - Stereolitografia (SL)	67
<b>5.3</b>	<b>Polimerizzazione: Dispositivi di stereolitografia (SL)</b>	<b>68</b>
5.3.1	Base specifica per la macchina	68
5.3.1.1	Stereolitografia laser	68
5.3.1.1.1	Principio della generazione di strati	69

5.3.2	Vantaggi della stereolitografia	73
5.3.3	Svantaggi della stereolitografia	74
<b>5.4</b>	<b>Tecnologie di stampa: stampa a base di polveri</b>	<b>75</b>
5.4.1	Fusione e solidificazione di polveri e granuli: Sinterizzazione laser (LS)	75
5.4.2	Principio della generazione di strati	76
5.4.2.1	Design	77
5.4.2.2	Post-elaborazione	78
5.4.2.3	Processi di follow-up	81
<b>5.5</b>	<b>Tecnologie di stampa: stampa a estrusione</b>	<b>81</b>
5.5.1	Processi di estrusione	81
5.5.1.1	Processi di estrusione	82
5.5.2	Vantaggi e svantaggi dei processi di estrusione	83
5.5.2.1	Vantaggi	83
5.5.2.2	Svantaggi	84
5.5.3	Descrizione del processo	84
5.5.3.1	Principio della generazione di strati	85
<b>5.6</b>	<b>Bibliografia</b>	<b>88</b>
<b>6</b>	<b>MATERIALI PER LA STAMPA 3D</b>	<b>89</b>
<b>6.1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>89</b>
<b>6.2</b>	<b>Materie Plastiche</b>	<b>89</b>
6.2.1	Acido polilattico (PLA)	90
<b>6.3</b>	<b>Acrilnitrile butadiene stirene (ABS)</b>	<b>91</b>
6.3.1	Alcool polivinilico (PVA)	91
6.3.2	Policarbonato (PC)	92
<b>6.4</b>	<b>Polveri</b>	<b>92</b>
6.4.1	Poliammide (Nylon)	93
6.4.2	Allumina	93
<b>6.5</b>	<b>Resine</b>	<b>93</b>
<b>6.6</b>	<b>Metalli</b>	<b>95</b>
<b>6.7</b>	<b>Fibra di carbonio</b>	<b>96</b>



<b>6.8</b>	<b>Grafite e grafene</b>	<b>97</b>
<b>6.9</b>	<b>Legno</b>	<b>98</b>
<b>6.10</b>	<b>HIPS</b>	<b>98</b>
<b>6.11</b>	<b>PETG</b>	<b>99</b>
<b>6.12</b>	<b>Materiali di stampa 3D a confronto</b>	<b>101</b>
<b>6.13</b>	<b>Riferimenti</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>FILE STL PER L'EDUCAZIONE ALLA TECNOLOGIA AUTOMOBILISTICA</b>	<b>104</b>
<b>7.1</b>	<b>Strumento di rimozione del filtro dell'olio</b>	<b>104</b>
7.1.1	Impostazioni di stampa	105
<b>7.2</b>	<b>Clip di spinta del perno /Spingi rivetto</b>	<b>105</b>
7.2.1	Impostazioni di stampa	106
<b>7.3</b>	<b>Connettori</b>	<b>106</b>
7.3.1	Impostazioni di stampa	108
<b>7.4</b>	<b>Misuratore per le scanalature dello pneumatico</b>	<b>109</b>
7.4.1	Impostazioni di stampa	109
<b>7.5</b>	<b>Supporto del relè</b>	<b>110</b>
7.5.1	Impostazioni di stampa	111
<b>7.6</b>	<b>Strumento per la rimozione delle rifiniture</b>	<b>111</b>
7.6.1	Impostazioni di stampa	112
<b>7.7</b>	<b>Strumento per i fusibili</b>	<b>112</b>
7.7.1	Impostazioni di stampa	113
<b>7.8</b>	<b>Scatola del cambio</b>	<b>114</b>
7.8.1	Componenti utilizzati:	114
7.8.2	Impostazioni di stampa	115
<b>7.9</b>	<b>Differenziale automobilistico</b>	<b>115</b>
7.9.1	Impostazioni di stampa	117
<b>7.10</b>	<b>Risorse:</b>	<b>118</b>



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

<b>8</b>	<b>TEST DI VALUTAZIONE</b>	<b>119</b>
<b>8.1</b>	<b>Unità 1 Test di valutazione</b>	<b>119</b>
<b>8.2</b>	<b>Unità 2 Test di valutazione</b>	<b>121</b>
<b>8.3</b>	<b>Unità 3 Test di valutazione</b>	<b>124</b>
<b>8.4</b>	<b>Unità 4 Test di valutazione</b>	<b>126</b>
<b>8.5</b>	<b>Unità 5 Test di valutazione</b>	<b>129</b>
<b>8.6</b>	<b>Unità 6 Test di valutazione</b>	<b>131</b>
<b>8.7</b>	<b>Unità 7 Test di valutazione</b>	<b>134</b>

# 1 INTRODUZIONE ALLA TECNOLOGIA DI STAMPA 3D NEL SETTORE AUTOMOTIVE

## *1.1 Storia della stampa 3D*

La stereolitografia, comunemente conosciuta come stampa 3D, esiste dagli anni '80. I pionieri la chiamavano tecnologia di prototipazione rapida, dal quale è derivato il termine stampa 3D. Anche se la stampa è solo una parte del processo, molti preferiscono usare il termine "stampa 3D" quando si parla, in maniera generale, di queste tecnologie tecnologia.

All'inizio degli anni '80, poche persone erano in grado di comprendere l'incredibile potenziale di questa tecnologia. In quel periodo, per la prima volta, si è fatto ricorso a questo processo come un modo economico per creare dei prototipi in specifici settori industriali.

L'avvocato giapponese Hideo Kodama è stato il primo a depositare un brevetto per la tecnologia di prototipazione rapida. Sfortunatamente per lui, le autorità respinsero la sua richiesta. Perché? Perché Kodama, nel maggio del 1980, non rispettò il limite massimo di un anno per la sottomissione della domanda, non riuscendo a depositare in tempo le richieste complete per il brevetto. Considerando che il dottor Kodama era un avvocato specializzato in brevetti, il suo non rispettare le scadenze è stato ancora più imbarazzante.

Quattro anni dopo, il team francese di ingegneri del dottor Kodam decise di utilizzare la stessa tecnologia. Nonostante fossero molto interessati alla stereolitografia, dovettero presto abbandonare la loro missione poiché non c'era un concreto interesse commerciale nella stampa 3D. Ma questa non era la fine.

L'inizio della diffusione massiva tecnologia della stampa 3D può essere collocato a ridosso del 2009. La ragione principale per cui questo anno è così importante deriva dal fatto che ricorreva in quell'anno la scadenza del brevetto relativo alla tecnologia di stampa 3D FDM (FFF), e parallelamente al miglioramento della potenza di calcolo dei computer, ai software di controllo numerico avanzati ed allo sviluppo di nuovi materiali.

Nel 1986, Charles Hull ha registrato con successo il primo brevetto per la stereolitografia (una delle tecnologie di stampa 3D in cui la resina fotosensibile è polimerizzata dalla luce UV). È stato anche il primo a inventare una macchina funzionale per questa tecnologia nel 1992. Questa macchina era in grado di stampare oggetti fisici sulla base di un input digitale. Questa è stata probabilmente la pietra miliare più importante per la stampa 3D. Charles ha poi fondato la 3D Systems Corporation. Un anno dopo, fu costruita la prima stampante 3D per la tecnologia SLS (sinterizzazione laser).

Nel 1989, Scott Crump e sua moglie Lisa Crump hanno inventato la tecnologia di stampa 3D FFF (FDM) la più usata oggi, dove un filamento in materiale termoplastico viene fuso e depositato in strati. La nascita di questo concept è molto curiosa; I coniugi Crump provarono a fare una rana di plastica per sua figlia con una pistola termica per colla utilizzando una miscela di polietilene e cera. Dopo numerosi tentativi tutti risultati fallimentari, decisero di automatizzare il processo di produzione in modo da applicare strati sottili uno sull'altro. I Crump hanno poi fondato la società Stratasys.

Nel 2004, Adrian Bowyer, un insegnante di ingegneria meccanica all'Università di Bath in Inghilterra, ha fondato il progetto open-source RepRap con lo scopo di realizzare mediante la stampa 3D di ricambio; questo progetto ha accelerato notevolmente lo sviluppo e la diffusione delle stampanti 3D. Allo stesso modo, anche la società ceca Prusa Research è stata creata sulla base del libero accesso alla tecnologia ed all'hardware.



*Figura 1-1 - xyzprint.eu*



Nel 2009, come detto, i brevetti per la tecnologia FDM (FFF) sono scaduti, il che ha permesso un forte calo dei prezzi e quindi un'espansione di massa di questa tecnologia con beneficio per gli utenti finali.

Il passaggio al secondo millennio ha sancito una data storica per la stampa 3D in quanto, per la prima volta, è stato impiantato su di un essere umano il primo organo realizzato ricorrendo a questa tecnologia. I ricercatori del Wake Forest Institute for Regenerative Medicine hanno estruso una versione sintetica della vescica umana e l'hanno rivestita di cellule umane. Il tessuto formato seguendo questa procedura è stato poi impiantato nei vari pazienti con la certezza che i casi di rigetto da parte del loro sistema immunitario sarebbero stati pochi o nessuno in quanto il tessuto era stato realizzato utilizzando le loro stesse cellule. Dal punto di vista medico, è stato un grande decennio nella storia della stampa 3D.

In soli dieci anni, scienziati di varie istituzioni e start-up hanno creato reni funzionanti in miniatura, hanno costruito una gamba protesica con parti dalla geometria complessa che sono state estruse direttamente all'interno della stessa struttura, o una stampa biologica dei primi vasi sanguigni creati utilizzando solo cellule umane. È stato anche un decennio in cui la stampa 3D si è spostata nella categoria delle tecnologie open-source. Adrian Bowyer ha lanciato il progetto RepRap nel 2005, un'iniziativa open-source che permetteva di creare una stampante 3D che poteva essere costruita da ogni utente stampando in maniera autonoma la maggior parte delle proprie componenti. Nel 2008, è stata presentata la stampante Darwin auto-replicante.

Improvvisamente, le persone di tutto il mondo hanno avuto l'opportunità di creare gli oggetti che desideravano. Questo successo è attribuibile anche al progetto Kickstarter, iniziato nel 2009, e da allora ha ricevuto finanziamenti per numerosi progetti riguardanti la stampa 3D. Verso la metà del 2010, i nuovi approcci alla produzione erano già in grado di soddisfare le richieste dei clienti per le loro soluzioni supportando anche l'idea della personalizzazione di massa dei prodotti. Il primo impianto SLS è diventato commercialmente fattibile nel 2006, aprendo la porta alla produzione industriale su richiesta.

La start-up Object (ora fusa con Stratasys) focalizzata sulla stampa 3D ha creato una macchina che potrebbe stampare da più materiali, permettendo la produzione di un unico prodotto in diverse versioni con diverse proprietà dei materiali.

Il culmine delle innovazioni in questo decennio è stato il lancio della cosiddetta produzione collaborativa, come Shapeways, un mercato basato sulla stampa 3D dove i designer possono ottenere feedback dai consumatori e da altri designer per la fabbricazione dei loro prodotti.

Se osserviamo quello che è accaduto negli ultimi anni e facciamo un raffronto con le tecnologie disponibili nel presente, non saremmo lontani dalla verità se dicessimo che la tecnologia ci ha catapultato nel futuro. Beh, quasi. Mentre il prezzo delle stampanti 3D è sceso rapidamente e la precisione della stampa 3D è migliorata, gli innovatori stanno portando miglioramenti che Ch. Hull poteva solo sognare. I designer non sono più limitati a stampare con la plastica. Oggi, è possibile stampare l'anello di fidanzamento dei vostri sogni in oro o argento. KOR Ecologic ha presentato la Urbee, un'auto con una carrozzeria realizzata con la stampa 3D, costruita in modo da avere un'autonomia di 85 km/litro in autostrada.

Oltre ai gioielli e agli aerei, la stampa 3D è ora utilizzata per produrre alloggi a prezzi accessibili per le zone del mondo in via di sviluppo; i visionari hanno iniziato a utilizzare la tecnologia per spingere l'innovazione in ogni campo, dalle braccia robotiche intelligenti, alle protesi ossee, ed anche a nano-componenti con spessori di qualche atomo (per la produzione di sistemi elettronici e batterie di piccole dimensioni). Chiunque pensi che la stampa 3D sia solo la realizzazione di piccoli oggetti dovrebbe cambiare idea in quanto gli ingegneri dell'Università di Southampton, in Inghilterra, hanno realizzato e testato con successo il primo aereo senza pilota funzionante realizzato con la stampa 3D.

Il costo totale si è attestato ad una cifra inferiore ai 7.000 dollari.

2013: Sapevate che la tecnologia di stampa 3D è diventata un successo dopo che è stata menzionata dal presidente degli Stati Uniti nel suo discorso? In un suo discorso nel 2013, Barack Obama ha elogiato la stampa 3D sostenendo che essa ha "il potenziale per rivoluzionare tutto ciò che facciamo".

La società svedese Cellink lancia la prima stampante commerciale per biodiesel. È realizzata con un materiale ottenuto da alghe marine chiamato alginato di nano cellulosa, e il biodiesel può essere usato per stampare la cartilagine dei tessuti.

Il primo prodotto di Cellink aveva un prezzo per ricarica di 99 per ricarica. Nello stesso anno, l'azienda ha anche venduto una stampante al prezzo di 4.999 dollari. L'ultima novità

dell'azienda è la stampante BIO X, che ha un prezzo di 40.000 dollari. Grazie a questi prodotti, la stampa 3D bio sta diventando una tecnologia più accessibile per i ricercatori di tutto il mondo.

Tre avvenimenti importanti, casuali ed inaspettati sulla stampa 3D: La NASA è uno dei principali sostenitori della stampa 3D - dal cibo alla prima stampante 3D senza peso nello spazio. C'è una stampante 3D (Photonic Professional GT) sul mercato che può creare oggetti che hanno dimensioni comparabili a quelle del capello umano. Louis DeRosa ha usato una 3Doodler - una penna 3D - per creare un drone funzionante a sei motori.

## ***1.2 La stampa 3D nella tecnica automobilistica***

I prossimi anni porteranno sicuramente altre scoperte e traguardi rivoluzionari che porteranno ad un adattamento ancora più veloce della stampa 3D a tutti i contesti produttivi. Tuttavia, i metodi di produzione convenzionali come la tornitura, la fresatura, il taglio, la rettifica, la foratura e così via non scompariranno così rapidamente. Potrebbero essere ancora qui per centinaia di anni, anche se i loro tassi di utilizzo diminuiranno più rapidamente.

Allo stato attuale, la stampa 3D è usata principalmente per la produzione di parti in plastica con dimensioni massime inferiori a 200x200x200mm (tecnologia FFF/FDM). A causa della relativa bassa precisione e del relativamente elevato tempo di produzione, si configura come una tecnica di produzione di pezzi in piccole serie.

Al giorno d'oggi, la stampa 3D ha guadagnato terreno principalmente nelle seguenti aree:

- Materiale scolastico
- Dispositivi funzionali
- Parti metalliche funzionali
- Prodotti personalizzati
- Prodotti di design

È importante menzionare che, in generale, l'additive manufacturing additiva presenta, rispetto alle altre tecnologie di produzione, minori limitazioni tecnologiche e di forma. In pratica, questo si traduce semplicemente nella possibilità di poter produrre quello che non era possibile

produrre 20 anni fa, il che apre possibilità per lo sfruttamento di questa tecnologia completamente nuove.

Il principale vantaggio della "modellazione libera" è la cosiddetta ottimizzazione topologica, attraverso la quale si ottiene un design organico e leggero.

Uno dei fattori nella scelta della tecnologia di produzione è sempre stato l'aspetto economico; ma, in specifici ambiti, la flessibilità del processo produttivo è di fondamentale importanza. Sotto questo punto di vista, l'additive manufacturing è il chiaro vincitore nei confronti di tutti gli altri processi produttivi. Rispetto allo stampaggio ad iniezione di termoplastici, dove si produce il primo pezzo dopo circa 8-12 settimane, la durata del processo di produzione è incomparabilmente più breve. Nei prossimi anni, sarà sempre più importante produrre rapidamente, con qualità e su misura.



*Figura 1-2 - nextech.sk*

Consideriamo la personalizzazione di massa dei prodotti come l'uso principale della stampa 3D. L'esiguo numero di oggetti da produrre farà conseguire che il costo totale di produzione sarà più alto rispetto alle grandi serie. Pertanto, il cliente finale paga un extra. Questi costi sono principalmente da imputare al tempo del designer per preparare il modello ed impostare correttamente i parametri della macchina. A questo si aggiungono il costo di utilizzo della macchina per tutto il tempo di produzione, il prezzo del materiale ed eventualmente la lavorazione finale del prodotto.

### ***1.3 Utilizzo della stampa 3D nel processo educativo***

L'educazione tecnica si occupa dell'utilizzo delle tecnologie di produzione e di come le nuove aree in cui si muove la scienza possano applicarsi. Cerca di rendere fruibili la comprensione e l'applicazione pratica dei principi di base della scienza. L'educazione tecnica mira a preparare laureati in discipline scientifiche o tecniche. Nell'ambito della formazione è possibile stampare vari supporti all'attività didattica e risorse attraverso la stampa 3D per rendere più efficiente ed aiutare l'insegnamento. Negli istituti tecnici secondari, la stampa 3D è utile in varie materie, come gli strumenti per la logistica dei prodotti, i veicoli stradali e la loro diagnostica in ingegneria elettrica ed elettronica.

Quando si tratta della connessione tra la tecnologia 3D e l'istruzione, negli Stati Uniti si fa riferimento principalmente alla MakerBot Academy nata come un'iniziativa per lo sviluppo dell'istruzione e lo sviluppo delle conoscenze in scienza, tecnologia e matematica. La piattaforma menzionata serve a creare contenuti educativi interessanti per gli studenti delle scuole e per la formazione degli insegnanti con l'obiettivo di rendere disponibili i concetti per lavorare con la stampa 3D. La MakerBot Academy si è posta come obiettivo, nel prossimo futuro, quello di fornire una stampante 3D ad ogni scuola. Si tratta principalmente di preparare gli studenti per il futuro attraverso gli insegnanti nel campo della tecnologia. Le stampanti MakerBot hanno spostato il 3D verso il sistema educativo. L'intero sistema di collegamento tra la stampa 3D e le scuole serve a far conoscere e imparare ai bambini a lavorare con le nuove tecnologie. Si tratta di un processo graduale di lavoro con le tecnologie dal semplice lavoro su progetti 3D attraverso l'utilizzo di vari software di stampa 3D per creare i propri progetti 3D.

L'introduzione della tecnologia della stampa 3D nell'istruzione e nella formazione ha diversi aspetti positivi. Uno di questi è senza dubbio preparare gli studenti ad acquisire e le competenze necessarie per le carriere future e la possibile focalizzazione su ulteriori studi.

Per combinare l'educazione e la tecnologia 3D, è necessario creare un curriculum generale, il cui scopo sarà quello di familiarizzare con il processo di lavoro con i ragazzi della scuola superiore. Gli studenti impareranno il controllo di vari software e anche il processo di lavoro nella stampa 3D.



*Figura 1-3 - spsd.ba*

Secondo questo curriculum, la preparazione degli studenti della scuola secondaria è relativa agli studenti dai 14 ai 18 anni. Il curriculum della scuola superiore si concentrerà sulle competenze necessarie per utilizzare una stampante 3D. Per gli studenti delle scuole superiori, è anche possibile utilizzare tecniche più complesse nell'insegnamento, come l'uso di un riempitore o il lavoro con una stampante 3D con diverse temperature. Il piano si concentrerà anche sulla generazione di contenuti 3D per la stampa.

Anche se un certo numero di programmi sono stati creati per sostenere le scuole in modo che possano lavorare con la stampa 3D, i problemi di introduzione nell'istruzione sono principalmente finanziari. Anche la mancanza di competenze specifiche necessarie a lavorare con una stampante 3D rappresenta un problema. Questo crea dei limiti alla diffusione di questi concetti e quindi impedisce l'uso delle stampanti 3D nell'educazione. La stampa 3D nell'ambiente scolastico è uno dei modi innovativi per rendere lo studio più piacevole e rendere l'insegnamento più efficiente. Il progresso tecnologico sta avanzando sempre più nella scienza e nella tecnologia fornendo nuove soluzioni e nuovi prodotti soprattutto nell'industria automobilistica. Al giorno d'oggi, le tecnologie diventano sempre più diffuse, per cui diventa intelligente sfruttare le opportunità che mettono a disposizione. In pochi anni, la connessione dell'insegnamento tradizionale con le tecnologie, ed in particolare con la stampa 3D, diventerà una parte consueta dell'insegnamento. All'interno dell'istruzione nell'ambito automotive, si creerà nel tempo un dipartimento focalizzato sulle tecnologie 3D, che svilupperà la conoscenza della stampa 3D nei bambini e li preparerà per le innovazioni.

## ***1.4 Possibile sviluppo delle capacità dello studente in preparazione alla pratica***

L'industria automobilistica affronta diverse richieste su tutti i fronti: la domanda di veicoli più nuovi e più potenti, così come la necessità di ottimizzare la produzione e snellire le catene di fornitura e la logistica. Una delle tecnologie che aiuta a rispondere a queste sfide è la stampa 3D. La stampa 3D industriale, in altre parole la produzione additiva, è sempre più utilizzata in diversi settori dell'industria automobilistica.

La tecnologia di stampa 3D porta diverse possibilità, dalla produzione di prototipi rapidi alla produzione sempre più diffusa di pezzi di ricambio o interni. L'inclusione della produzione additiva può avere un effetto positivo, per esempio, nello sviluppo e nella produzione di veicoli. Offre una rapida disponibilità di componenti, la loro costruzione flessibile e la possibilità di produrre componenti senza strumenti impegnativi.

I componenti di stampa 3D sono utilizzati sul corpo del veicolo e nell'abitacolo e possono essere caratterizzati da un'alta funzionalità e resistenza. Le parti metalliche sono prodotte tramite fusione laser. Nella produzione, i componenti metallici realizzati con la stampa 3D vengono aggiunti alle carrozzerie dei veicoli utilizzando un processo quasi completamente automatizzato.

La fase in cui la produzione additiva può essere utilizzata nella produzione di componenti viene identificata in una fase iniziale dello sviluppo delle automobili. Sia i progettisti che gli esperti ricercano centinaia di componenti concentrandosi sui benefici economici della nuova tecnologia e sui vantaggi di peso e forma che questa tecnologia è in grado di portare rispetto ai componenti fabbricati in modo convenzionale.

I componenti per la stampa 3D sono selezionati sulla base di diversi criteri e requisiti, che vengono poi tradotti in linguaggio macchina.

I componenti che non potevano essere fabbricati prima vengono creati usando il design generativo, che utilizza algoritmi informatici per sviluppare rapidamente i componenti. Esperti e computer lavorano insieme per creare componenti che possono fare sfruttare al meglio i materiali nella produzione. Diversi usi sono possibili solo sulla base del design generativo e

della tecnologia di stampa 3D, che sono adatti a creare forme e strutture specifiche; caratteristiche, queste, che li rendevano non realizzabili con metodi e strumenti convenzionali.

Il design generativo ha ottimizzato la forma dei componenti migliorando le geometrie e la funzionalità in maniera significativa. I componenti sono circa il 50% rispetto ai componenti prodotti mediante le tecnologie convenzionali. Di conseguenza, possono sfruttare al meglio lo spazio disponibile, come nel caso del montante del cofano del bagagliaio.

La casa automobilistica di rilevanza mondiale Volkswagen ha incorporato le stampanti HP Metal Jet 3D nel suo piano di progettazione e produzione a lungo termine nel 2018. Il risultato della cooperazione tra HP e Volkswagen è la possibilità di una produzione in volume veloce di componenti personalizzati, portachiavi personalizzati ed etichette con i nomi delle linee di modelli. Tuttavia, la cooperazione non finisce qui. Il loro piano di produzione a lungo termine prende in considerazione la tecnologia HP Metal Jet nella produzione delle parti funzionali più sollecitate con requisiti di progettazione demandanti, come i pomelli delle leve di comando e i supporti dei retrovisori. Con l'ingresso delle auto elettriche nella produzione su larga scala, si prevede che HP Metal Jet troverà ulteriore impiego, ad esempio, nell'alleggerimento delle parti metalliche con certificazione di sicurezza.

Un'auto è composta da circa sei-ottomila parti. Il grande vantaggio della tecnologia additiva come HP Metal Jet è che si possono fare molte di queste parti senza dover prima adattare le linee di produzione.

Accorciando il ciclo di produzione, è possibile elaborare un maggior volume di pezzi molto rapidamente. Ecco perché la nuova piattaforma HP Metal Jet per l'intero settore è un enorme balzo in avanti, che alza ancora un po' l'asticella e offre ai clienti prodotti e innovazioni migliori.

Secondo Martin Goede, responsabile della pianificazione e dello sviluppo tecnologico alla Volkswagen, "La nostra visione per l'industrializzazione della produzione additiva sta rapidamente diventando una realtà con HP Metal Jet e sta cambiando il gioco per l'industria automobilistica. Il ritmo di innovazione e le capacità tecnologiche avanzate di HP hanno superato le nostre aspettative. Raggiungiamo i nostri obiettivi e identifichiamo e sviluppiamo attivamente componenti funzionali per la produzione."

Siamo ancora lontani dalla completa produzione di auto ricorrendo a tecnologie di stampa 3D, ma i loro produttori stanno gradualmente fissando dei punti saldi che contribuiscono a





Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

raggiungere questo obiettivo. L'esempio di BMW e Volkswagen non è chiaramente l'unico sul mercato. Chissà dove andremo tra un anno. Ora sono solo i piccoli passi che migliorano il processo di produzione.

## 2 COMPONENTI DELLA STAMPANTE

### 2.1 Parti meccaniche

#### 2.1.1 Estrusore

Per molti, la stampa 3D è una macchina da tavolo che utilizza un processo chiamato Fused Filament Fabrication (FFF) o Fused Deposition Modeling (FDM) a seconda dei diversi approcci alla stampa 3D.

Generalmente, FDM comporta l'estrusione di un filo di materiale su un blocco di metallo attraverso un ugello. Il filamento estruso viene fuso, e il movimento della stampante dà al materiale la sua forma. Questo processo viene ripetuto fino a creare la forma del progetto 3D.

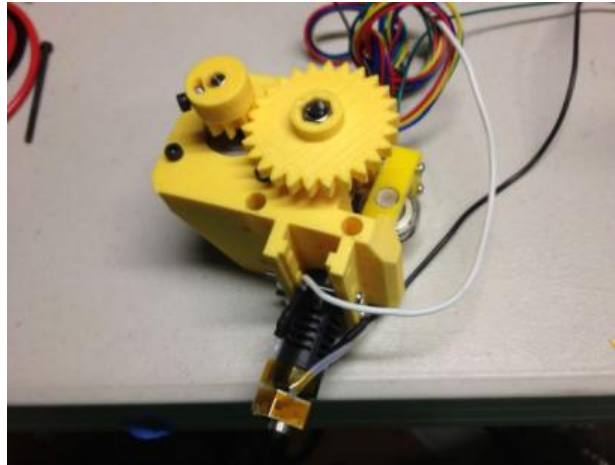
La fusione e l'estrusione del materiale avvengono per mezzo della presenza di una serie di parti complesse della macchina di stampa 3D conosciuta come "estrusore". L'estrusore permette di sviluppare il processo di cui sopra attraverso l'uso di parti in una sequenza specifica con l'obiettivo di estrarre il materiale plastico.

L'estrusore è, da molti, considerato come la parte più importante delle stampanti 3D, poiché trasferisce, fonde ed estrude il materiale sul letto di stampa strato per strato. L'estrusore ha diverse parti utilizzate per la gestione del movimento e la lavorazione dei filamenti di plastica. Queste parti, in poche parole, possono essere suddivise in due categorie: la Hot End e la Cold End.

La Cold End: Questa parte è la parte superiore dell'estrusore e consiste in un motore di estrusione, un ingranaggio dentato, un tenditore a molla e un tubo in PTFE. Qui, il filamento è alimentato e trasferito all'estremità calda (la parte inferiore dell'estrusore).

Il motore dell'estremità fredda controlla il movimento del filamento, mentre l'ingranaggio dentato sul motore trasferisce il movimento. La ruota folle caricata a molla mantiene la pressione tra filamento ed ingranaggio dentato ed il tubo in PTFE guida il filamento alla sua destinazione.

La Hot End: La Hot End di un estrusore è dove il filamento finisce dopo essere stato spinto e convogliato per il processo di estrusione per produrre il prodotto finale.



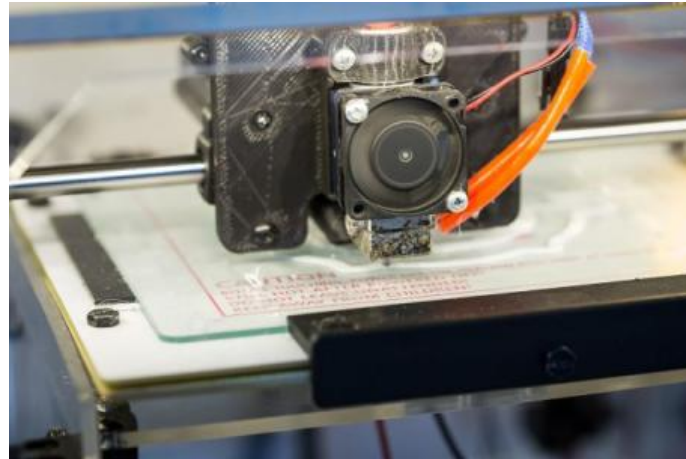
*Figura 2-1 - Estrusore della stampante FDM*

### **2.1.2 Letto di stampa**

Un letto di stampa in una macchina per la stampa 3D è la superficie dove avviene il processo di stampa e modellazione. Per completare con successo il processo di stampa 3D, il letto di stampa deve essere piatto e livellato. Di solito, i letti di stampa sono fatti di plastica, alluminio o materiali vetrosi. Inoltre, i letti di stampa sono talvolta rivestiti con adesivi per ottenere risultati migliori. Quindi, l'adesione insieme al rilascio del materiale dal letto di stampa quando il raffreddamento è completo, sono proprietà cruciali dei letti di stampa 3D.

L'adesione è importante per determinare la stabilità del primo strato e ha un impatto significativo sul successo del processo di stampa. Se il primo strato non è attaccato bene alla superficie del letto, questo influenzerà il posizionamento degli altri strati, con il risultato di un prodotto finale non riuscito o di bassa qualità. Inoltre, nel caso di un raffreddamento non uniforme dei diversi strati e delle parti del prodotto stampato, alcune parti della stampa potrebbero essere deformate. I letti termici (o riscaldati), in questi casi, gestiscono il processo di raffreddamento e mantengono l'adesione costante per evitare la deformazione.

Il distacco del prodotto dal letto di stampa dopo il raffreddamento è anche importante, poiché può portare a rotture o danni ai prodotti finali nel caso di un raffreddamento o di un'adesione non uniforme. Quindi, l'uso di adesivi specificamente pensati per la stampa 3D che permette un facile distacco è importante.



*Figura 2-2 - Adesione sul letto di stampa*

### 2.1.3 Hot Ends

Come spiegato sopra, l'hot-end è un componente degli estrusori nelle macchine 3D. A differenza di molti altri componenti delle macchine di stampa 3D, un hot-end non può essere stampato in 3D e richiede un alto livello di calibrazione. L'hot-end è dove il filamento spinto e guidato finisce per subire il processo di estrusione. Nell'hot-end, il filamento viene trasferito in una camera di riscaldamento e liquefatto. Dopo questo, il filamento fuso va all'ugello della macchina da stampa 3D per essere estruso. L'ugello è una parte importante della "hot-end" perché è qui che il filamento esce per essere modellato. L'ugello è un piccolo pezzo con un foro, ed è per lo più intercambiabile. Gli ugelli possono essere di diverse dimensioni, ma la dimensione più comune è di 0,4 mm.

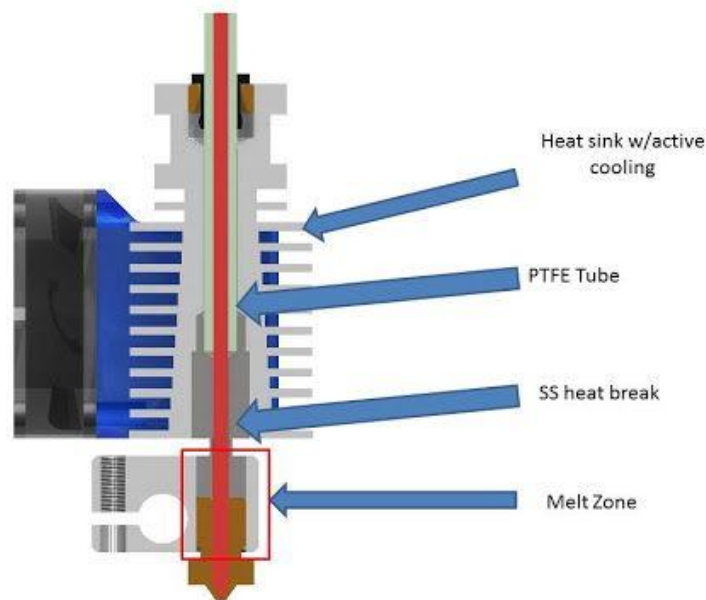


*Figura 2-3 - Estrusore Hot-end*

Ci sono due tipi di estrusori, ovvero gli estrusori diretti e gli estrusori Bowden che variano per dal collegamento dell'a hot end alla cold end.

Negli estrusori diretti, le due parti dell'estrusore – hot end e cold end - sono fondamentalmente attaccate insieme, e il filamento va direttamente dalla cold end alla hot end per essere estruso. Questo permette un percorso diretto nella via di estrusione e permette stampe più pulite con meno trasudazioni. Tuttavia, c'è la possibilità che il filamento si attacchi intorno all'ugello e causi danni all'hot end dell'estrusore.

Negli estrusori Bowden, hot end e cold end sono tra di loro separate nell'estrusore e sono collegate con un tubo. Gli estrusori Bowden permettono una stampa 3D più veloce e accurata; tuttavia, gli estrusori Bowden tendono ad avere delle retrazioni ed un effetto di stringing più accentuato rispetto agli estrusori diretti.



*Figura 2-4 - Estrusore Bowden*

## 2.1.4 Filamenti

I filamenti, o filamenti di stampa 3D, sono materiali utilizzati per la modellazione a filamento fuso (FFF) delle stampanti 3D. Ci sono molti tipi diversi di filamenti con diverse proprietà che richiedono diverse temperature di stampa. Di solito, i filamenti sono disponibili in 1,75 mm o 2,85 mm di diametro. Anche se la polvere e la resina sono utilizzati anche per i materiali di

stampa 3D, il filamento è il materiale più comunemente usato. I filamenti sono prodotti come sottili fili di plastica lunghi 100 metri ed avvolti su di una bobina per lo stoccaggio e l'alimentazione della stampante.

Durante il processo di stampa, il filamento viene trasferito nelle camere di riscaldamento dell'estrusore dove viene riscaldato e fuso. Poi viene estruso tramite un ugello mentre l'estrusore si muove sul letto di stampa per creare l'oggetto desiderato strato per strato. Anche se le stampanti 3D a singolo estrusore sono quelle usate più frequentemente, ci sono anche modelli a doppio estrusore che sono in grado di creare oggetti in diversi colori con diversi tipi di filamento.

I tipi di filamento più comuni usati sul mercato sono i filamenti di acrilonitrile butadiene stirene (ABS) e acido polilattico (PLA). La maggior parte delle stampanti 3D disponibili sul mercato sono progettate per utilizzare PLA o ABS, anche se ci sono stampanti 3D complesse e di alto livello che utilizzano diversi tipi di filamenti per scopi diversi.

I prodotti stampati con filamento ABS sono durevoli, resistenti e non tossici. L'ABS ha un punto di fusione relativamente più alto rispetto agli altri che varia da 210 gradi a 250 gradi Celsius. Se nel processo di stampa viene usato un letto di stampa non riscaldato, utilizzando un filamento in ABS, c'è la possibilità che gli angoli dell'oggetto stampato possano arricciarsi verso l'alto. Inoltre, l'ABS può emettere un odore sgradevole durante il processo di fusione, quindi si consiglia di utilizzare una stampante a telaio chiuso in una stanza ben ventilata.



*Figura 2-5 - Bobine di filamento*

Il PLA, d'altra parte, ha un punto di fusione più basso rispetto all'ABS, che va dai 180 ai 230 gradi Celsius. Il PLA è un materiale biodegradabile, ed è più duro dell'ABS in termini di robustezza e durata. Il PLA è generalmente facile da lavorare e causa inceppamenti negli estrusori molto più raramente rispetto agli altri materiali. Il PLA è usato come materiale di base per materiali compositi ed particolari. Oltre a PLA e ABS, ci sono altri filamenti termoplastici che vengono utilizzati nei processi di stampa 3D. Il nylon è uno di questi e ha un punto di fusione di circa 240 gradi Celsius. I nylon hanno anche la tendenza a deformarsi (fenomeno del ritiro) dopo il processo di stampa, cosa che può essere evitata usando un letto riscaldato.

Per stampare oggetti più flessibili, gli utenti possono usare i TPE (elastomeri termoplastici) che forniscono un'elevata elasticità agli oggetti. Ci sono anche filamenti compositi che hanno PLA mescolato con particelle, polveri e scaglie di altri materiali. Questi materiali possono variare da miscele di legno a pietra arenaria, calcare o metalli, alluminio, bronzo o rame. Questi filamenti condividono alcune delle proprietà dei materiali misti con cui sono mescolati. Tuttavia, i materiali compositi sono relativamente più costosi delle loro controparti non composte.

### 2.1.5 Ingranaggi

Gli ingranaggi sono usati come meccanismo di controllo per la quantità di filamento che raggiunge l'hot end dell'estrusore delle macchine di stampa 3D. Il sistema di ingranaggi dentati controlla la superficie di contatto con il filamento, limitando così la quantità di forza applicata su di esso. Inoltre, ci sono estrusori ad ingranaggi usati nelle macchine per la stampa 3D che usano sistemi a ruote dentate per alterare la coppia applicata al filamento permettendo di generare più coppia con motori passo-passo più leggeri e più deboli.



