Trainers for Visually Impaired Students Introduce 3D Printing

Formatori per studenti ipovedenti introducono la stampa 3D

Modulo di esercitazione 1

Introduzione alla stampa 3D e alle potenziali applicazioni nell'educazione delle persone con disabilità visiva

Tutorial per il corso di formazione T4VIS-In3D

Pubblicato dal
Consorzio del progetto T4VIS-In3D

Il progetto "T4VIS-In3D" è stato cofinanziato da "ERASMUS+".
Programma della Commissione Europea

Il sostegno della Commissione europea alla produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione del contenuto, che riflette esclusivamente il punto di vista degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni ivi contenute. Questo Tutorial è pubblicato dal consorzio del progetto T4VIS-In3D.

Questo Curriculum è pubblicato dal consorzio del progetto T4VIS-In3D.

Licenze

Formatori per studenti ipovedenti introducono la stampa 3D è licenziato sotto under **Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)**

Stampato:

Gennaio 2021 da Berufsförderungswerk Düren gGmbH

Il consorzio del progetto T4VIS-In3D:

Berufsförderungswerk Düren gGmbH (coordinamento del progetto)
Karl-Arnold-Str. 132-134, D52349 Düren, Germania, http://www.bfw-dueren.de

FUNDACION ASPAYM CASTILLA Y LEON
C/ SEVERO OCHOA 33, LAS PIEDRAS 000, 47130, SIMANCAS VALLADOLID, Spagna, https://www.aspaymcyl.org/

HILFSGEMEINSCHAFT DER BLINDEN UND SEHSCHWACHEN OSTERREICHS
JAGERSTRASSE 36 - 1200, WIEN, Austria, https://www.hilfsgemeinschaft.at/

Instituttet for Blinde og Svagsynede, IBOS
Rymarksvej 1 - 2900, Hellerup - Danimarca, https://www.ibos.dk

Istituto Regionale Rittmeyer per i Ciechi di Trieste
Viale Miramare 119, 34136 Trieste, Italia, http://www.istitutorittmeyer.it/

NRCB
24 Landos Str. , Plovdiv, 4006, P. Box 11, Bulgaria, http://www.rehcenter.org

Contenuto

1 Storia della stampa 3D…….. Pag. 4
1.1 Sviluppo dei processi di fabbricazione 3D…… Pag. 4
1.2 Differenze tra processi di fabbricazione tradizionali e additivi…….. Pag. 6
2 Tecnologia di stampa 3D appropriata per produrre materiali didattici tattili... Pag. 8
2.1 Metodi precedenti…… Pag. 8
2.2 Vantaggi della stampa 3D…….. Pag. 9
2.3 Risorse necessarie…….. Pag. 12
2.4 Vantaggi e svantaggi dei diversi metodi per ottenere i file di progettazione…… Pag. 15
2.4.1 File da archivi…… Pag. 15
2.4.2 Con programmi CAD file auto progettati…… Pag. 15
2.4.3 Riprogettazione con scanner 3D…… Pag. 15
3 Introduzione alla tecnologia di stampa 3D FDM e SLA…… Pag. 16
3.1 Costruzione e funzionalità delle stampanti FDM…… Pag. 16
3.1.1 Filamenti…… Pag. 18
3.1.2 Strumenti necessari…….. Pag. 19
3.1.3 Attrezzature di sicurezza necessarie…… Pag. 19
3.2 Costruzione e funzionalità delle stampanti SLA…….. Pag. 20
3.2.1 Resine…… Pag. 24
3.2.2 Strumenti necessari…….. Pag. 24
3.2.3 Attrezzature di sicurezza necessarie…… Pag. 24
3.3 Confronto tra i metodi di stampa SLA e FDM per la creazione di materiali didattici tattili…… Pag. 25
4 Re-Design con scanner 3D…… Pag. 26
4.1 Esempio di una soluzione di scansione 3D economica…… Pag. 26
4.2 Scanner a luce strutturata…….. Pag. 27
4.3 Metodi basati sulle immagini……... Pag. 28
Glossario Pag. 29
5 Elenco delle figure…….. Pag. 35
6 Bibliografia…… Pag. 36

1 Storia della stampa 3D

Dall'inizio del millennio, la stampa 3D è diventata sempre più popolare. Questa tecnologia sta diventando sempre più diffusa nell'industria e anche in settori economici che non erano originariamente coinvolti nella produzione.

Le macchine stanno diventando sempre più potenti, facili da usare e convenienti.

Sebbene l'attenzione dei media suggerisce che la stampa 3D è uno sviluppo recente, gli sviluppi risalgono agli anni '80. La ragione della crescente importanza della stampa 3D è che i brevetti degli anni '80 sono scaduti al volgere del millennio. Ulteriori sviluppi nell'area dell'hardware e del software potrebbero quindi essere portati avanti senza costi di licenza o restrizioni legali.

1.1 Sviluppo dei processi di fabbricazione 3D

Il Dr. Hideo Kodama del Nagoya Municipal Industrial Research Institute in Giappone fu uno dei primi a esplorare il principio della polimerizzazione tramite l'uso di un raggio laser.

Già nel 1980, ha depositato un brevetto (JPS56144478A) e ha descritto il suo sistema come segue: "Una vasca di materiale fotopolimerico è esposta alla luce UV. Questa luce indurisce il materiale nella vasca, creando un modello strato per strato".

Anche il **processo di Stereolitografia (abbreviato SLA)** funziona esattamente secondo questo principio. Purtroppo, a causa di problemi di finanziamento, non è stato in grado di registrare il suo brevetto per intero entro il termine di un anno dalla presentazione, il che gli ha negato un posto sul podio della storia della stampa 3D.

Figura 1 Prima stampante SLA 1 (Riferimento: ResearchGate)

All'inizio degli anni '80, **Charles Hull** lavorava per una piccola azienda che utilizzava la luce UV per dare ai tavoli una superficie di plastica robusta e per riparare tovaglie, rivestimenti per pavimenti e simili. L'effetto che la luce UV ha sulle superfici fotosensibili ha affascinato Hull.

Nel 1984, ha trovato la connessione ottimale tra la luce UV e i foto polimeri e ha richiesto un brevetto insieme ad altri colleghi. Brevetto Patent(US4575330)

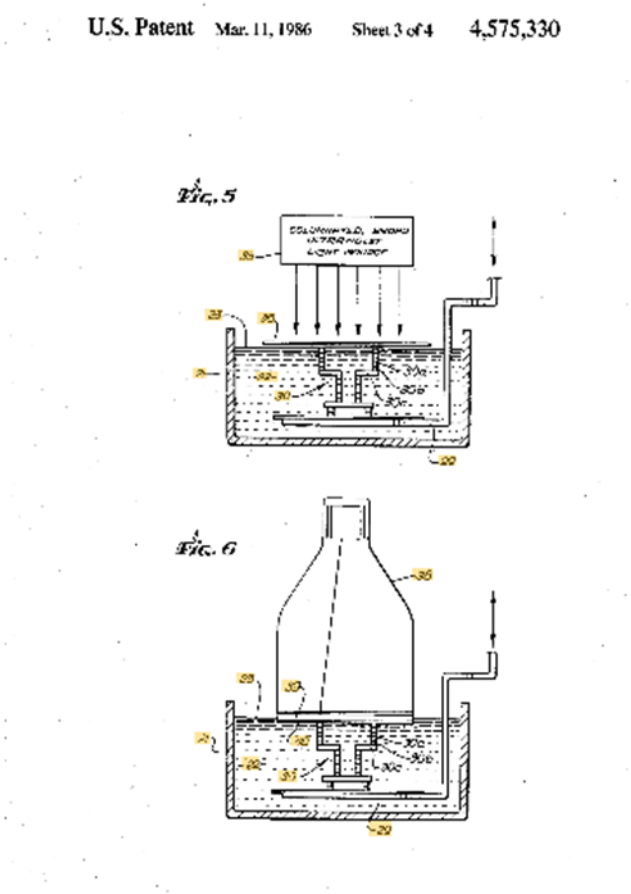


Figura 1 Grafico della domanda di brevetto di Charles Hull

Nel 1989, **Carl Deckard** ha presentato un'altra domanda di brevetto per il processo di stampa 3D di sinterizzazione laser. In questo processo, una polvere di plastica viene fusa con un laser. Brevetto Patent (US4863538). Questo corrisponde ai **processi basati sul letto di polvere** come la **sinterizzazione laser selettiva** (**SLS**) o la **fusione laser selettiva** (**SLM**).

Nel 1989, Scott Crump ha richiesto un brevetto (US5121329) per il **processo di modellazione a deposito fuso (FDM)**, che oggi è molto diffuso. In questo processo, la plastica viene fusa e poi applicata a strati. Oggi, il processo FDM è ampiamente utilizzato e ha una grande flessibilità nella disponibilità dei materiali. Nel frattempo, ci sono anche stampanti FDM disponibili per la produzione di componenti in metallo.

Sulla base del fatto che nella stampa 3D il componente viene sempre creato in strati successivi, il termine tecnico "fabbricazione additiva" è nato come sinonimo di stampa 3D.

1.2 Differenze tra processi di fabbricazione tradizionali e additivi

I processi tradizionali sono i processi ablativi e di fusione. Nei processi ablativi, si usano utensili per creare il componente da un blocco di materiale. Questo richiede macchine con utensili appropriati e possibilmente anche refrigeranti.

Nei processi di fusione, il materiale liquido viene versato in uno stampo di fusione. Il materiale di solito si indurisce raffreddandosi. Lo stampo deve poi essere rimosso e il materiale indurito nei canali di colata deve essere rimosso.

La forma del pezzo non è determinata esclusivamente dalla sua funzione. I progettisti devono anche prendere in considerazione le diverse aree che gli utensili possono raggiungere. Questo "metodo di progettazione compatibile con la macchina" limita parzialmente la libertà di forma.