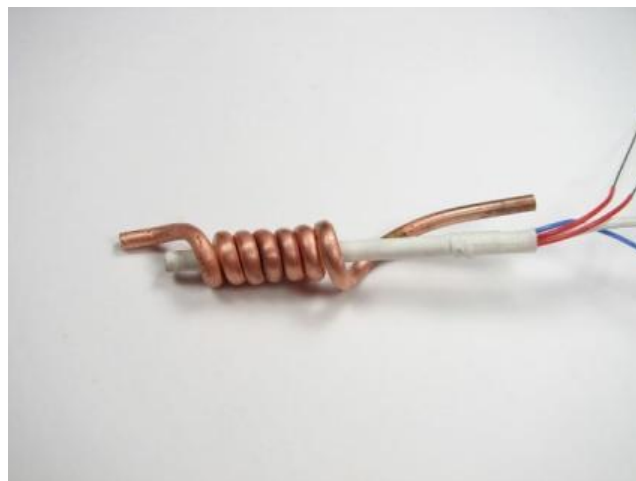
*Figura 2-6 - Ingranaggi di movimento*

### **2.1.6 Cartuccia riscaldante**

Una cartuccia riscaldante è un elemento resistivo a forma di tubo utilizzato nelle stampanti 3D. La sua funzione è quella di convertire la corrente elettrica in calore. Nelle stampanti 3D, le cartucce di riscaldamento sono utilizzate per fondere il filamento di plastica nell'hot-end. Le cartucce di riscaldamento generano calore quando una corrente elettrica passa attraverso di loro. Sono fondamentalmente grandi resistenze installate in apparecchiature industriali e stampanti 3D.

A livello micro, quando l'energia sotto forma di elettroni si muove attraverso il resistore, urta la sua struttura. Facendo questo, gli elettroni perdono parte della loro energia sotto forma di calore.

Più alta è la resistenza del resistore, più difficile è per gli elettroni passare. D'altra parte, se ci sono molti percorsi puliti per il passaggio degli elettroni, la resistenza è bassa. Non solo le cartucce di riscaldamento sono disponibili in una varietà di potenze, ma anche in una varietà di valori di tensione. I wattaggi tipici per le cartucce di riscaldamento sono 25W, 30W, 40W e 50W. Ma si possono trovare anche a 20W e fino a 60W, e persino 80W per un SuperVolcano hot-end. Le loro tensioni di targa sono quasi sempre 12V e 24V perché quelle sono le tensioni di alimentazione con le quali funzionano tipicamente le stampanti 3D.



*Figura 2-7 - Resistenza del riscaldatore*



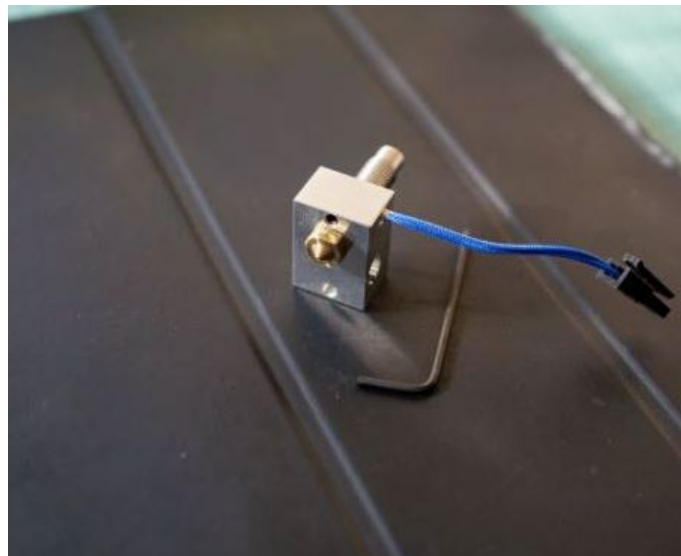
### 2.1.7 Termistore

Un termistore è un dispositivo utilizzato nelle stampanti 3D per misurare la temperatura. Per processi di stampa di ottimale riuscita, il controllo della temperatura dell'ugello e del letto riscaldato è un aspetto altamente critico. Un certo numero di sensori può fornire questi dati, come le termocoppie, i rilevatori di temperatura a resistenza (RTD) e altri. Tuttavia, i termistori (Thermally Sensitive Resistors) sono per lo più utilizzati nelle stampanti 3D in quanto sono semplici, convenienti e altamente integrati con le schede di controllo nelle macchine di stampa 3D.

I termistori si trovano in diverse posizioni all'interno di una stampante 3D. In genere, nelle hot end l'ugello si trova in un blocco di metallo che fonde il filamento. Collegati a questo blocco ci sono due fili, uno dei quali alimenta e riscalda il blocco mentre l'altro è collegato al termistore all'interno del blocco metallico che misura la temperatura dell'ugello.

Sul letto riscaldato, il termistore si trova tra la superficie di stampa e l'elemento riscaldante del letto.

In ogni caso, i termistori sono collegati alla scheda di controllo, che viene rilevata e mappata dal firmware della stampante 3D per la calibrazione della macchina.



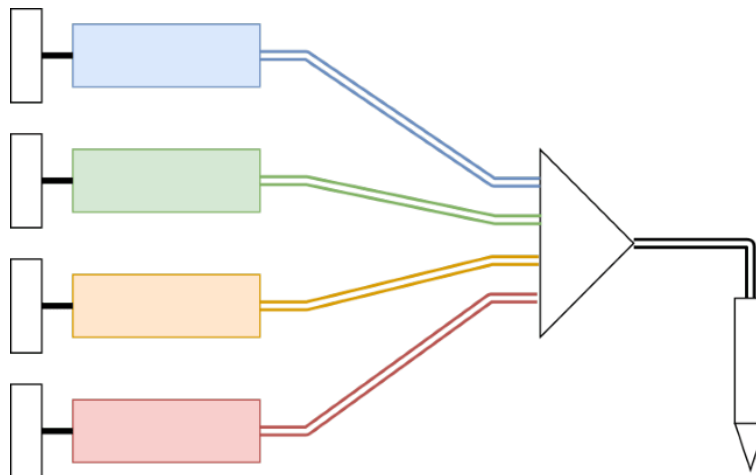
*Figura 2-8 - Estrusore e ugello*

### 2.1.8 Ugello

L'ugello è la parte dell'estrusore che estrude il filamento. Trasmette l'energia termica generata dalla cartuccia riscaldante e dal blocco metallico al filamento e fonde il materiale. Ci sono tre caratteristiche principali che sono parte integrante del design dell'ugello: la dimensione, il materiale e il diametro interno.

Più grande è l'ugello, maggiore è la massa e la superficie disponibile per trasferire il calore al filamento, rendendo così questo processo più efficace e consentendo di raggiungere velocità di estrusione più elevate. Il trasferimento termico si riferisce anche al materiale dell'ugello, poiché ogni materiale conduce l'energia in modo diverso in base alle sue proprietà.

Infine, il diametro interno dell'ugello influenza la quantità di plastica estrusa al secondo, una proprietà nota come flusso, che determina anche la velocità massima di estrusione. Il diametro interno si riferisce anche alla precisione del componente da realizzare: diametri più piccoli permettono di stampare strati e pareti più sottili.



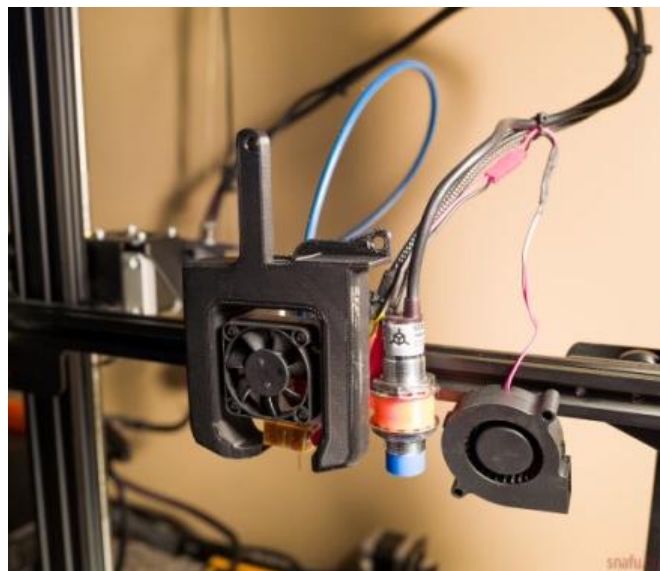
*Figura 2-9 - Sistema di ugelli a più filamenti*

### **2.1.9 Ventola di raffreddamento**

Ci sono 5 aree nelle stampanti 3D in cui vengono utilizzate le ventole di raffreddamento:

- Scheda di controllo: Le ventole nelle schede di controllo sono utilizzate per raffreddare i circuiti principali della stampante 3D, cioè i driver del motore e il processore. Mantenere questi componenti a basse temperature è fondamentale per la durata di vita delle stampanti.

- Hot End: Le ventole di raffreddamento saranno situate intorno alla cold end e vicino all'hot end, per mantenerne bassa la temperatura. Queste ventole sono usate per mantenere tutto fresco tranne il blocco del riscaldatore e l'ugello.
- Stampe 3D: Alcune parti delle ventole di raffreddamento nelle stampanti 3D sono utilizzate per raffreddare gli oggetti che sono appena usciti dall'ugello, soffiando un flusso di aria fredda sugli oggetti.
- Alimentazione: Le ventole di raffreddamento sono anche utilizzate per mantenere la temperatura di transistor, resistenze e trasformatori di potenza delle stampanti 3D per evitare il surriscaldamento
- Motore: Anche se non è molto comune, in alcune stampanti 3D, le ventole di raffreddamento sono utilizzate nei motori passo-passo per raffreddarli al fine di mantenerli alla temperatura di funzionamento ottimale.



*Figura 2-10 - Sistema della ventola di raffreddamento*

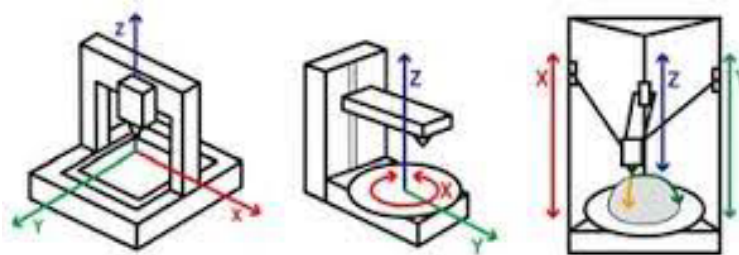
### 2.1.10 Asse X-Y-Z

L'asse X-Y-Z nelle macchine di stampa 3D si riferisce al funzionamento complessivo dell'estrusione degli strati negli assi X, Y e Z. A seconda della macchina, solo uno, due o tre assi possono essere mobili per creare l'oggetto.

Le stampanti 3D che utilizzano l'asse X-Y-Z sono conosciute come stampanti 3D cartesiane e sono le stampanti 3D più comuni sul mercato. Basato sul sistema di coordinate cartesiane,

questo sistema utilizza i tre assi: x, y e z come menzionato sopra per determinare la direzione dell'estrusore. Di solito, con questo tipo di stampante, il letto di stampa si muove solo sull'asse Z mentre l'estrusore lavora bidimensionalmente sulle direzioni X-Y.

Anche se potrebbe essere ambiguo definire univocamente i movimenti dell'asse, con riferimento ad un operatore posto di fronte alla macchina, l'asse X permette il movimento da "sinistra" a "destra" mentre l'asse Y permette il movimento "avanti" e "indietro". Infine, l'asse Z permette il movimento "su" e "giù".



*Figura 2-11 - Architetture di movimento*

### 2.1.11 Finecorsa

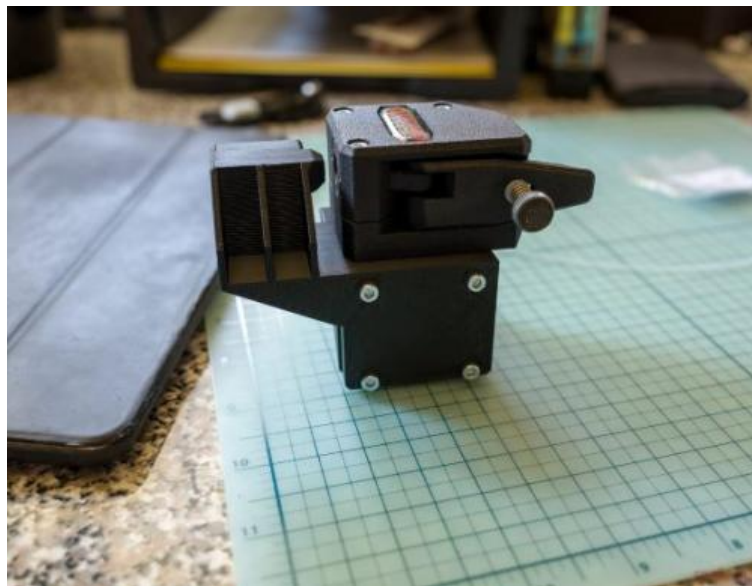
I finecorsa possono essere descritti come componenti elettronici (o elettromeccanici) situati alle estremità degli assi collegati alla scheda madre. Sono utilizzati per indicare all'estrusore dove si trova la fine degli assi in modo che l'estrusore non vada oltre il limite di movimentazione della stampante 3D. Questo impedisce che il sistema di movimentazione deragli o si inceppi alla fine di quell'asse. I finecorsa ad interruttore sono il tipo più comune, sono utilizzati soprattutto sulle macchine a basso costo. Tuttavia, ci sono altri tipi di fine corsa che sono disponibili, compresi i fine corsa ottici e magnetici. Diversi tipi di fine corsa hanno diversi punti di forza e di debolezza, a seconda del livello di precisione necessario e del budget a disposizione.

### 2.1.12 Viti di manovra

Una vite di manovra è una vite usata come sistema di movimentazione nella stampante 3D, per tradurre la rotazione in movimento lineare. A causa della grande superficie di contatto tra la vite e la madrevite nella zona di scorrimento, le viti hanno perdite di energia di attrito più grandi rispetto ad altri collegamenti. Nelle stampanti 3D, le viti sono solitamente azionate dal

motore passo-passo e mosse dagli assi X e Y. Le filettature trapezoidali sono collegate alla testa con l'estrusore e tutti gli assi sono mossi con una vite azionata dal motore passo-passo con una filettatura trapezoidale non reversibile, e si muovono per mezzo di boccole cilindriche a sfere. Uno dei vantaggi significativi della configurazione vite-guida a sfere per il controllo del movimento lineare è che richiede una ridotta frazione del numero di componenti che sono invece essenziali per le stampanti 3D a cinghia e richiedono un tempo di assemblaggio più breve.

Rispetto alle trasmissioni a cinghia, che producono un movimento lineare con una frequenza di  $\pm 0,1$  mm/m e un'altezza di strato di 100 micron, le viti offrono un movimento lineare con una frequenza di  $\pm 0,02$  mm/m e un'altezza di strato di 50 micron, rendendole molto più precise e accurate per controllare le prestazioni della stampante 3D.



*Figura 2-12 - Vite di piombo*

### 2.1.13 Cinghie

Per ottenere buoni risultati, è necessario che i movimenti di stampa 3D siano accurati. Se si genera un gioco nel meccanismo di movimentazione durante il processo di stampa, sarà chiaramente visibile nella stampa. Pertanto, le cinghie della stampante 3D sono utilizzate per assicurarsi che i movimenti siano controllati e accurati il più possibile. L'uso di motori passo-passo può aiutare a fornire un controllo più avanzato, ma il loro contributo è vanificato se la cinghia scivola o non è correttamente tesa. Ecco perché la maggior parte delle cinghie delle

stampanti 3D sono progettate per adattarsi lungo gli ingranaggi, avendo molte tacche misurate su uno o entrambi i lati. Una puleggia motrice è collegata solidalmente all'albero del motore passo-passo, e la cinghia si inserisce nelle tacche dell'ingranaggio, impedendole di scivolare, e permettendole di ruotare con il motore. Per mantenere la cinghia tesa, essa può essere montata su un altro ingranaggio simile, con la funzione di puleggia condotta. Questo secondo ingranaggio è poi attaccato al telaio della stampante sul lato opposto della rispettiva barra dell'asse.

Vari elementi di stampa sono collegati alla cinghia per muoversi lungo il suo asse. Quando è orizzontale, una barra dell'asse sostiene il peso di uno o più elementi della stampante, e l'unico compito della cinghia è quello di spostare questi elementi lungo l'asse. Tuttavia, quando è impostato verticalmente, le cinghie sono di solito dipendenti dal supporto. A volte viene anche aggiunto un contrappeso alla cinghia per evitare che il motore debba lavorare così tanto.



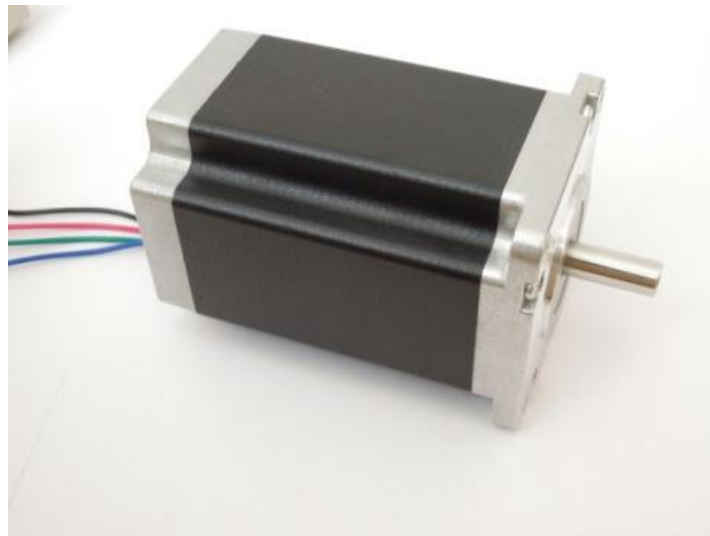
*Figura 2-13 - Cinghia e puleggia per il movimento dell'asse*

#### **2.1.14 Motore passo-passo**

Un motore passo-passo è una parte integrante della macchina per la stampa 3D. I motori passo-passo sono responsabili di tutti i movimenti lineari fatti dalla macchina, per esempio, un cambiamento di posizione sull'asse Y è causato da una rotazione in un motore passo-passo.

La differenza tra un motore elettrico generico e i motori passo-passo è che i motori passo-passo girano discretamente del valore pari ad una specifica percentuale singolo giro, chiamata passo, e possono gestire movimentazioni e blocchi del moto in maniera indefinita, il che permette a

macchine come le stampanti 3D di ottenere movimenti precisi. In qualsiasi stampante 3D, i motori passo-passo sono collegati ai sistemi di movimentazione degli assi X, Y e Z. Per X e Y possono usare cinghie o viti per trasmettere la rotazione in movimento lineare, e tipicamente usano un motore ciascuno. Sull'asse Z, si trovano uno o due motori, a seconda della macchina, e di solito si utilizza una trasmissione a vite, dato che l'asse Z deve sostenere il peso di tutta la testa utensile. Inoltre, nelle stampanti 3D, c'è un altro motore passo-passo: quello che controlla l'estrusione del filamento. Di solito è collegato a un sistema composto da una molla, una puleggia e una ruota zigrinata, che insieme fanno muovere il filamento. Non se ne usa uno per i mandrini delle macchine CNC perché hanno bisogno di una coppia molto più alta, una velocità maggiore, e sono dotati di un proprio motore elettrico integrato.



*Figura 2-14 - Motore passo-passo*

## ***2.2 Componenti elettrici***

### **2.2.1 Alimentazione**

Gli alimentatori, o Power Supply Unit (PSU) sono generalmente scatole di metallo con terminali o una matassa di fili a un'estremità e una ventola sul lato. I PSU di solito contengono un trasformatore (o una serie di trasformatori), che riceve i 110-240 Volt dall'alimentazione a parete e li abbassa a un più ragionevole 12-24 Volt. Inoltre, all'interno di un PSU c'è un circuito

raddrizzatore, che converte la corrente alternata dell'alimentazione domestica nella corrente continua di cui ha bisogno una stampante 3D.

L'hot-end della stampante 3D è un fattore importante nella tensione della stampante 3D. Gli hot-end sono tipicamente configurazioni da 12 o 24V, quindi è importante controllare la tensione dell'hot-end prima di decidere l'alimentazione. Potrebbe essere necessario un convertitore step-down e alcuni transistor MOSFET per interfacciarsi con la scheda di controllo, ma idealmente ci sarà corrispondenza con la tensione di alimentazione dell'hot-end.



*Figura 2-15 - Alimentazione elettrica*

## 2.2.2 Schede madri

Tutte le unità elettriche di una stampante 3D sono collegate alla scheda madre dove si trovano i microcontrollori che gestiscono le funzioni della stampante stessa. I microcontrollori implementano i codici inviati dal software di controllo e gestione e permettono la produzione degli oggetti stampati in 3D. Questo processo non solo include l'ordine e la sequenza della temporizzazione e degli spostamenti dei driver dei motori passo-passo e dei motori stessi, ma anche il controllo dei dati provenienti dai vari sensori installati su tutto il dispositivo come la temperatura e lo stato dei finecorsa. La scheda madre fornisce e assicura una comunicazione fluida tra l'input e l'output desiderato. Le schede madri di solito hanno le seguenti caratteristiche: Tensione d'ingresso a 24V, processore a 32 Bit, connettività Internet, connettori I/O di riserva. La tensione d'ingresso a 24v permette una maggiore prestazione del motore, mentre il processore a 32 bit permette di svolgere compiti più complessi. La connettività



Internet, invece, permette la produzione remota di prodotti 3D, mentre i connettori I/O di riserva permettono una maggiore personalizzazione e qualità dei prodotti stampati.

### **2.2.3 Slot per schede SD**

Mentre le unità USB sono utilizzate in molti dispositivi odierni, le stampanti 3D di solito utilizzano slot per schede SD. Questo è dovuto principalmente al fatto che le schede SD sono più facili da implementare rispetto alle unità USB in termini di caratteristiche hardware e software delle stampanti 3D. Inoltre, le unità USB di solito richiedono hardware extra per renderle leggibili dalla stampante 3D. La stampante avrà anche bisogno di un driver software che le permetta di accedere a quelle informazioni. Pertanto, le schede SD sono molto più convenienti e frequentemente utilizzate come metodo di archiviazione e trasferimento dati esterno nelle stampanti 3D.

### **2.2.4 Driver per i motori passo-passo**

I driver controllano il movimento dei motori passo-passo, innescandoli e facendo girare l'albero del motore passo-passo nel modo desiderato e previsto da software. Alcune schede madri hanno i driver passo-passo integrati nella scheda, mentre altre li hanno come plug-in sostituibili.

Tutti i driver hanno un chip centrale che elabora gli ingressi e le uscite come parametri di movimentazione relativi ad ogni asse. I motori passo-passo Nema17 hanno un certo numero di passi per rotazione (la maggior parte sono 200); questo valore è pari al numero di cambiamenti nel campo magnetico che si verificano nella bobina e che genereranno la rotazione completa dell'albero del motore. La gestione della corrente in uscita dal driver, si otterrà la magnetizzazione di un lato del motore causando conseguentemente la rotazione dell'albero e cambiando in maniera coerente il lato magnetizzato (e quindi il verso della corrente) il motore gira in maniera continua.

I driver riescono a gestire anche il cosiddetto "micro-stepping"; esso rappresenta un movimento intermedio del motore che, invece di completare o un passo alla volta, permette di raggiungere delle posizioni intermedie applicando la giusta quantità di corrente, aumentando

la precisione del movimento in uscita. Ad oggi, è consuetudine tecnica raggiungere 1/16 di step, ma ci sono alcuni driver che possono andare a 1/32, 1/64, 1/128, o anche 1/256 di step. Più micro-step un driver riesce a produrre, più corrente sarà necessaria in quanto si deve generare il giusto valore di coppia per mantenere quelle posizioni intermedie così ridotte.



*Figura 2-16 - Driver del motore passo-passo*

### **2.2.5 Schermo e interfaccia utente**

L'interfaccia utente nelle stampanti 3D si trova di solito sulla parte superiore delle stampanti, e, oggigiorno, con funzionalità touch screen. L'interfaccia utente contiene menu e sottomenu che permettono agli utenti di eseguire una serie di funzioni come l'accesso alla piattaforma di stampa, l'avvio del processo di stampa, la messa in modalità standby della stampante, il riscaldamento della stampante, la visualizzazione dello stato attuale dei materiali, le informazioni sui materiali, ecc. Permette anche la risoluzione dei problemi, l'impostazione della data e della lingua, i dati generali di stampa e la manutenzione della stampante.

## 3 CREAZIONE DI OGGETTI IN UN AMBIENTE VIRTUALE

### *3.1 Introduzione*

Questa unità si concentrerà sulla creazione di oggetti in un ambiente virtuale. Questo è il primo passo per stampare e dare la forma a ciò che abbiamo bisogno o vogliamo creare con la nostra stampante 3D.

In questo corso, fino ad ora, abbiamo visto i principi della stampa 3D e i componenti principali della nostra stampante 3D. È arrivato il momento di disegnare le nostre parti e poi di stampare e dare vita a un pezzo reale.

La creazione del nostro schizzo è forse il momento più importante per raggiungere l'obiettivo. Un errore nello schizzo può essere catastrofico per il corretto comportamento del nostro pezzo.

Dopo questa unità, ci si aspetta che i tirocinanti possano progettare e creare pezzi e parti nell'ambiente virtuale di OnShape Software e riconoscere le migliori pratiche per farlo. Alla fine di questa unità, i tirocinanti sono tenuti a:

- Conoscere i comandi principali per progettare oggetti utilizzando OnShape;
- Essere in grado di creare una parte/oggetto su OnShape;
- Conoscere ed eseguire alcune tecniche di disegno;
- Riconoscere e comprendere i diversi tipi di file generati e utilizzati nel processo di creazione;
- Riconoscere e comprendere le funzioni di un file STL.

### *3.2 Disegno 3D*

Ma cos'è il disegno 3D?

Il disegno 3D è la capacità di disegnare in un ambiente virtuale forme con altezza, larghezza e profondità. È una delle tecniche più comuni già utilizzate in ingegneria civile, nell'architettura e più recentemente nella modellazione grafica perché questo permette ai professionisti di questi settori di avere una percezione più precisa del risultato finale dei loro lavori. I disegni in

3D sono di solito realizzati attraverso il controllo del computer con un software di modellazione 3D. Dopo aver creato il disegno è possibile utilizzare una stampante 3D per creare oggetti fisici, aggiungendo materiale strato per strato. Con la comparsa delle stampanti 3D, queste tecniche e conoscenze sono diventate più importanti per gli studenti, gli appassionati, i lavoratori dei negozi e i servizi medici. Unendo questi due concetti, è possibile, per esempio, fare cose semplici come costruire un nuovo giocattolo, o più complesse, come stampare un nuovo osso da usare in un intervento di sostituzione ossea.

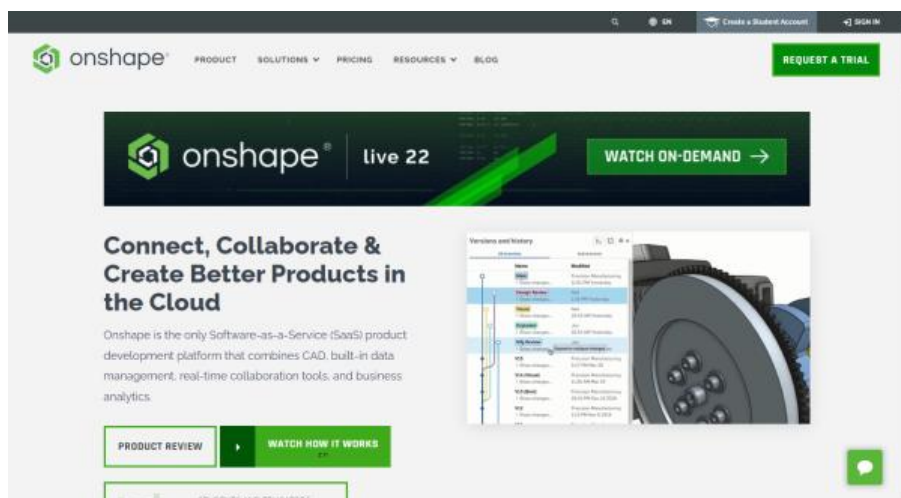
Non c'è limite al potenziale di questa tecnologia, e solo una piena comprensione di questi concetti ci permetterà di beneficiarne.

### ***3.3 Software OnShape***

OnShape è uno dei più popolari software professionali CAD-as-a-Service (SaaS), in grado di sviluppare forme 3D, oggetti e forme, con molte caratteristiche interessanti come la gestione integrata dei dati, strumenti di collaborazione in tempo reale, analisi di business e altro.

Con questo software, possiamo creare diversi elementi e oggetti con molte forme, formati o funzioni in 3D e una volta finito, è possibile esportarli in un file STL.

Lavorare su OnShape è il primo passo per creare il nostro oggetto stampato in 3D.



*Figura 3-1 - Interfaccia OnShape*

### ***3.4 Creare una parte/oggetto su OnShape***

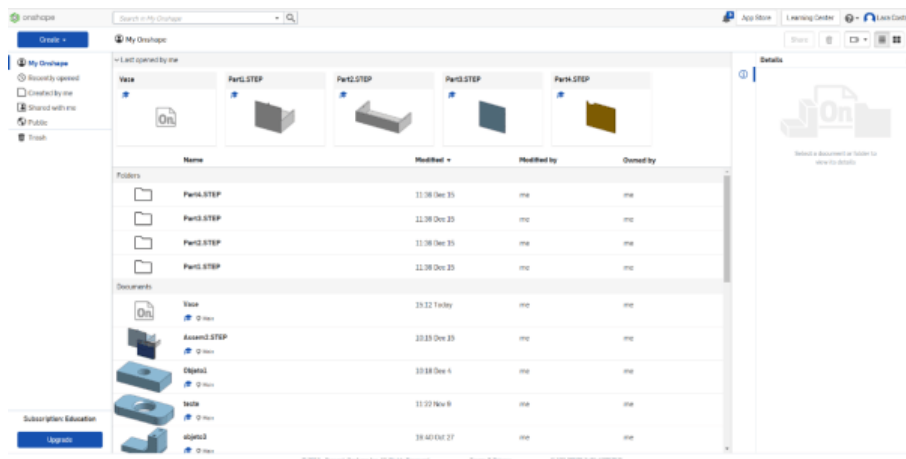
Nelle pagine seguenti, sarete in grado di seguire passo dopo passo il processo per progettare una parte 3D nel software OnShape. Per questa unità di formazione, progetteremo una piccola piastra di identificazione con un testo, utilizzando gli strumenti di disegno principali ed essenziali.

Avendo padroneggiato questi strumenti, alla fine della sessione di formazione si dovrebbero avere a disposizione gli strumenti per disegnare qualsiasi pezzo con facilità.

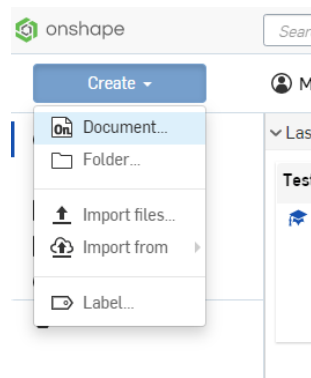
Per una padronanza completa, questa sessione di formazione non esclude la formazione necessaria su tutti gli strumenti che saranno utilizzati.

Nei prossimi passi, vedremo come creare una parte/oggetto usando OnShape Software.

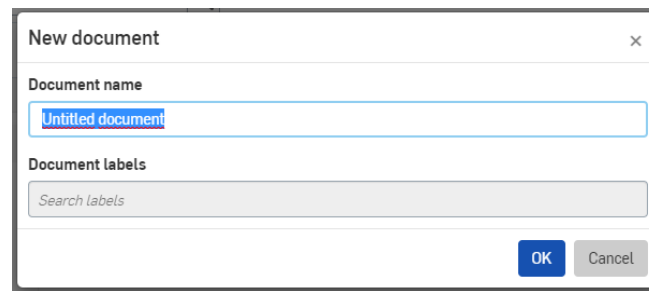
1° Passo - Apri OnShape e accedi al tuo account.



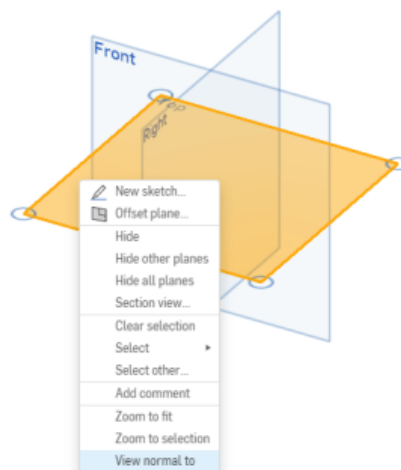
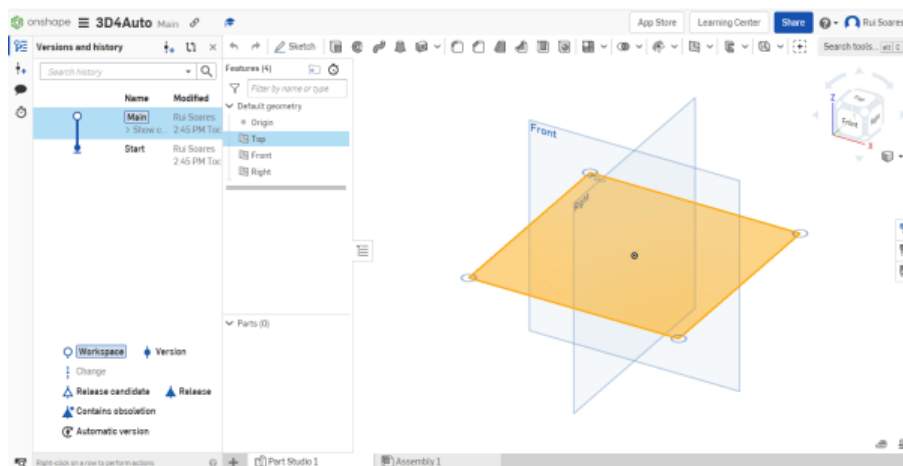
2° Passo - Creare un nuovo documento.

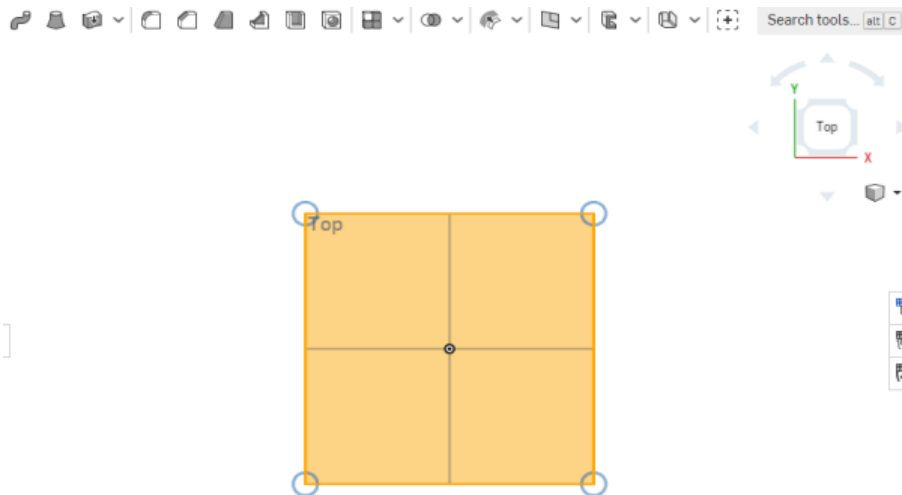


3° Passo - Date un nome al vostro progetto come "3D4Auto" o "Esempio".

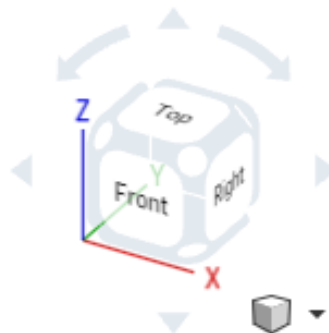


4° Passo - Seleziona il piano desiderato (in questo caso TOP) e con un clic destro su di esso, seleziona "Visualizza normale a".

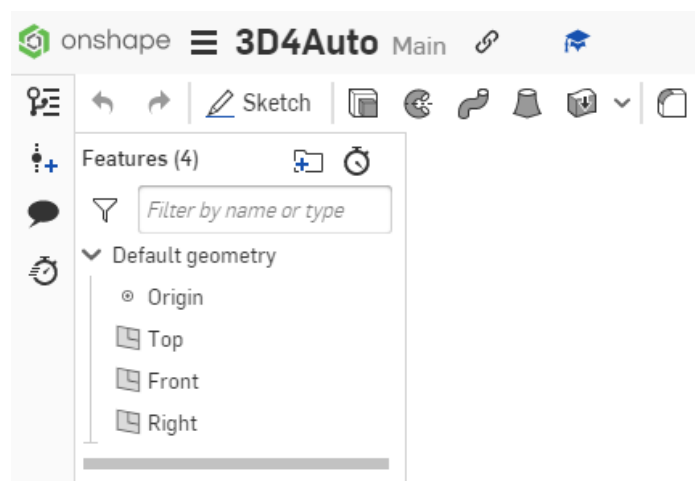




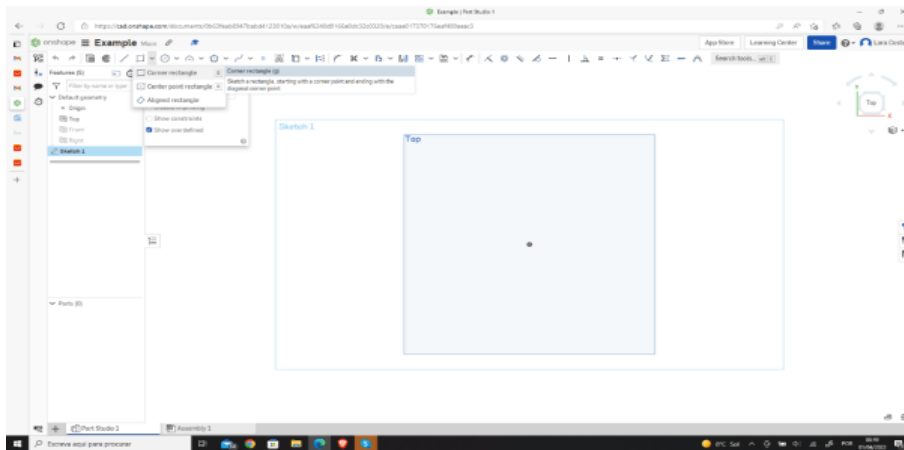
CONSIGLIO: per un accesso più veloce alla vista desiderata, puoi usare il cubo della vista in alto a destra.



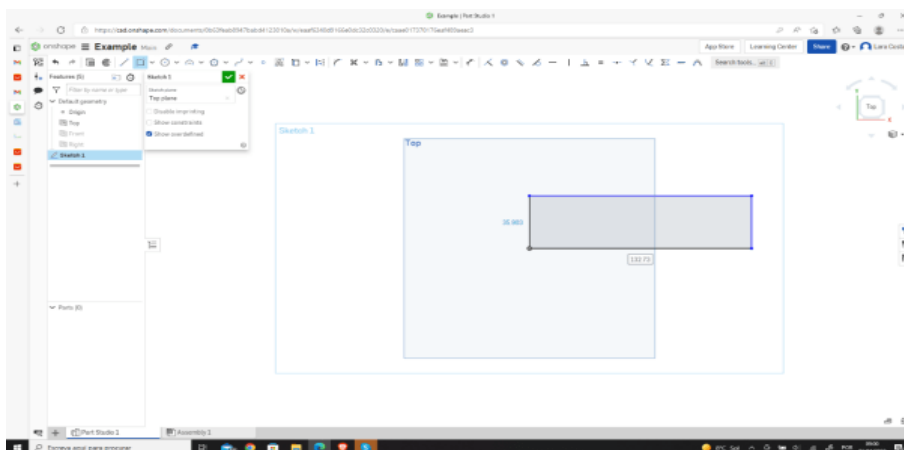
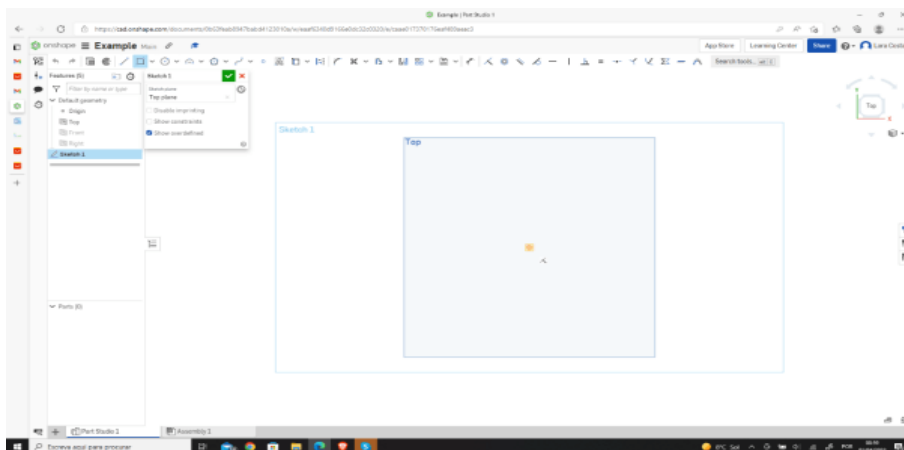
5° Passo - Clicca su "Sketch" per sbloccare gli strumenti di disegno.



6° Passo - Seleziona "rettangolo d'angolo" da disegnare.

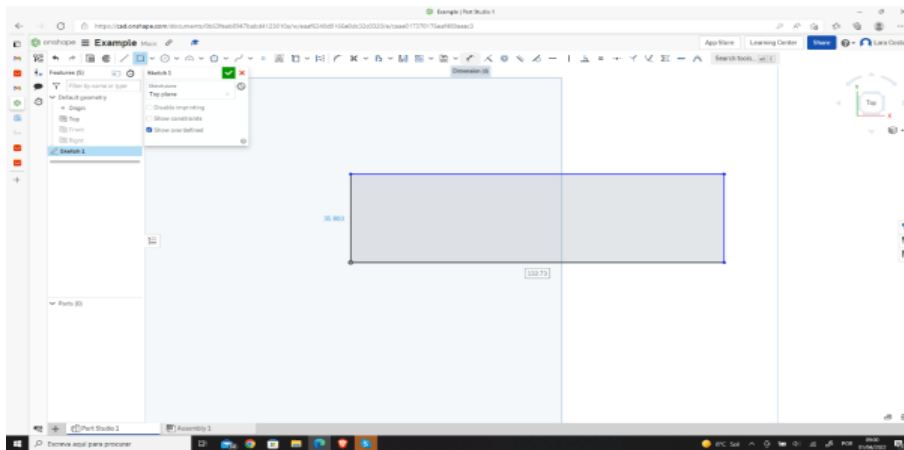


7° Passo - Disegna il rettangolo partendo dal punto centrale.

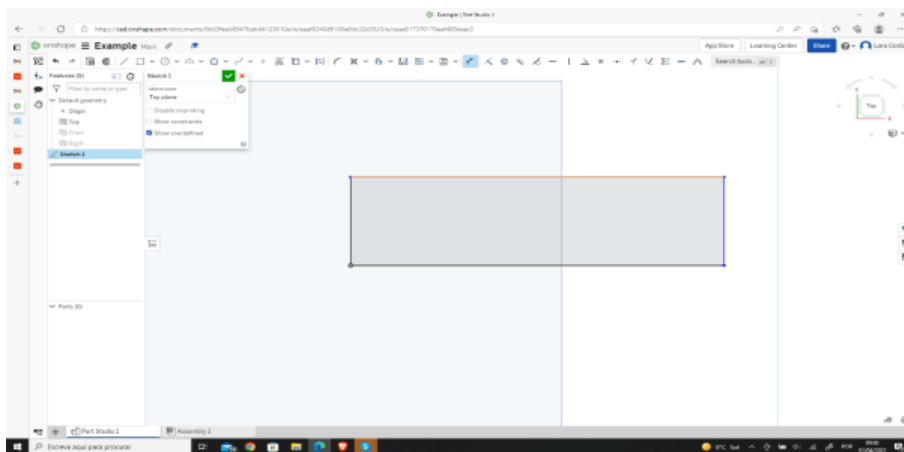




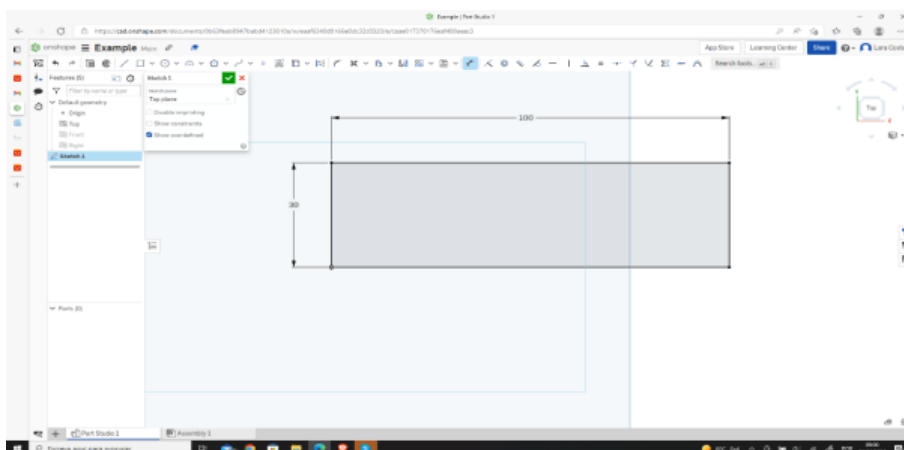
8° Passo - Seleziona "Dimensioni" per impostare le misure del nostro rettangolo.



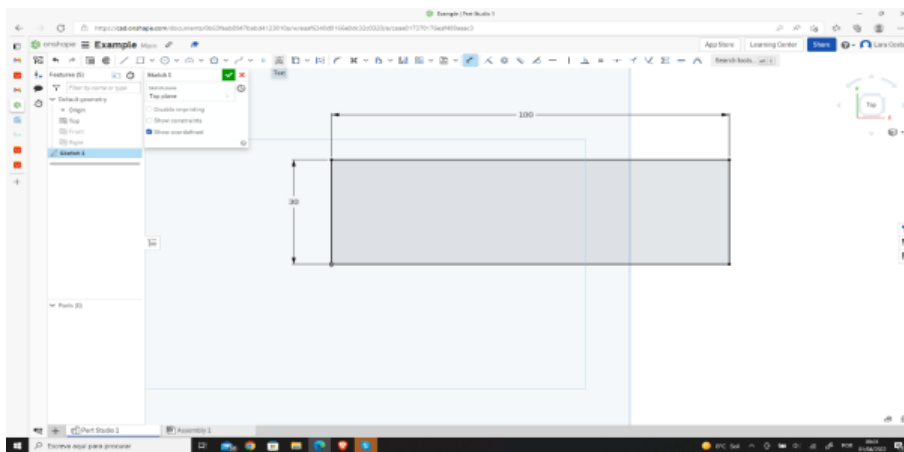
9° Passo - Selezionare la linea TOP (o BOTTON) e impostare la misura prevista (100mm).



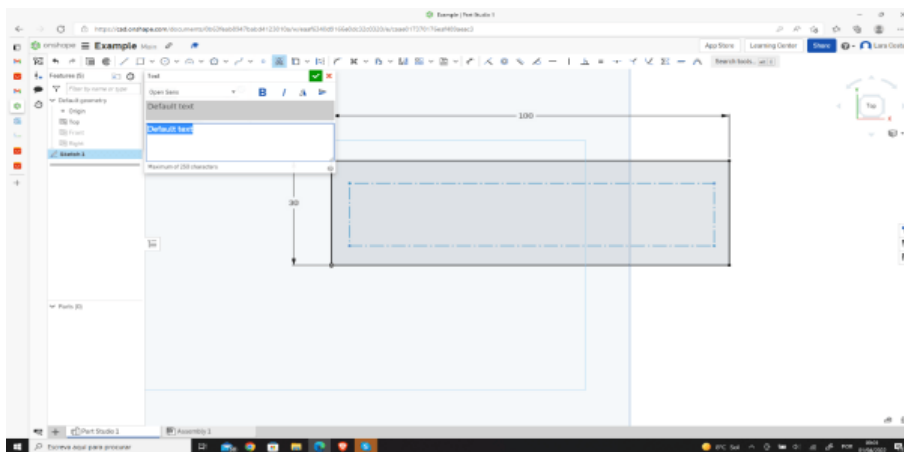
10° Passo - Ripeti l'ultimo processo per la linea DESTRA (o SINISTRA) e imposta la misura prevista (30mm).



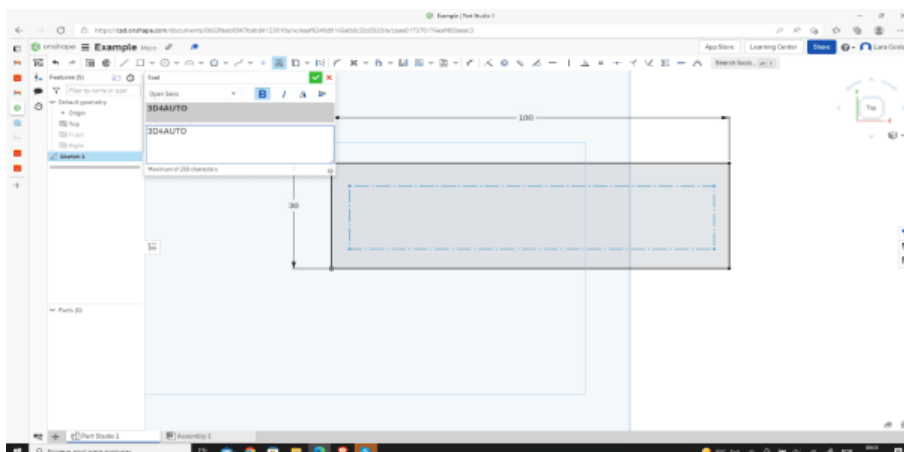
11° Passo - Seleziona lo strumento "Testo".



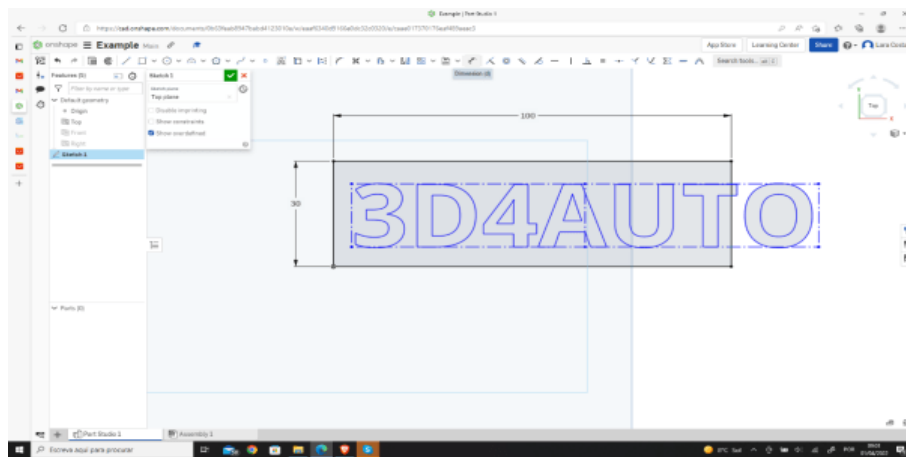
12° Passo - Disegna un rettangolo all'interno del tuo primo rettangolo.



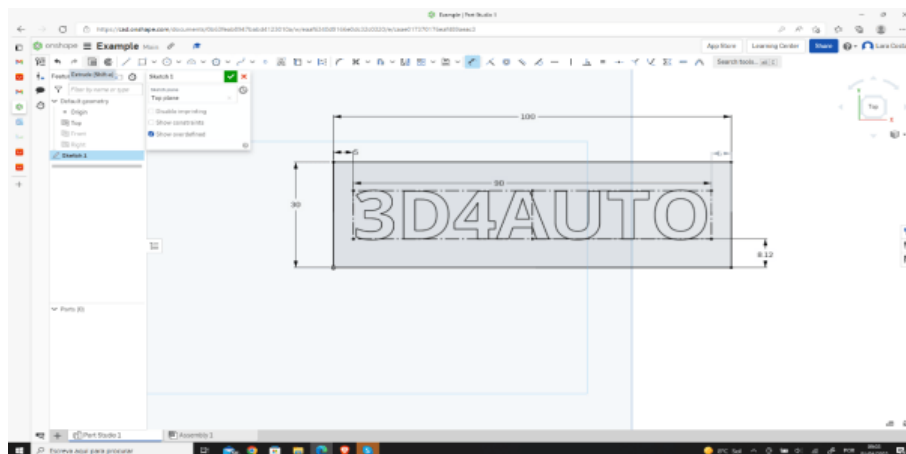
13° Passo - Scrivere il testo desiderato (in questo caso sarà "3D4AUTO"), selezionare l'impostazione "Bolt" e confermare cliccando sul segno di spunta verde.



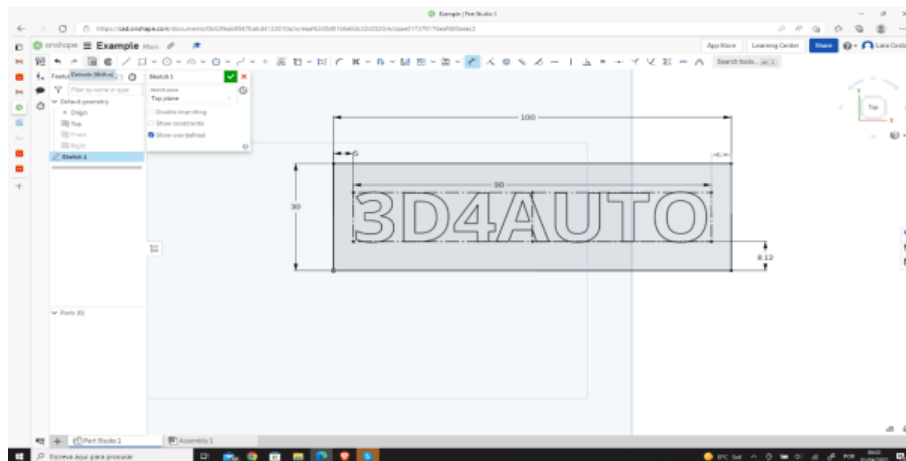
14° Passo - Seleziona di nuovo lo strumento "Dimensione".



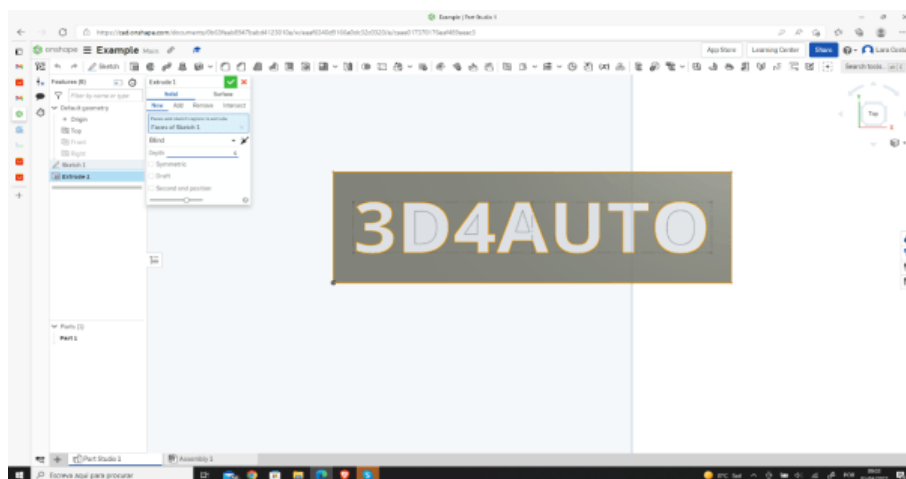
15° Passo - Impostare le dimensioni come nell'immagine seguente per ridimensionare e centrare la piastra.



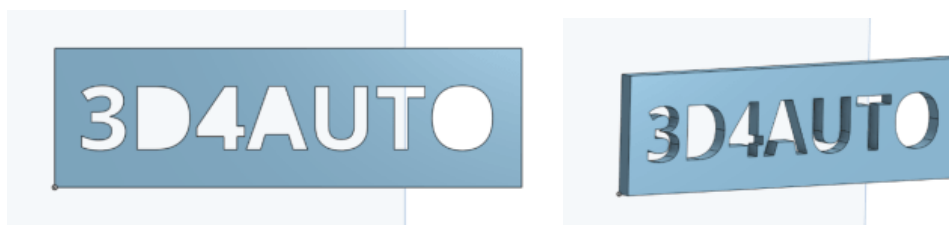
16° Passo - Selezionate lo strumento "Extrude".



17° Passo - Cambia la Profondità a 4mm e conferma cliccando sul segno di spunta verde.



18° Passo - Ora hai finito il disegno



### ***3.5 Tecniche di disegno***

Alcune delle parti più complesse richiedono il disegno di dettagli complessi. Una buona strategia è quella di pensare se quel dettaglio può ancora essere disegnato nel piano 2D. Se possibile, è meglio farlo. Più dettagli si implementano in 2D, più facile sarà ottenere il risultato

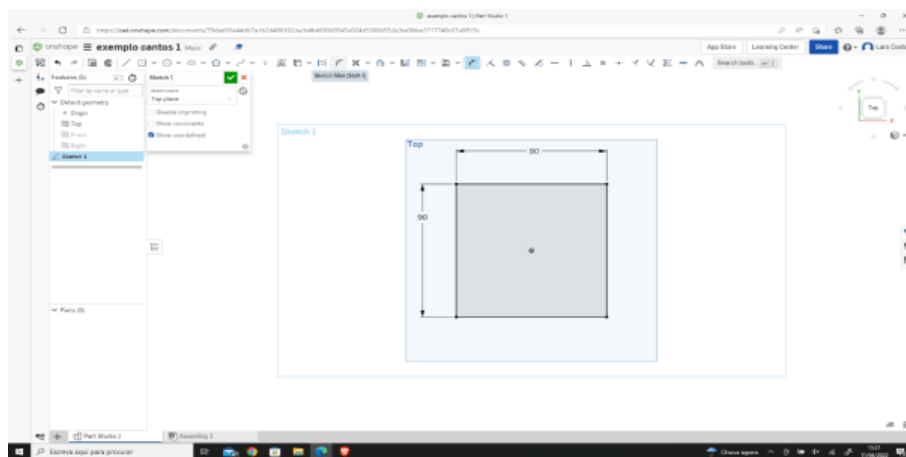
desiderato. Tuttavia, non è sempre possibile includere tutti i dettagli nel piano 2D. In questo caso, il dettaglio può essere disegnato solo dopo aver dato volume al disegno.

Nella prossima immagine, possiamo vedere due esempi di entrambe le situazioni applicate nello stesso pezzo, dove il dettaglio è applicato in 2D e 3D per situazioni diverse.

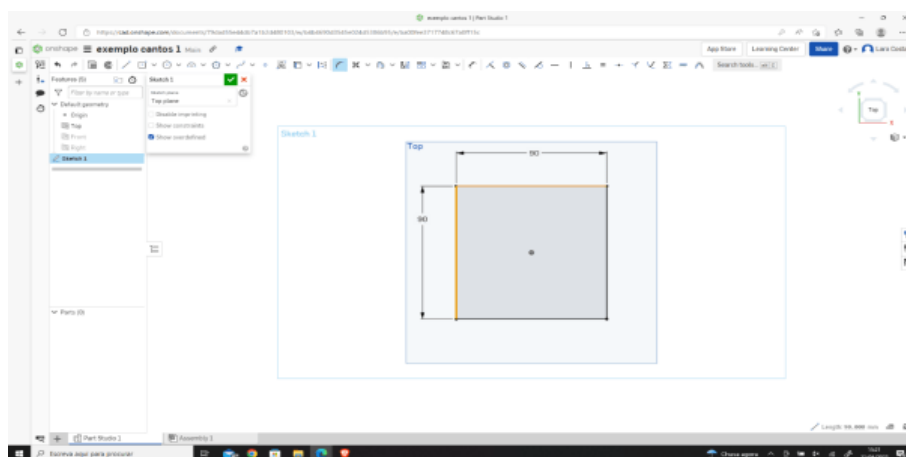
Padroneggiare questo concetto è una delle tecniche di disegno più importanti. Ogni volta che è possibile disegnare il dettaglio in 2D, dovrebbe essere fatto!

### 3.5.1 Fare angoli arrotondati in disegni 2D e 3D

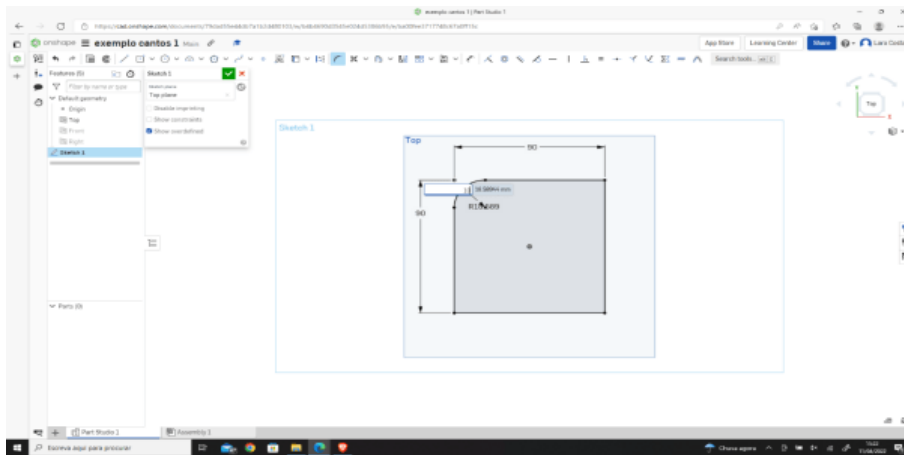
1° Passo- Disegna un rettangolo come quello dell'esempio e seleziona lo strumento "sketch filet".



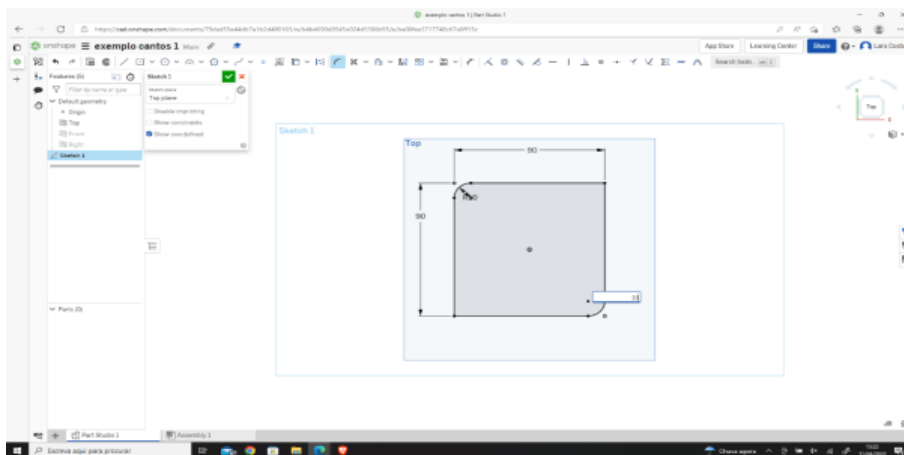
2° Passo - Seleziona le due linee in arancione.



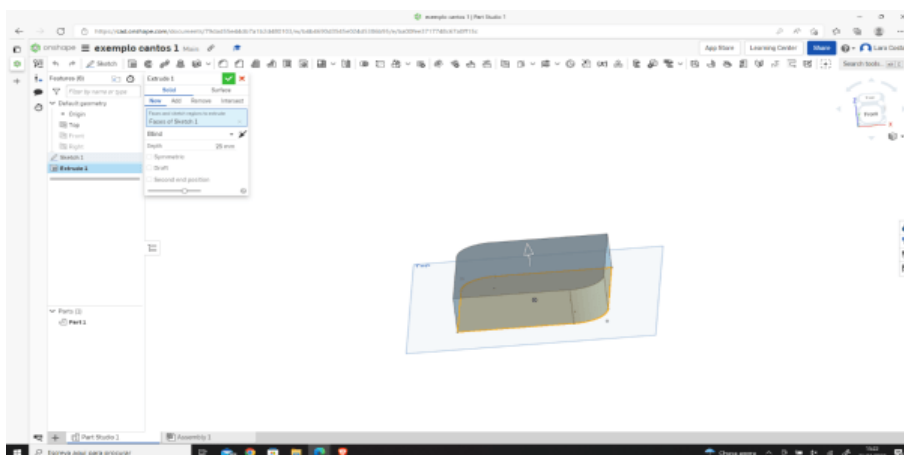
3° Passo - Impostare la misura del raggio (10mm).



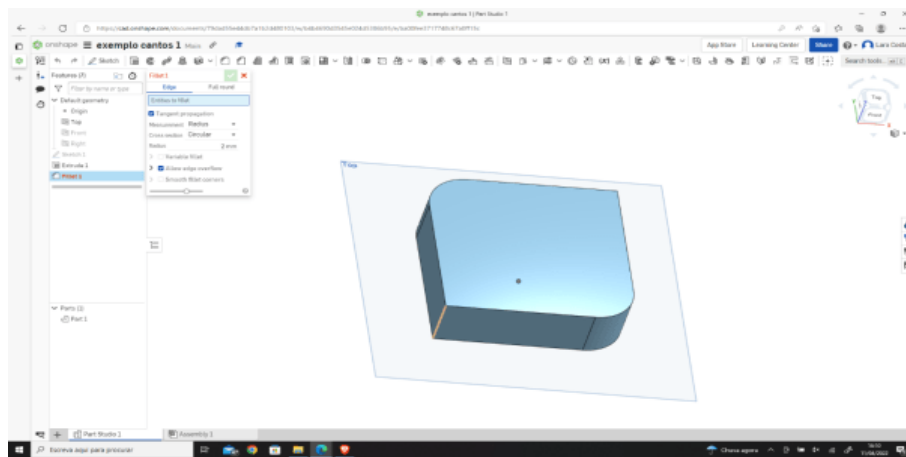
4° Passo - Fate lo stesso (dai passi 1 a 3) ma questa volta impostate la misura del raggio a 20mm



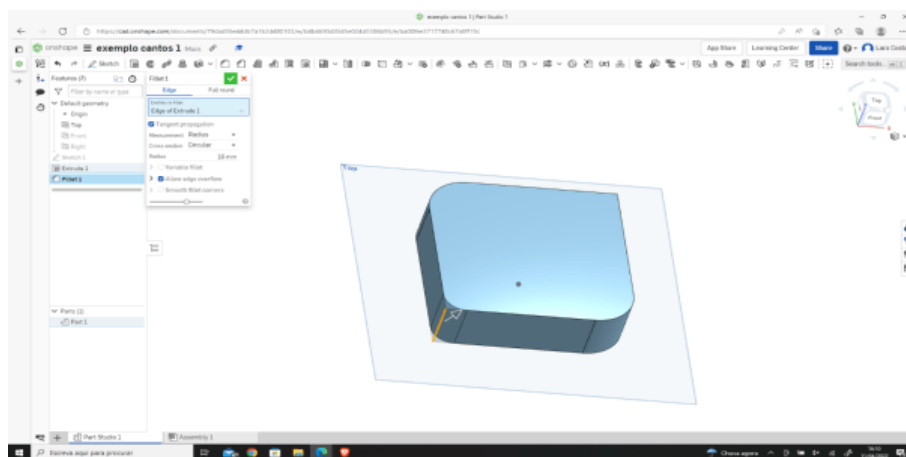
5° Passo - Seleziona "estrudi", imposta la profondità a 25 mm e clicca sul segno di spunta verde.



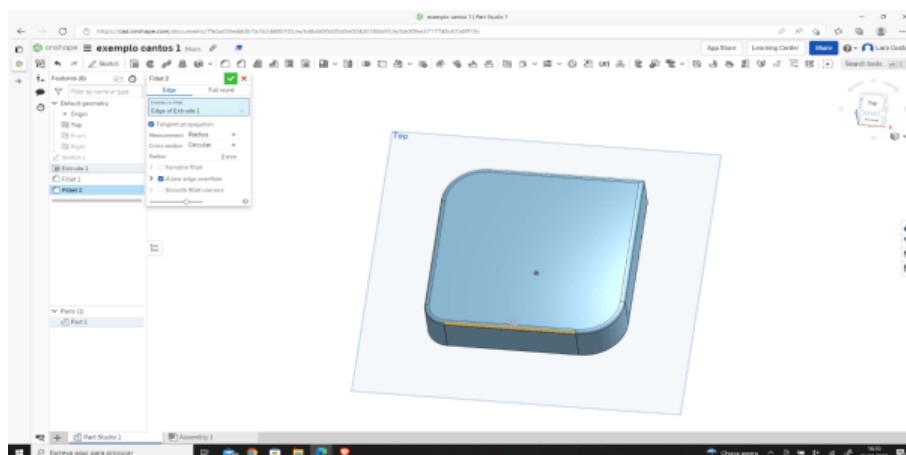
6° Passo - Per creare il filetto in 3D, cliccate su "filetto" e selezionate il bordo, come nell'immagine.



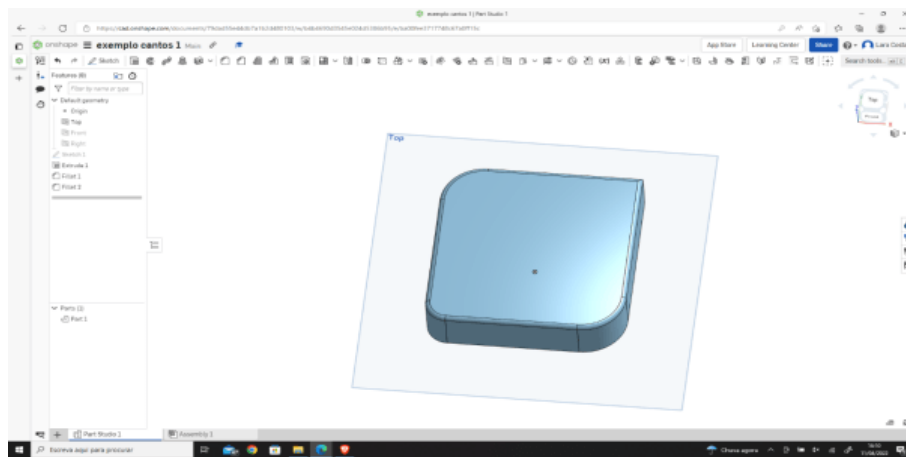
7° Passo - Cambia il raggio a 10 mm e clicca sul segno di spunta verde.



8° Passo - Ripeti le azioni dei passi 6 e 7, ma imposta la misura del raggio a 2mm e conferma.



9° Passo - Questo dovrebbe essere il risultato finale.



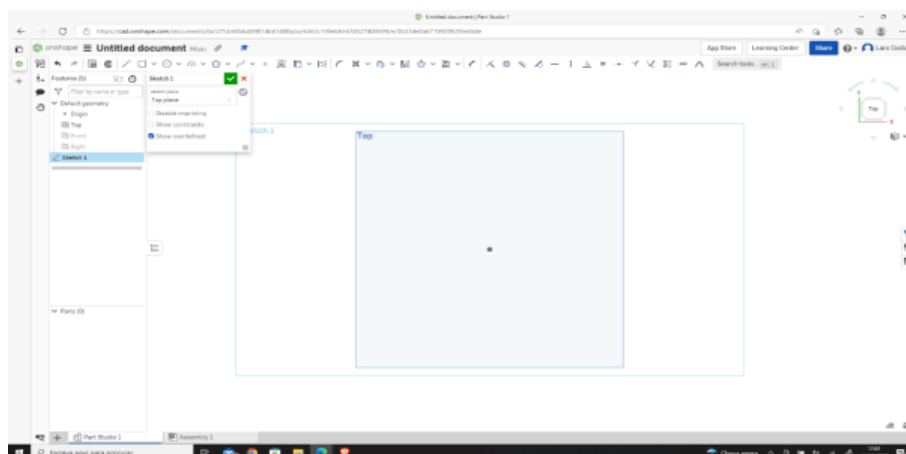
In alcuni casi, potremmo aver bisogno di ripetere un dettaglio in un modello un numero  $x$  di volte. In questi casi, può essere utile conoscere e padroneggiare lo strumento "Modello circolare", che ci permette di ripetere un dettaglio più volte lungo una circonferenza.

Questo strumento diventa molto utile per disegnare parti come ingranaggi o ruote dentate, per esempio.

Nelle prossime immagini, vedremo un'applicazione di questo strumento per eseguire un dettaglio ripetuto lungo il perimetro.

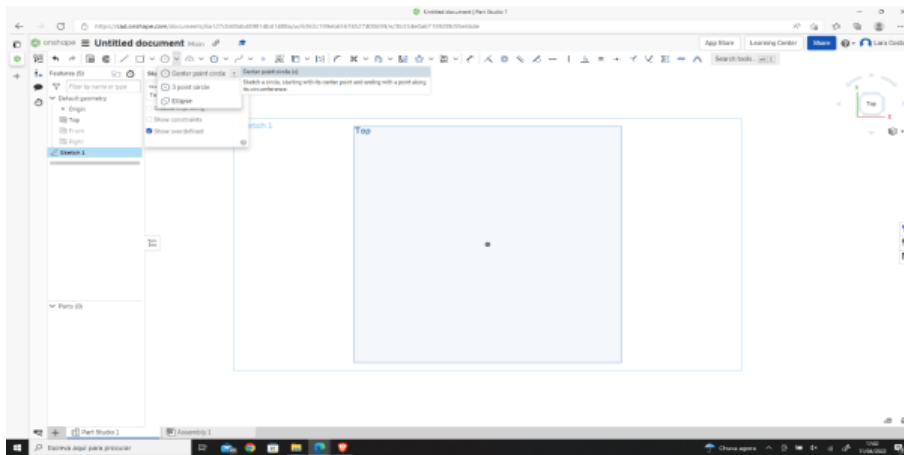
### 3.5.2 Disegno del modello circolare

1° Passo - Aprire lo schizzo.

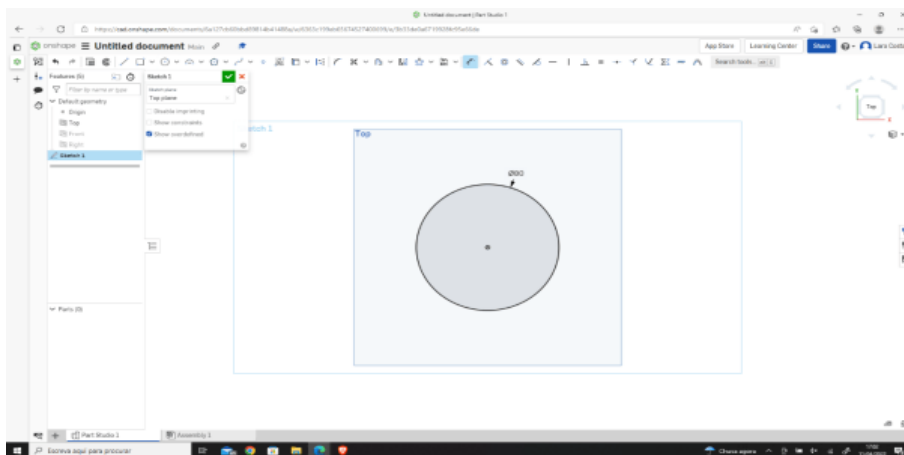




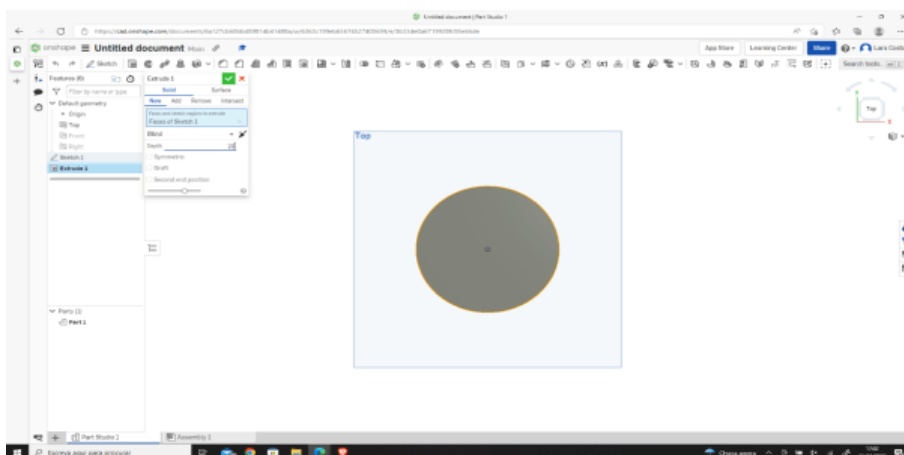
2° Passo - Seleziona lo strumento di schizzo "punto centrale cerchio".