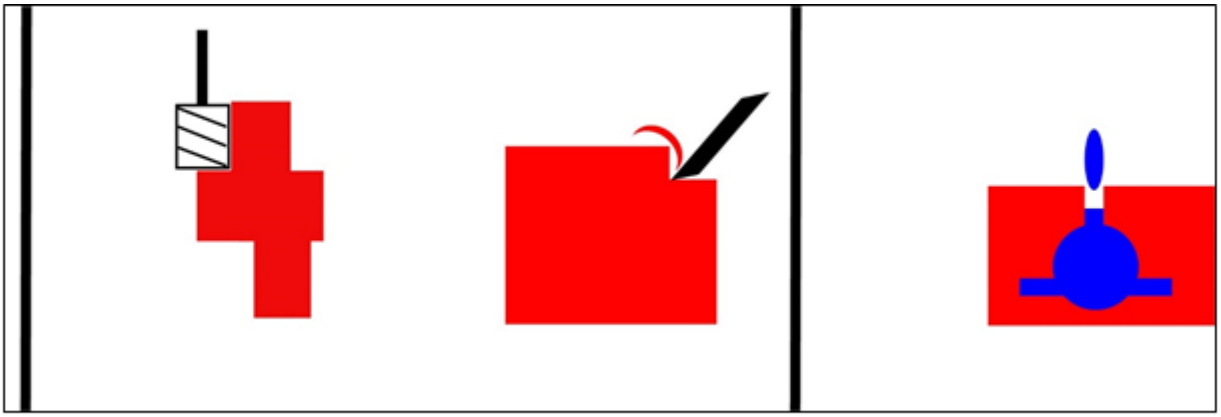
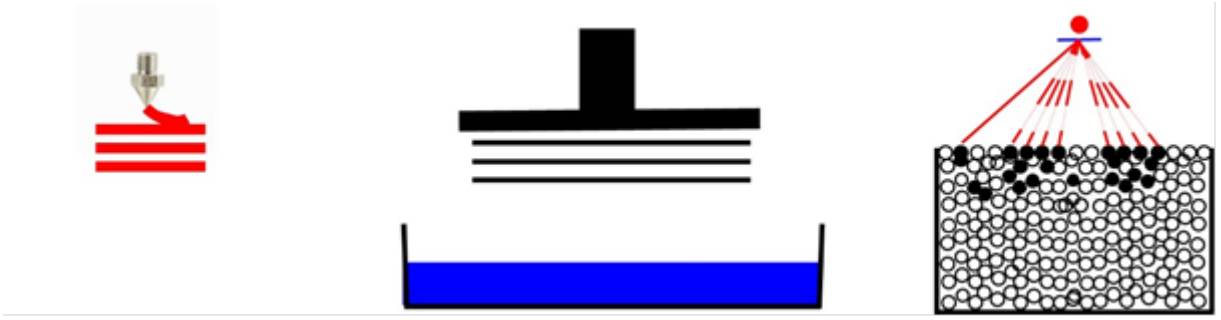


Figura 2 Processo tradizionale

Questi processi richiedono più materiale di quanto il componente reale abbia bisogno. I residui ablati o fusi possono essere riciclati, ma richiedono maggiori costi di materiale per l'approvvigionamento.

Nei processi di produzione additiva, i componenti sono creati strato per strato. A parte la stampante 3D, non sono necessari altri strumenti per la produzione. Il materiale viene solo applicato o solidificato nella forma del componente. Lo spreco di materiale, come nel caso dei processi ablativi, viene prodotto solo in misura molto piccola o non viene prodotto affatto.



Processo FDM **Processo SLA** **Processo basato su polveri**

Figura 3 Processi additivi

Questo processo offre la possibilità di produrre il design con un maggior grado di libertà di forma.

Figura 5 Libertà di forma. Entrambi i modelli sono stati stampati in un unico processo

Questo risparmia la materia prima e riduce lo sforzo di assemblaggio e il peso del componente.
Un altro vantaggio della stampa 3D è la produzione economica di prototipi e piccole quantità. Tuttavia, i processi di produzione additiva offrono attualmente anche alcuni svantaggi.

Questi sono:

1. processo relativamente lento
2. dimensioni limitate del componente
3. la post-elaborazione dei componenti è talvolta necessaria.

Per il prossimo futuro, la fabbricazione additiva è un processo di fabbricazione aggiuntivo che integra i processi convenzionali ma non li sostituirà. Per quanto riguarda la produzione di materiali didattici tattili, la stampa 3D rappresenta un miglioramento significativo in termini di qualità, varietà ed economicità dei materiali da produrre.

2 Tecnologia di stampa 3D appropriata per produrre materiali didattici tattili

2.1 Metodi precedenti

Rispetto ai metodi precedenti per la produzione di materiali didattici tattili, la stampa 3D offre vantaggi significativi. I processi precedenti sono principalmente

1. l'uso di carta rigonfiabile
2. la termoformatura con film plastico.

Nel processo di carta rigonfiamento, un mezzo di carta di supporto e materiale termoplastico viene riscaldato. Le aree annerite su questo supporto sono ispessite (o "gonfiate") dal riscaldamento con un "fusore".
Questo ispessimento dipende dall'annerimento ed è normalmente non superiore a 1,5 mm. Le scale di grigio non possono essere rappresentate e non è possibile realizzare immagini tridimensionali più complesse.

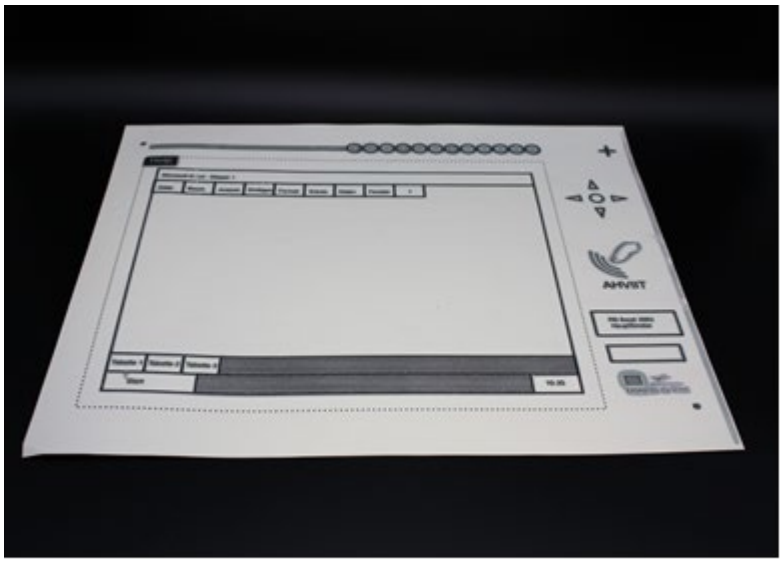


Figura 6 Rappresentazione di una finestra di un computer con carta gonfiata

L'annerimento del materiale può essere fatto con qualsiasi penna in fibra o stampante a getto d'inchiostro. Qualsiasi programma di grafica semplice può essere utilizzato per creare grafici semplici. Con un uso frequente, le rappresentazioni si consumano rapidamente e devono essere sostituite.

Nel processo di termoformatura, una pellicola di plastica viene passata su una matrice tridimensionale, riscaldata, disegnata sulla matrice da un vuoto e formata. Il film è quindi un'impronta della matrice. Questo processo permette la realizzazione di grandi prospetti e un gran numero di copie. Tuttavia, la ricchezza dei dettagli dipende dalla scala, poiché il processo di formatura non permette goffrature fini.

Figura 7 Modello di una tastiera realizzata con la termoformatura

Fino ad ora, le matrici venivano create con un lavoro manuale che richiedeva molto tempo. Le modifiche al modello erano quindi molto dispendiose in termini di tempo o addirittura richiedevano una completa riprogettazione della matrice.

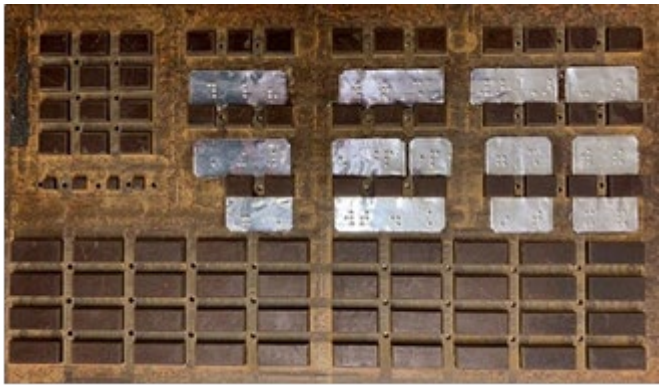


Figura 8 Matrice della tastiera della figura precedente

Se si dispone di una termo formatrice e di una stampante 3D, è molto più facile produrre gli stampi necessari con un programma CAD e la stampante 3D.

2.2 Vantaggi della stampa 3D

Rispetto ai metodi descritti sopra, la stampa 3D offre notevoli vantaggi per la produzione di materiali didattici tattili molto dettagliati e relativamente poco costosi. Essenzialmente, tutto ciò che è necessario per la produzione è la stampante 3D e i suoi materiali, così come il software CDA. La produzione di matrici non richiede una varietà di strumenti e materiali.

Rispetto ai materiali didattici fatti di fogli di termoformatura o di carta gonfiata, i modelli tattili da una stampante 3D permettono elevazioni, corpi e texture della superficie significativamente ingranditi e dettagliati. I prospetti, i corpi così come le texture possono essere adattati digitalmente e cambiati molto facilmente alle esigenze.
Inoltre, è possibile produrre modelli in diverse scale dallo stesso file.

Figura 9 Mappa tattile in stampa 3D

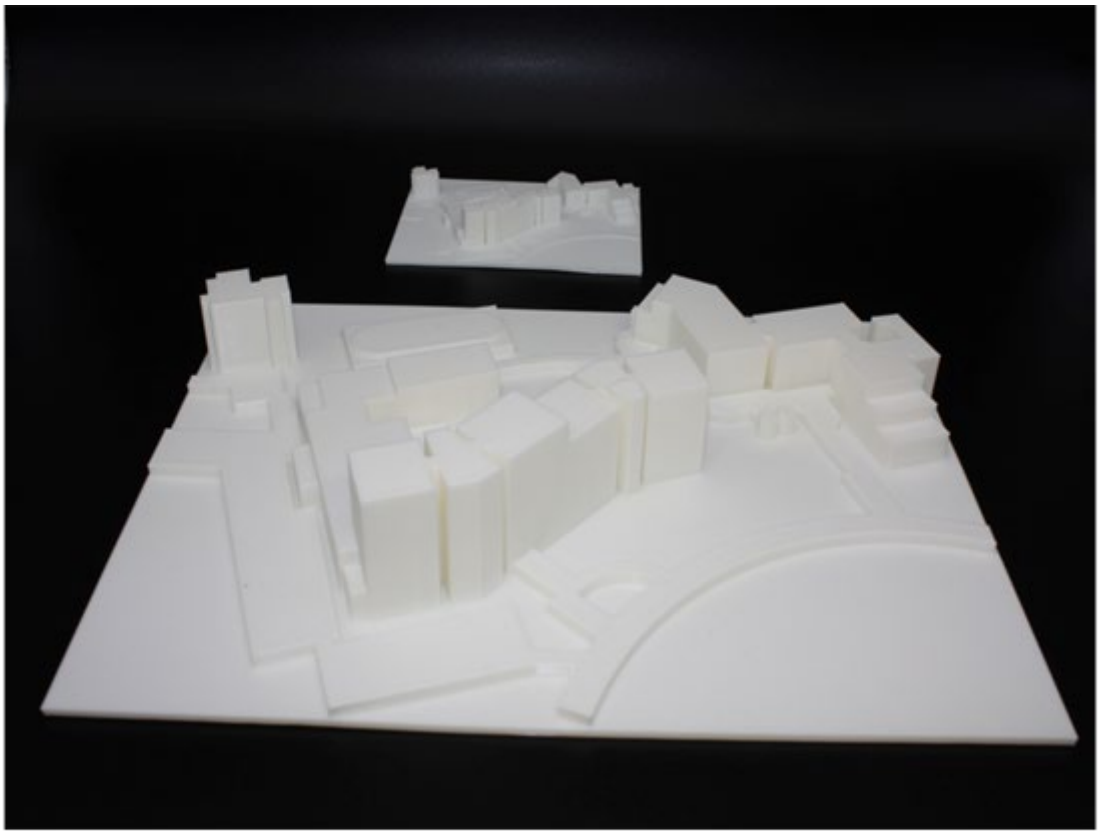


Figura 10 Modello 3D dalla stessa pianta della figura precedente

Un altro vantaggio della stampa 3D è che permette la produzione di modelli di materiali diversi. Materiali flessibili e duri possono essere combinati su un modello per ottenere impronte tattili differenziate. Questo può essere vantaggioso per i modelli medici. È anche possibile produrre modelli in diversi colori contrastanti. Questo è particolarmente vantaggioso per le persone con gravi menomazioni visive che hanno una certa visione residua.

Le planimetrie tattili per l'orientamento possono anche essere create molto facilmente ed economicamente da mappe digitali come OpenStreetmap o dalle app disponibili.

Figura 11 Modelli tattili di strutture cellulari

In questo modo, i dettagli tattili possono essere rappresentati anche in modelli più piccoli, che non sono raggiungibili per gli altri metodi di produzione.

La possibilità relativamente semplice di creare modelli 3D facilita anche la creazione di soluzioni individuali con elementi tattili. A causa del piccolo numero di unità, questo non potrebbe essere realizzato in modo economico dai produttori commerciali.

Figura 12 Esempi di cartelli per porte con Braille

Nel contesto dei supporti didattici tattili per i non vedenti, sono state spesso trovate soluzioni individuali per la formazione del Braille. In molti casi, questi sviluppi dovevano essere prodotti a mano da materiali come il legno o il cartone. Questi materiali sono difficili da

lavorare e a volte impossibili da pulire. Con la stampa 3D, non ci sono quasi limiti al design e alla scelta dei materiali plastici.

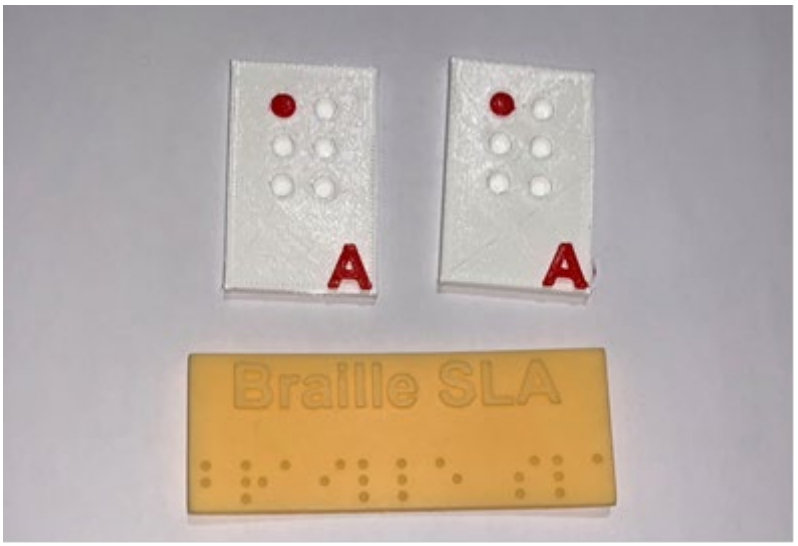


Figura 13 Esempio di schede didattiche Braille

2.3 Risorse necessarie

Per la produzione di materiali didattici tattili, è necessaria almeno una stampante 3D adatta. Le stampanti FDM (Fused Deposit Modelling) e le stampanti stereolitografiche (SLA) sono già adatte alla produzione di materiali didattici tattili.

Queste macchine possono essere acquistate a partire da 650 euro per produrre componenti di dimensioni e qualità utilizzabili. In generale, più grande è lo spazio di installazione, più costosa è la stampante.

La tecnologia della stampante corrispondente sarà spiegata nel capitolo 3.

Anche se l'hardware della stampante alla fine produce i modelli, il software necessario è altrettanto importante.

Il punto di partenza per la stampa 3D è un file conforme all'interfaccia STL. STL sta per Stereo Lithography o Standard Triangulation/Tesselation Language. Il formato STL descrive la superficie dei corpi 3D con l'aiuto di sfaccettature triangolari ed è quindi matematicamente strutturato.

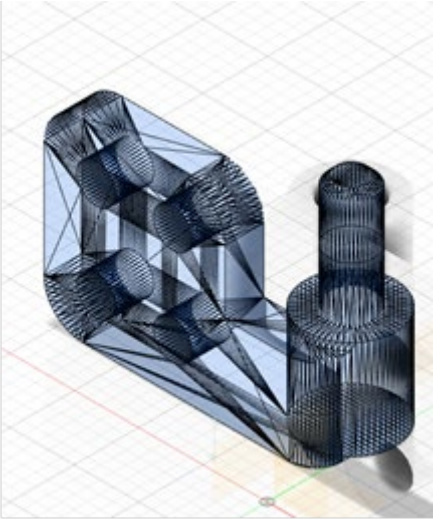


Figura 14 Sfaccettature triangolari di un file STL

Un tale file STL può essere ottenuto in vari modi:

1. Ottenendo il file da un database disponibile, chiamato anche repository. Repository ben noti sono per esempio Thingiverse, MyMiniFactory, Cults.
2. Costruendo il modello con un software CAD ed esportando la costruzione come file STL.
3. Catturando un corpo con uno scanner 3D.

Questo file STL è usato per generare un file che può essere letto dalla stampante 3D. Questo file contiene parametri specifici del dispositivo che permettono di costruire il modello strato per strato. Questo viene fatto con programmi che sono di solito forniti con i dispositivi e sono conosciuti come "slicer". Prodotti ben noti sono per esempio: Cura, Simplify3D o Repetier Host.

Dato il compito molto specifico di produrre materiale didattico tattile, è inevitabile che molti modelli dovranno essere costruiti da noi stessi usando un software CAD adatto.

Una nota applicazione open source è FreeCad. Questo software è molto completo e potente. Tuttavia, non è focalizzato sulla produzione additiva.

L'applicazione basata su browser Thinkercad di Autodesk costituisce una soluzione semplice. Tuttavia, non è adatto a progetti più complessi.

Per il nostro progetto usiamo il software Autodesk Fusion360. Questo software offre caratteristiche speciali per la produzione additiva ed è disponibile per le istituzioni educative e gli studenti con una licenza gratuita.