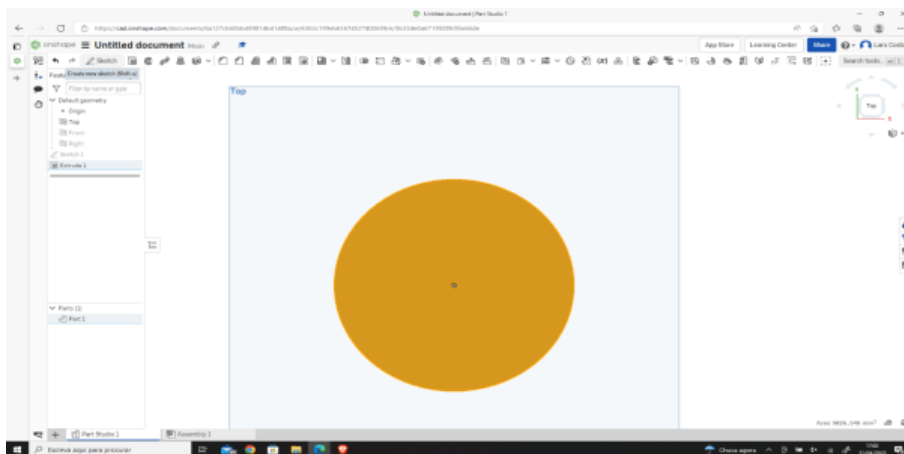
3° Step- Disegnate un cerchio partendo dal centro e impostate la sua dimensione a 80mm.



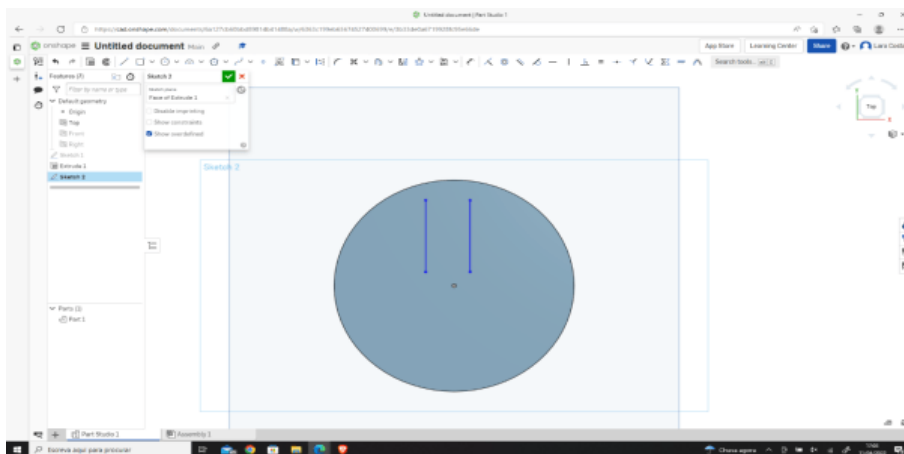
4° Passo - Seleziona lo strumento estrusione, cambia la profondità a 20mm e clicca sulla spunta verde.



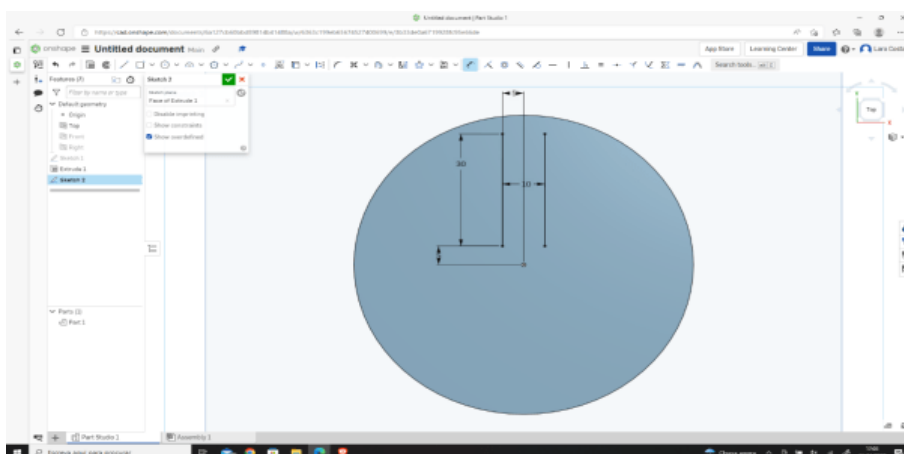
5° Passo - Seleziona la faccia superiore del cilindro e clicca su Sketch.



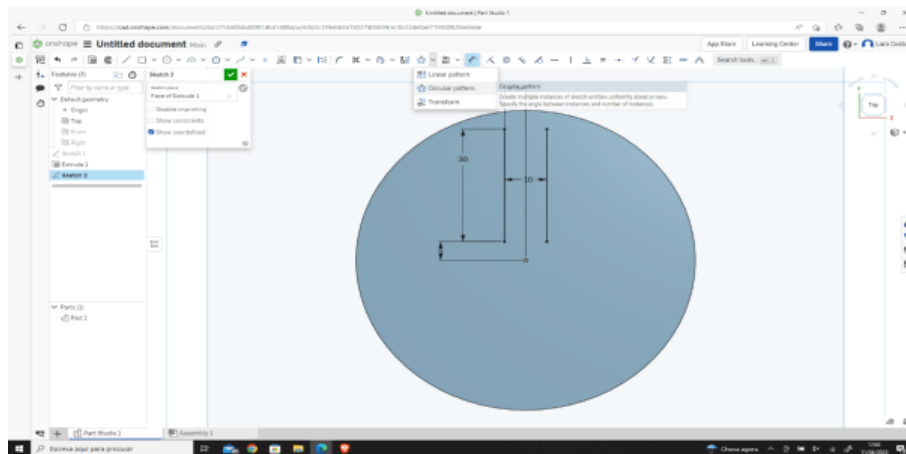
6° Passo - Seleziona lo strumento di disegno "linea" e disegna 2 linee parallele.



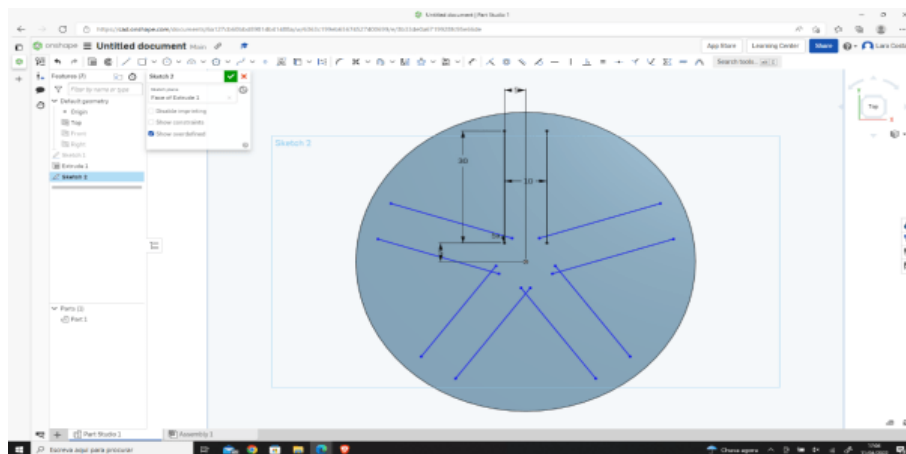
7° Passo - Impostare le dimensioni come mostrato nell'immagine.



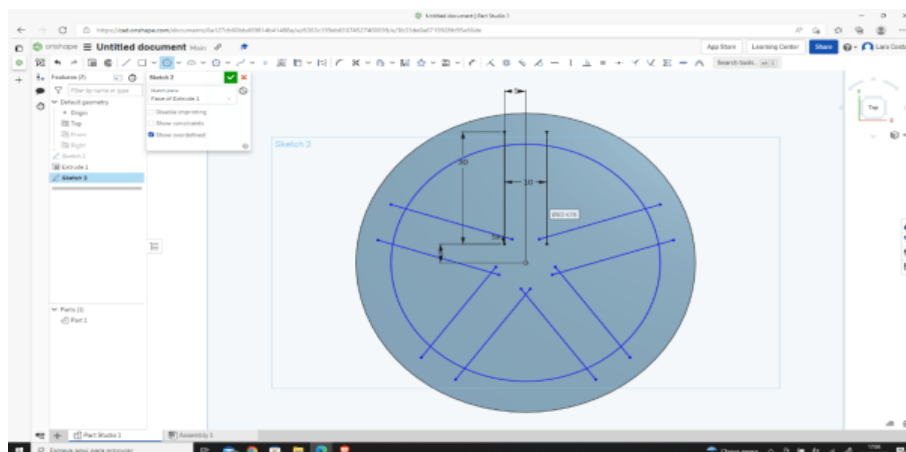
8° Passo - Seleziona lo strumento di schizzo "modello circolare".



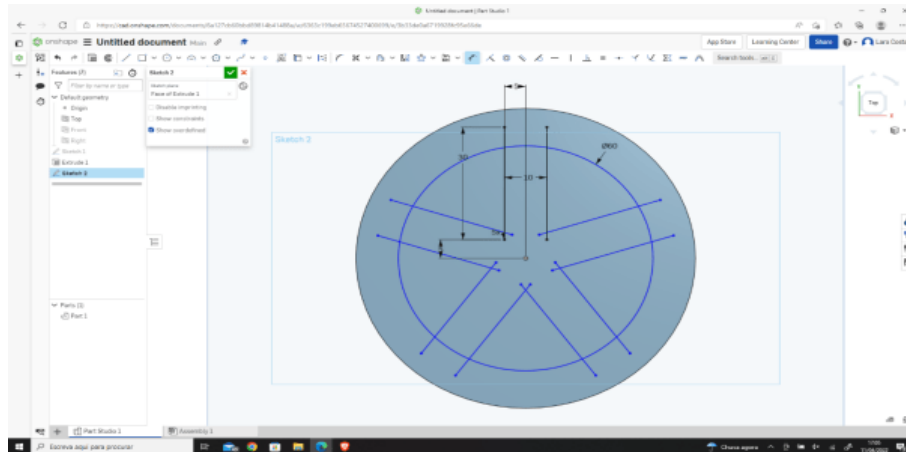
9° Passo - Seleziona le 2 linee in arancione e cambia a 5x.



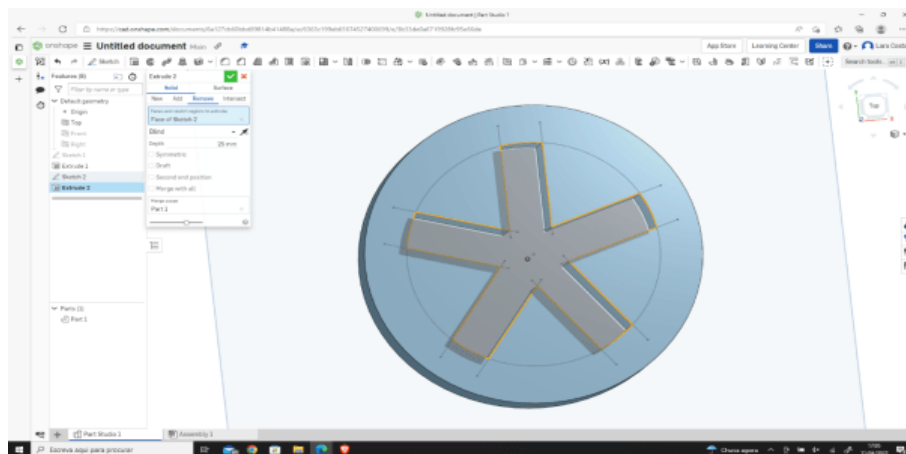
10° Passo - Selezionate lo strumento "cerchio punto centrale" e disegnate un cerchio partendo dal centro.



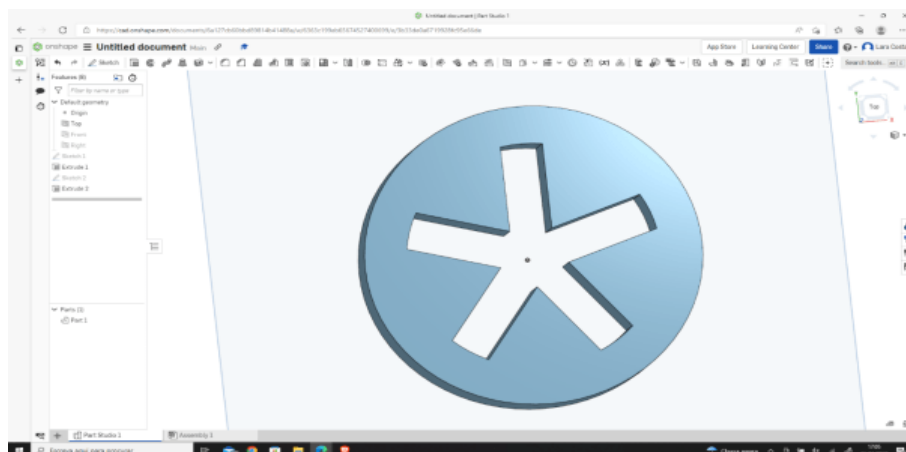
11° Passo - Impostare la dimensione a 60mm.



12° Passo - Seleziona estrudi, poi scegli di rimuovere e clicca sul segno di spunta verde.



13° Passo - Il risultato dovrebbe assomigliare alla seguente immagine.



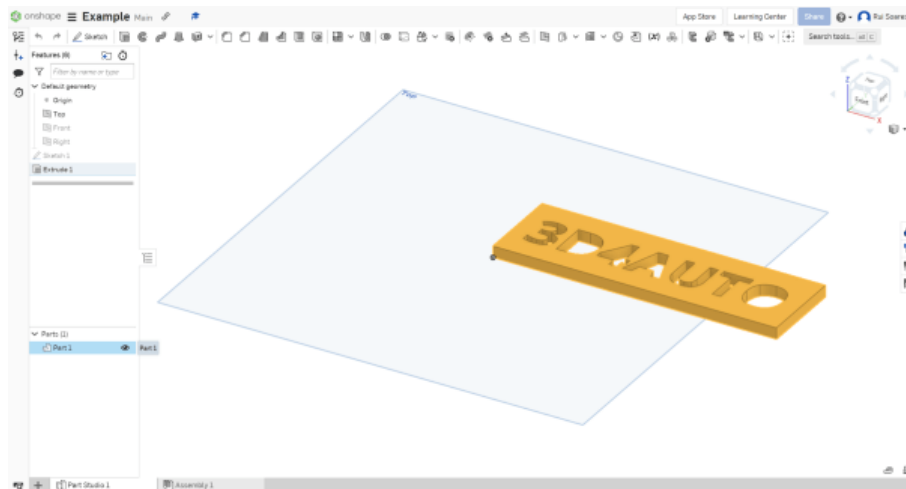
### 3.6 Introduzione a STL

Il formato STL è uno dei formati di interscambio più popolare generato dai software di disegno 3D.

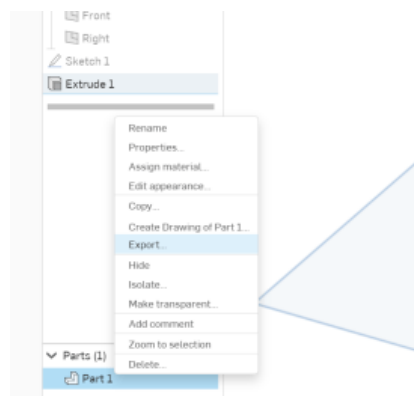
Questo file è usato per trasferire le informazioni del nostro disegno al software di affettamento.

Con il software di slicing, trasformeremo il disegno in informazioni da stampare con una stampante 3D.

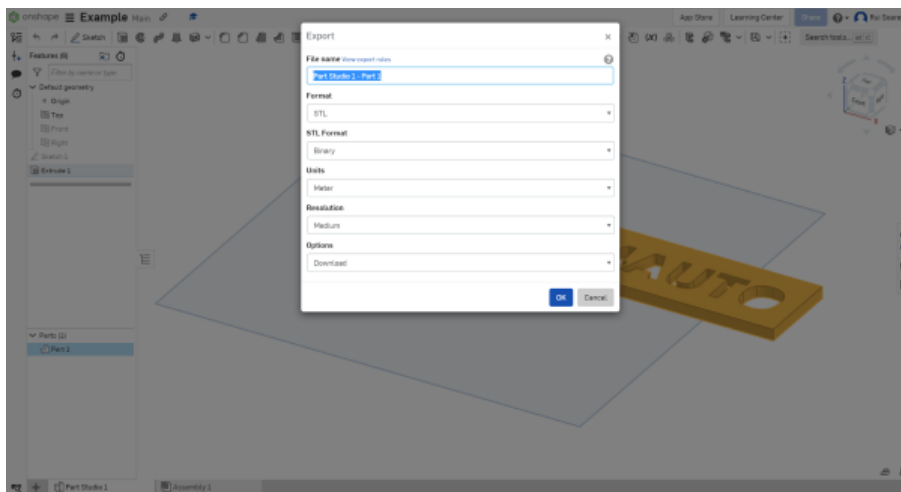
Per fare questo, dobbiamo selezionare la parte desiderata e cliccare con il tasto destro del mouse sulle parti selezionate.



Selezionare "Esportazione".



Potete cambiare il nome del file esportato e mantenere tutte le impostazioni standard.



***Impostazioni raccomandate:***

***Formato: STL***

***Formato STL: Binario***

***Unità: Metro***

***Risoluzione: Medio***

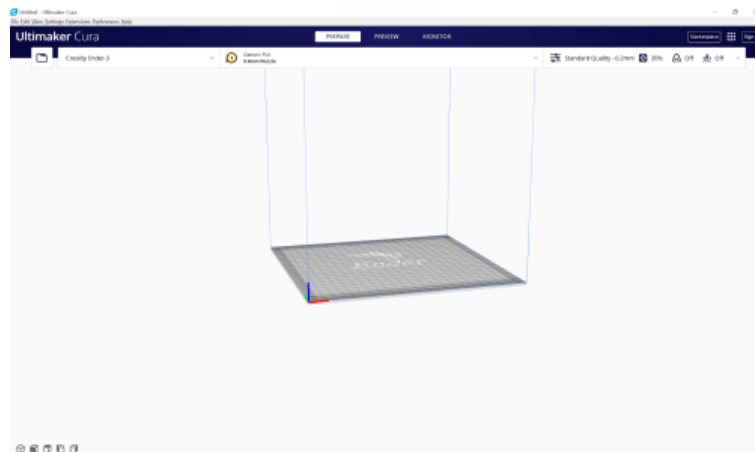
***Opzioni: Scaricare***

### ***3.7 Ultimaker Cura Software***

Creato originariamente da David Braam e poi acquistato dall'azienda Ultimaker, Cura è un software di slicing per modelli 3D. È probabilmente il software più potente sul mercato, reso disponibile in open source per un uso completamente gratuito.

È stato eletto come software dell'anno 2019 dal Printing Industry Awards di Londra.

Cura esegue lo slicing dei progetti 3D e converte il nostro progetto, originariamente in STL, in GCode, un formato letto dalle stampanti 3D. Attualmente è il software più utilizzato al mondo dall'industria, dai dipartimenti di sviluppo dei prodotti o dagli appassionati domestici che vogliono stampare le proprie parti.



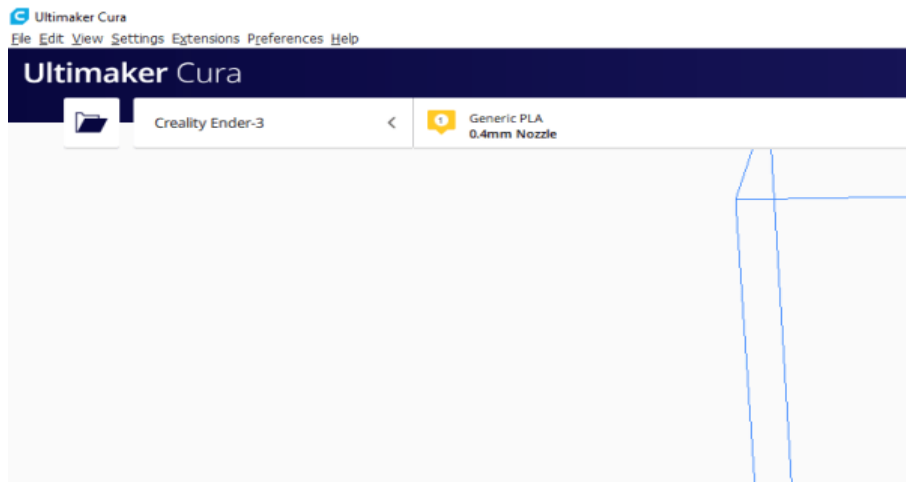
### ***3.8 Importazione dei file STL e slicing in Ultimaker Cura***

Nella stampa 3D, è necessario avere un modello 3D (il disegno in formato 3D). Il formato più comune ed utilizzato è il formato STL. In seguito, è necessario convertire il file in un listato di informazioni (codice G) che può essere letto dalla stampante 3D. Questo tipo di codifica è fatto da un software di slicing e il processo è chiamato slicing.

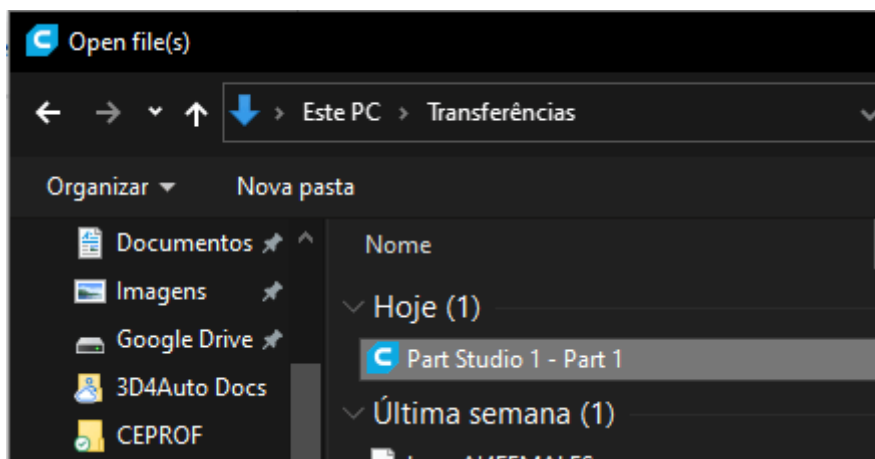
Alla fine di questo processo, l'utente può inviare il file direttamente a una stampante 3D o salvarlo su una scheda SD o memoria fisica USB, per esempio. Al giorno d'oggi, possiamo anche inviare il file via wi-fi. L'utente ha molte opzioni tra cui scegliere, dato che ci sono diversi software di slicing per la stampa 3D. È per la parte successiva che abbiamo bisogno di Ultimaker Cura. È uno dei software di slicing più comuni e potenti sul mercato, ed è gratuito!

Quindi, per convertire il design, dobbiamo:

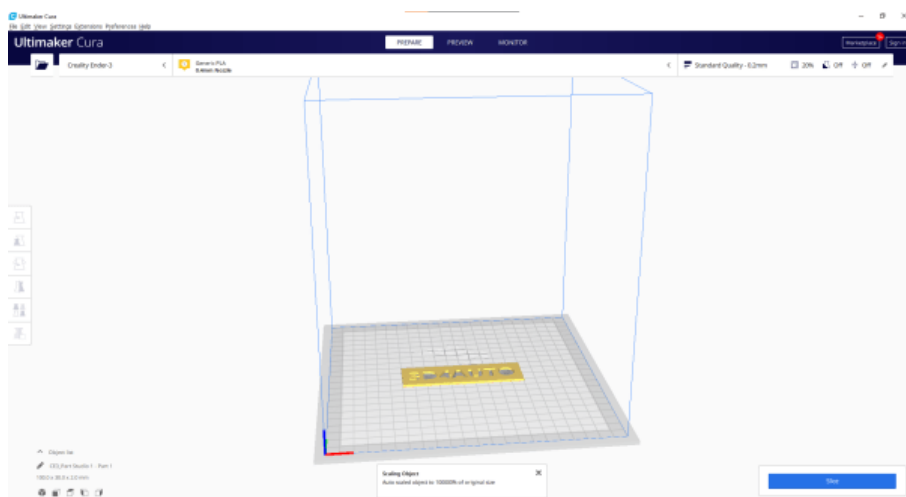
1° Passo - Importare il file STL in Cura cliccando sul pulsante "open".



2° Passo - Seleziona il tuo file .stl.



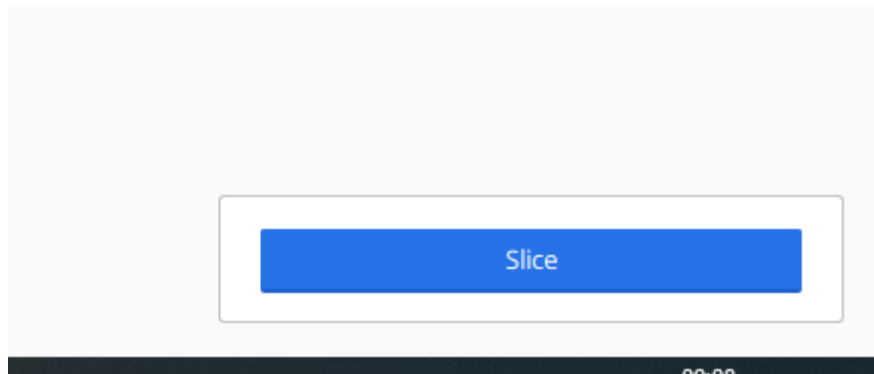
3° Passo - Assicurarsi che il pezzo sia posizionato correttamente.



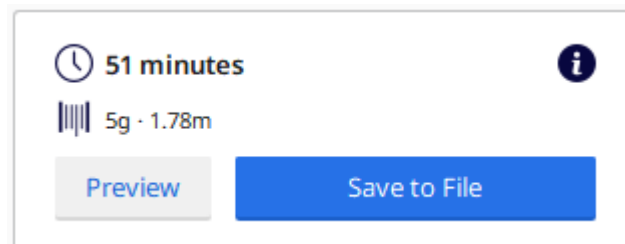


Posizionare una parte/oggetto su uno slicer è un processo che richiede attenzione perché, a causa della gravità, un oggetto non può essere stampato a qualsiasi angolo. La gravità deve essere sempre considerata perché questo tipo di stampa deposita il filamento strato per strato e la stampante selezionata opera dal basso verso l'alto.

4° Passo - Premere il pulsante "Slice".



Dopo questo, il programma vi darà alcune informazioni importanti come il tempo di stampa stimato e la quantità e la lunghezza del PLA necessario.



Puoi usare il pulsante "Anteprima" per vedere come la stampante 3D stamperà la tua parte.



Puoi usare il pulsante "Save to File" per scaricare il file .gcode.

Il file .gcode contiene tutte le coordinate e le linee che la stampa deve seguire per stampare l'oggetto. È come un percorso GPS per arrivare a una certa destinazione, ma nella stampa 3D, la destinazione sarà il pezzo completamente stampato.

### ***3.9 Conclusione***

In sintesi, in questa unità, abbiamo visto come progettare una parte 3D utilizzando il software OnShape, abbiamo visto alcune delle tecniche di disegno più importanti, abbiamo imparato cosa sono i file STL e GCode e abbiamo fatto conoscenza con il software Ultimaker Cura.

In questa unità, abbiamo usato il design di una piccola piastra di identificazione come esempio per un progetto. Nell'immagine seguente, potete trovare il risultato finale stampato in PLA.



## 4 TECNICHE DI SLICING

La prototipazione rapida (RP) o la fabbricazione a strati (LM) o la fabbricazione additiva (AM) è un processo in cui una parte è prodotta usando l'aggiunta di materiale strato per strato. L'intero processo di produzione di prototipazione rapida, si basa sulla creazione di un modello geometrico in un modellatore solido, la tassellatura, lo slicing, la generazione di percorsi di scansione laser o percorsi di deposizione del materiale, la deposizione strato per strato e poi le operazioni di post processing come mostrato nella Figura 1.

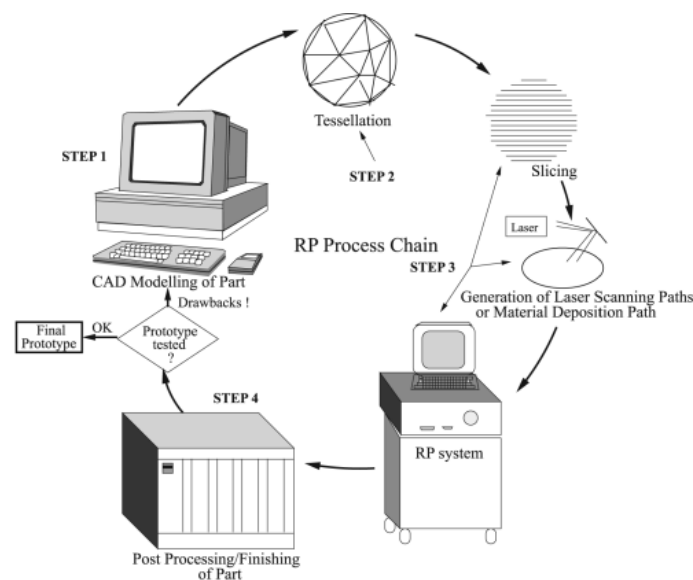


Figura 4-1 - Catena del processo RP.

La tassellatura è un processo di approssimazione della forma 3D del modello CAD con patch triangolari planari. Se le patch triangolari sono piccole, il modello CAD tassellato ha dimensioni e forma più vicine al modello CAD originale e viceversa se le patch triangolari sono più grandi. Le tecniche di slicing sono modi per calcolare i parametri dei livelli. Quando si parla di tecniche di slicing dobbiamo avere in mente che in realtà si parla di algoritmi. Gli algoritmi hanno i dati del modello CAD dopo la tassellatura come dati di input e calcolano tutti i parametri di ogni fetta. Lo slicing del modello CAD tassellato con uno spessore di fetta molto piccolo porta a un grande tempo di stampa. D'altra parte, se viene scelto un grande spessore di slice, la finitura superficiale è molto cattiva a causa dello staircasing. Queste due questioni contraddittorie, cioè

la riduzione del tempo di costruzione e la migliore qualità della superficie, sono state una grande preoccupazione che ha portato allo sviluppo di un certo numero di procedure di slicing.

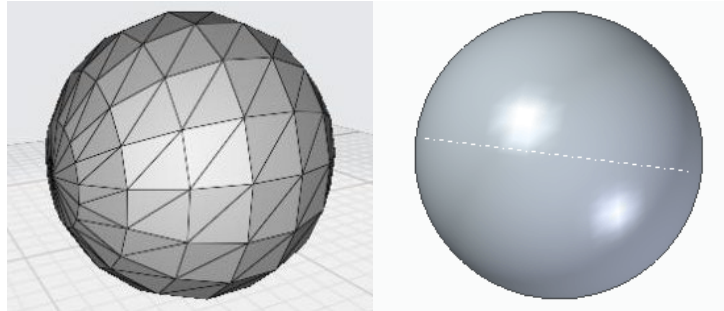


Figura 4-2 - Modello 3D di sfera e un file di tipo STL dello stesso modello di sfera (tassellatura) Triangoli-272 Vertici-816.

## 4.1 Slicing uniforme

Il processo di taglio uniforme separa il modello CAD in strati di spessore uniforme dal basso del modello verso l'alto per la stampa. Assumiamo che il modello CAD sia sul piano orizzontale XY del sistema di coordinate cartesiane Figura 4-3. L'asse Z punta in alto perpendicolarmente al piano XY. Creiamo un nuovo piano  $XY_1$  parallelo ed al di sopra del piano XY ad una distanza pari allo spessore di uno strato. Creando un nuovo piano  $XY_2$  parallelo al piano XY inferiore e al di sopra del piano  $XY_1$  allo stesso spessore di strato da  $XY_1$ . Ci saranno due fette del modello CAD. Continuare il processo con piani consecutivi  $XY_i$  paralleli al piano XY inferiore a strati di spessore uniforme affetta l'intero modello CAD. Per estrarre il profilo di ogni strato, si registra ogni linea formata da un triangolo che interseca il piano di taglio. Il processo di ricerca dei triangoli intersecanti può essere ottimizzato ordinando i vertici dei triangoli in base ai valori Z corrispondenti.

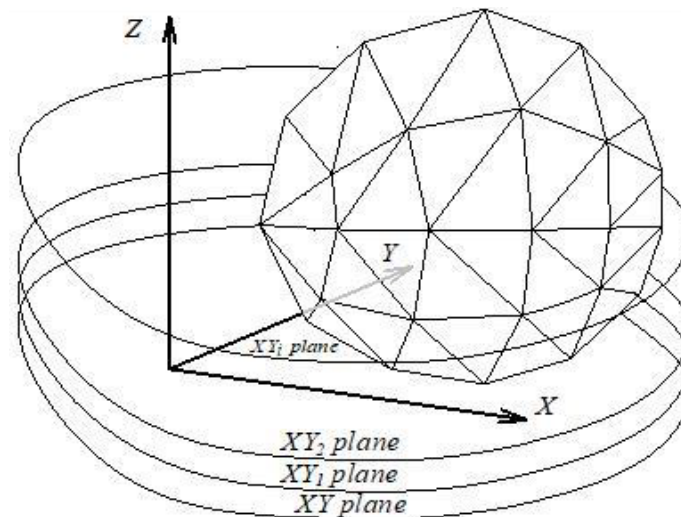


Figura 4-3 - Piani di taglio attraverso il modello CAD tassellato.

Pertanto, il vertice Z più basso e il vertice Z più alto possono essere determinati per ogni triangolo. Le intersezioni sono calcolate solo sui triangoli il cui piano di taglio è tra il vertice Z più basso e il vertice Z più alto. Le diverse situazioni dell'intersezione di ogni triangolo con il piano di taglio sono classificate come mostrato nella Figura 4-4.

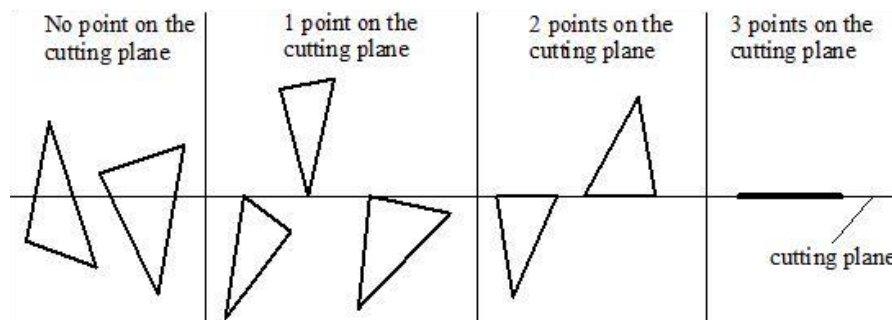


Figura 4-4 - Diverse condizioni di affettamento.

Per ogni singola sfaccettatura del triangolo:

1. Nessun vertice di un triangolo giace sul piano di taglio. In questo caso si calcola la linea tra i punti di intersezione del piano di taglio e i bordi del triangolo.
2. Un solo vertice giace sul piano di taglio. Non c'è intersezione tra il piano di taglio e i bordi del triangolo.
3. Due vertici giacciono sul piano di taglio. Il bordo corrispondente ai due vertici è l'intersezione che contribuisce al profilo.
4. Tre vertici giacciono sul piano di taglio. L'intero triangolo è sul piano. I bordi che non sono condivisi da due triangoli contribuiscono al profilo.

5. I metodi classici di intersezione linea-luogo possono essere applicati per calcolare le intersezioni per il primo caso. La Figura 4-5 mostra uno scenario generale per trovare l'intersezione di un piano di taglio e i bordi di un triangolo. Le formule non sono discusse qui.

Poiché i triangoli contenuti in un file STL possono essere distribuiti in modo casuale, controllare ogni triangolo con ogni piano di taglio può essere inefficiente a livello di calcolo.

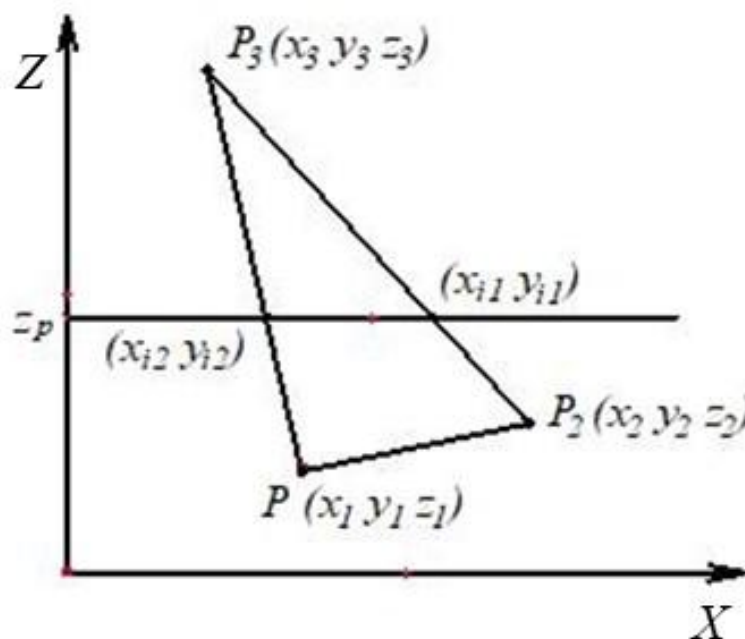


Figura 4-5 - Intersezione di una sfaccettatura del triangolo.

Pertanto, può essere implementata una tecnica di preprocessing per i modelli per una migliore efficienza. Un modo per accelerare la ricerca dei triangoli che sono tagliati con il piano di taglio è quello di ordinare i vertici dei triangoli in ordine di valore z. Un semplice controllo che può essere applicato per ogni piano di taglio sarebbe quello di controllare i valori z dei vertici di ogni triangolo. Se il valore z del piano di taglio è compreso tra il minimo e il massimo valore z del triangolo, allora quel triangolo dovrebbe intersecare il piano. Le linee di intersezione possono essere determinate usando il metodo descritto sopra. Il processo è mostrato nella Figura 4-6. Una volta che tutti i segmenti delle linee di intersezione sono stati calcolati, devono essere collegati per formare poligoni che rappresentano i contorni degli oggetti. L'idea dell'algoritmo in Figura 4-7 è di trovare il segmento di linea più vicino al segmento di linea

corrente. È possibile introdurre un valore di tolleranza per determinare se un punto è abbastanza vicino da essere considerato come un punto di collegamento perché i punti più vicini potrebbero non avere le stesse coordinate determinate dal calcolo dell'intersezione.