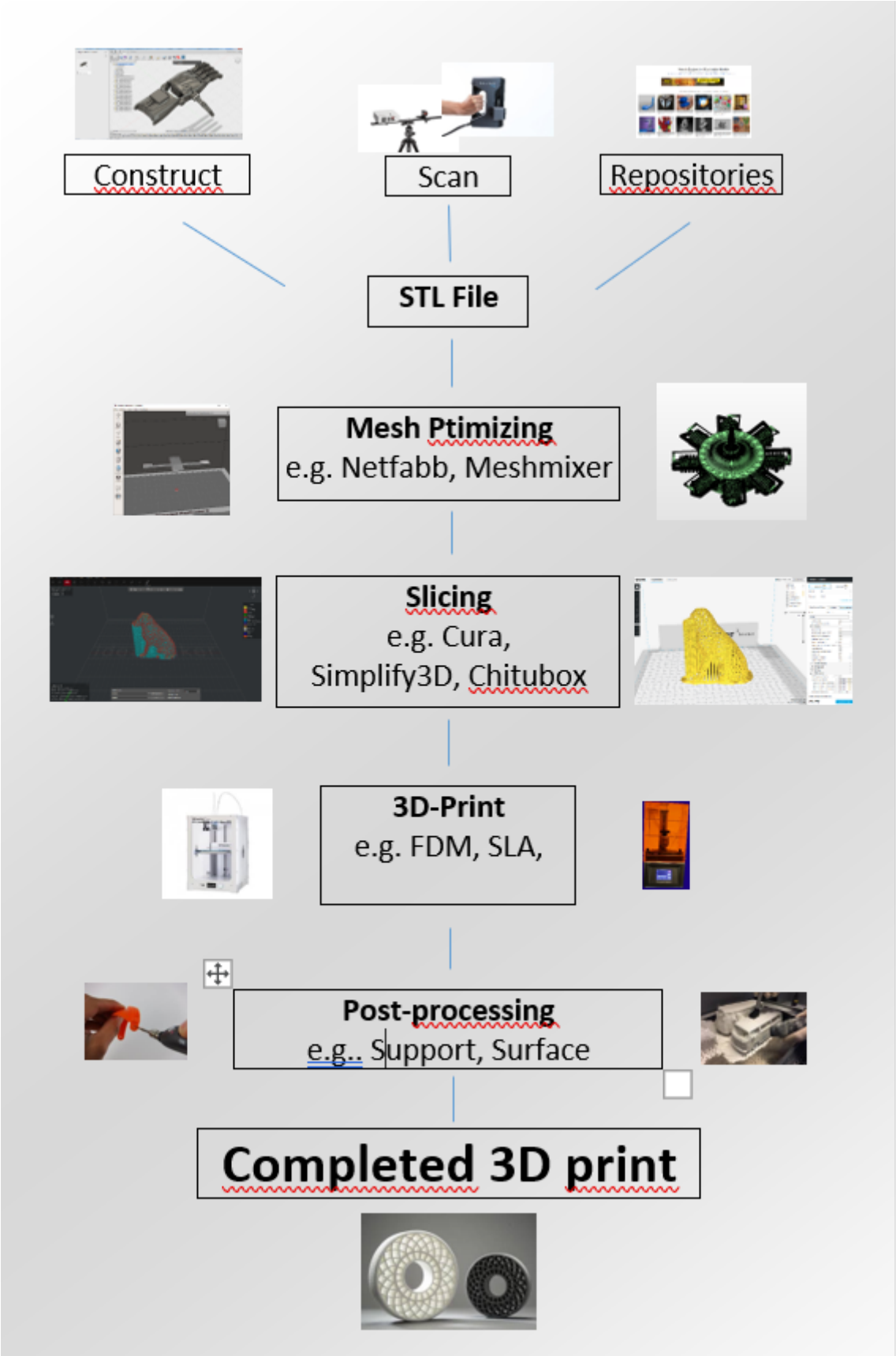


Figura 15 Il percorso di una stampa 3D

2.4 Vantaggi e svantaggi dei diversi metodi per ottenere i file di progettazione

2.4.1 File dai depositi

Il modo più semplice è, ovviamente, quello di ottenere file di progettazione finiti e adatti dai depositi. Questi devono solo essere convertiti per la stampante 3D e poi prodotti.

In effetti, ci sono già molti file per il gruppo target e questi possono anche soddisfare i requisiti. Tuttavia, è quasi sempre problematico se il Braille fa parte del design. Poiché molti di questi file, che sono memorizzati in archivi, provengono dal mondo anglofono, non possono essere utilizzati senza restrizioni.

Inoltre, i file di progettazione finiti, che di solito sono salvati come file STL, possono essere modificati solo in misura limitata.

2.4.2 Con i programmi CAD file auto progettati

La costruzione di modelli propri è certamente la soluzione più dispendiosa in termini di tempo, poiché non solo il tempo per la costruzione, ma anche varie prove della stampa ottimale devono essere prese in considerazione. I disegni propri richiedono una certa conoscenza dell'utente. Tuttavia, l'esperienza insegna che solo questo approccio offre soluzioni individuali e ottimali.

2.4.3 Riprogettazione con scanner 3D

Un altro metodo per ottenere file STL utilizzabili è l'uso di scanner 3D. Tuttavia, il prerequisito è l'esistenza di un modello tridimensionale adatto e uno scanner 3D, o una fotocamera digitale e un software di fotogrammetria adatto. Nel frattempo, sono disponibili anche applicazioni adatte per smartphone e tablet.

Tuttavia, è ingannevole credere che una scansione 3D possa essere utilizzata direttamente senza post-elaborazione. In quasi tutti i casi, gli errori nel modello scansionato devono essere corretti con programmi di correzione come Autodesk Meshmixer.

Inoltre, va notato che anche semplici scanner 3D o smartphone o tablet adatti possono superare il prezzo di una stampante 3D.

3 Introduzione alla tecnologia di stampa 3D FDM e SLA

Le stampanti 3D che utilizzano la modellazione a deposito fuso (FDM), la stereolitografia (SLA) o l'elaborazione digitale della luce (DLP) sono adatte alla produzione di materiali didattici tattili. Dispositivi efficienti che possono raggiungere buoni risultati sono disponibili per meno di 1000 euro.

A causa dei brevi cicli di innovazione, produttori e tipi di modelli specifici non sono qui considerati. Questo capitolo descrive essenzialmente i gruppi standardizzati, gli elementi operativi e i materiali. Vengono anche spiegate le fasi operative di base e indipendenti dal modello.

Il funzionamento esatto delle stampanti 3D deve essere preso dalle istruzioni per l'uso allegate e dalle relative istruzioni di sicurezza.

3.1 Costruzione e funzionalità delle stampanti FDM

In termini semplici, il processo FDM funziona come una pistola di colla a caldo, che viene utilizzata per unire diversi strati di fili adesivi.

Il processo FDM utilizza fili di plastica con un diametro di 2,85 o 1,75 mm. Il termine generico per queste plastiche è "filamento" ed è indipendente dalla plastica o dal diametro utilizzato.

Il filamento è alimentato in un gruppo chiamato "estrusore" da un motore passo-passo. Ci sono diversi tipi di estrusori. Tuttavia, tutti hanno un elemento riscaldante in cui il filamento viene portato a temperatura. La temperatura corretta è controllata da un sensore termico (termistore). Il filamento viene spinto attraverso l'ugello grazie al trasporto continuo per mezzo di un motore passo-passo. Come standard, vengono utilizzati ugelli con un foro di 0,4 mm di diametro. Tuttavia, lo spessore del filamento è notevolmente inferiore e può essere fino a 0,05 mm. L'estrusore è mobile e applica il filamento fuso strato per strato alla piastra di costruzione.

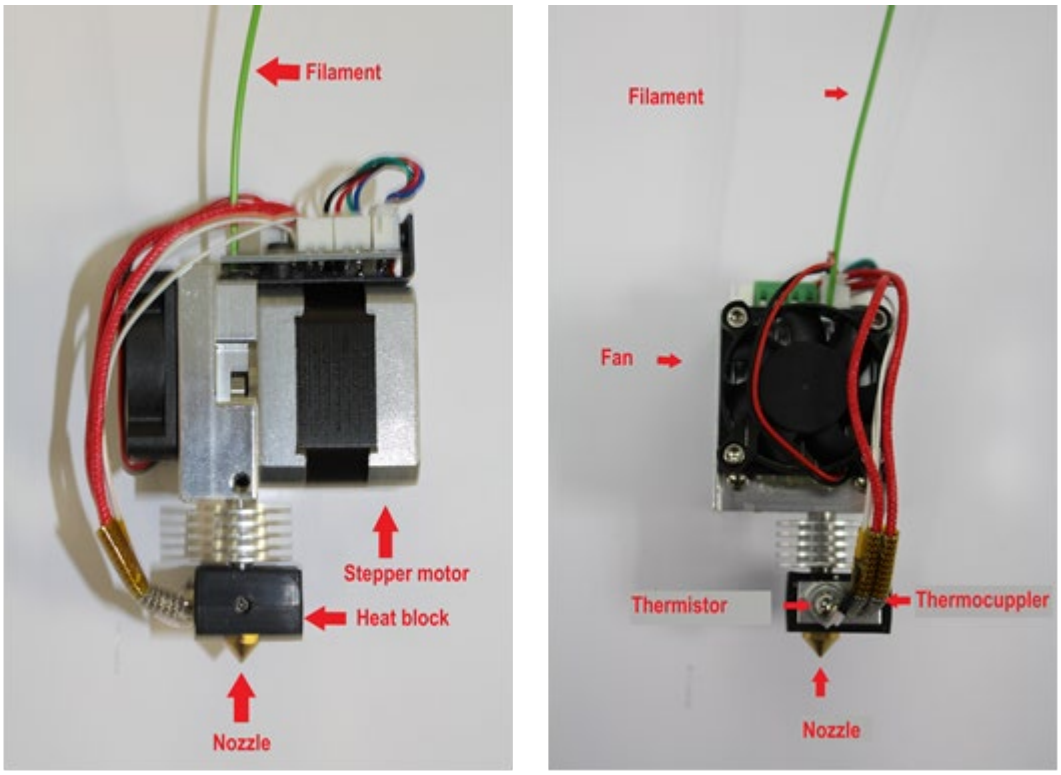


Figura 16 Struttura di un estrusore a sinistra: vista laterale, a destra: vista frontale