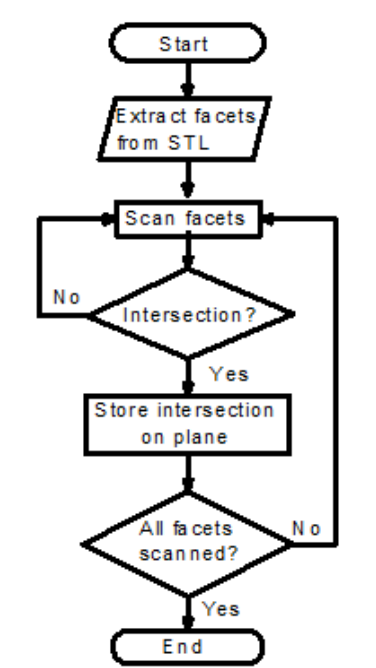


Figura 4-6 - Algoritmo per determinare le intersezioni dai dati STL.

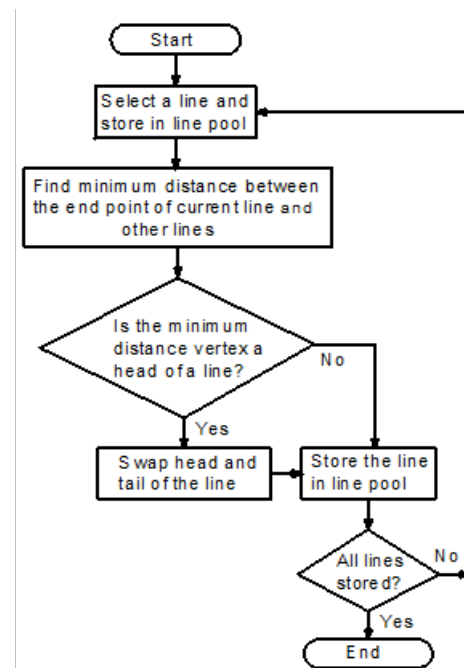


Figura 4-7 - Algoritmo per collegare le intersezioni.

## 4.2 Effetto scala

L'effetto scala è generato dal processo di slicing uniforme e si verifica a causa dell'esistenza dei bordi a gradini. Ci sono due tipi di scale, bordi a gradini esterni e interni, come mostrato nella Figura 4-8. In questa rappresentazione, il contorno dei bordi dello strato è considerato quadrato. La presenza dell'effetto gradino è una delle maggiori preoccupazioni per la qualità del prototipo. Diminuire lo spessore dello strato potrebbe migliorare la finitura superficiale al costo di un tempo di realizzazione più lungo.

L'effetto gradino è stato ben studiato finora grazie a molte considerazioni sui lavori di ricerca e sui processi di modellazione. Durante la valutazione del modello, l'effetto stair-step è stato previsto usando un approccio numerico.



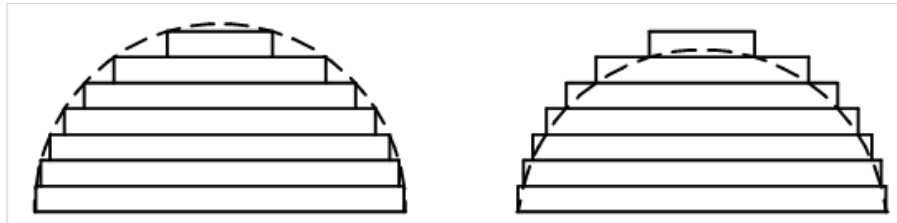


Figura 4-8 - Due tipi di bordi a gradini. (a) Bordo interno a gradini (b) Bordo esterno a gradini

Il contorno dei bordi dello strato è assimilato ad un cerchio con diametro pari a quello dello spessore dello strato. Un altro parametro da analizzare nell'additive manufacturing è la rugosità della superficie. La media della rugosità ( $R_a$ ) è calcolata per due tipologie di modellazione, cioè bordo quadrato e bordo arrotondato. Sulla base della  $R_a$ , lo spessore costante dello strato può essere impostato opportunamente per raggiungere le tolleranze richieste. C'è un tentativo di modellare la rugosità della superficie negli oggetti FDM (Fused Deposition Modeling). In tale trattazione, viene proposto e verificato un modello teorico per rappresentare la distribuzione della rugosità superficiale sotto diversi angoli di superficie. La sezione trasversale del filamento depositato è considerata ellittica. I filamenti in strati successivi sono impilati e sovrapposti. Questo modello è convalidato confrontando i dati misurati e quelli previsti. C'è anche lo sviluppo di un modello numerico per valutare l'impatto degli errori geometrici sulle proprietà meccaniche usando un approccio di modellazione voxel. Questa ricerca considera l'effetto gradino come un fattore che influenza la proprietà meccanica. In questo approccio, un modello a elementi finiti basato su voxel è proposto e utilizzato per simulare prove di trazione. Un'altra considerazione ha proposto una descrizione geometrica della rugosità del profilo. La rugosità media ( $R_a$ ) in questo modello geometrico può essere calcolata numericamente dallo spessore dello strato e dall'angolo di stratificazione.

Alcuni ricercatori hanno cercato di eliminare l'effetto gradino applicando lavorazioni di finitura secondarie, conosciute anche come fasi di post-processing. C'è una proposta per migliorare la rugosità della superficie con il metodo di fresatura CNC. Questo approccio può essere dispendioso in termini di tempo, poiché ha bisogno di impostazioni e operazioni sulla macchina. Alcuni oggetti complessi possono essere impossibili da lavorare a causa di zone inaccessibili. Un'altra proposta è quella di utilizzare l'approccio AFM (abrasive flow machining) per rifinire gli oggetti prodotti in modo additivo. Allo stesso modo, un metodo di sbavatura a getto abrasivo può essere usato per finire gli oggetti dell'apparato stereolitografico. Questi approcci hanno cercato di trovare il miglior setup della macchina e i parametri di processo per ottenere una

migliore finitura superficiale con un tempo di lavorazione accettabile. Il metodo di finitura a barile (BF) è un altro approccio per migliorare la rugosità della superficie degli oggetti FDM.

### 4.3 Slicing adattivo

Per ottenere una geometria di superficie accurata senza alcun processo secondario, molte ricerche si sono concentrate sulla ricerca dello spessore ottimale di ogni strato per lo slicing del modello. È stato introdotto il concetto di tolleranza sull'altezza delle cuspidi e si è tentato di limitare l'effetto scale-step agendo sul valore di tolleranza delle cuspidi definita dall'utente. La Figura 4-9 dimostra l'idea di slicing adattivo. Lo spessore dello strato è determinato da una tolleranza geometrica definita dall'utente. L'errore tra il modello CAD e la parte depositata è definito in termini di una tolleranza di altezza della cuspidi.

Come mostrato in Figura 4-9, i bordi di costruzione sono considerati rettangolari, e lo spessore dello strato,  $t$ , è determinato da un'altezza massima ammissibile predefinita delle cuspidi. Lo spessore dello strato desiderato può essere calcolato da

$$t_d = \min \left\{ L_{max}, \frac{C_{max}}{N_z} \right\} \quad (4.1)$$

dove  $C_{max}$  è l'altezza massima consentita delle cuspidi,  $N_z$  è la componente  $z$  del vettore normale della superficie, e  $L_{max}$  è lo spessore massimo dello strato che la macchina AM può produrre.

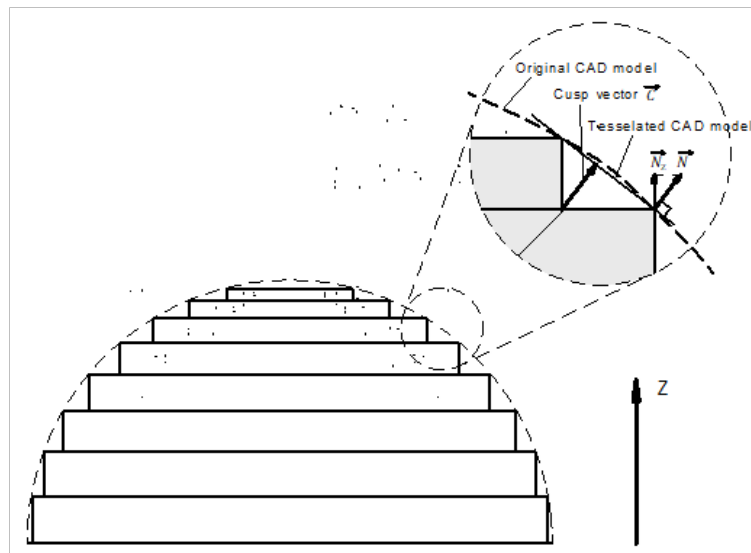
E lo spessore dello strato di affettatura è dato da

$$t = \max \{ L_{min}, t_d \} \quad (4.2)$$

dove  $L_{min}$  è lo spessore minimo dello strato disponibile.

La procedura di taglio adattivo è stata dimostrata da molte applicazioni di ricerca per il miglioramento delle parti. Viene proposto un metodo di slicing adattivo di raffinamento uniforme a tappe. In primo luogo, il modello CAD viene tagliato con il massimo spessore disponibile utilizzando un algoritmo di taglio uniforme. Poi, ogni strato viene nuovamente affettato in sub-strati per ottenere la tolleranza di cuspidi richiesta. Viene introdotto un

algoritmo chiamato algoritmo di slicing adattivo locale. Questo algoritmo affetta dinamicamente il modello per ogni caratteristica locale. Questo approccio aumenta l'efficienza di stampa in modo significativo evitando le fette che non migliorano la qualità della superficie. Viene proposto un altro algoritmo chiamato algoritmo di slicing adattivo basato sulla regione. L'idea è simile a quella menzionata in precedenza, che tratta diverse regioni nella parte con diverse tolleranze di cuspidi. Questo migliora l'efficienza complessiva in un altro modo che non sacrifica la qualità della superficie.



*Figura 4-9 - Taglio adattivo e altezza delle cuspidi.*

È stato fatto un tentativo di effettuare lo slicing in modo adattivo basando il modello basato sul profilo parabolico del bordo dello strato invece che quadrato. Questo metodo calcola lo spessore dello strato in tempo reale basandosi sul profilo del bordo dello strato precedente e sulla tolleranza delle cuspidi.

Viene introdotto un sistema di slicing diretto adattivo basato sul criterio delle superfici inclinate. Questo approccio descrive i profili di bordo a gradini usando la superficie B-spline e valuta l'errore di superficie misurando la distanza tra la superficie B-spline e il vettore di taglio. C'è un'altra proposta per un approccio innovativo per effettuare lo slicing dei modelli basato su NURBS usando una strategia adattiva di slicing e di tratteggio selettivo. In questa proposta, le caratteristiche di picco sono identificate e mantenute durante la procedura di taglio adattivo. Il modulo di tratteggio selettivo calcola quindi l'area per separare la regione interna e la regione del contorno ed applicare uno spessore diverso dello strato su queste due regioni.

È stato sviluppato un approccio per un metodo di slicing adattivo per modelli di produzione additiva multiasse. Questo approccio ottimizza la direzione di deposizione per minimizzare la struttura di supporto e costruisce parti in un sistema ibrido a 5 assi. Il taglio adattivo è applicato ad ogni direzione di deposizione per massimizzare l'efficienza. Un altro metodo di slicing adattivo, invece che determinare il massimo spessore disponibile, inizia con il minimo spessore disponibile in modo che ogni angolo concavo o convesso sul profilo dell'oggetto possa essere rappresentato il più accuratamente possibile dopo il slicing. Poi gli spessori degli strati sono determinati in base alla deviazione dell'area e alle tolleranze dell'area del triangolo del contorno sulle viste superiore e laterale.

L'ultimo metodo in questo riassunto di tecniche di slicing adattivo è un sistema di slicing adattivo basato sulla tolleranza volumetrica piuttosto che sulla tolleranza delle cuspidi 2D. Questa ricerca categorizza la deviazione della superficie in effetto scala e rugosità superficiale causata dalla pendenza della superficie e dallo spessore dello strato. Gli spessori finali degli strati sono determinati per mantenere la deviazione volumetrica totale entro la tolleranza desiderata.

#### ***4.4 Slicing a strati curvi***

Oltre alle procedure di taglio adattive, molte ricerche si sono concentrate sul taglio di strati curvi per affrontare alcune delle principali limitazioni del taglio di strati piani, ad esempio l'effetto scala e il percorso utensile discontinuo sulla superficie esterna. Viene proposto un processo LOM (Laminated Object Manufacturing) a strato curvo per produrre oggetti a strato curvo, specialmente componenti sottili a guscio. Il valore  $z$  di ogni punto sullo strato curvo è interpolato da una "griglia di altezza". La forma di ogni nuovo strato è determinata da un metodo ad anello aperto, che sposta un punto sulla griglia con triangoli adiacenti insieme al vettore normale di ogni triangolo della distanza di uno spessore di strato. Poi, adatta una superficie tangente nei quattro triangoli di offset desiderati con un polinomio di terzo grado.

Un'altra proposta è un algoritmo di generazione del percorso utensile per un processo di deposizione fusa a strato curvo (CLFDM). In questa ricerca viene definita, formulata e simulata la geometria del percorso del filamento. C'è un'integrazione del taglio adattivo e del taglio degli

strati curvi basato sul metodo di intersezione a tre piani per la compensazione degli strati curvi. Questo metodo può gestire forme semplici per ottenere un taglio curvo adattivo.

Alcune altre ricerche hanno tentato di modellare e implementare il CLFDM per varie applicazioni. È stata fatta una discussione sulla possibilità di applicare il CLFDM a componenti di plastica con tracce elettroniche conduttive. La tecnologia CLFDM ha il potenziale per costruire tali parti in plastica senza circuiti stampati e cablaggi. Un proof-of-concept è stato costruito in questa ricerca per validare l'ipotesi. È stata fatta un'implementazione del metodo di fabbricazione del filamento fuso a strato curvo su una stampante 3D stile delta. Una superficie di pelle parametrizzata è prodotta come parte di esempio in questa ricerca. Il percorso utensile viene generato calcolando il valore z statico sulla superficie con coordinate x e y note. La finitura superficiale è significativamente migliorata rispetto a quella di una parte affettata a strato piatto. C'è un'implementazione di una produzione additiva a strato curvo per un processo di costruzione su larga scala. In questa considerazione, il percorso utensile è generato in un plugin di Rhinoceros e convertito in codice G. Un esempio viene poi stampato e valutato utilizzando il sistema di stampa 3D in calcestruzzo. I passi chiave nello sviluppo di un algoritmo di slicing a strati curvi sono quelli di raccogliere i vertici e le sfaccettature sulla superficie superiore della parte. Dopo aver raggruppato la nuvola di punti della superficie superiore, le sfaccettature e i vertici sono sfalsati lungo la direzione normale di una quantità pari allo spessore dello strato. Come menzionato sopra, ci sono diverse tecniche per determinare le direzioni normali a seconda dell'applicazione.

## ***4.5 Slicing diretto***

Anche se il formato STL è ampiamente utilizzato nell'industria, ci sono altri modi di definire i modelli 3D e di generare i dati delle slice. In alcuni campi specifici, per esempio l'ingegneria dei bio-tessuti che fabbricano strutture di sostegno biologiche di bio-tessuto, le parti finite sono notevolmente influenzate dalla precisione della rappresentazione geometrica del modello CAD. Le strutture biomediche sono progettate per sostituire sezioni del corpo, il che richiede una rappresentazione più accurata dei modelli CAD rispetto al formato STL. Inoltre, per le applicazioni che producono grandi geometrie, i file STL sono solitamente più grandi del file CAD a causa della loro elevata ridondanza nella rappresentazione della geometria. Quindi, generare dati di slice direttamente dagli strumenti CAD calcolando l'intersezione di un piano con un

modello per tali applicazioni sarebbe vantaggioso. Sono stati fatti molti tentativi per sviluppare un metodo di taglio diretto basato su pacchetti software CAD. Questi software CAD forniscono pacchetti di slicing o supportano i comandi di slicing in modi diversi. Un metodo di slicing diretto è stato sviluppato sulla base di PowerShape, che è un software CAD per la modellazione di parti complesse. I modelli sono tagliati in strati scrivendo un file macro, che contiene i comandi di taglio, in AutoSection, che è un pacchetto integrato in PowerShape. Inoltre, è stato proposto un metodo di slicing diretto dai modelli solidi di AutoCAD. Questo metodo invia un messaggio scritto in VBA ad AutoCAD per utilizzare l'interfaccia AutoCAD ActiveX Automation, che fornisce un comando SLICE. I dati planari affettati sono memorizzati in un file DXF. Alcuni lavori di ricerca hanno cercato di sviluppare metodi di slicing indipendenti da qualsiasi software CAD. Un metodo di slicing diretto è stato sviluppato per modelli basati su STEP rappresentati da superfici NURBS. Questo metodo determina la direzione di costruzione ottimale minimizzando l'altezza di costruzione; raffina le superfici NURBS aggiungendo più punti di controllo senza cambiare la forma originale per garantire la convergenza all'interno del sub-patch raffinato; trova i punti di intersezione con la routine di iterazione della bisezione, poi, categorizza i punti di intersezione in entrata e uscita. Questo metodo è indipendente dal software CAD, poiché è basato su un formato standard (STEP) che è supportato dalla maggior parte dei software CAD.

C'è una proposta per un approccio di affettamento basato su punti. Questo algoritmo prima campiona discretamente il modello originale e lo converte in una rappresentazione per punti. In secondo luogo, sul modello basato su punti viene effettuato lo slicing in gruppi di punti, che sono all'interno di uno spessore di strato nella direzione z dell'altezza dello strato. Poi, i punti dello strato sono separati in curve di intersezione, e i confini delle curve sono adattati con curve B-spline. Questo metodo aggira la difficoltà di affettare il modello NURBS trasformandolo in modello point-cloud. Il lavoro precedente è stato esplorato anche nell'area del direct slicing adattivo. Esiste un'implementazione per un metodo di taglio diretto adattivo che integra il taglio adattivo con il taglio diretto. Questo metodo legge il file DXF generato da AutoCAD, affetta il modello in contorni 2D usando lo slicing adattivo per garantire la tolleranza della scala desiderata, quindi genera i percorsi degli utensili. Un altro sviluppo basato sul formato STEP è un metodo di taglio diretto adattivo con altezze non uniformi delle cuspidi. In questo metodo, diversi requisiti di qualità possono essere soddisfatti per varie superfici di parti.



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

Lo svantaggio principale del direct slicing è che la rappresentazione del modello 3D varia da sistema CAD a sistema CAD. Anche il formato più comunemente usato, per esempio STEP, è supportato solo da alcuni software CAD. Quei metodi di slicing che si basano su un sistema CAD specifico non possono essere usati per altri sistemi CAD.

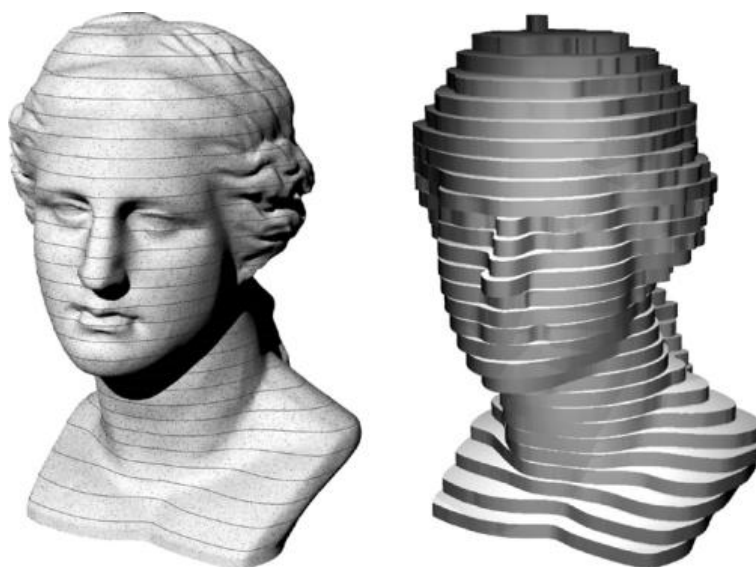
## 5 UTILIZZO DELLE TECNICHE DELLA STAMPANTE 3D

### 5.1 Introduzione

Le macchine per la fabbricazione additiva sul mercato oggi evolvono ad un ritmo elevato. Nuovi processi che sono attualmente in fase di ricerca o in fase di sviluppo irromperanno sul mercato, mentre contemporaneamente, i sistemi provati e testati saranno aggiornati in un tempo relativamente breve.

Tutti i modelli di fabbricazione additiva (in seguito AM) sono costruiti unendo singoli strati di uguale spessore. Lo strato è modellato (contornato) in un piano  $x-y$  bidimensionale. La terza dimensione risulta dai singoli strati impilati l'uno sull'altro, ma non come una coordinata  $z$  continua. In senso stretto, i processi di produzione additiva sono quindi processi  $2\frac{1}{2}D$ .

I modelli sono quindi forme tridimensionali che sono molto accurate sul piano di costruzione (direzione  $x-y$ ) e grazie alla procedura descritta vengono poi scalati in direzione  $z$ , per cui più piccolo è il passo  $z$ , più il modello assomiglia all'originale. Figura 5-1 mostra un esempio di un modello tridimensionale sezionato ed il modello di spostamento risultante, che è caratterizzato dall'effetto gradino.



*Figura 5-1 - Superficie a gradini come risultato del processo di stratificazione. Modello solido tridimensionale (a sinistra) con strati marcati equidistanti e il modello di strato creato (a destra) (Fonte: FH-Aachen)*



L'effetto scala è una caratteristica tipica del processo di fabbricazione additiva che non può mai essere eliminato completamente, ma può essere ridotto diminuendo lo spessore dello strato [1].

## ***5.2 Tecnologie di stampa: stampa a base liquida***

Nel campo della tecnologia di produzione additiva, attualmente, si utilizzano come materiali di stampa allo stato liquido in condizioni ambientali monomeri non o poco reticolati del tipo acrilato, epossidico o vinile. In fase di stampa, essi saranno localmente reticolati da radiazioni ultraviolette per formare strati e componenti solidi. I processi sono chiamati fotopolimerizzazione, stereolitografia o stereografia.

### **5.2.1 Fotopolimerizzazione - Stereolitografia (SL)**

Tutti i processi in cui il meccanismo di base è la solidificazione dei liquidi si basano sul concetto di (foto)-polimerizzazione. Usano un monomero viscoso con pochi o nessun legame di reticolazione che è intervallato da opportuni fotoinibitori. L'esposizione ai raggi ultravioletti innesca una polimerizzazione spontanea, nel corso della quale il monomero liquido diventa un polimero solido. Questo processo, che in linea di principio funziona anche con tutte le fonti di luce UV e sotto la luce del sole, è adattato ai requisiti speciali dei processi di produzione additiva per quanto riguarda la strategia di esposizione. Il processo di scansione laser è il più antico e ancora il più preciso. Un sottile raggio laser forma il contorno della rispettiva sezione sulla superficie di un bagno di resina e genera localmente la densità di energia critica necessaria per la polimerizzazione e quindi la solidificazione desiderata. Nei metodi industriali attuali, un singolo raggio laser focalizzato fornisce l'energia necessaria. Specialmente nella microtecnica, viene applicato il processo a due fotoni. Ci sono due metodi nel processo di mascheramento. Nel processo di mascheramento a lampada, l'intera sezione trasversale è ripresa su una maschera trasparente e viene proiettata per mezzo di forti lampade UV attraverso questa maschera sulla superficie del bagno di resina. Nel processo di proiezione, un potente proiettore (beamer) svolge entrambe le funzioni e proietta lo strato informativo direttamente sulla superficie da esporre. Nel processo ugello-lampada, il componente viene prodotto per mezzo di un ugello e poi polimerizzato per mezzo di una lampada UV.

### ***5.3 Polimerizzazione: Dispositivi di stereolitografia (SL)***

La polimerizzazione locale come principio di indurimento selettivo di precursori monomerici liquidi o in pasta si è diffusa nei primi 10 anni dopo il lancio di processi additivi esclusivamente come la stereolitografia laser (più precisamente, ma di solito non si parla di stereolitografia laser scanner). Nel frattempo, hanno acquisito importanza i processi che lavorano con maschere (metodo della maschera a lampada) o con testine di stampa (processo di stampa polimerica). I metodi coesistono, e ognuno richiede processi e macchine personalizzate.

La stereolitografia commercializzata nel 1987 è ancora il punto di riferimento per molti altri processi additivi. Più importante a questo punto, la descrizione dettagliata della produzione che è adatta alle parti in stereolitografia dà un senso dei processi additivi nel loro insieme e può essere trasferita ad altri metodi in molti aspetti.

#### **5.3.1 Base specifica per la macchina**

L'applicazione industriale del principio di solidificazione di monomeri liquidi o viscosi per polimerizzazione è chiamata stereolitografia. Include la stereolitografia con scanner laser, la stereolitografia con maschera a lampada, il metodo di stampa a polimeri e la polimerizzazione di paste. Le varianti per la contornatura e la solidificazione degli strati saranno presentate in sottosezioni.

##### ***5.3.1.1 STEREOLOGRAFIA LASER***

La società 3D Systems chiama il suo metodo di stereolitografia Stereolithography, SLA; la società EOS lo chiama Stereography. I termini sono marchi o nomi registrati delle rispettive aziende. La stereolitografia laser scanner è l'antenato di tutti i processi di fabbricazione additiva offerti industrialmente ed è rappresentata con 4500 sistemi installati in tutto il mondo (alla fine del 2006); dopo le macchine di estrusione, ha il maggior numero di applicazioni industriali. La seguente sezione si concentra sulla stereolitografia laser, ma mostra paralleli con processi correlati dove ciò sembra appropriato.

### 5.3.1.1.1 *Principio della generazione di strati*

La stereolitografia laser si basa sulla solidificazione puntiforme di monomeri fotosensibili (polimerizzazione) utilizzando un apparecchio di esposizione a scansione laser (galvo scanner).

Le macchine stereolitografiche che utilizzano il metodo dello scanner laser sono composte da un contenitore di monomero liquido, lo spazio di installazione, che di solito è anche usato come serbatoio, una piattaforma di costruzione, che è spostabile in direzione z in questo contenitore, e un'unità scanner laser, che scrive le informazioni dello strato corrente sulla superficie del bagno di resina. La piattaforma sostiene il pezzo tramite strutture di supporto. Questo permette la produzione di sporgenze, fissa le parti non collegate del modello, e assicura la costruzione definita e la successiva rimozione della piattaforma di costruzione. Dopo la solidificazione di uno strato, la piattaforma di costruzione viene abbassata di uno spessore di strato. In seguito, viene applicato un nuovo strato (ricopertura), e questo strato viene esposto ai dati del nuovo strato e quindi solidificato. Poi, il processo procede all'esposizione degli strati successivi. In questo modo, la parte "cresce" a strati dal basso verso l'alto (Figura 5-2).

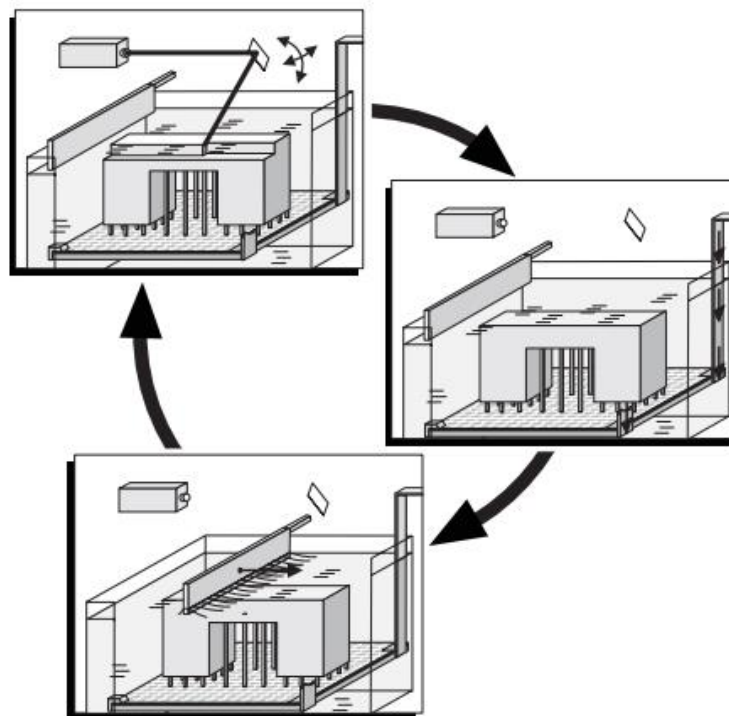


Figura 5-2 - Principio della stereolitografia (scanner laser)

I processi di stereolitografia cercano di realizzare la solidificazione di uno strato con una fila di singoli punti di polimerizzazione, i cosiddetti voxel. La geometria dei voxel è data dalla distribuzione di energia nel raggio laser e dalle caratteristiche di penetrazione della resina. La geometria ideale ha la forma di un paraboloide di rivoluzione. Per ottenere la forza necessaria del componente, il laser penetra entrambi i voxel di uno strato e i due strati adiacenti ("overcure") in modo che la profondità di penetrazione effettiva del laser sia maggiore dello spessore dello strato (vedi Figura 5-3). La generazione di uno strato e la dentatura con lo strato precedente sottostante avvengono simultaneamente.

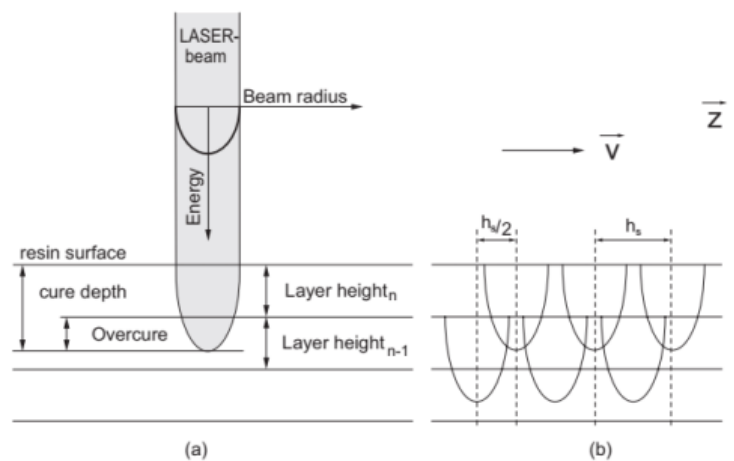


Figura 5-3 - Esposizione al raggio laser sulla superficie della resina: (a) condizioni del singolo raggio; (b) struttura del voxel

In pratica, la sintonizzazione della potenza del laser, i parametri del fascio, la velocità di scansione e i parametri del materiale (tipo di resina) determinano se una struttura voxel sorge effettivamente nello strato o se vengono scritti percorsi virtualmente continui.

Per una polimerizzazione veloce e accurata, ogni produttore usa diverse strategie di esposizione. Fondamentalmente, le aree da solidificare sono contornate da curve di contorno (bordi) e infine indurite all'interno da appropriati tratteggi. Per la generazione esatta delle curve di confine, il diametro del raggio viene compensato. A questo scopo, il percorso del laser viene spostato della metà della quantità del diametro del contorno geometricamente esatto del raggio laser nel componente (compensazione della larghezza del raggio o compensazione della larghezza della linea). Inoltre, il diametro del fascio viene modificato in alcuni sistemi.

Come risultato della polimerizzazione, il volume della resina liquida diminuisce e il componente si ritira. Il problema del ritiro è stato sostanzialmente mitigato con il passaggio dagli acrilati alle

resine epossidiche nella seconda metà degli anni '90 (ritiro lineare: acrilato = 0,6 % contro resina epossidica = 0,06 %). Tuttavia, le resine epossidiche richiedono un'energia di esposizione fino a tre volte superiore. I metodi che utilizzano lampade per la polimerizzazione funzionano quindi oggi preferibilmente con gli acrilati. Per contrastare gli effetti del ritiro, ci sono una serie di strategie di costruzione che possono essere utilizzate oltre all'ottimizzazione dei parametri di processo. Un modo è quello di non collegare continuamente pareti opposte ma di generare periodicamente degli spazi che contrastino la deformazione dovuta alle sollecitazioni interne (retrato, 3D Systems).

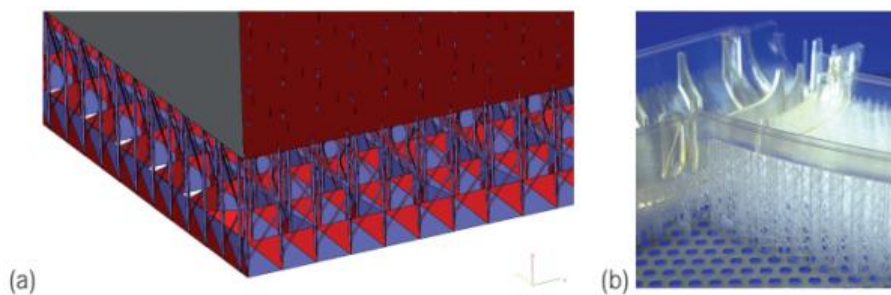
I componenti prodotti dal processo di scansione laser hanno una resistenza relativamente bassa (forza verde) durante il processo di costruzione. Possono quindi essere facilmente deformati dal meccanismo di rivestimento, dalle sollecitazioni interne o dal loro stesso peso. Per questo motivo, gli elementi sporgenti o le pareti a sbalzo devono essere rivestiti con una certa sporgenza o angolo di pendenza da strutture di supporto (Figura 5-4).



Figura 5-4 - Strutture di supporto: (a) base; (b) supporto; (c) "isola"

Oltre a questa funzione, i supporti servono anche per tirare giù le aree del dispositivo che vogliono "flettersi" a causa dei processi di ritiro (curl) e per posizionare e fissare il componente sulla piattaforma di costruzione. Fino a qualche anno fa, i supporti erano considerati come elementi di volume e formavano una parete come un quadrato di dodici triangoli. Avevano anche caratteristiche speciali. I supporti in Figura 5-4(b) sono progettati come raccordi a gomito (tasselli) per sostenere i particolari rami a geometria rettangolare. Figura 5-4(c) mostra una struttura che è anche chiamata isola. È usata per posizionare e sostenere le aree del componente che iniziano in strati successivi e poi crescono insieme al resto del componente. I manici delle tazze, per esempio, non potrebbero essere prodotti senza supporto perché altrimenti partirebbero "in aria".

Con tali strutture di supporto, la quantità di dati cresce considerevolmente, specialmente nelle formulazioni STL. Pertanto, i triangoli (visti dall'alto) sono stati generati solo in una linea e quindi prodotti senza alcun volume nel CAD. Ma la traccia ottiene un volume nel processo SL a causa della larghezza del tracciamento laser. Figura 5-5(a) illustra questa situazione. Il colore dei triangoli mostra la direzione alternata dei vettori normali. Figura 5-5(b) mostra le condizioni su un dispositivo reale. Sono mostrati dei supporti che sono stati costruiti con il Fine Point Method (3D Systems). Grazie al loro piccolo diametro, una connessione particolarmente fine può essere rimossa facilmente e quasi senza danni alla parte.



*Figura 5-5 - Supporti: (a) supporto come elemento di volume; (b) situazione in una parte reale*

I supporti sono generati (automaticamente) durante la preparazione dei dati, ma devono essere rimossi manualmente dal pezzo finito. In alcuni metodi, per esempio FDM o PolyJet, i supporti possono anche essere lavati via automaticamente.

Per quanto riguarda i componenti stereolitografici hollow-built, tutti i produttori hanno implementato strategie di costruzione per i processi stereolitografici con una maggiore frazione di volume della cavità a causa della crescente velocità di costruzione e del risparmio di materiale, ma soprattutto per utilizzare i modelli direttamente come forme perse nel processo di investment casting (combustione di stampi in porcellana ceramica). Infatti, le pareti solide sono progettate come capriate spaziali, cioè come due pareti divisorie sottili, che sono interconnesse da reti. Inoltre, i cosiddetti strati esterni (pelli) devono essere introdotti per completare il modello o le singole parti del modello sia in alto che in basso (in direzione  $z$ ).

I componenti cavi costruiti per stereolitografia devono avere delle aperture attraverso le quali il monomero non reticolato può fuoriuscire. Queste aperture devono essere chiuse se il modello deve essere usato per la fusione a cera persa in modo che la massa ceramica non coli nel modello; in questo modo si evitano difetti di fusione.

Con il consolidamento dell'ultimo strato (superiore), il processo di costruzione è completo. Il dispositivo, che ora è completamente immerso nel monomero, viene spostato dal bagno di resina verso l'alto in modo che la resina in eccesso possa drenare e gocciolare di nuovo nel serbatoio della resina. In termini di utilizzo della macchina in economia, è vantaggioso prevedere che il componente sgoccioli in un contenitore di scarico separato, preferibilmente riscaldato. Gli utenti impegnati hanno costruito per sé stessi dei dispositivi che supportano lo sgocciolamento della resina tramite la rotazione di una centrifuga legata al nido d'ape. Questo è particolarmente vantaggioso per le pareti cave.

### **5.3.2 Vantaggi della stereolitografia**

La stereolitografia, conosciuta anche come stereografia, è attualmente uno dei processi di produzione additiva più accurati. La sua precisione è limitata dalla macchina, ma non da limiti fisici. Per esempio, le larghezze minime degli oggetti raffigurabili sono in linea di principio una funzione del diametro del raggio laser. La finezza del  $z$  non è limitata dal processo. È limitata dalla bagnabilità di uno strato solido da parte dello strato di monomero liquido, espressa come il rapporto tra la potenza di volume (proporzionale allo spessore dello strato) e la tensione superficiale. Gli strati sottili tendono di conseguenza a "strappare". Ci sono ragioni più legate ai costi che sono decisive nella pratica; per esempio, gli strati sottili prolungano il periodo di costruzione e quindi aumentano i costi.

In linea di principio è possibile contornare il confine dei piani  $x$ - $y$  nella direzione  $z$  con un controllo appropriato (cinque assi) e strategie di esposizione (variazione della relazione impulso-pausa e prestazioni del laser) e quindi ottenere una modellazione  $z$  quasi-continua.