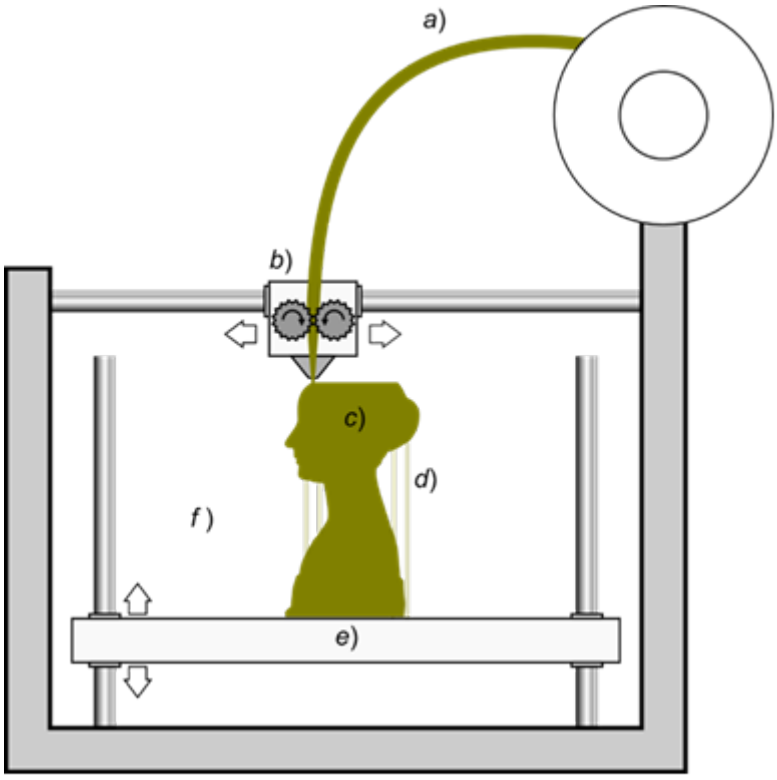


Figura 17 Funzionalità di una stampante FDM (Scopigno R.,et.al., 2017)

Rappresentazione schematica della deposizione per estrusione; un filamento **a)** di materiale plastico è alimentato attraverso una testa mobile riscaldata **b)** che lo fonde e lo estrude depositandolo, strato dopo strato, nella forma desiderata **c)**. Una piattaforma mobile **e)** si abbassa dopo che ogni strato è stato depositato. Per questo tipo di tecnologia sono necessarie ulteriori strutture di supporto verticale **d)** per sostenere le parti sporgenti. (Wikipedia 2021)

Le stampanti 3D hanno la loro elettronica di controllo. Per molti dispositivi, questa è basata sull'architettura a scheda singola Arduino. Il sistema operativo è principalmente il sistema operativo open source Marlin. La struttura aperta dell'hardware e del software permette a tutti i produttori di adattare i sistemi alle loro stampanti senza dover pagare diritti di licenza. Naturalmente, questo ha anche un effetto molto positivo sul prezzo delle stampanti.

Le chiavette USB e/o le schede di memoria SD sono utilizzate come supporti di memorizzazione. Sempre più spesso, i dispositivi economici sono anche dotati di un'interfaccia LAN o WLAN per trasferire i file di stampa direttamente dal PC alla stampante 3D. Queste interfacce permettono anche di controllare la stampante 3D via Internet. Applicazioni di controllo popolari sono, per esempio, OctoPrint o AstroPrint.

3.1.1 Filamenti

Se la stampante FDM non ha una piastra riscaldata, l'unica scelta di materiale è di solito il poliactide (PLA) e altri filamenti basati su questo materiale di base. Il PLA è, tuttavia, abbastanza sufficiente per la produzione di materiali didattici tattili. Ha molti vantaggi, ma anche alcuni svantaggi.

Vantaggi

- Facile da maneggiare
- Ampia gamma di colori
- Resistente ai raggi UV
- Alta stabilità
- Materia prima a base di biomateriale
- Facile da pulire con acqua o alcool
- Nessun odore durante la lavorazione
- Superficie non tossica

Svantaggi

- Resistente alla temperatura solo fino a 55°C
- Minore resistenza agli urti.

Se la stampante 3D ha un letto di stampa riscaldato, possono essere lavorati anche altri filamenti come ABS o PETG, il che compensa gli svantaggi del PLA. Tuttavia, la lavorazione di questi materiali è un po' più difficile e richiede una certa esperienza da parte dell'operatore. Inoltre, questi materiali vengono stampati a temperature più elevate, che l'estrusore può generare in modo permanente.

3.1.2 Strumenti necessari

Gli strumenti più importanti per realizzare i primi componenti sono:

1. pinzette per rimuovere i residui di filamento dall'ugello
2. taglierine laterali per separare il filamento
3. spatola per allentare il componente dalla piastra di costruzione

Figura 18 Strumenti più importanti

Altri strumenti possono essere utili per la finitura dei componenti. Questi sono:

1. coltello per rimuovere il materiale di supporto e le sporgenze del materiale
2. sbavatore
3. colla plastica
4. vernice acrilica e primer.

3.1.3 Attrezzature di sicurezza necessarie

Anche se il lavoro con le stampanti FDM è relativamente poco problematico, sono necessari i seguenti dispositivi di protezione individuale (DPI):

1.Maschera FFP2 quando si lavora vicino alla stampante (ad esempio: caricamento del filamento, controllo della pressione) per evitare di inalare le emissioni del filamento riscaldato;
2. occhiali di sicurezza quando si rilavora il componente o si pulisce l'ugello;
3. guanti anti taglio per rilavorare i componenti con le frese.

3.2 Costruzione e funzionalità delle stampanti SLA

La progettazione delle stampanti SLA è molto più semplice di quella delle stampanti FDM in termini di numero di gruppi mobili.

Essenzialmente, la stampante consiste in un'unità di sistema che contiene l'elettronica necessaria, l'unità di esposizione e gli elementi operativi. Sopra questa unità di sistema c'è un mandrino filettato che tiene la piattaforma di costruzione sull'asse Z. Direttamente sopra l'unità di sistema c'è il serbatoio o IVA, che contiene il fotopolimero liquido (chiamato anche resina). Questi contenitori hanno un fondo trasparente attraverso il quale viene effettuata l'esposizione e la polimerizzazione con luce UV o laser.

Per proteggere la resina dalla luce durante il funzionamento, l'unità superiore è chiusa con un coperchio che filtra la luce UV.

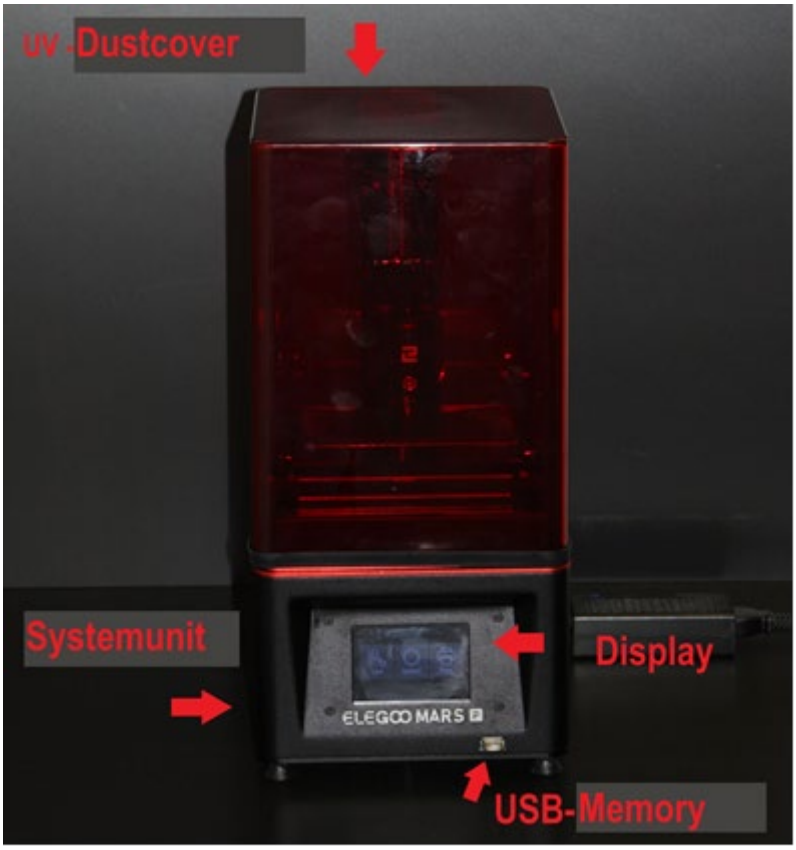


Figura 19 Gruppo stampante SLA con coperchio

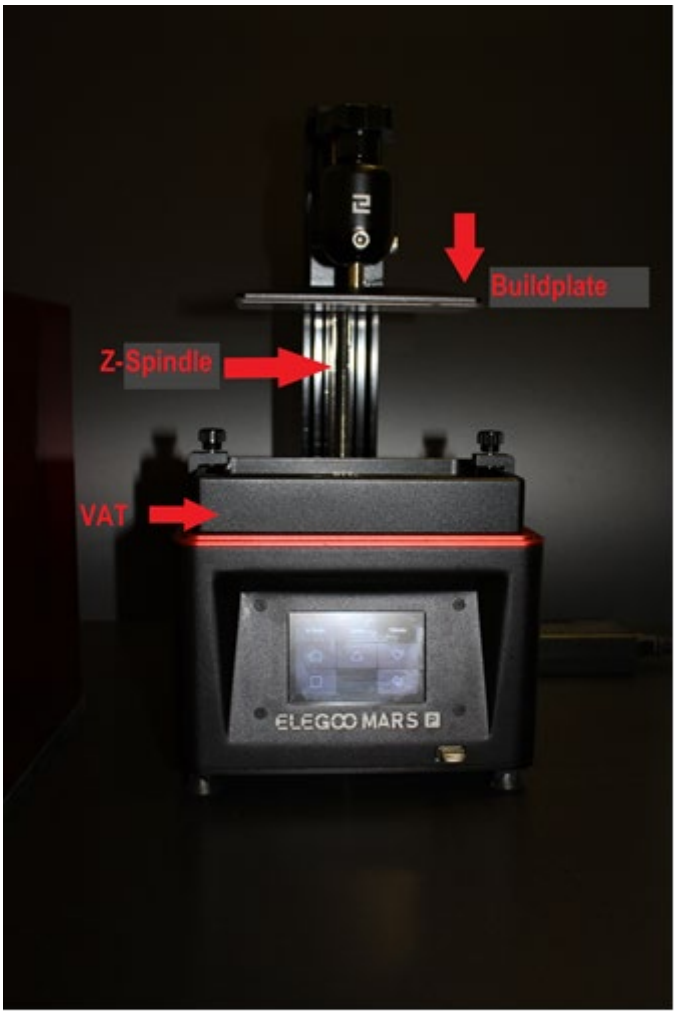


Figura 20 Stampante SLA senza copertura

Lo spessore degli strati delle stampanti SLA può variare da 0,01 a 0,05 mm. Dopo l'indurimento, questi strati di solito non sono visibili ad occhio nudo. La superficie è liscia e quindi molto adatta al braille.

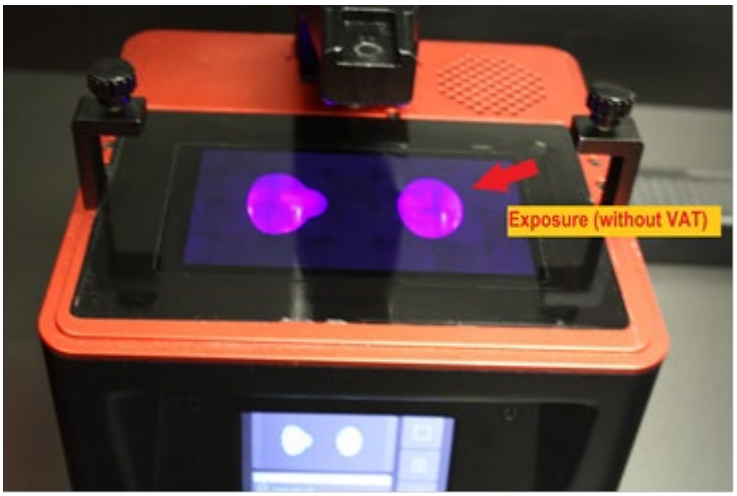


Figura 21 Fase di esposizione nella stampa SLA. L'IVA è stata tolta per una migliore visualizzazione

Il processo di stampa è facile da descrivere: La piastra di costruzione è immersa nel serbatoio per ogni strato. Poi, viene esposta alla luce e lo strato di resina si indurisce e aderisce allo strato precedentemente generato. La distanza tra la base trasparente deve essere regolata con precisione, altrimenti l'adesione alla piastra di costruzione sarà insufficiente.

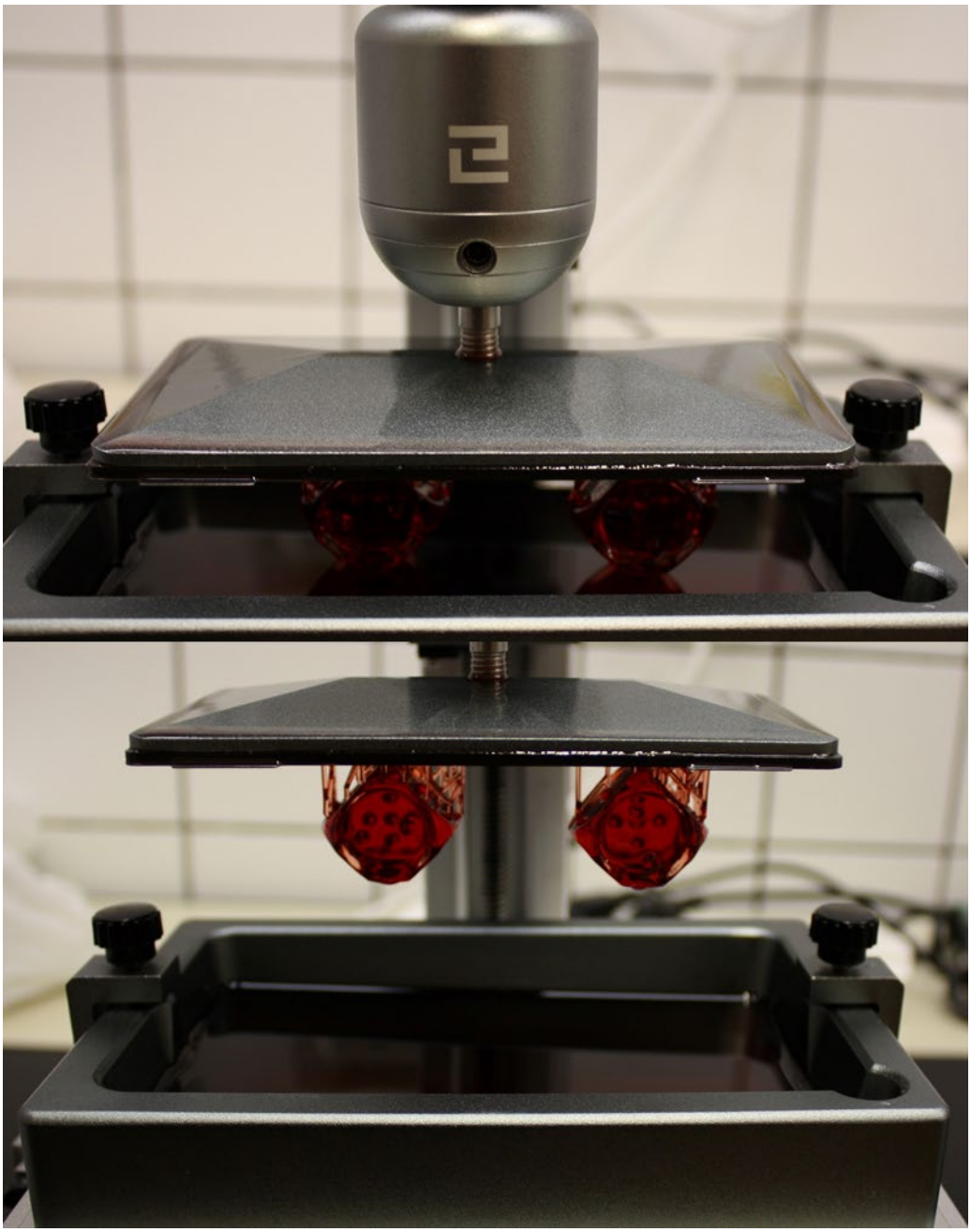


Figura 22 Processo di stampa SLA

Le stampanti SLA hanno anche interfacce di memoria. Spesso si usano chiavette USB e alcune stampanti SLA a basso costo hanno anche interfacce LAN e/o WLAN.

In contrasto con la stampa FDM, il processo SLA richiede significativamente più materiali e strumenti per la post-elaborazione.

I componenti che aderiscono al pannello di costruzione devono prima essere puliti in un bagno di isopropanolo (consigliato al 99%). Dopo questo processo di pulizia, il modello deve asciugare.

Dopo la pulizia del pezzo, la resina non utilizzata deve essere riempita di nuovo nella bottiglia attraverso un filtro di vernice se non si fanno stampe per un lungo periodo di tempo. Anche l'IVA deve poi essere pulita a fondo con isopropanolo.

Poiché il materiale non è ancora completamente polimerizzato, il componente deve essere polimerizzato in una camera di polimerizzazione UV. Infine, il componente deve essere sigillato con una vernice con protezione UV. Questo impedisce che il componente ingiallisca quando è esposto alla luce.

Diventa abbastanza evidente che questo processo di produzione richiede molto più lavoro, materiale e spazio del processo FDM. Inoltre, le emissioni dell'isopropanolo e della resina richiedono uno spazio di lavoro ben ventilato, o meglio ancora, un sistema di scarico dell'aria.

Figura 23 Stazione di pulizia SLA con tre bagni di pulizia

Figura 24 Camera di polimerizzazione UV dell'azienda XYZprinting

3.2.1 Resine

Tutti i produttori di stampanti offrono resine adatte ai loro dispositivi. Queste sono specificate per una gamma di lunghezza d'onda definita che la stampante deve eseguire. Le resine standard sono disponibili in diversi colori e in versioni trasparenti. Resine diverse possono richiedere tempi di esposizione diversi per strato. Questi dati possono essere trovati nelle corrispondenti schede tecniche dei vari produttori.

Ci sono anche produttori terzi che producono resine speciali che compensano gli svantaggi menzionati nel capitolo 3.3. Inoltre, queste resine soddisfano i requisiti speciali del settore medico e dentale. Fortunatamente, queste resine speciali sono ora disponibili anche per stampanti SLA a basso costo. Mentre prima erano disponibili solo per dispositivi da 3000 euro, la gamma di prodotti offerti dai produttori dimostra che i dispositivi a basso prezzo stanno diventando sempre più importanti nelle applicazioni professionali.

Tuttavia, non bisogna dimenticare che queste resine speciali spesso costano 8-10 volte di più delle resine standard.

3.2.2 Strumenti necessari

Per rimuovere i componenti dalla piastra di costruzione e pulire la piastra di costruzione così come i serbatoi di resina/VAT, sono necessari i seguenti strumenti e materiali:

- Spatola di plastica
- Isopropanolo 99% in bottiglia e bottiglia spray
- Asciugamani di carta
- Almeno una vasca di plastica che possa contenere la piastra di costruzione usata e che sia riempita di isopropanolo per pulire il componente.

Per rimuovere il materiale di supporto e rifinire il componente:

- Pinzette a punta
- Coltello o bisturi
- Taglierine laterali
- Carta vetrata di grana 500

3.2.3 Equipaggiamento di sicurezza richiesto

In generale, i dispositivi di protezione richiesti possono essere trovati nelle schede di sicurezza della stampante e delle resine utilizzate.

Tuttavia, i seguenti dispositivi di protezione personale (DPI) sono generalmente raccomandati quando si maneggiano stampanti SLA:

- Maschera FFP2 (o meglio ancora FFP3) per essere protetti dalle emissioni della resina e dell'isopropanolo,
- Guanti monouso
- Occhiali di sicurezza
- Camice da lavoro o da laboratorio
- Guanti antitaglio.