La stereolitografia non solo permette la produzione di spazi cavi interni, come quasi tutti gli altri processi AM, ma permette anche la loro completa evacuazione come risultato della tecnologia del processo. Per questo, è necessaria un'apertura di drenaggio che ovviamente deve essere molto più piccola del diametro dello spazio cavo.

I materiali per la stereolitografia erano in precedenza tutti trasparenti o traslucidi, e quindi permettevano la valutazione visiva degli spazi cavi interni. Questo è utile, per esempio, in molti studi di flusso e applicazioni mediche. Oggi la maggior parte dei materiali sono opachi e quasi bianchi come Somos 14120 (DSM), Accura SI 25 (Systems), e RenShape SL7580.

Nei processi con un bagno di resina, solo singole regioni del componente sono dotate di supporti. In generale, il volume del supporto è notevolmente inferiore a quello del componente e può essere variabile in funzione delle scelte effettuate dall'operatore. L'intero volume del componente sarà sempre in fase di solidificazione nei processi di stampa polimerica e nei processi di imaging a trasferimento di pellicola (FTI) e consiste o nel materiale di costruzione o nel materiale di supporto. Il volume delle strutture di supporto è quindi piuttosto alto. Il materiale di supporto è un rifiuto.

I monomeri non reticolati possono essere riutilizzati, e la resina completamente polimerizzata può essere trattata come rifiuto domestico convenzionale. Il monomero liquido, viceversa, è un rifiuto pericoloso.

Modelli complessi, o di dimensioni maggiori della camera di costruzione, possono essere assemblati da singoli modelli parziali. Se si usa la stessa resina fotosensibile come legante e si utilizzano fonti di radiazione UV per la polimerizzazione locale, i punti di sezione sono impercettibili per quanto riguarda le loro proprietà meccanico-tecnologiche, e sono anche invisibili all'occhio.

I modelli possono essere rifiniti mediante sabbiatura e lucidatura e, in una certa misura, mediante lavorazione e rivestimento.

### **5.3.3 Svantaggi della stereolitografia**

A causa della sua tecnologia di processo, la stereolitografia è limitata all'utilizzo di materiale fotosensibile. Nello sviluppo delle resine, l'attenzione si concentra sulla reticolabilità con i raggi UV. Le solite proprietà primarie come la resistenza all'estensione, l'elasticità, la stabilità alla temperatura e così via sono di secondaria importanza. Inoltre, lo sviluppo del materiale è limitato all'uso stereolitografico perché i costi ripartibili del prodotto lo compensano. La stereolitografia è un processo in due fasi in cui i modelli sono prima solidificati ad un'alta percentuale (> 95 %) nella macchina stereolitografica vera e propria; in seguito, il prodotto realizzato deve essere pulito con solventi (TPM - tripropylene glycol monomethyl ether - isopropanolo) e viene messo in un forno di postcuring per costruire ulteriori reticolazioni con l'aiuto della luce UV fino alla completa polimerizzazione. I processi di stampa e maschera sono processi a fase singola. Polimerizzano il componente completamente e quindi lavorano senza



reticolazione dopo il processo. Quando si realizzano modelli in stereolitografia, le strutture non supportate e certi angoli critici di sovrapposizione delle parti del modello non possono essere realizzati senza supporto. Pertanto, sono necessari dei supporti. Queste strutture di supporto devono essere collocate nel contesto della preparazione del modello utilizzando programmi appropriati. Il componente e i supporti dei processi basati sul laser sono costituiti dallo stesso materiale. I supporti devono essere rimossi manualmente dal prodotto verde o dal modello polimerizzato. Nei processi con stampante o maschera, i supporti sono di solito fatti di una cera dura termoplastica che viene lavata via dopo il processo di costruzione. Può anche essere rimosso automaticamente o semi manualmente con l'aiuto di solventi. Poiché tutte le aree del volume di costruzione che non appartengono al componente sono riempite con materiale di supporto, non è necessaria una struttura di supporto separata. Oltre al processo di costruzione, l'applicazione della stereolitografia limita la rimozione dei supporti e, a seconda del processo, sono necessari lo stoccaggio, la manipolazione e lo smaltimento dei solventi. In piccola misura, gli acrilati fotosensibili assorbono l'ossigeno, mentre le resine epossidiche sono igroscopiche; questo deve essere preso in considerazione quando si immagazzina e si lavora il materiale. I modelli tendono a deformarsi a taglio anche dopo essere stati completamente induriti. Dopo alcuni giorni o settimane, le pareti non sostenute mostrano cedimenti che scompaiono se il modello viene girato o puntellato. Le resine epossidiche più recenti mostrano queste caratteristiche in modo meno evidente.

## ***5.4 Tecnologie di stampa: stampa a base di polveri***

### **5.4.1 Fusione e solidificazione di polveri e granuli: Sinterizzazione laser (LS)**

Le polveri o i granuli in un letto di polvere sono i materiali utilizzati per la formazione di uno strato solido definito. Sono parzialmente fusi o fusi nel rispettivo livello da una fonte di energia e solidificati dopo il raffreddamento in un corpo solido. Le fonti di energia possono essere fasci singoli energetici come fasci laser, fasci di elettroni o un riscaldatore a pannelli infrarossi. I processi sono chiamati processi di sinterizzazione in riferimento al processo di sinterizzazione non additivo a diffusione controllata. Per molti anni, i processi basati sul laser sono stati esclusivamente destinati alla produzione industriale e sono stati chiamati sinterizzazione laser

(LS) o sinterizzazione laser selettiva (SLS). Si chiama fusione a fascio uniforme o semplicemente fusione come termine generico perché oggi si usano anche i raggi elettronici e infrarossi.

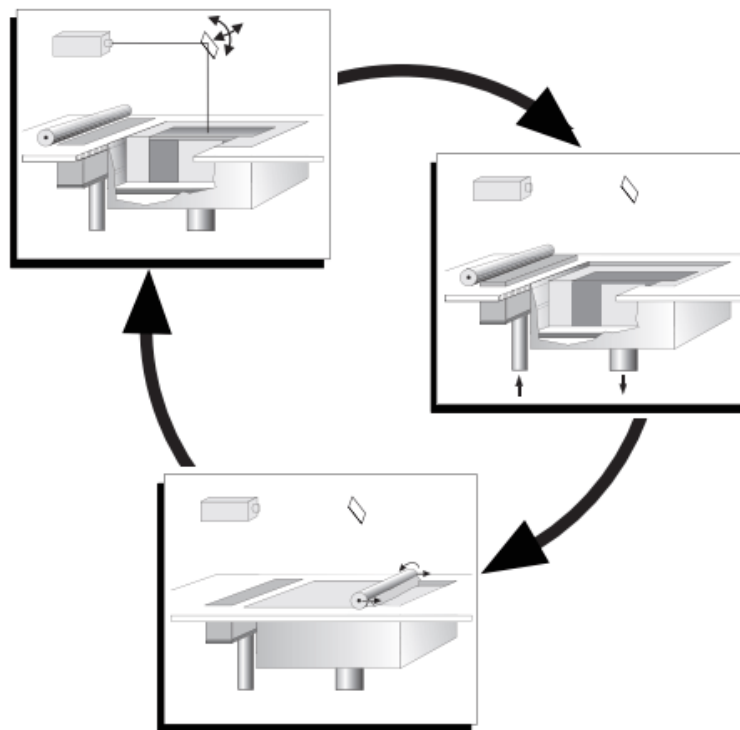
Nella classica sinterizzazione di produzione non additiva, due particelle vicine sono unite da uno scambio di sostanze. Per questo, sono necessarie alte temperature e alte pressioni per un periodo di tempo relativamente lungo. Il processo di sinterizzazione prende il nome dal meccanismo di diffusione superficiale. Inizia sotto forma di legame nel punto di contatto delle particelle. Con la sinterizzazione progressiva, ha luogo un trasporto di materiale - preferibilmente lungo i confini dei grani - e continua all'interno delle particelle (confini dei grani, volume e diffusione reticolare). La sinterizzazione utilizzata nella fabbricazione additiva non richiede i due componenti essenziali del processo di sinterizzazione classico: alta pressione e tempo lungo. Si deve quindi supporre che la sinterizzazione della fabbricazione additiva non avvenga o non sia controllata dalla diffusione. Ha luogo solo una breve attivazione termica delle particelle non adiacenti nel letto di polvere. Quando queste vengono fuse sulla superficie dopo il raffreddamento, si ottiene un componente più o meno poroso. Quando le particelle sono completamente fuse, si forma un componente denso. Il risultato è di solito la realizzazione di componenti leggermente porosi. Per le materie plastiche, questo è spesso per ragioni di processo volte ad evitare la deformazione e le tensioni interne. Ma le parti in metallo sono dense. Pertanto, la maggior parte dei processi con polvere di metallo fonde completamente la polvere. Si chiama anche fusione laser o, più in generale, fusione a fascio.

Il processo di sinterizzazione sarà generato essenzialmente dall'interazione tra la viscosità delle particelle fuse e la loro tensione superficiale. Entrambi questi effetti (opposti) dipendono dalla temperatura e dal materiale. Gli studi fondamentali sui meccanismi della sinterizzazione laser selettiva, che affrontano anche l'interazione con l'applicazione pratica, provengono da Alscher [9] e Nöken [10]. Ader [11] ha rivisto la teoria con un focus sulla ceramica.

#### **5.4.2 Principio della generazione di strati**

Nel processo di sinterizzazione laser, le particelle solitamente della dimensione che va da 50 a 100  $\mu\text{m}$  sono compattate insieme per formare un letto di polvere, e, nel caso in cui il processo lo richieda, vengono leggermente pressate. Vengono poi fuse localmente da un raggio laser,

solidificate dal raffreddamento dovuto alla conduzione del calore, e vengono così unite per formare uno strato solido (vedi Figura 5-6). Le particelle non fuse fungono da materiale di supporto alla parte e vengono rimosse alla fine del processo. Abbassando lo strato appena formato e ricoprendolo di polvere di spessore analogo al primo strato, il secondo strato viene solidificato e fuso al primo. Figura 5-6 mostra il principio del processo sulla base della sinterizzazione laser.



*Figura 5-6 - Principio della sinterizzazione e fusione laser*

#### 5.4.2.1 DESIGN

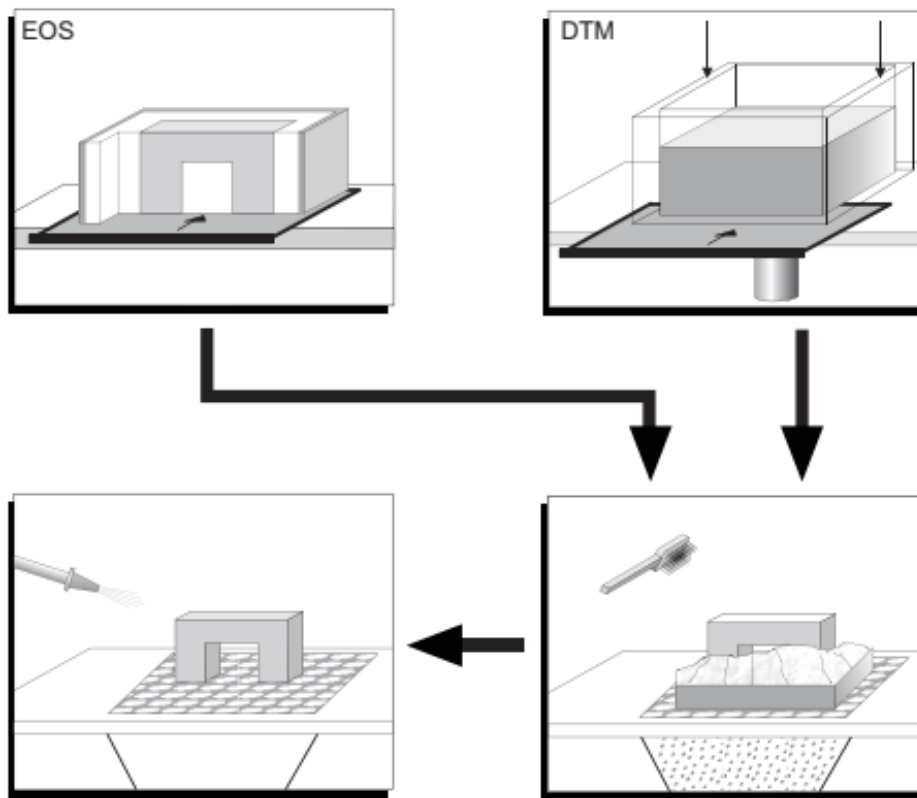
La camera di processo offre lo spazio di costruzione, che può essere aumentato abbassando la quota del fondo della camera. Per il funzionamento di questo processo è importante costruire la camera di processo in modo tale che possa essere preriscaldata fino a quasi la temperatura di fusione del materiale sinterizzato. Questo è il requisito per la sinterizzazione quasi-isotermica della plastica. La fonte di energia (laser o fascio di elettroni, lampada a infrarossi) ha quindi solo bisogno di aggiungere una piccola energia differenziale per la sinterizzazione. La temperatura del processo deve essere mantenuta il più possibile costante ed entro strette tolleranze (pochi gradi). Inoltre, l'ossidazione del materiale deve essere evitata, cosa che di solito si ottiene rendendo inerte l'ambiente della macchina deputato alla creazione degli

oggetti. Questo viene fatto generando un'atmosfera di azoto all'interno della macchina (da 0,1 % a 3,5 % di ossigeno residuo, a seconda del materiale). Il processo di sinterizzazione laser funziona sempre senza supporti perché la polvere non sinterizzata rimane nel letto e sostiene il modello. A seconda della geometria del modello e del materiale utilizzato, si è dimostrato utile costruire anche una piattaforma (base) e costruire su questa base. I processi che prevedono l'utilizzo di polveri metalliche riducono la tensione residua nei componenti creati grazie all'uso di strutture di supporto. In aggiunta, o in alternativa, possono essere costruite solide sottostrutture, se necessario, utilizzando strategie di costruzione specializzate. Iniziando con circa la metà della potenza nominale del laser e una velocità di scansione doppia, e regolando le prestazioni del laser e la velocità di scansione ai parametri ottimali entro diversi strati, si generano strutture con bassa distorsione che favoriscono una costruzione affidabile del modello. Per mantenere un campo di temperatura uniforme, è utile in alcuni casi posizionare deliberatamente zone con materiale sciolto vicino al modello da realizzare o mettere una griglia intorno al componente. I processi metallici lavorano con strutture di supporto per posizionare le parti sulla piattaforma ed evitare la deformazione. Alcuni utenti suggeriscono di posizionare il modello, specialmente le parti lunghe, sotto il cosiddetto angolo Kodak rispetto all'asse longitudinale del cilindro. Si presume che sotto questo angolo si possano generare componenti quasi completamente privi di distorsioni. Alcune fonti parlano di un angolo di circa 15°, altre di circa 10°. In pratica, quasi tutti i modelli sono posizionati nella macchina senza una base secondo i criteri di precisione ed economia. Quando i parametri di costruzione sono scelti accuratamente, e soprattutto quando i campi di temperatura sono mantenuti uniformi, i risultati sono eccellenti.

Per ottenere modelli senza difetti, è necessario regolare e controllare molto attentamente la temperatura e la distribuzione della temperatura nella camera di costruzione. Differenze di temperatura di pochi gradi possono causare componenti imperfetti che sono mal sinterizzati o che si deformano a causa del calore eccessivo e persino cambiano colore, a seconda del materiale. Pertanto, il controllo della temperatura gioca un ruolo importante. Le macchine attuali hanno un controllo della temperatura molto preciso.

#### *5.4.2.2 POST-ELABORAZIONE*

Nella sinterizzazione di materiali plastici, una volta finito il processo di costruzione, il composto è completamente racchiuso in un panetto di polvere. La maggior parte dei processi di sinterizzazione avviene a una temperatura compresa tra 170 e 200 °C, specialmente quando vengono sinterizzati materiali plastici. Per assicurare un raffreddamento uniforme, è importante che dopo l'ultimo strato venga applicato un ulteriore strato di polvere di diversi centimetri di spessore. Dopo che il composto si è raffreddato completamente, il che può richiedere diverse ore a causa della scarsa conduzione del calore, il blocco di polvere con all'interno il componente stampato viene rimosso con attenzione dall'esterno (Figura 5-7). Se si usano moduli di camera di costruzione intercambiabili, il processo di rimozione e pulizia avviene in modo semiautomatico e con aria compressa all'esterno della macchina. Anche se, in teoria, il composto è semplicemente imprigionato in un blocco di polvere che deve solo essere rimossa (soffiata via), in pratica è saggio procedere con attenzione. In primo luogo, il componente realizzato può essere facilmente danneggiato perché la sua posizione all'interno del blocco non è esattamente nota; in secondo luogo, ci sono, a seconda del controllo della temperatura, aree leggermente sinterizzate intorno al modello (velli) che devono essere rimosse con grande attenzione utilizzando strumenti speciali. Pertanto, sono necessarie pazienza e abilità nel pulire i modelli in sinterizzazione, specialmente quelli con spazi interni vuoti, forature e dettagli fini. A rendere più complessa questa situazione, i modelli e la polvere hanno lo stesso colore.



*Figura 5-7 - Sinterizzazione laser, principio di post-elaborazione*

Per i processi metallici, la post-elaborazione è più facile perché la camera di processo e la polvere rimangono quasi fredde. Il problema è che usano strutture di supporto, che devono essere rimosse. Le macchine per la sinterizzazione diretta della ceramica lavorano con alte temperature di preriscaldamento. Dopo che le parti sono state pulite nella post-elaborazione, la superficie viene trattata ulteriormente con lucidatura manuale o sabbatura. Le parti di modelli da assemblare o le parti che si sono dei modelli possono essere incollate con colle cianoacrilate o con resine epossidiche. Per rifinire i modelli, si possono usare anche cilindri cavi riempiti di materiale abrasivo e lucidante. Bisogna considerare che il tipo di abrasivo usato determina la quantità di materiale rimosso. Con un processo di questo tipo c'è un alto rischio di smussare gli angoli a spigolo vivo. Poiché i modelli sinterizzati sono generalmente porosi, tutti i sigillanti di superficie possono essere generalmente utilizzati. Questo include tutti i tipi di cera dura, resine epossidiche e anche primer a base di smalto. Ogni tipo di post-elaborazione cambia la geometria. Questo è importante perché i processi di fabbricazione additiva producono parti direttamente dai set di dati 3D.

### *5.4.2.3 PROCESSI DI FOLLOW-UP*

I processi di sinterizzazione laser sono usati preferibilmente per prototipi funzionali (parti funzionali) o per la produzione diretta (produzione rapida). Pertanto, l'applicazione diretta è usata più spesso dei processi di fusione. La fusione sottovuoto è possibile in generale, ma richiede che le superfici siano estremamente ben rifinite.

Le parti in metallo potrebbero essere ottenute sia tramite fusione laser selettiva diretta (SLM) sia tramite colata di precisione sulla base di modelli master prodotti in modo additivo. È particolarmente interessante usare modelli di polistirolo o policarbonato direttamente per la fusione di precisione. Questa procedura ha successo solo se vengono applicate un'impregnazione della cera e una preparazione della superficie adeguatamente attente. Il modello stesso deve essere preriscaldato fino a circa la temperatura della cera liquida (tra 190 e 210 °C). L'impregnazione può durare fino a 30 minuti; se i punti critici dovessero essere rilavorati manualmente, l'impregnazione potrebbe richiedere molto più tempo. Infine, viene avviato il classico processo di fusione di precisione. La fusione accurata dovrebbe essere fatta con sufficiente ossigeno in modo che la reazione chimica sia supportata. Un ventilatore può permettere che questo processo avvenga in maniera corretta.

In aree con pareti spesse, si può accumulare cenere che è difficile da rimuovere in seguito. Tali accumuli di materiale possono anche causare la rottura locale del guscio. Un certo numero di fonderie di precisione, tuttavia, in collaborazione con i modellisti, sono riuscite a controllare questo processo in modo così affidabile che per ogni modello in policarbonato presentato, viene restituito un modello di fusione. L'avvento del CastForm PS dovrebbe risolvere questi problemi una volta per tutte. Seguendo i principi di base della sinterizzazione laser, sono state progettate macchine che differiscono soprattutto nei dettagli, nelle applicazioni di destinazione e, di conseguenza, nei materiali utilizzati. Inizialmente, in seguito a problemi brevettuali e di fruizione degli stessi, sono state proposte alcune ulteriori soluzioni costruttive, e prendendo piede, hanno prevalso e hanno creato un processo tecnologico proprio.

## ***5.5 Tecnologie di stampa: stampa a estrusione***

### **5.5.1 Processi di estrusione**

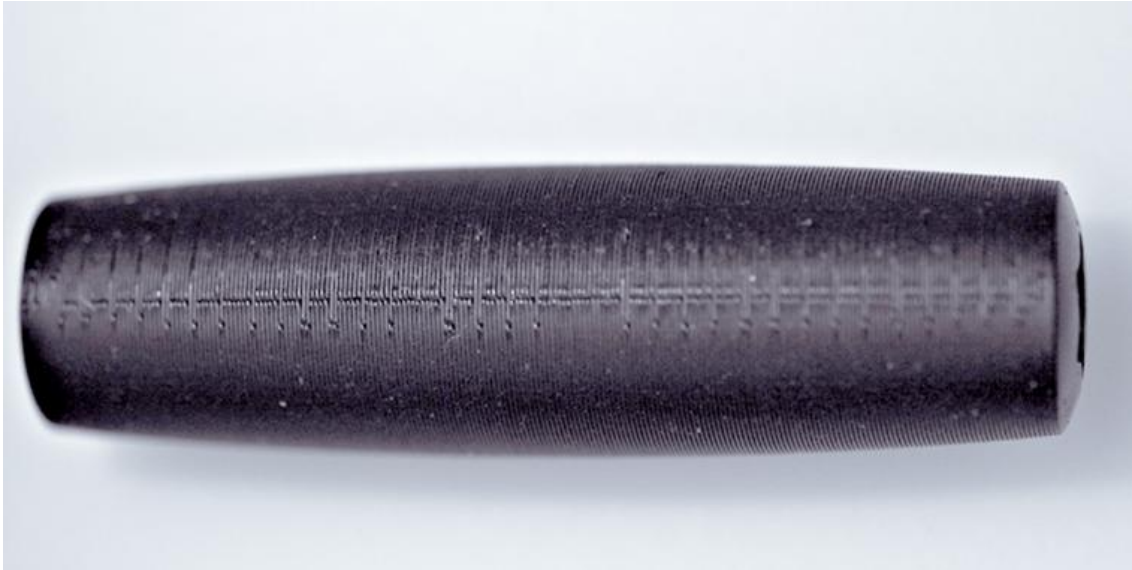
### *5.5.1.1 PROCESSI DI ESTRUSIONE*

I processi di stampa per estrusione sono diventati noti come fused deposition modeling, ma questo è un marchio del produttore Stratasys. Il nome generico è processo di estrusione o in inglese fused layer modeling (FLM). I processi di estrusione appartengono ai ben noti processi di estrusione di plastica termica e includono varianti che operano con paste o schiume che sono fisicamente o chimicamente elaborate da materiali solidi di base. Di particolare importanza sono i processi di estrusione termica. Il volume applicato si solidifica attraverso la conduzione termica nel componente. Il metodo è adatto a materiali con bassa conducibilità termica come le cere e le plastiche, compresi i materiali a più alta fusione come il polisolfuro. Teoricamente, non ci sono limitazioni sui materiali utilizzabili. In pratica sono necessari alti valori di temperatura di fusione, sia in termini assoluti sia di gradienti di temperatura sul modello. Il preriscaldamento richiesto e l'isolamento dell'area di lavoro richiedono anche uno sforzo di ingegneria meccanica. Si tratta di un processo completamente in 3D, che dipende solo dal controllo dalla testa di stampa, in quanto l'alimentazione e l'applicazione del materiale sono fatte da un solo ugello. La sezione relativamente grande imposta al materiale di stampa limita il grado di dettaglio raggiungibile dei modelli. Con un design adeguato della macchina, questi svantaggi possono essere ridotti il più possibile. Una giunzione soddisfacente tra il materiale caldo estruso e la parte già finita del modello avviene solo quando il materiale è "arricciato". La sezione circolare del materiale estruso e ad alta temperatura si tramuta in un'ellisse. Giocando con le forze di volume e di superficie che si generano può innescarsi un equilibrio tale per cui sia possibile raggiungere la connessione più liscia possibile. Questo richiede che l'asse dell'ugello sia sempre nel piano  $z$  e che si imposti uno specifico angolo in fase operativa con il piano  $x-y$ . L'applicazione di un volume viscoso estruso include il problema che la deposizione di un tratto filamentoso estruso presenti un punto di inizio ed uno di fine. Quindi, ogniqualvolta il contorno da stampare è chiuso, si nota una linea di giunzione nella parte stampata (che è generata dalle fasi di inizio e fine del processo di estrusione) (Figura 5-8). Le linee sono particolarmente evidenti quando si trovano in ogni strato nella stessa posizione.

Per il processo di estrusione sono disponibili una serie di plastiche interessanti, già utilizzate come materiali da costruzione comuni, tra cui l'ABS e il polifenilsulfone (PPSF), la prima plastica ad alte prestazioni per la produzione additiva. I materiali sono spesso disponibili in



colori in modo che i componenti possano essere prodotti in diversi colori. I processi richiedono supporti che devono essere costruiti sul componente e rimossi dopo il processo di costruzione. Ci sono diverse soluzioni facili da usare per rimuovere i supporti, come la rottura o il distacco in acqua calda. In questo caso, il materiale di supporto è di solito una cera solubile in acqua costituita da polietilenglicole.



*Figura 5-8 - Linea di giunzione sulla lavorazione ad estrusione. (Fonte: CP-GmbH/FH-Aachen)*

Lo svantaggio di alcune macchine è il complicato infilaggio dei filamenti commerciali. I rocchetti di alimentazione e le pastiglie rendono oggi questa procedura più semplice.

Per gli utilizzatori amatoriali, c'è una gamma molto ampia di materiali convenienti di diversi produttori, che includono anche il nylon e il WPC (componenti in plastica di legno). Gli utilizzatori occasionali delle stampanti 3D usano per lo più filamenti in ABS o PLA, con diametri di solito di 0,175 mm o 3 mm. La maggior parte di loro lavora con un ugello e senza supporti. Questo limita la geometria fabbricabile, in particolare in relazione all'angolo di avvicinamento e ai sottosquadri.

## **5.5.2 Vantaggi e svantaggi dei processi di estrusione**

### **5.5.2.1 VANTAGGI**

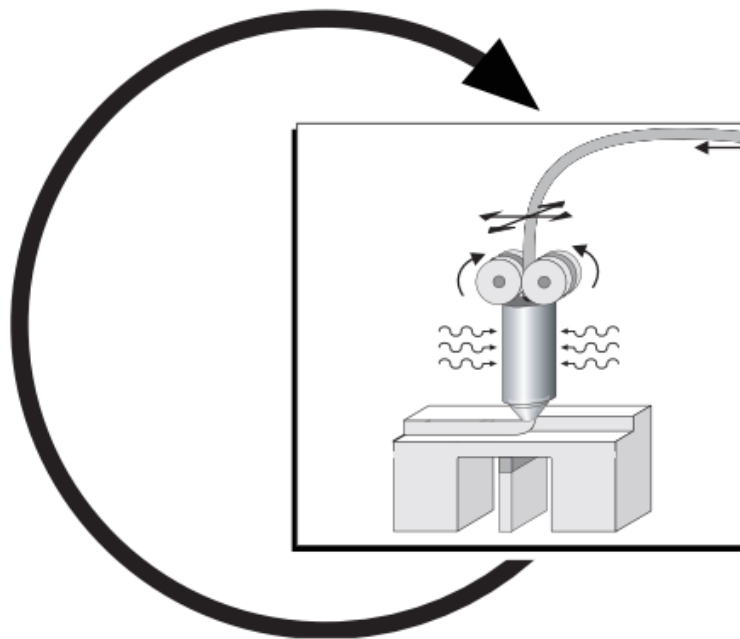
L'uso di processi di estrusione a ugello singolo permette di depositare quantità relativamente grandi di materiale in un tempo relativamente breve. Le strutture risultanti sono solide. Vengono utilizzati materiali per la modellazione che sono molto simili o addirittura identici ai materiali utilizzati nella produzione in serie. La realizzazione tecnica è relativamente semplice. In fase di stampa il materiale è completamente utilizzato, senza sprechi. Solventi e agenti simili non sono necessari. A differenza della maggior parte degli altri processi di prototipazione rapida, è possibile l'applicazione di vari materiali all'interno di un processo di deposizione, o addirittura è possibile depositare un solo strato di un materiale differente. Il numero di materiali applicabili simultaneamente è limitato solo dal numero di teste di estrusione; conseguenza di questo aspetto è che il limite è geometrico e riguarda gli ingombri delle testine all'interno della macchina ed il complicarsi delle tecniche di controllo del processo. Il processo utilizza solo il materiale necessario per il componente. Il materiale non lavorato rimane nelle medesime condizioni nelle quali si trovava in origine e quindi non subisce alcun danno rimanendo completamente utilizzabile. Il processo è realizzabile con macchine che possono essere utilizzate in una varietà di ambienti differenti senza che il processo ne risenta.

#### *5.5.2.2 SVANTAGGI*

Lo svantaggio principale dell'estrusione a ugello singolo è che non si possono produrre strutture più fini della larghezza dell'estrusione. Lo stesso vale per i dettagli che, nel caso estremo, non possono essere più piccoli del doppio della larghezza della pista. Ciò significa che è impossibile produrre scanalature molto fini e soprattutto nervature sottili. L'inizio dell'estrusione comporta sempre una imperfezione che, a seconda del materiale, rimane esternamente visibile anche dopo la chiusura del contorno. Alcuni materiali tendono a formare filamenti o a formare accumuli. Gli ugelli tendono a intasarsi, richiedendo l'installazione di un meccanismo di pulizia adeguato. I componenti sono molto ruvidi e presentano anisotropie pronunciate, soprattutto per le macchine di basso prezzo, a causa della grande sezione degli ugelli.

#### **5.5.3 Descrizione del processo**

Le macchine FDM della Stratasys fondono termoplastici prefabbricati a forma di filo e portano il filamento sciolto e viscoso attraverso un ugello opportunamente riscaldato al componente. La stratificazione avviene per solidificazione dovuta alla conduzione del calore nel componente parzialmente finito. La gamma di materiali comprende plastiche come il policarbonato e l'ABS, ma anche plastiche termoplastiche ad alte prestazioni come i polifenilsolfoni (PPSFS). Il principio di progettazione può essere visto in Figura 5-9.



*Figura 5-9 - Schema della modellazione a deposizione fusa (FDM)*

### *5.5.3.1 PRINCIPIO DELLA GENERAZIONE DI STRATI*

In questo caso, la termoplastica e le cere sono fornite sotto forma di filo su rotoli o cartucce, sono fuse parzialmente e vengono estruse (vedi Figura 5-9). La testa dell'ugello è guidata da un plotter x-y nel piano di costruzione. Dopo aver depositato il materiale sul piano di costruzione, la piastra di base con il modello depositato viene abbassata di una quota identica allo spessore dello strato appena depositato ed il processo inizia di nuovo con lo strato successivo.

La materia prima viene riscaldata elettricamente in una testa in cui è presente l'ugello fino a poco meno della temperatura di fusione (circa 68 °C per la cera da microfusione e circa 270 °C per la plastica ABS) e si applica il materiale caldo e viscoso allo strato precedente (o al primo strato sulla piastra di base). Si fonde leggermente, si raffredda al contatto a causa della

conduzione del calore e si solidifica. La distanza tra lo strato precedente e la testa di estrusione, così come il flusso di volume del materiale semiliquido, sono coordinati in modo che i calibri risultino da 0,254 a 2,54 mm e gli spessori degli strati da 0,127 a 0,330 mm. Il gap della testa dell'ugello è impostato sullo strato precedente a circa la metà del diametro dell'ugello. Questo risulta in una sezione fluida leggermente ovale la cui dimensione principale è indicata come la larghezza del percorso (RW). Questa larghezza deve essere sempre maggiore o uguale allo spessore dello strato. Gli strati ottimali sono sezioni trasversali con un rapporto larghezza-altezza tra 3,5 e 6. Da questa "arriciamento" dello strato, nascono strutture solide e superfici relativamente lisce in funzione della tensione superficiale e della viscosità (in funzione della temperatura).

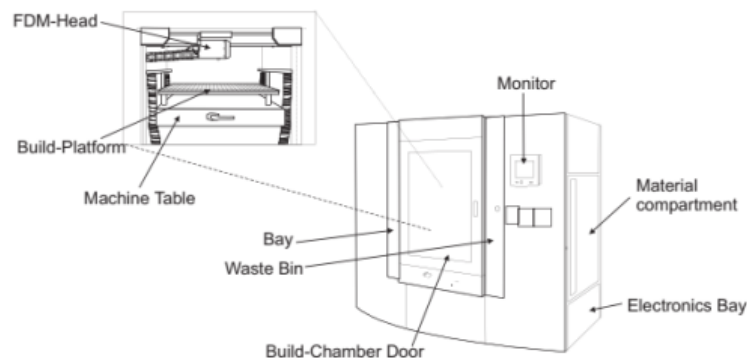


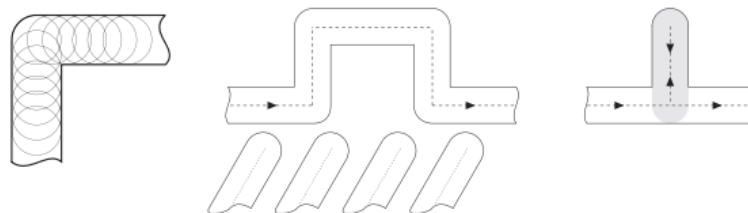
Figura 5-10 - FDM Maxxum, panoramica con vista dettagliata delle camere di lavorazione (Fonte: Stratasys)

Anche se il materiale si solidifica molto rapidamente, i supporti sono necessari per proiettare le sezioni e per dare una base al modello. Le colonne generate completamente in automatico sono fatte di un materiale più fragile del componente. Pertanto, i supporti possono essere rapidamente rimossi senza danneggiare il modello e senza strumenti, rompendoli a mano. Questo metodo Breakaway Support System (BASS) è disponibile per le famiglie di policarbonato PC, PC-ISO, e polifenilsolfoni (PPSF). Un materiale di supporto chiamato Water Works (WW) può essere rimosso automaticamente in una stazione di lavaggio. Questo materiale di supporto è per ABS, ABSi, e PC-ABS e continua a diffondersi, nonostante sempre più requisiti di sicurezza. L'intero componente deve essere sostenuto con dei supporti. La distanza tra le linee per la generazione dei sostegni è la metà della larghezza della traccia del processo di stampa del componente generato. Gli angoli sono specificati dall'asse x in senso orario. Il punto zero del sistema si trova nella piattaforma dell'angolo anteriore sinistro.

La testa dell'ugello si muove nei componenti di solito sotto una direzione principale di  $45^\circ$ , dove la direzione principale da strato a strato è cambiata di  $\pm 90^\circ$  in ogni caso. Poiché i supporti sono generati sotto la metà di questo angolo, questo angolo è di solito a circa  $22,5^\circ$ . Tutti gli angoli possono essere cambiati nel software.

Il punto di partenza di ogni strato può essere spostato automaticamente dal software. Il punto di partenza della stampa risulta visibile e si crea un accumulo di materiale se il punto di inizio si trova sempre nella stessa posizione. Tuttavia, può essere abraso con relativa facilità. I parametri di costruzione sono regolabili nella direzione z e sulle singole regioni di ogni componente.

Durante la costruzione, sui lati esterni del componente, viene creato un raggio sugli angoli esterni. Il raggio viene creato automaticamente. In pratica, i componenti devono sempre essere dotati di una linea di confine. La linea di confine è composta da elementi circolari che sorgono al di fuori di un raggio per ragioni geometriche. I contorni interni sono automaticamente sempre nitidi (Figura 5-11).

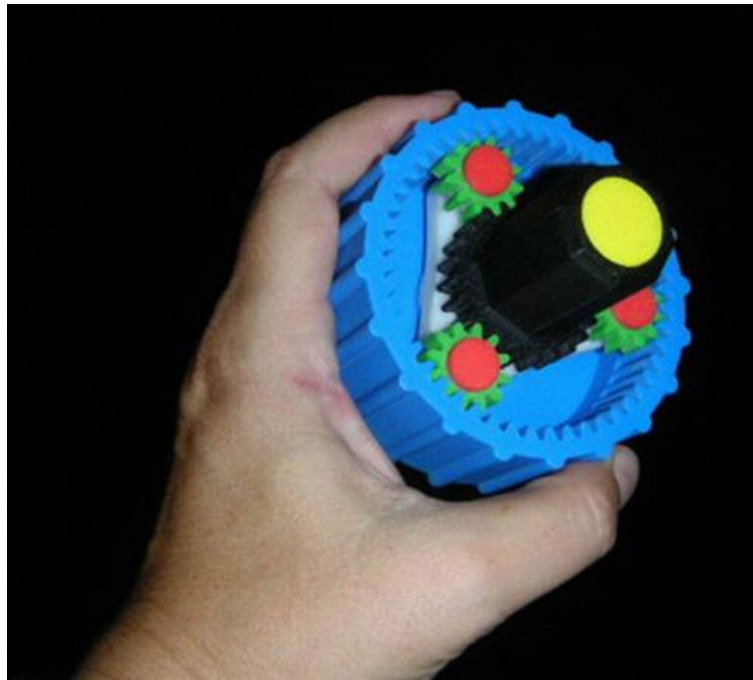


*Figura 5-11 - Modellazione a deposizione fusa: (a) figura d'angolo; (b) dettaglio geometrico intricato; (c) webs sottili*

Il problema è la zona in cui la geometria è molto delicata. Il bordo viene inserito per metà della larghezza della fila nel componente, in modo simile alla compensazione del fascio nella stereolitografia, creando zone che non possono essere completamente passate da un bordo (Figura 5-11(b)). I vettori vengono calcolati solo nelle linee di confine, quindi le strutture sottili non vengono visualizzate. Questo può essere cambiato manualmente rompendo il dataset (isola) e calcolandolo con i parametri.

Il caso peggiore forma una parete, che termina all'esterno del componente, e lo spessore della parete è la larghezza della pista. La linea ideale al centro verrebbe attraversata due volte all'andata e al ritorno, risultando in una superficie sporca (Figura 5-11(b)). Il processo di

costruzione non viene interrotto in questo caso. Figura 5-12 mostra un modello funzionale FDM del materiale ABS.