3.3 Confronto tra i metodi di stampa SLA e FDM per la creazione di materiali didattici tattili

Quando si confronta lo SLA con la stampa FDM in termini di materiali didattici tattili, ci sono due aspetti da considerare prima:

1. La superficie degli oggetti stampati con una stampante SLA è molto più liscia di quando si usa una stampante FDM.
2. Il materiale è più fragile e può essere utilizzato solo in misura limitata per modelli funzionali con carichi meccanici.
3. Con le stampanti SLA si possono stampare più filigrane e dettagli più piccoli.
4. Il materiale polimerizzato non è sicuro per il cibo e quindi non è adatto come materiale di apprendimento **per i bambini**.

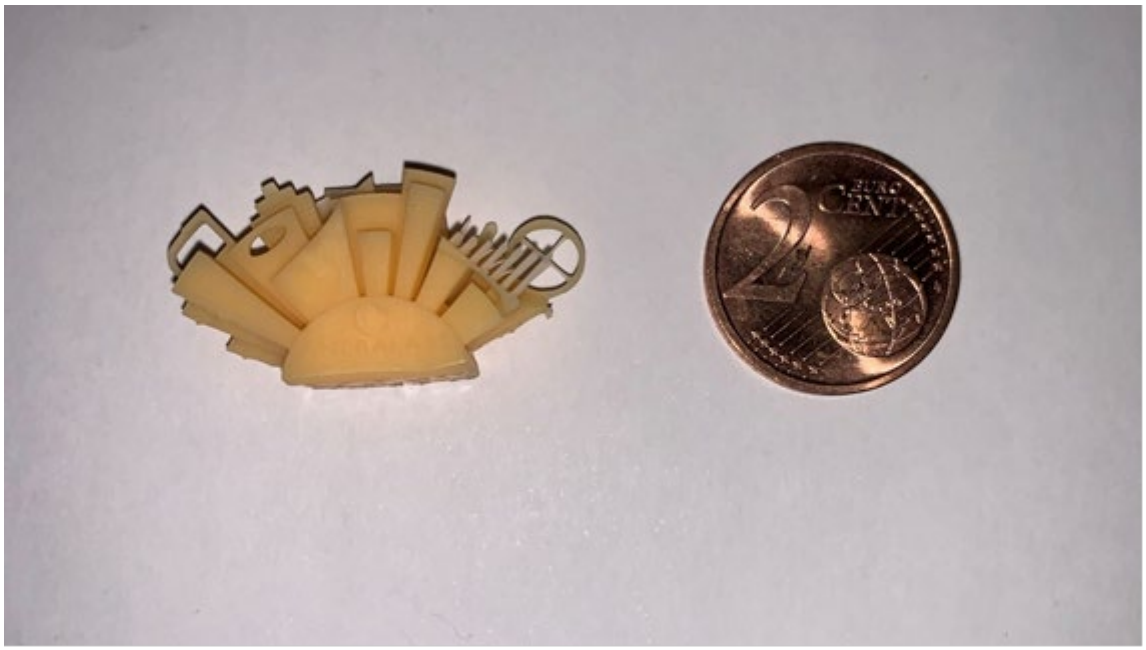


Figura 25 Rappresentazione dettagliata con stampa SLA

4 Riprogettazione con scanner 3D

4.1 Esempio di una soluzione di scansione 3D accessibile

La produzione di scansioni 3D sta diventando sempre più attraente con i dispositivi mobili, poiché la tecnologia utilizzata sta diventando sempre più tecnicamente sofisticata e migliore.

Un esempio di un'applicazione per smartphone e tablet a basso costo è QLONE (www.qlone.pro). Il prezzo al momento del rilascio è di circa 45 euro. L'app è disponibile per iOS e Android. La soluzione offre risultati buoni e facili da usare.

QLONE è destinato a modelli fino a 15 cm³. Richiede una griglia che può essere scaricata dalla homepage del produttore. Questa griglia può essere stampata su diversi formati di carta.

Il modello da scansionare deve poi essere posizionato al centro di questa griglia.

Figura 26 Griglia QLONE con modello

L'applicazione offre la possibilità di salvare i modelli scansionati in un database e di inviarli come file STL via e-mail.

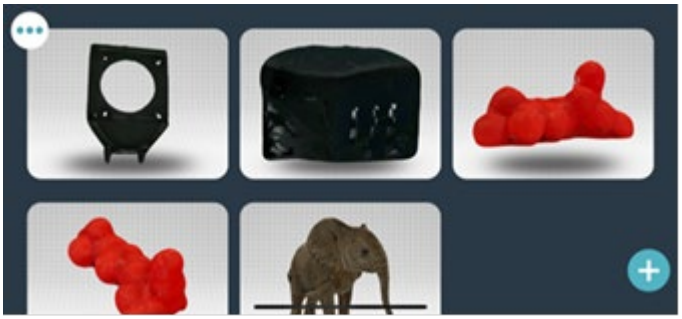


Figura 27 Schermata del dispositivo iOS con elementi scansionati in QLONE

Quando si utilizza l'app dello scanner, il software supporta l'utente per ottimizzare la scansione. Una cupola virtuale viene visualizzata sopra il modello. L'utente deve poi catturare l'intero modello da un angolo di 360° più volte con la fotocamera. Le aree correttamente catturate vengono poi visualizzate in modo trasparente. Una volta che il modello è stato completamente catturato, il risultato viene convertito in un file STL.

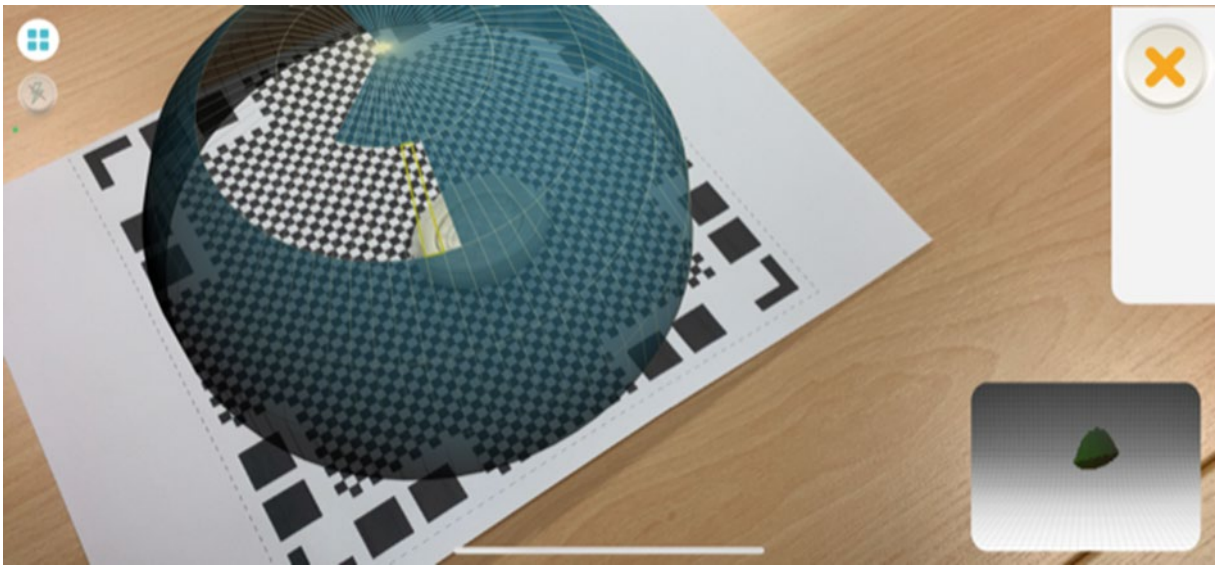


Figura 28 Processo di scansione attiva. La metà della scansione che è stata completata è visibile

4.2 Scanner a luce strutturata

Con gli scanner a luce strutturata, le strisce cangianti vengono proiettate sull'oggetto da scansionare usando un proiettore VGA. L'oggetto viene ruotato di 360°. Le strisce variabili permettono al software speciale di calcolare la superficie. Gli oggetti scuri o trasparenti spesso non forniscono alcuna riflessione o sono insufficienti. Pertanto, devono essere spruzzati con spray di gesso o coperti con speciali punti riflettenti.

Figura 29 Proiezione del modello di luce strutturata

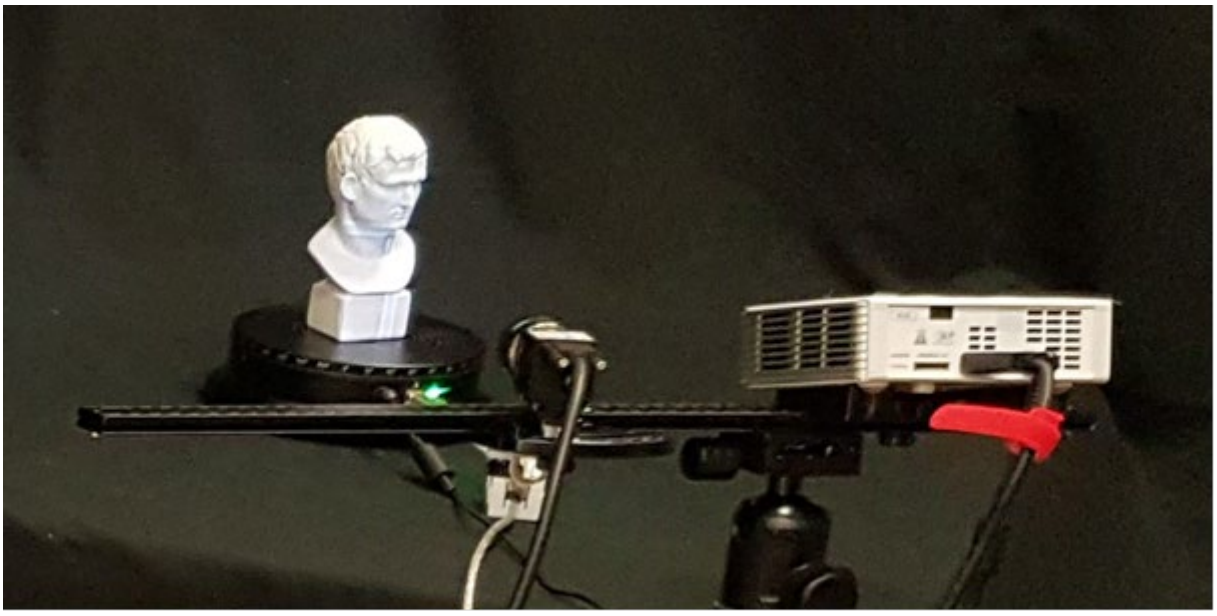


Figura 30 Scanner di luce a strisce - Beamer VGA e fotocamera su treppiede

4.3 Metodi basati sull'immagine

I metodi basati sull'immagine si basano sul principio della fotogrammetria. Qui, un oggetto viene fotografato da diverse posizioni e assemblato come modello 3D utilizzando un software. Oggi, i droni sono utilizzati per la scansione di modelli o edifici particolarmente grandi.