*Figura 5-12 - Modellazione a deposizione fusa, modello funzionale ABS colorato (Fonte: StratasyS)*

## **5.6 Bibliografia**

- [1] Andreas Gebhardt, Jan-Steffen Hötter, "Additive Manufacturing 3D Printing for Prototyping and Manufacturing", 2016
- [2] Alscher, G.: Das Verhalten teilkristalliner Thermoplaste beim Lasersintern, Dissertation, Univ. of Essen, 2000
- [3] Nöken, S.: Technologie des Selektiven Lasersinterns von Thermoplasten, In: 3rd. ed., e aus der Produktionstechnik, Band 8/97, Shaker Publisher, Aachen, 1997
- [4] Ader, Ch: Untersuchungen zum Lasersintern, Dissertazione, RWTH Aachen, 2006

## 6 MATERIALI PER LA STAMPA 3D

### 6.1 Introduzione

I materiali utilizzati per la stampa 3D sono tanto diversi quanto i prodotti che risultano dal processo. Come tale, la stampa 3D è abbastanza flessibile da permettere ai produttori di determinare la forma, la consistenza e la forza di un prodotto. Inoltre, queste qualità possono essere ottenute con molti meno passaggi rispetto a ciò che è tipicamente richiesto nei mezzi tradizionali di produzione. Questi prodotti possono essere realizzati con vari tipi di materiali di stampa 3D. Uno studio sul mercato della stampa 3D pubblicato di recente ha rilevato che il mercato mondiale dei prodotti di stampa 3D è stato valutato a 12,6 miliardi di dollari nel 2020 e si prevede che crescerà fino a 37,2 miliardi di dollari entro il 2036. Questo significa un enorme aumento dei materiali che queste macchine utilizzano. Una delle conoscenze più basilari e importanti di cui i professionisti hanno bisogno per comprendere con successo l'utilizzo della stampa 3D, sono le categorie dei materiali più comuni, le loro caratteristiche e l'uso consigliato per ciascuno di essi. In questa unità di apprendimento gli studenti saranno in grado di identificare i materiali più popolari utilizzati nella stampa 3D, le loro applicazioni, le caratteristiche distinte così come i pro e i contro. Nell'ultimo capitolo verrà sviluppato un confronto tra le proprietà dei filamenti e i materiali di stampa 3D.

### 6.2 Materie Plastiche

Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione delle materie plastiche nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi delle materie plastiche

Tra tutte le materie prime per la stampa 3D in uso oggi, la plastica è la più comune. La plastica è uno dei materiali più assortiti per la produzione di gadget stampati in 3D e di accessori per la casa. I prodotti realizzati con questa tecnica includono utensili da scrivania, vasi e action figure.

Disponibili in forma trasparente così come in colori brillanti - di cui il rosso e il verde lime sono particolarmente popolari - i filamenti di plastica sono venduti su bobine e possono avere una texture opaca o lucida. Con la sua solidità, flessibilità, levigatezza e la brillante gamma di opzioni di colore, è facile intuire quale sia il fascino della plastica. Essendo un'opzione relativamente accessibile, la plastica è generalmente poco impattante economicamente per le tasche di creatori e consumatori. La plastica regna ancora sovrana nella stampa 3D. Secondo un rapporto di Grand View Research, la dimensione del mercato della plastica per la stampa 3D a livello globale è stata valutata a 638,7 milioni di dollari nel 2020 e dovrebbe crescere fino a 2,83 miliardi di dollari entro il 2027. I prodotti di plastica sono generalmente realizzati con stampanti FDM, in cui i filamenti termoplastici sono fusi e modellati, strato per strato. I tipi di plastica usati in questo processo sono di solito fatti da uno dei seguenti materiali:

### 6.2.1 Acido polilattico (PLA)

Una delle opzioni più ecologiche per le stampanti 3D, l'acido polilattico, proviene da prodotti naturali come la canna da zucchero e l'amido di mais ed è quindi biodegradabile. Disponibile in forme morbide e dure, le plastiche a base di acido polilattico dovrebbero dominare l'industria della stampa 3D nei prossimi anni. Il PLA duro è un materiale molto resistente e quindi ideale per una gamma più ampia di prodotti. Il PLA è un ottimo primo materiale da usare quando si sta imparando la stampa 3D perché è facile da stampare, molto economico, e crea parti che possono essere utilizzate per una vasta gamma di applicazioni. Poiché il PLA è più facile da stampare rispetto all'ABS, di solito è l'opzione preferita per le stampanti 3D a basso costo. Si attacca bene a una base ricoperta di colla bianca o di nastro adesivo blu da pittore, il che significa che non è necessario un letto di stampa riscaldato.

#### Applicazioni comuni

- Articoli di test e calibrazione
- Assemblaggi accurati dal punto di vista dimensionale
- Parti decorative
- Cosplay oggetti di scena



Pro	Contro
Basso costo	Bassa resistenza al calore
Rigido e di buona resistenza	Può trasudare e può avere bisogno di ventole di raffreddamento
Buona precisione dimensionale	Il filamento può diventare fragile e rompersi



### 6.3 Acrilnitrile butadiene stirene (ABS)

L'ABS (acrilnitrile butadiene stirene) ha una lunga storia nel mondo della stampa 3D. Questo materiale è stato uno dei primi materiali plastici ad essere utilizzato con le stampanti 3D industriali. Molti anni dopo, l'ABS è ancora un materiale molto popolare grazie al suo basso costo e alle buone proprietà meccaniche. L'ABS è noto per la sua durezza e resistenza agli urti, permettendo di stampare parti durevoli che reggeranno all'uso e all'usura extra. Apprezzato per la sua forza e sicurezza, l'ABS è un'opzione popolare per le stampanti 3D casalinghe. Chiamato alternativamente "plastica LEGO", il materiale consiste di filamenti simili alla pasta che danno all'ABS la sua fermezza e flessibilità. L'ABS è disponibile in vari colori che rendono il materiale adatto a prodotti come adesivi e giocattoli. Sempre più popolare tra gli artigiani, l'ABS è anche usato per fare gioielli e vasi.

#### Applicazioni comuni

- Custodie o involucri di progetto
- Giocattoli o Action Figures
- Hardware automobilistico



Pro	Contro
Basso costo	Forte deformazione
Buona resistenza all'impatto e all'usura	Ha bisogno di un letto riscaldato o di una camera riscaldata
Meno trasudamenti e incordature danno ai modelli una finitura più liscia	Produce un odore pungente durante la stampa

#### 6.3.1 Alcool polivinilico (PVA)

L'alcool polivinilico è una nuova classe di materiale per la stampa 3D usato per fare supporti che tengono in posizione le stampe 3D. È un polimero sintetico ed è solubile in acqua. Si scioglie a circa 200 gradi C e rilascia alcune sostanze chimiche piuttosto sgradevoli quando viene riscaldato ad alte temperature. Utilizzato nelle stampanti domestiche di fascia bassa, il PVA è una plastica adatta per i materiali di supporto della varietà dissolvibile. Anche se non è adatto a prodotti che richiedono un'alta resistenza, il PVA può essere un'opzione a basso costo per oggetti di uso temporaneo.

### Applicazioni comuni

- Supporti o zattere rimovibili
- Applicazioni dissolvibili/disintegrative
- Parti decorative



Pro	Contro
<p>Materiale di supporto dissolvibile in acqua Nessun solvente speciale richiesto</p> <p>Nessun hardware aggiuntivo richiesto</p>	<p>Sensibile all'umidità Sono necessari contenitori ermetici per la conservazione</p> <p>Maggiori possibilità di intasamento se l'ugello viene lasciato caldo quando non si estrude</p> <p>Costoso</p>

### 6.3.2 Policarbonato (PC)

Meno frequentemente usato rispetto ai tipi di plastica sopra citati, il policarbonato funziona solo nelle stampanti 3D che hanno un design a ugelli e che operano ad alte temperature. Tra le altre cose, il policarbonato è usato per fare elementi di fissaggio in plastica a basso costo e vassoi di stampaggio. Il policarbonato (PC) è un materiale ad alta resistenza destinato ad ambienti difficili e ad applicazioni ingegneristiche.

### Applicazioni comuni

- Parti ad alta resistenza
- Stampe resistenti al calore
- Scatole per applicazioni elettroniche



Pro	Contro
<p>Resistente agli urti Alta resistenza al calore Naturalmente trasparente</p>	<p>Richiede temperature di stampa molto alte Incline alla deformazione Alta tendenza a trasudare durante la stampa Assorbe l'umidità dall'aria che può causare difetti di stampa</p>

## 6.4 *Polveri*

### Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione delle polveri nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi delle polveri

Le stampanti 3D al momento più all'avanguardia usano materiali in polvere per costruire prodotti. All'interno della stampante, la polvere viene fusa e distribuita a strati fino a ottenere lo spessore, la consistenza e i modelli desiderati. Le polveri possono provenire da varie fonti e materiali, ma le più comuni sono:

### 6.4.1 Poliammide (Nylon)

Con la sua forza e flessibilità, la poliammide permette alti livelli di dettaglio su un prodotto stampato in 3D. Il materiale è particolarmente adatto per unire pezzi e incastrare parti in un modello complesso stampato in 3D. La poliammide è usata per stampare di tutto, da chiusure e maniglie a macchinine e figure.

#### Applicazioni comuni

- Ingranaggi di plastica
- Viti, dadi, bulloni
- Fascette



Pro	Contro
Resistente e parzialmente flessibile Alta resistenza agli urti	Incline a deformarsi Conservazione ermetica necessaria per evitare l'assorbimento di acqua
Nessun odore sgradevole durante la stampa	I filamenti non correttamente asciugati possono causare difetti di stampa
Buona resistenza all'abrasione	Non adatto ad ambienti umidi e bagnati

### 6.4.2 Allumina

Composta da un mix di poliammide e alluminio grigio, la polvere di allumina rende alcuni dei modelli stampati in 3D più resistenti. Riconosciuta dal suo aspetto granuloso e sabbioso, la polvere è affidabile per modelli industriali e prototipi.

## 6.5 *Resine*

Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione delle resine nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi delle resine

Uno dei materiali più limitanti e quindi meno utilizzati nella stampa 3D è la resina. Rispetto ad altri materiali applicabili in 3D, la resina offre una flessibilità e una resistenza limitate. Fatta di polimero liquido, la resina raggiunge il suo stato finale con l'esposizione alla luce UV. La resina si trova generalmente nelle varietà nera, bianca e trasparente, ma alcuni oggetti stampati sono stati prodotti anche in arancione, rosso, blu e verde.

Il materiale è disponibile nelle seguenti tre categorie:

- **Resine ad alto dettaglio:** Generalmente usate per piccoli modelli che richiedono dettagli intricati. Per esempio, le figurine da quattro pollici con dettagli complessi del guardaroba e del viso sono spesso stampate con questo grado di resina.
- **Resina verniciabile:** A volte usate nelle stampe 3D a superficie liscia, le resine di questa classe sono note per il loro appeal estetico. Le figurine con dettagli facciali resi, come le fate, sono spesso fatte di resina verniciabile.
- **Resina trasparente:** Questa è la classe di resina più forte e quindi la più adatta per una serie di prodotti stampati in 3D. Spesso utilizzata per modelli che devono essere morbidi al tatto e trasparenti nell'aspetto. Le resine trasparenti di varietà chiare e colorate sono usate per fare figurine, pezzi di scacchi, anelli e piccoli accessori e apparecchi domestici.

#### Caratteristiche distinte:

- Può essere usato in molte applicazioni.
- Ha un basso ritiro.
- I materiali in resina hanno un'alta resistenza chimica.
- Questo materiale è rigido e delicato.

#### Svantaggi:

- È costoso.
- Anche questo tipo di filamento scade.
- Deve essere conservato in modo sicuro a causa della sua alta foto-reattività.
- Se esposto al calore, può causare una polimerizzazione prematura.

## ***6.6 Metalli***

### Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione del metallo nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi del metallo

Il secondo materiale più popolare nel settore della stampa 3D è il metallo, che viene utilizzato attraverso un processo noto come sinterizzazione laser diretta del metallo o DMLS. Questa tecnica è già stata abbracciata dai produttori di attrezzature per il trasporto aereo che hanno utilizzato la stampa 3D del metallo per accelerare e semplificare la costruzione di parti componenti. Le stampanti DMLS hanno anche preso piede tra i produttori di gioielleria, che possono produrre molto più velocemente e in grandi quantità con la stampa 3D - tutto senza le lunghe ore di lavoro minuzioso e dettagliato. Con il metallo è possibile produrre una gamma di oggetti di uso quotidiano più resistente e probabilmente più diversificata rispetto agli altri processi produttivi. I gioiellieri hanno usato le stampanti 3D per produrre braccialetti incisi in acciaio e rame. Uno dei principali vantaggi di questo processo è che il lavoro di incisione è gestito dalla stampante. Come tale, i braccialetti possono essere finiti a scatola chiusa in pochi passi programmati meccanicamente e che non richiedono il lavoro manuale che il lavoro di incisione richiedeva una volta. La tecnologia per la stampa 3D a base di metallo sta anche aprendo le porte ai costruttori di macchine per usare alla fine il DMLS per produrre a velocità e volumi che sarebbero impossibili con le attuali attrezzature di assemblaggio. I sostenitori di questi sviluppi credono che la stampa 3D permetterebbe ai costruttori di macchine di produrre parti in metallo con una resistenza superiore alle parti convenzionali che sono realizzate con metalli raffinati.

La gamma di metalli applicabili alla tecnica DMLS è tanto varia quanto i vari tipi di plastica delle stampanti 3D:

- Acciaio inossidabile: Ideale per la stampa di utensili, pentole e altri oggetti che alla fine potrebbero entrare in contatto con l'acqua.
- Bronzo: può essere usato per fare vasi e altri apparecchi.
- Oro: Ideale per anelli stampati, orecchini, bracciali e collane.
- Nichel: Adatto per la stampa di monete.
- Alluminio: ideale per oggetti metallici sottili.
- Titanio: La scelta preferita per apparecchi forti e solidi.

### Applicazioni comuni

- Sculture e busti
- Repliche per i musei
- Gioielli



Pro	Contro
La finitura metallica è esteticamente accattivante	Richiede un ugello resistente all'usura
Non ha bisogno di un estrusore ad alta temperatura	Le parti stampate sono molto fragili
Più pesante dei filamenti standard	Pessimi ponti e sporgenze
	Può causare intasamenti parziali nel tempo
	Costoso

## **6.7 Fibra di carbonio**

### Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione della fibra di carbonio nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi della fibra di carbonio

I compositi come la fibra di carbonio sono usati nelle stampanti 3D come rivestimento per i materiali plastici stampati.

Lo scopo è quello di rendere il materiale termoplastico stampato più resistente. La combinazione di fibra di carbonio su plastica è stata usata nell'industria della stampa 3D come un'alternativa veloce e conveniente al metallo.

In futuro, la stampa 3D in fibra di carbonio dovrebbe sostituire il processo molto più lento di deposizione come fibra all'interno della matrice termoplastica della fibra di carbonio.

Con l'uso del carbomorfo conduttivo, i produttori possono ridurre il numero di passaggi necessari per assemblare i dispositivi elettromeccanici.

### Applicazioni comuni

- Veicoli R/C
- Prototipi funzionali
- Pezzi decorativi
- Puntelli leggeri



Pro	Contro
Maggiore forza e rigidità	Abrasivo e richiede un ugello in acciaio temprato
Stabilità dimensionale molto buona	Aumento della trasudazione durante la stampa
Leggero	Aumento della fragilità del filamento Maggiore tendenza all'intasamento

## 6.8 Grafite e grafene

### Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione della grafite e del grafene nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi della grafite e del grafene

Il grafene è diventato una scelta popolare per la stampa 3D a causa della sua forza e conduttività. Il materiale è ideale per le parti dei dispositivi che devono essere flessibili, come i touchscreen. Il grafene è anche usato per pannelli solari e parti di costruzione. I sostenitori dell'opzione del grafene affermano che è uno dei più flessibili dei materiali applicabili nei processi di stampa 3D.

L'uso del grafene nella stampa ha ricevuto la sua più grande spinta attraverso una partnership tra il Gruppo 3D e Kibaran Resources, una società mineraria australiana. Il carbonio puro, che

è stato scoperto per la prima volta nel 2004, ha dimostrato di essere il materiale più elettricamente conduttivo nei test di laboratorio. Il grafene è leggero ma forte, il che lo rende il materiale adatto per una serie di prodotti.

## 6.9 Legno

### Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione del legno nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi del legno

I filamenti a base di legno sono in genere un composito che combina un materiale di base PLA con polvere di legno, sughero e altri derivati del legno. In genere, il filamento consiste di circa il 30% di particelle di legno, ma il numero esatto può variare a seconda della marca. La presenza di queste particelle dà alle parti stampate in 3D l'estetica del vero legno. Questo filamento è anche meno abrasivo rispetto ad altri filamenti compositi come quelli riempiti di fibra di carbonio e di metallo, poiché le particelle di legno sono molto più morbide. Ci sono alcuni filamenti simili al legno sul mercato che contengono solo la colorazione del legno, ma nessuna particella di legno reale, quindi questi hanno tipicamente un aspetto e una texture molto diversi.

### Applicazioni comuni

- Decorazioni per la casa
- Oggetti di scena Cosplay
- Giocattoli



Pro	Contro
La finitura in legno è esteticamente accattivante	Incline all'incordatura
Non ha bisogno di costosi ugelli resistenti all'usura	Gli ugelli più piccoli possono finire con il tempo con degli intasamenti parziali
Aromatico e dall'odore gradevole	Può richiedere un ugello di dimensioni maggiori

## 6.10 HIPS



Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione di HIPS nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi di HIPS

HIPS, o High Impact Polystyrene, è un materiale di supporto dissolvibile che viene comunemente usato con l'ABS. Quando viene usato come materiale di supporto, l'HIPS può essere sciolto in d-Limonene, lasciando la stampa senza segni causati dalla rimozione del supporto. HIPS ha molte delle stesse proprietà di stampa dell'ABS, il che lo rende un logico partner per la doppia estrusione. Non solo HIPS è ottimo per supportare le stampe in ABS, ma è anche più stabile dal punto di vista dimensionale e leggermente più leggero dell'ABS, il che lo rende un'ottima scelta per le parti che finirebbero per consumarsi o utilizzate in applicazioni che possono trarre vantaggio dal peso ridotto.

Applicazioni comuni

- Materiale di supporto dissolvibile per ABS
- Cosplay e oggetti da indossare
- Custodie protettive



Pro	Contro
Basso costo	Letto riscaldato richiesto
Resistente agli urti e all'acqua	Camera riscaldata raccomandata
Leggero	Alta temperatura di stampa
Dissolvibile dal d-Limonene	Ventilazione richiesta

**6.11 PETG**

Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare le caratteristiche e l'applicazione del PETG nella stampa 3D
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi del PETG

Il PETG è una versione modificata con glicole del polietilene tereftalato (PET), che è comunemente usato per fabbricare bottiglie d'acqua. È un materiale semirigido con una buona resistenza all'impatto, ma ha una superficie leggermente più morbida che lo rende incline

all'usura. Il materiale beneficia anche di grandi caratteristiche termiche, permettendo alla plastica di raffreddarsi in modo efficiente con una deformazione quasi trascurabile. Ci sono diverse varianti di questo materiale sul mercato, tra cui PETG, PETE e PETT. I consigli di questo articolo si applicano a tutti questi filamenti a base di PET.

### Applicazioni comuni

- Applicazioni a prova d'acqua
- Componenti a scatto
- Vaso da fioriera



Pro	Contro
Finitura superficiale lucida e liscia	Scarse caratteristiche di bridging
Aderisce bene al letto con una deformazione trascurabile	Può produrre peli sottili sulla superficie a causa dell'incordatura
Per lo più inodore durante la stampa	

## 6.12 Materiali di stampa 3D a confronto

### Risultati dell'apprendimento:

- Gli allievi saranno in grado di identificare il miglior materiale per la stampa 3D in base alle esigenze
- Gli allievi conosceranno i vantaggi e gli svantaggi dei materiali di stampa 3D più comuni

Questa tabella riassume un'ampia varietà di proprietà e caratteristiche per ogni materiale.

	ABS	PLA	HIPS	PETG	Nylon	Carbon Fiber Filled	Polycarbonate	Metal Filled	Wood Filled	PIA
	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>	<a href="#">Learn More</a>
<a href="#">Compare Selected</a> <a href="#">Show All</a>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ultimate Strength	40 MPa	65 MPa	32 MPa	53 MPa	40-85 MPa	45-68 MPa	72 MPa	20-30 MPa	46 MPa	76 MPa
Stiffness	5 GPa	7.5 GPa	10 GPa	5 GPa	5 GPa	10 GPa	4 GPa	10 GPa	8 GPa	3 GPa
Durability	8/10	4/10	7/10	8/10	10/10	3/10	10/10	4/10	3/10	7/10
Maximum Service Temperature	98 °C	52 °C	100 °C	73 °C	80-95 °C	52 °C	121 °C	52 °C	52 °C	75 °C
Coefficient of Thermal Expansion	90 µm/m°C	68 µm/m°C	80 µm/m°C	60 µm/m°C	95 µm/m°C	57.5 µm/m°C	69 µm/m°C	33.75 µm/m°C	30.5 µm/m°C	85 µm/m°C
Density	1.04 g/cm <sup>3</sup>	1.24 g/cm <sup>3</sup>	1.03-1.04 g/cm <sup>3</sup>	1.23 g/cm <sup>3</sup>	1.06-1.14 g/cm <sup>3</sup>	1.3 g/cm <sup>3</sup>	1.2 g/cm <sup>3</sup>	2-4 g/cm <sup>3</sup>	1.15-1.25 g/cm <sup>3</sup>	1.23 g/cm <sup>3</sup>
Price (per kg)	10-140	10-40	24-32	20-60	25-65	30-80	40-75	50-120	25-55	40-110
Printability	8/10	9/10	6/10	9/10	8/10	8/10	9/10	7/10	8/10	5/10
Extruder Temperature	220-250 °C	190-220 °C	230-245 °C	230-250 °C	220-270 °C	200-230 °C	260-310 °C	190-220 °C	190-220 °C	185-200 °C
Bed temperature	95-110 °C	45-60 °C	100-115 °C	75-90 °C	70-90 °C	45-60 °C	80-120 °C	45-60 °C	45-60 °C	45-60 °C
Heated Bed	Required	Optional	Required	Required	Required	Optional	Required	Optional	Optional	Required
Recommended Build Surfaces	Kapton Tape, ABS Slurry	Painter's Tape, Glue Stick, Glass Plate, PEI	Glass Plate, Glue Stick, Kapton Tape	Glue Stick, Painter's Tape	Glue Stick, PEI	Painter's Tape, Glue Stick, Glass Plate, PEI	PEI, Commercial Adhesive, Glue Stick	Painter's Tape, Glue Stick, PEI	Painter's Tape, Glue Stick, PEI	PEI, Painter's Tape
Other Hardware Requirements	Heated Bed, Enclosure Recommended	Part Cooling Fan	Heated Bed, Enclosure Recommended	Heated Bed, Part Cooling Fan	Heated Bed, Enclosure Recommended, May Require All Metal Hotend	Part Cooling Fan	Heated Bed, Enclosure Recommended, All Metal Hotend	Wear Resistant or Stainless Steel Nozzle, Part Cooling Fan	Part Cooling Fan	Heated Bed, Part Cooling Fan

Figura 6-1 - Tabella delle proprietà del filamento <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?filas=abs,pla,hips,petg,nylon,carbon-fiber-filled,polycarbonate,metal-filled,wood-filled,pva>

Scegliere il giusto tipo di materiale per stampare un dato oggetto sta diventando sempre più difficile, poiché il mercato della stampa 3D vede l'emergere regolare di materiali radicalmente nuovi. Nella stampa 3D FDM, PLA e ABS sono stati storicamente i due principali polimeri utilizzati, ma il loro dominio iniziale è stato per lo più fortuito, quindi non ci dovrebbero essere grandi impedimenti affinché altri polimeri possano giocare un ruolo chiave nel futuro di FDM.

Ora stiamo vedendo nuovi prodotti diventare più popolari, sia polimeri puri che compositi. In questo studio, ci concentriamo sui principali polimeri puri che esistono oggi sul mercato: PLA, ABS, PET, Nylon, TPU (flessibile) e PC.

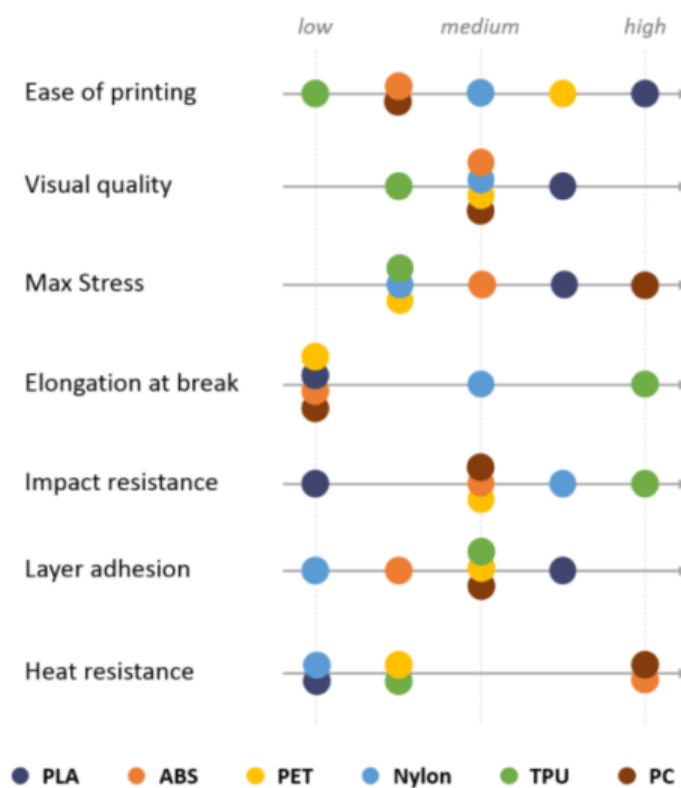


Figura 6-2 - Proprietà del materiale

Con una conoscenza adeguata e l'uso dei materiali giusti, la stampa 3D industriale può essere fatta in modo efficiente. Man mano che l'industria della stampa 3D cresce, sempre più materiali saranno usati per fare prototipi e saranno compatibili con diverse stampanti 3D. Come per ogni

nuovo processo e attrezzatura c'è una ripida curva di apprendimento e questa aumenta quando si passa dalla plastica alla stampa 3D in metallo.

### ***6.13 Riferimenti***

<https://redshift.autodesk.com/what-materials-are-used-in-3d-printing/>

<https://www.sharrettsplating.com/blog/materials-used-3d-printing/>

<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/#all>

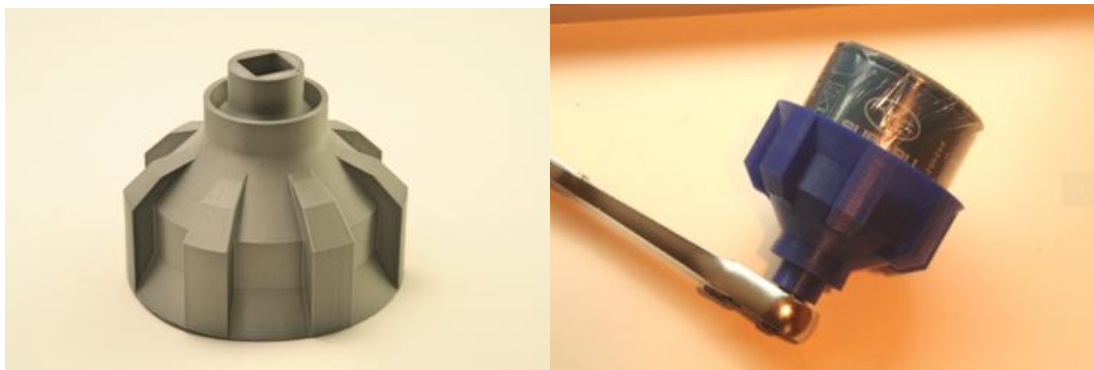
<https://www.cmac.com.au/blog/top-10-materials-used-industrial-3d-printing>

<https://www.makerbot.com/stories/design/3d-printing-materials/>

<https://www.hubs.com/knowledge-base/fdm-3d-printing-materials-compared/>

## 7 FILE STL PER L'EDUCAZIONE ALLA TECNOLOGIA AUTOMOBILISTICA

### 7.1 *Strumento di rimozione del filtro dell'olio*



*Figura 7-1 - Attrezzo di rimozione del filtro dell'olio*

Questo è uno strumento di rimozione del filtro dell'olio progettato per deviare e incanalare l'olio in eccesso attraverso lo strumento e fuori dal fondo. Questo è utile per i filtri dell'olio che sono montati verticalmente. Quando si rimuove il filtro, solitamente, l'olio in eccesso scorre lungo il lato del filtro e finisce sulla mano dell'operatore, rendendo molto difficile afferrare e svitare il filtro (specialmente se l'olio è ancora caldo). Questo attrezzo ha dei canali sul lato che indirizzano l'olio in eccesso verso l'interno dell'attrezzo e riducono i fastidi.

I canali di flusso forniscono una presa extra per la rimozione del filtro.

Il foro dell'imbuto sul fondo si adatta a una chiave a cricchetto da 1/2 pollice nel caso in cui il filtro sia davvero bloccato lì. Nota: la chiave deve essere rimossa dopo aver allentato il filtro poiché la chiave bloccherà il foro di scarico.

Lo strumento funge anche da imbuto. L'estremità dell'attrezzo/imbuto si adatta bene all'apertura di un contenitore di olio da 1 o 4 litri. Questo mantiene l'attrezzo/imbuto stabile mentre si versa l'olio vecchio nei contenitori. Nota: la dimensione dell'apertura del contenitore differisce da una marca all'altra, quindi potrebbe non adattarsi a tutti i contenitori d'olio.

### 7.1.1 Impostazioni di stampa

Stampante: Costruita su misura "PrintrMatic".

Rafts: No

Supports: No

Resolution: 0.2 - 0.25

Infill: 75-100%

#### File STL (download)

oil\_filter\_drain\_V02.STL

oil\_filter\_drain\_6.35mm\_V00.STL

oil\_filter\_drain\_72.5mm\_V00.STL

oil\_filter\_drain\_V01-OLD.STL

### 7.2 *Clip di spinta del perno /Spingi rivetto*

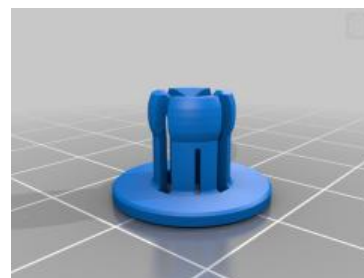


Figura 7-2 - Clip Push Pin modello CAD e stampa (destra) e Push Rivet modello CAD e stampa (sinistra)

Parte di ricambio per le clip a spillo. Stampato con filamento PETG. Ci sono due versioni della parte di fermo della clip. Una con fessure per piegare più facilmente le linguette, l'altra senza fessure. Per il nylon, si usa quella senza fessure. Questi sono dei fermi conosciuti anche come "Push Rivets". Si può assemblare la clip prima dell'installazione, spingendo il perno fino al primo "clic", oppure si può inserire prima il fermo nel foro, poi inserire il perno e spingere a filo. Questa clip di fissaggio è dimensionata per un foro di 8mm e può accogliere una profondità di 5mm. La flangia è di 20mm. Si può aggiungere una versione con flangia da 16mm per una maggiore flessibilità con le dimensioni.

### **7.2.1 Impostazioni di stampa**

Stampante: Prusa i3 MK3

Resolution: 0.2

Infill: 100% rectilinear

#### **File STL (download)**

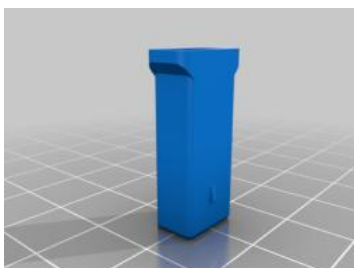
Pin\_for20mmFlange.stl

Pin\_for16mmFlange.stl

Retainer\_20mmFlange.stl

Retainer\_16mmFlange.stl

### **7.3 Connettori**





*Figura 7-3 - Connettori elettrici Modelli CAD*



*Figura 7-4 - Stampa dei connettori elettrici*

Connettori elettrici per auto da 1 a 8 vie per applicazioni specialmente a 12-24 volt.

Il design è basato sui connettori FASTIN-FASTON serie 250 di TYCO (TE Connections), ex AMP.

Sono stati utilizzati per decenni nella maggior parte delle automobili, camion e roulotte e in molte altre applicazioni fino ad oggi e sono stati tra i primi connettori elettrici angolari progettati per questo scopo.

Questi connettori sono progettati per essere compatibili come pezzi di ricambio, ma in più sono ottimizzati per la stampa 3D.

I contatti associati, prese piatte 6.3 ( $\frac{1}{4}$  di pollice) e spine 6.3 sono anche tra i contatti più utilizzati.

Se il montaggio dei contatti nelle cavità dovrebbe essere un po' difficile è possibile aiutarsi con una pinza piatta sul cavo/crimpare un po'. I contatti devono bloccarsi con un clic udibile.

Possono essere rimossi dalla cavità premendo indietro la linguetta di bloccaggio con un cacciavite da orologiaio e tirandola fuori dalla cavità.

L'applicazione per 48 volt è ancora possibile, per 110 volt, 240 volt non lo è.

Il materiale da usare dovrebbe essere il più resistente possibile al calore, poiché nel connettore si può generare molto calore oltre alle temperature ambientali. Il PLA non dovrebbe essere usato, meglio PETG/ ABS o meglio NYLON.

Un supporto non è necessario, tranne che per gli alloggiamenti dei connettori 6 e 8 poli con bracci di bloccaggio per il circuito stampato. Le raft possono anche essere omesse. La spaziatura degli strati 0,2 funziona, ma un valore più basso è preferibile.

### **7.3.1 Impostazioni di stampa**

Stampante: Dremel Digilab 3D45

Rafts: No

Supports: No

Resolution: 0,2mm max

Infill: 100%

#### **File STL (download)**

Female-Housing-1-way.stl

Male-Housing-3-way.stl

Male-Housing-2-way-Typ-1.stl

Male-Housing-8-way-Typ-2.stl

Male-Housing-4-way.stl

Male-Housing-1-way.stl

Female-Housing-2-way-Typ-1.stl

Female-Housing-3-way.stl

Male-Housing-2-way-Typ-2.stl

Male-Housing-6-way-Typ2.stl

Male-Housing-8-way-Typ-1.stl

Female-Housing-4-way.stl

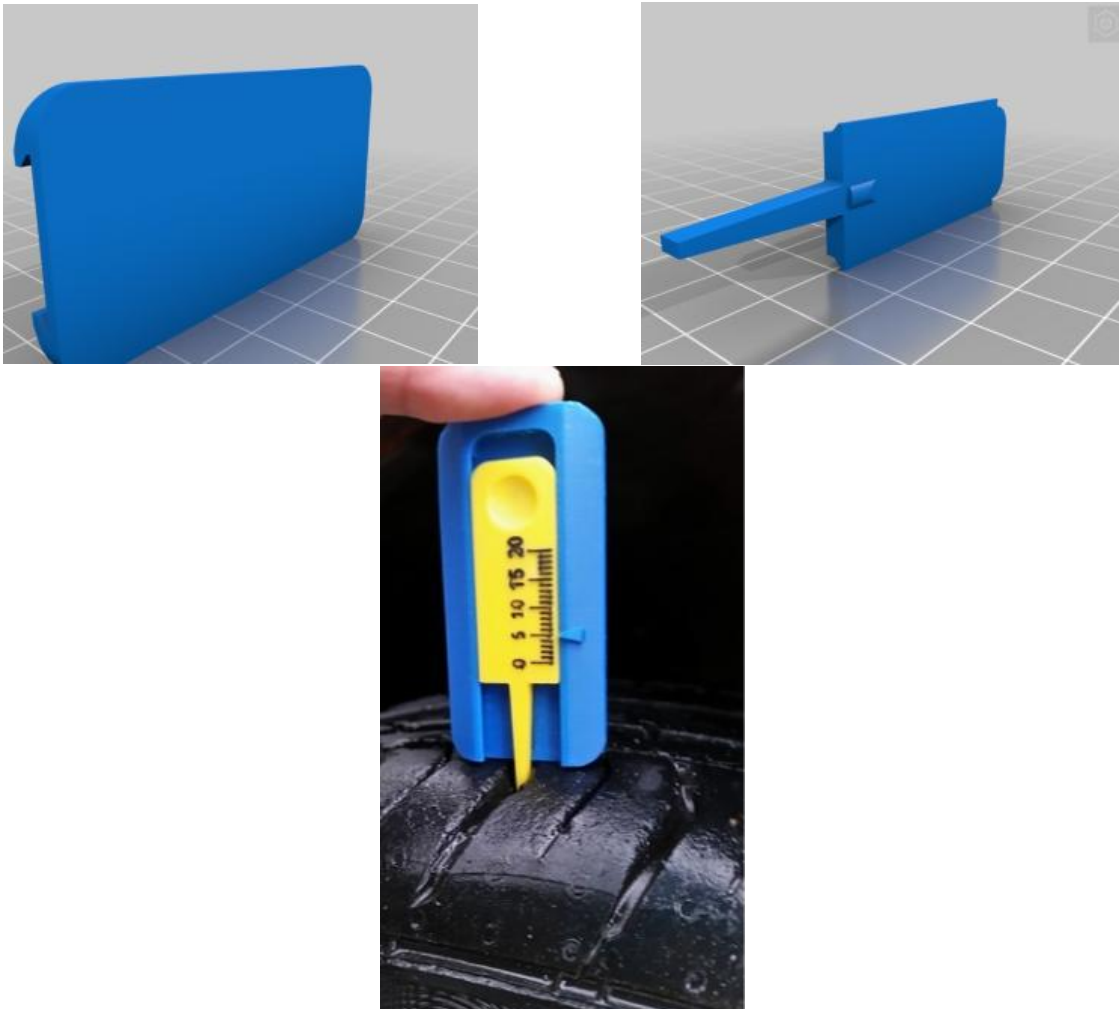
Female-Housing-2-way-Typ-2.stl

Female-Housing-6-way.stl

Male-Housing-6-way-Typ-1.stl

Female-Housing-8-way.stl

## ***7.4 Misuratore per le scanalature dello pneumatico***



*Figura 7-5 - Misurazione della scanalatura del pneumatico Modelli CAD e stampa*

### **7.4.1 Impostazioni di stampa**

Stampante: Zortrax M200

Rafts: Yes

Supports: Yes

Resolution: 0,09 mm

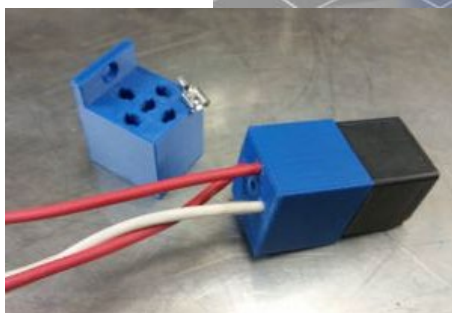
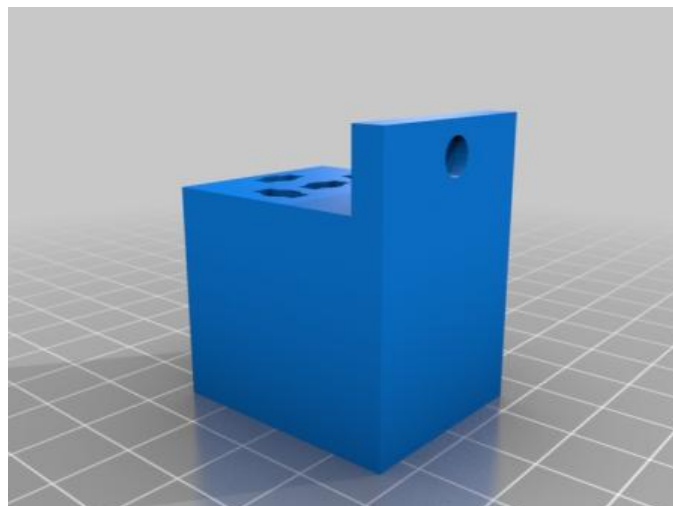
Infill: 100%

**File STL (download)**

Based.STL

Measured.STL

## ***7.5 Supporto del relè***



*Figura 7-6 - Modelli CAD e stampe del supporto del relè*

Cablaggio per relè e zoccolo per relè automobilistico standard a 5 o 4 pin. I terminali standard a lama possono essere crimpati ai fili e spinti attraverso il blocco dall'alto. Le lame possono aver

bisogno di un leggero ritocco una volta premute per permettere alla lama del relè di adattarsi facilmente. Può essere difficile farlo sigillare all'inizio, ma una volta che si conforma al blocco si installa e si rimuove facilmente con i terminali che rimangono nel blocco. Il disegno incluso ha una staffa di montaggio che può essere utilizzata per attaccarlo a qualsiasi cosa. È possibile modificare il file per fare una scatola per il relè personalizzata.

### 7.5.1 Impostazioni di stampa

Stampante: PowerSpec 3D Pro

Supports: No

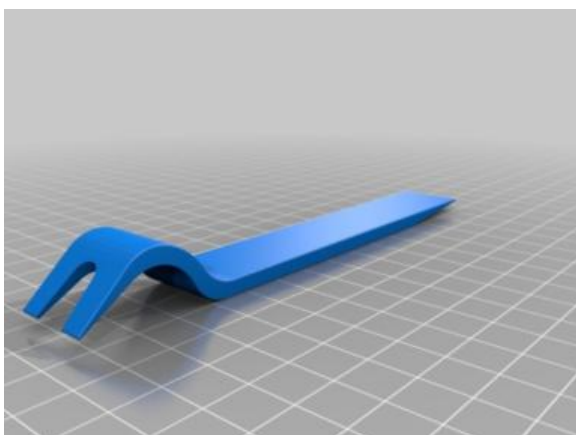
Resolution: 0,09 mm

Infill: 8 to 20%

**File STL (download)**

RelaySocketCR.stl

### 7.6 *Strumento per la rimozione delle rifiniture*



*Figura 7-7 - Strumento di rimozione dei ritagli Modello CAD e stampa*

Strumento per fare leva e rimuovere il pannello della clip della portiera dell'auto. L'attrezzo è spesso 4 mm, alto 20 mm e lungo circa 145 mm. L'apertura dei denti della clip è di 6,5 mm nel punto più stretto e di circa 9 mm nel punto più largo.

### 7.6.1 Impostazioni di stampa

Stampante: Geetech

Supports: Yes

Infill: 99%

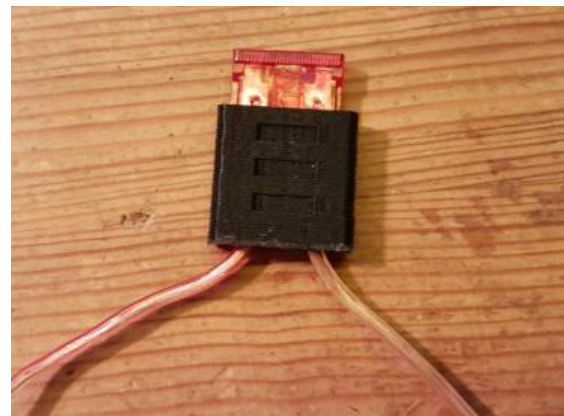
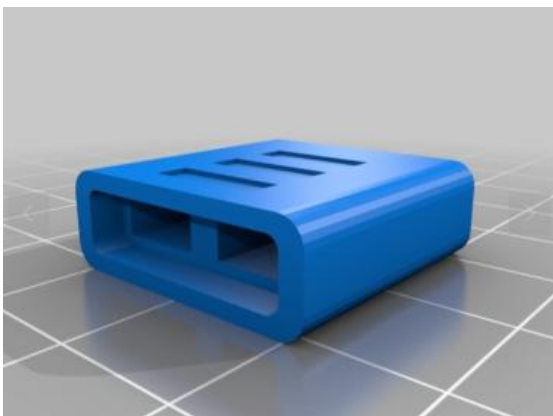
### File STL (download)

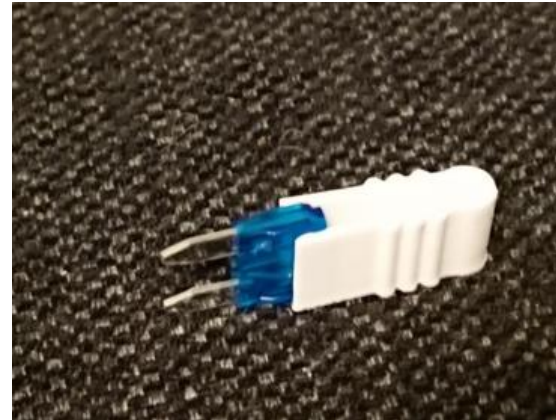
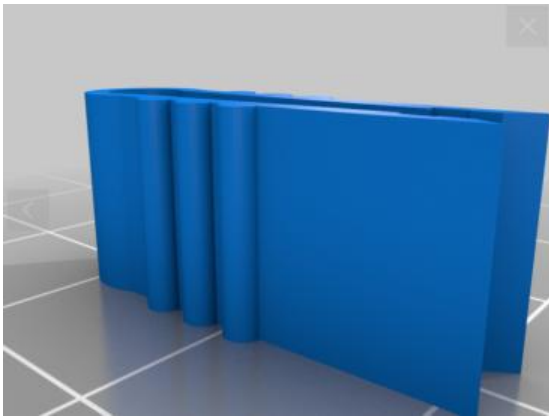
BUM\_CAR\_TOOLS\_6001\_upholstery\_fork\_and\_pry.STL

BUM\_CAR\_TOOLS\_6001\_upholstery\_fork\_and\_pry\_-\_smaller\_file\_size.STL

## 7.7 *Strumento per i fusibili*

Portafusibili per auto 12V stampabili velocemente.





*Figura 7-8 - Strumenti di fusione: Modelli CAD a sinistra e stampe a destra*

### **7.7.1 Impostazioni di stampa**

Stampante: Anet A8

Rafts: Yes

Supports: No

Resolution: 0,20 mm

Infill: 30%

**File STL (download)**

single\_fuse\_holder.stl

MiniFuse.stl

## 7.8 Scatola del cambio

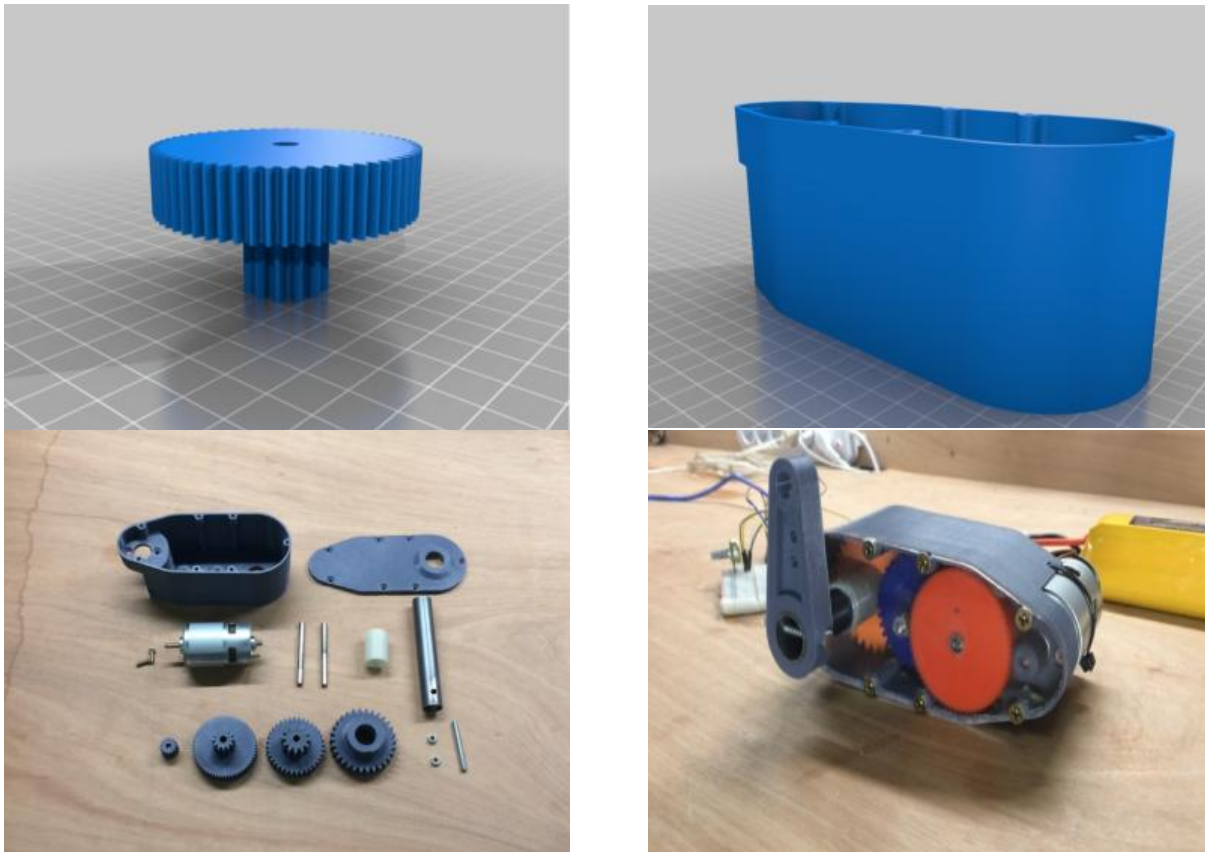


Figura 7-9 - Modelli CAD del riduttore e stampe

Questo servoriduttore usa principalmente parti stampate in 3D. Il servo utilizza un motore DC spazzolato 775 36V 9000rpm che è guidato da un driver motore BTS7960B che è controllato da un Arduino mega 2560. La coppia di stallo del servo è di circa 55kg/cm che è circa 5,39 Nm. la corrente di picco è di circa 18 Ampere quando si utilizza una batteria LIPO 6s (circa 22-24V). il rapporto di riduzione è 1:30.

### 7.8.1 Componenti utilizzati:

1 × 775 motore DC 12V-36V 3500-9000RPM motore grande coppia ad alta potenza

1 × Arduino nano V3

1 × L298N driver del motore

1 × Restringimento a caldo





2 × albero in acciaio inossidabile

2 × M5 bullone e dado

1 × tubo d'acciaio di 20mm

2 × viti lunghezza 15mm

5 × viti lunghezza 35mm

## **7.8.2 Impostazioni di stampa**

Stampante: Anet E12

Supports: Yes

Resolution: 0,20 mm

Infill: 35%

### **File STL (download)**

33mm\_spacer\_V1.stl

servo\_arm\_V1.stl

Lid\_V2.stl

Spur\_Gear\_15\_teeth\_motor\_V1.stl

Spur\_Gear\_30\_teeth\_output\_shaft\_V1.stl

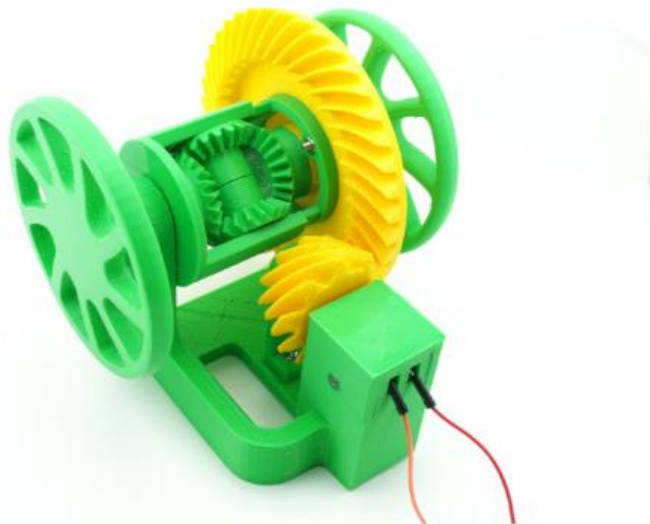
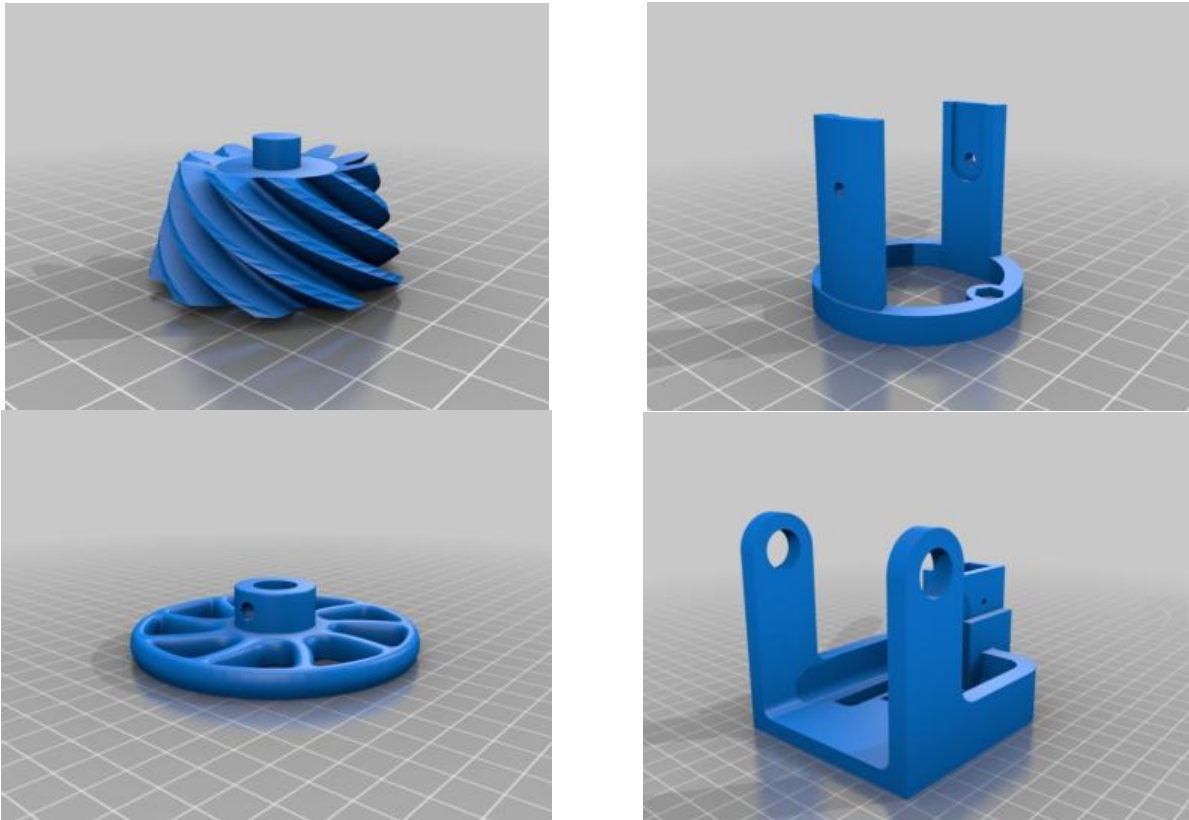
Spur\_Gear\_60-12\_teeth\_V1.stl

Spur\_Gear\_36-12\_teeth\_V1.stl

775\_servo\_lid.dxf

Case\_V3.stl

## ***7.9 Differenziale automobilistico***



*Figura 7-10 - Differenziale automobilistico; modelli CAD e stampa*

Il differenziale automobilistico è qualcosa che ogni automobile ha: questo ingegnoso meccanismo trasmette la potenza dall'albero motore alle ruote motrici, mentre permette loro di ruotare a velocità diverse quando le condizioni di guida lo richiedono, come durante una curva. Questo è un modello motorizzato del tipo più basilare di differenziale automobilistico,



noto come differenziale aperto. A differenza della maggior parte dei modelli di differenziali stampabili in 3D, questo è dotato di una coppia pignone/anello ipoide, non conica.

Il modello è alimentato da un motore elettrico da 6V dotato di un riduttore di velocità. Richiede una fonte di alimentazione esterna, come quattro batterie AA in un supporto, o un vecchio caricatore del telefono a 6V con fili spellati.

<http://www.otvinta.com/download09.html> fornisce le istruzioni di montaggio dettagliate e illustrate.

Il pignone ha bisogno di un ampio supporto per assicurare un ingranamento fluido con la corona. Si usa Simplify3D e si aggiunge manualmente il supporto per coprire tutti i denti, nessun'altra parte ha bisogno di supporto oltre a quello predefinito.

Si devono stampare 2 ruote, 2 ingranaggi laterali, 2 ingranaggi a ragno, e 1 di tutte le altre parti.

### **7.9.1 Impostazioni di stampa**

Stampante: MakerGear M2

Rafts: No

Supports: Yes

Resolution: 0,20 mm

Infill: 35%

#### **File STL (download)**

diff\_spider\_shaft.stl

diff\_leftshaft.stl

diff\_carrier.stl

diff\_carrier\_cover.stl

diff\_stand.stl



diff\_rightshaft.stl

diff\_arm.stl

diff\_pinion.stl

diff\_motor\_cover.stl

diff\_side.stl

diff\_spider.stl

diff\_ring.stl

diff\_wheel.stl

## ***7.10 Risorse:***

<https://www.thingiverse.com/thing:1135889>

<https://www.thingiverse.com/thing:3490414>

<https://www.thingiverse.com/thing:5174925>

<https://www.thingiverse.com/thing:2317645>

<https://www.thingiverse.com/thing:1977671>

<https://www.thingiverse.com/thing:1748810>

<https://www.thingiverse.com/thing:3095801>

<https://www.thingiverse.com/thing:4205535>

<https://www.thingiverse.com/thing:3292860>

<https://www.thingiverse.com/thing:2116304>

## 8 TEST DI VALUTAZIONE

### 8.1 Unità 1 Test di valutazione

- 1) La stereolitografia è comunemente conosciuta come:
  - a. **Stampa 3D**
  - b. Stampa 2D
  - c. Tecnologia di produzione degli stampi
  - d. Tecnologia di produzione del modello
  
- 2) La prima persona a depositare un brevetto per la tecnologia di prototipazione rapida è stata:
  - a. **Dr. Hideo Kodama**
  - b. Charles Hull
  - c. Scott Crump
  - d. Lis Crump
  
- 3) L'espansione di massa della stampa 3D può essere datata da
  - a. 2015
  - b. **2009**
  - c. 1989
  - d. 2011
  
- 4) FFF (FDM) è un metodo di stampa 3D:
  - a. Dove il filo di nichel di plastica non si fonde
  - b. Dove il filo d'acciaio viene fuso
  - c. **Dove il filo di plastica si fonde**
  - d. Dove il filo di rame è fuso
  
- 5) I brevetti per la tecnologia FDM (FFF) sono scaduti nel
  - a. **2009**

- b. 2000
  - c. 2010
  - d. 1999
- 6) L'azienda ha presentato l'auto Urbee con un telaio realizzato con la stampa 3D è:
- a. Volkswagen
  - b. Chrysler
  - c. **KOR Ecologic**
  - d. Mercedes
- 7) Le case automobilistiche del mondo hanno incorporato le stampanti 3D HP Metal Jet nel:
- a. 1995
  - b. 2020
  - c. 2000
  - d. **2018**
- 8) Una macchina è composta da:
- a. **6.000-8.000 parti**
  - b. 1.000-3.000 parti
  - c. 3.000-4.000 parti
  - d. 2.000-3.000 parti
- 9) La stampante DARWIN aveva la capacità di:
- a. **Autoreplicazione**
  - b. Autoregolamentazione
- 10) MakerBot Academy è una piattaforma il cui contenuto è:
- a. Formazione per lavorare con la stampa 3D nelle scuole in Germania.
  - b. **Formazione per lavorare con la stampa 3D nelle scuole negli Stati Uniti.**
  - c. Formazione per lavorare con la stampa 3D nelle scuole in Polonia
  - d. Formazione professionale per lavorare con la stampa 3D nelle scuole in Slovacchia

## 8.2 Unità 2 Test di valutazione

- 1) Come si chiama la parte dell'estrusore che permette al filamento di essere riscaldato e preparato per il processo di estrusione?
  - a. Cold End
  - b. Letto di stampa
  - c. Termistore
  - d. **Hot end**
  
- 2) Quale tipo di filamento indicato di seguito è biodegradabile e ha un punto di fusione relativamente inferiore agli altri?
  - a. Nylon
  - b. ABS
  - c. **PLA**
  - d. TPE
  
- 3) Quale delle seguenti parti delle stampanti 3D è utilizzata per misurare la temperatura in diverse parti delle stampanti 3D?
  - a. Cold End
  - b. Hot End
  - c. **Termistore**
  - d. Ugello
  
- 4) Quale delle seguenti parti delle stampanti 3D è responsabile della trasformazione della corrente elettrica in calore?
  - a. **Cartuccia del riscaldatore**
  - b. Filamento
  - c. Termistore
  - d. Alimentazione
  
- 5) Quale delle seguenti parti delle stampanti 3D è responsabile dell'estrusione finale del filamento?

- a. Termistore
  - b. Scheda madre
  - c. Ugello
  - d. Ingranaggi
- 6) Come si chiama il sistema che permette il movimento tridimensionale della testina di stampa?
- a. Alimentazione
  - b. Asse X, Y e Z
  - c. PLA
  - d. Cartuccia del riscaldatore
- 7) Quale delle seguenti parti delle stampanti 3D controlla il processo di produzione e raccoglie i dati rilevanti dalle altre parti?
- a. Ugello
  - b. Cartuccia del riscaldatore
  - c. Alimentazione
  - d. Schede madri
- 8) Quale delle seguenti parti delle stampanti 3D è l'unità di energia della stampante 3D che di solito è disponibile in 12V o 24V?
- a. Ugello
  - b. Termistore
  - c. Alimentazione
  - d. Motore passo-passo
- 9) Quale delle seguenti parti delle stampanti 3D permette agli utenti di visualizzare il processo di stampa, controllare la stampante, attivare la modalità standby ed eseguire altre funzioni?
- a. Motore passo-passo
  - b. Cartuccia del riscaldatore
  - c. Hot End
  - d. Interfaccia utente



10) Quale opzione indicata di seguito è una delle funzioni dei driver passo-passo?

- a. **Controllo del movimento dei motori passo-passo**
- b. Estrusione del filamento
- c. Visualizzazione dei dati della stampante 3D sullo schermo
- d. Misurare la temperatura sull'ugello

### 8.3 Unità 3 Test di valutazione

- 1) Questa unità 3 si è focalizzata su:
  - a. Assemblare una stampante 3D
  - b. Il processo di stampa.
  - c. **La creazione di oggetti in un ambiente virtuale.**
  - d. Esportazione di file di oggetti 3D.
  
- 2) Dopo aver completato la formazione dell'unità 3, ci si aspetta di:
  - a. **Conoscere i principali comandi per disegnare oggetti in 3D.**
  - b. Essere capace di creare un'immagine di un oggetto.
  - c. Conoscere ed eseguire alcune tecniche di disegno a mano.
  - d. Riconoscere e comprendere le funzioni dell'oggetto.
  
- 3) Il disegno 3D è la capacità:
  - a. Di stampare un oggetto 3D.
  - b. **Di forme di disegno che definiscono l'altezza, la larghezza e la profondità dell'oggetto.**
  - c. Di riconoscere diversi tipi di filamenti.
  - d. A, B e C sono sbagliati.
  
- 4) In quale delle seguenti aree, al giorno d'oggi, viene utilizzato il disegno 3D?
  - a. Costruzione civile.
  - b. Architettura.
  - c. Design grafico.
  - d. **A, B e C sono corretti.**
  
- 5) Che tipo di software è OnShape?
  - a. È un software di gestione dei dati in tempo reale.
  - b. **È un software CAD professionale (SaaS).**
  - c. È il più popolare database di forme e oggetti 3D.
  - d. È un processore di testo.

- 6) Dopo aver completato un disegno 3D su OnShape, è possibile:
- Esportarlo in un file STL.
  - Esportarlo in un file GCode.
  - Esportarlo in entrambi i formati.
  - A, B e C sono sbagliati.
- 7) In un disegno 3D, si raccomanda di iniziare con:
- Estrudere un elemento e modellarlo dopo.
  - Esecuzione del disegno 3D e, in seguito, aggiunta di dettagli 2D.
  - Disegnare uno schizzo 2D con tutti i dettagli principali e possibili e poi estruderlo.
  - Disegnare un rettangolo.
- 8) Qual è la caratteristica principale di un file STL?
- Trasferire le informazioni alla nostra stampante 3D.
  - Recupera le informazioni da Ultimaker Cura.
  - Trasferire le informazioni a OnShape.
  - Trasferire le informazioni di progettazione dell'utente al software di slicing.
- 9) La Ultimaker Cura è:
- Un software di slicing.
  - Un software di conversione.
  - Un software professionale di progettazione 3D.
  - Un software di stampa professionale e il più popolare.
- 10) Dopo aver eseguito il processo di slicing, dobbiamo:
- Scaricare il file STL e inviarlo alla stampante 3D.
  - Scarica il file GCode e invialo al software di stampa.
  - Scaricare il file GCode e inviarlo alla stampante 3D.
  - Scaricare il file STL e inviarlo al software di stampa.

## 8.4 Unità 4 Test di valutazione

- 1) Cosa fa il processo di slicing?
  - a. **Un processo di slicing separa il modello CAD in strati.**
  - b. Un processo di slicing separa il modello CAD in piramidi di triangoli.
  - c. Un processo di slicing crea un file di tipo STL.
  - d. Un processo di slicing fa la tassellatura.
  
- 2) Cos'è un processo di tassellatura?
  - a. La tassellatura è un processo di approssimazione del modello CAD 3D con patch rotonde.
  - b. **La tassellatura è un processo di approssimazione del modello CAD 3D con patch triangolari planari.**
  - c. La tassellatura è un processo di approssimazione del modello CAD 3D con patch rettangolari.
  - d. La tassellatura è un processo di approssimazione del modello CAD 3D con patch esagonali.
  
- 3) Qual è il modo per calcolare i parametri dei livelli?
  - a. Un tecnico calcola tutti i parametri del livello.
  - b. Un ingegnere calcola tutti i parametri del livello.
  - c. **L' algoritmo di una tecnica di slicing calcola tutti i parametri del livello.**
  - d. Il manager di un'azienda calcola tutti i parametri dei livelli.
  
- 4) Quali sono i dati di input per l'algoritmo di una tecnica di slicing?
  - a. I dati del modello CAD sono dati di input per gli algoritmi.
  - b. I dati delle parti del disegno sono dati di input per gli algoritmi.
  - c. I dati CAM di un modello CAD sono dati di input per gli algoritmi.
  - d. **I dati del modello CAD dopo la tassellatura sono dati di input per gli algoritmi.**
  
- 5) Cosa genera un processo di slicing uniforme?
  - a. **Un processo di slicing uniforme separa il modello CAD in strati di spessore uniforme.**

- b. Un processo di slicing uniforme separa il modello CAD in due parti.
  - c. Un processo di slicing uniforme separa il modello CAD in diversi strati di vario spessore.
  - d. Un processo di slicing uniforme separa il modello CAD in diverse parti verticali.
- 6) Come viene estratto il profilo di ogni strato?
- a. **Con la connessione di ogni linea formata tra i punti di intersezione dei bordi del triangolo e il piano di taglio.**
  - b. Collegando ogni spigolo del triangolo che interseca il piano di taglio.
  - c. Collegando ogni spigolo del triangolo che non interseca il piano di taglio.
  - d. Collegando ogni linea formata collegando i vertici Z più alti dei triangoli che intersecano il piano di taglio.
- 7) Perché si verifica l'effetto scala?
- a. **L'effetto scala si verifica a causa dei vari contorni di ogni fetta.**
  - b. L'effetto scala si verifica a causa della forma originale del modello CAD.
  - c. L'effetto scala si verifica a causa delle prestazioni della stampante 3D.
  - d. L'effetto scala si verifica a causa di una posizione errata del modello 3D.
- 8) Quali questioni contraddittorie hanno portato allo sviluppo di varie procedure di affettamento.
- a. **Riduzione del tempo di costruzione e migliore qualità della superficie.**
  - b. Forma originale del modello CAD e modello CAD tassellato.
  - c. Sistema di coordinate cartesiane e sistema di coordinate polari.
  - d. Materiali metallici e materiali plastici.
- 9) Qual è il concetto che definisce lo slicing adattivo?
- a. **La tolleranza dell'altezza delle cuspidi.**
  - b. Effettuare lo slicing del modello CAD tassellato a vari spessori di strato tra il massimo e il minimo spessore disponibile.
  - c. Una proprietà fisica isotropa.
  - d. Una migliore visione della parte stampata.

10) Cos'è lo slicing diretto?

- a. **Generazione di dati di taglio direttamente dal software CAD.**
- b. Effettuare lo slicing del modello CAD evitandol'effetto scala.
- c. Effettuare lo slicing della forma originale del modello CAD.
- d. Produrre il pezzo in strati.

## 8.5 Unità 5 Test di valutazione

- 1) Qual è la fonte che permette la solidificazione della resina nella stereolitografia:
  - a. Calore
  - b. Fiamma
  - c. Laser
  - d. Resistenza operante alle alte temperature
  
- 2) Per quanto riguarda le stampanti FDM, il movimento della testa di stampa è guidato da un plotter:
  - a. Solo lungo l'asse x
  - b. Solo lungo l'asse y
  - c. Lungo tutte e tre le dimensioni (x, y, z)
  - d. Nel piano cartesiano x-y
  
- 3) Gli oggetti stampati in FDM mostrano una finitura superficiale ruvida (relativamente); uno dei difetti più evidenti si manifesta all'inizio della contornatura. Questo effetto è chiamato:
  - a. Joint line
  - b. Interlock
  - c. Diffusione
  - d. Questo effetto non si nota nel processo di stampa FDM
  
- 4) Il processo di stampa FDM è uno dei più versatili; tuttavia, uno degli svantaggi più importanti è la qualità generale e superficiale della stampa. La ragione principale di questo svantaggio è:
  - a. Non è possibile produrre strutture più fini della larghezza di estrusione
  - b. La qualità del materiale
  - c. La temperatura di stampa
  - d. Il movimento della piastra
  
- 5) Processo di sinterizzazione laser:
  - a. Richiede strutture di supporto per la parte stampata
  - b. Non richiede strutture di supporto per la parte stampata
  - c. Produrre strutture di supporto in ogni caso

- d. Produrre la struttura di supporto solo per i pezzi di grotta
- 6) La stereolitografia realizza la solidificazione di uno strato con una sequenza di punti consolidati detti:
- Pixel
  - Voxels**
  - Punti Galvo
  - Punti caldi
- 7) Nei processi di stereolitografia una delle fasi di post-elaborazione è chiamata:
- Fase di post-cura UV**
  - Riscaldamento
  - Fase di lavaggio UV
  - Finitura termica della superficie
- 8) Nei processi di sinterizzazione laser basati su polveri plastiche, la prima operazione post-processo è:
- Fresatura
  - Lavaggio con solvente del componente
  - Togliere il componente e soffiare con aria compressa o spazzolare**
  - Risciacquo del componente con acqua
- 9) Per stampare componenti cavi ricorrendo alla stereolitografia:
- Il modello deve avere delle aperture attraverso le quali il monomero non reticolato può fuoriuscire**
  - Il modello non deve avere superfici a doppia convessità
  - Il modello deve essere planare
  - Non è possibile stampare modelli cavi con la stereolitografia
- 10) I componenti creati con i processi di sinterizzazione laser sono:
- Lucido e denso
  - Denso
  - Poroso**
  - A gradini



## 8.6 Unità 6 Test di valutazione

- 1) Quale materiale per la stampa 3D è più ecologico?
  - a. PVA
  - b. Metallo
  - c. Nylon
  - d. **PLA**
  
- 2) Quale materiale per la stampa 3D ha la maggiore durabilità?
  - a. ABS
  - b. **PC**
  - c. Legno
  - d. PETG
  
- 3) Quale materiale per la stampa 3D NON è resistente al calore?
  - a. ABS
  - b. HIPS
  - c. Nylon
  - d. **PVA**
  
- 4) Il processo DMLS con quale materiale di stampa 3D viene utilizzato?
  - a. PC
  - b. Fibra di carbonio
  - c. **Metallo**
  - d. Grafite
  
- 5) Come possiamo rendere la plastica più resistente?
  - a. Utilizzare un letto riscaldato
  - b. **Utilizzare la fibra di carbonio come rivestimento superiore**
  - c. Utilizzare un processo di termoformatura
  - d. Immergerlo in acqua

6) Se l'articolo che vuoi sviluppare deve essere dettagliato, quale materiale è meglio usare?

- a. PLA
- b. HIPS
- c. ABS
- d. Nylon

7) Quale materiale di stampa 3D è collegato all'immagine



?

- a. ABS
- b. PVA
- c. PC
- d. HIPS

8) Quale materiale è solitamente stampato a partire da un filamento composito?

- a. Plastica
- b. Metallo
- c. Legno
- d. Grafite

9) Qual è il materiale più comunemente usato per la stampa 3d?

- a. Plastica
- b. Metallo
- c. HIPS
- d. Nylon

10) Con l'uso di quale materiale, i produttori possono ridurre il numero di passaggi necessari per assemblare dispositivi elettromeccanici?

- a. Carbomorfo conduttivo
- b. Grafene
- c. Acciaio inossidabile



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

d. Titanio

## 8.7 Unità 7 Test di valutazione

- 1) Il formato STL definisce:
  - a. Struttura di un oggetto in tre dimensioni
  - b. Colore di un oggetto in tre dimensioni
  - c. Dimensioni di un oggetto in tre dimensioni
  - d. **Geometria della superficie di un oggetto in tre dimensioni**
  
- 2) STL è una rappresentazione numerica composta da:
  - a. **Un mosaico di triangoli, ognuno dei quali ha una posizione nota dei suoi tre vertici**
  - b. Un mosaico di cubi, ognuno dei quali ha una posizione nota dei suoi quattro vertici.
  - c. Un mosaico di sfere, ognuna delle quali ha una posizione nota del suo canestro.
  - d. Un mosaico di tetraedri, ognuno dei quali ha una posizione nota dei suoi quattro bordi.
  
- 3) Il warping è un problema comune nella stampa 3D; si verifica quando il primo strato di plastica fusa si raffredda troppo velocemente e contraendosi causa il sollevamento degli angoli del modello. Quale delle seguenti opzioni non è una possibile soluzione al problema?
  - a. Utilizzare un letto di stampa riscaldato
  - b. Aumentare l'adesione del primo strato sulla piastra di stampa
  - c. **Utilizzare un letto di stampa riscaldato**
  - d. Assicurarci che il livello della piastra di costruzione sia ben calibrato
  
- 4) Quali dei seguenti sono segni che la temperatura di stampa è troppo bassa?
  - a. Le parti stampate in PLA hanno una superficie molto lucida
  - b. **Scarsa adesione dello strato**
  - c. Fuoriuscita eccessiva mentre l'ugello è fermo
  - d. Bolle o filamenti in eccesso
  
- 5) Quale dei seguenti software permette la riparazione dei file STL?
  - a. Vernice 3D
  - b. **Blender**
  - c. Netflix

- d. Cura
- 6) Cosa comporta l'uso del software STL?
- a. **La definizione di tutti i parametri di stampa secondo l'oggetto e la stampante**
  - b. Maggiore definizione del modello 3D
  - c. Definisce il colore dell'oggetto da stampare
  - d. Definisce la forma geometrica dell'oggetto da stampare
- 7) Quando è necessario stampare più parti, cosa si deve controllare?
- a. La temperatura dell'estrusore
  - b. La temperatura della piastra
  - c. Il colore del filamento
  - d. **La dimensione relativa delle parti**
- 8) Aumentando la velocità di stampa, si ottiene:
- a. Maggiore qualità del prodotto finito
  - b. **Qualità inferiore del prodotto finito**
  - c. Una maggiore altezza dello strato
  - d. Un'altezza di strato inferiore
- 9) Una volta completate tutte le operazioni di impostazione, cosa rappresenta il file G-Code generato?
- a. Solo le istruzioni per impostare la temperatura dell'estrusore
  - b. Solo le istruzioni per la conservazione degli strati
  - c. **L'intera serie di istruzioni per impostare la stampante e per depositare gli strati**
  - d. Solo un modo per eseguire un test diagnostico della stampante
- 10) Quali caratteristiche dell'oggetto da stampare non possono essere definite dal software CURA?
- a. Altezza dello strato
  - b. Spessore del guscio
  - c. **Colore**
  - d. Densità di riempimento