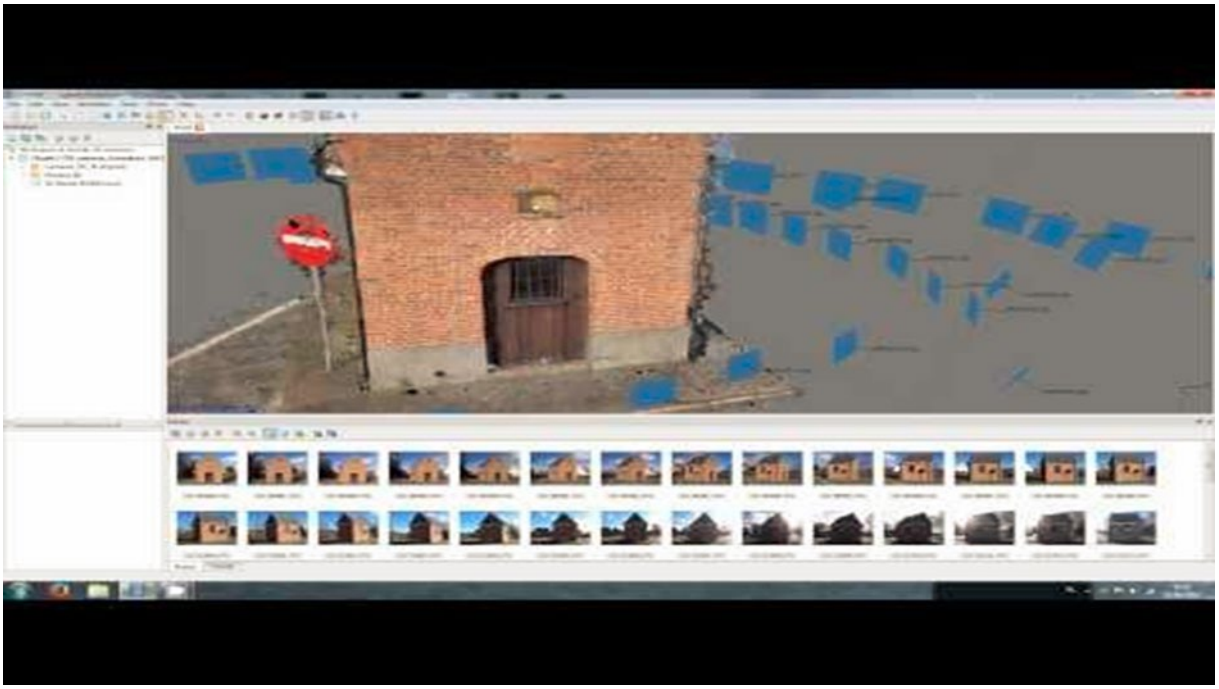


Figura 31 Software di fotogrammetria 3DZephyr

Glossario

Penna 3D (3Doodler)
Una penna 3D è una penna che estrude plastica liquida da un estrusore integrato nella punta della penna. La velocità e la quantità della plastica estrusa possono essere controllate dall'utente nella maggior parte dei casi. Una volta che la plastica liquida è stata estrusa, inizia ad asciugarsi rapidamente all'aria. In questo modo, si possono disegnare oggetti tridimensionali dalla plastica. Se la plastica che dà forma al filamento viene cambiata in un colore diverso durante l'uso, si possono anche creare oggetti multicolore con una penna 3D. Una penna 3D con un doppio estrusore non è nota in questo momento.

Le penne 3D hanno guadagnato l'attenzione mondiale quando il primo prototipo del 3Doodler è stato presentato da Maxwell Bogue e Peter Dilworth all'inizio del 2012. L'idea della penna 3D è nata da una stampa 3D difettosa. Entrambi gli inventori hanno iniziato una campagna di crowd-funding su Kickstarter sotto la società "WobbleWorks" con l'obiettivo di raggiungere 30.000 dollari. L'obiettivo di finanziamento è stato raggiunto dopo poche ore. Il 25.03.2013, la fine del round di finanziamento, "WobbleWorks" ha raccolto più di 2 milioni di dollari per il suo 3Doodler. Nel gennaio 2015, il successore 3Doodler 2.0 è stato rilasciato. Da allora, numerosi nuovi modelli da una vasta gamma di produttori sono apparsi sul mercato.[1]

Selfie 3D
Un selfie 3D è un autoritratto scattato con una stampante 3D. Il risultato è una figura stampata di una o più persone, che viene stampata sulla base di una foto precedentemente creata. Un importante passo intermedio è quello di convertire la foto in un file CAD prima della stampa 3D. Questo richiede un software 3D che costruisce un modello 3D dall'immagine 2D. I dati vengono poi inviati a una stampante 3D che costruisce il selfie strato per strato.[2]

ABS
Il filamento ABS per stampanti 3D (acrilonitrile butadiene stirene) è un terpolimero sintetico e appartiene alle termoplastiche amorfe. Nel processo FDM della stampa 3D, il filamento ABS è altrettanto importante del filamento PLA, ma differisce in alcuni punti.
Il filamento ABS offre un'alta resistenza al calore e una superficie dura e resistente ai graffi. Grazie alle sue molte proprietà positive, la plastica ABS è utilizzata in molti prodotti per la casa e di consumo al di là della stampante 3D.
Il filamento ABS è leggermente più difficile da lavorare rispetto al filamento PLA. La difficoltà maggiore è la forte tendenza a deformarsi - qui una piastra di stampa riscaldata e/o uno spazio di installazione chiuso della stampante aiuta.
Per prevenire il distacco prematuro della stampa dal piatto di stampa, la giusta base di stampa è cruciale. In questo caso, sono disponibili aiuti aggiuntivi come piastre di stampa permanenti o spray adesivo.[3]

[1] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/3d-stift/ (07.05.19)
[2] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/3d-selfie/ (07.05.19)
[3] https://www.filamentworld.de/produkt-kategorie/abs-filament-3d-drucker/ (07.05.19)

Autodesk Fusion 360
Software CAD
- Basato sul cloud
- Per Mac e PC

Buildplate, letto di stampa, letto di riscaldamento
Il letto di stampa è uno dei componenti più importanti di una stampante 3D. Si riferisce all'area su cui gli oggetti sono costruiti strato per strato. A seconda del tipo di stampante, il letto di stampa è stazionario o si muove orizzontalmente o verticalmente. Il letto di stampa è estremamente importante per il risultato di stampa. Il primo strato dell'oggetto da stampare deve aderire bene al letto di stampa. D'altra parte, l'oggetto deve essere facile da rimuovere dal letto di stampa dopo la stampa 3D. Questi requisiti spesso non erano soddisfatti dalle semplici stampanti 3D nei primi anni delle stampanti 3D a basso costo.
Con l'ulteriore sviluppo e l'ottimizzazione dei dispositivi negli ultimi anni, letti di stampa significativamente migliori sono ora integrati nei dispositivi o possono essere montati successivamente. I letti di stampa riscaldabili, cioè i letti termici, hanno anche giocato un ruolo significativo in questo. I marchi noti per i letti a pressione includono BuildTak, Aptotec e SainSmart.[4]

Cura
Software di affettatura

Elaborazione digitale della luce (DLP)
Il Digital Light Processing è un'altra tecnologia di stampa 3D basata sulla resina. È usata dalle stampanti 3D DLP. Qui, l'oggetto viene creato da un processore di luce digitale che serve come fonte di luce UV e solidifica la resina fotoreattiva. Il proiettore incorporato nella stampante 3D può essere un proiettore video, per esempio, la cui risoluzione determina anche la risoluzione di stampa 3D. A causa del proiettore di luce, la velocità di stampa delle stampanti DLP 3D è di solito più alta che con altri processi di stampa 3D. Il proiettore di luce indurisce la resina strato per strato.[5]
Il processo DLP è molto simile al processo SLA e si basa sull'indurimento indotto dalla luce delle resine fotoreattive. Con le stampanti SLA, però, di solito si usa un laser. In questo tutorial, entrambi i processi sono semplicemente indicati come processo SLA.

Produzione diretta
Componenti con caratteristiche di un prodotto finale

Lavorazione diretta/rapida
Produzione additiva di inserti, utensili, calibri e stampi

Estrusore e doppio estrusore
L'estrusore è il componente di una stampante 3D che spinge il filamento fuso fuori dall'ugello della macchina. Una bobina ruota in un tubo e trasporta il filamento di plastica - o qualsiasi altro materiale di stampa - sul letto di stampa. L'estrusore è attaccato ai binari di movimento (o ai bracci, nel caso di una stampante 3D a delta) della stampante 3D e ruota sugli assi x, y e z. Nel processo, il materiale di stampa viene spinto uniformemente fuori dall'estrusore e l'oggetto da stampare viene così costruito strato per strato.

[4] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/druckbett/ (07.05.19)
[5] https://www.3d-grenzenlos.de/3d-druckverfahren/photopolymerisation/digital-light-processing-dlp/

L'estrusore è un componente essenziale dell'estrusione, il processo in cui materiali malleabili come la plastica, la ceramica, la biomassa, i prodotti alimentari e anche i metalli vengono continuamente pressati sotto pressione fuori da un'apertura di modellazione.[6]

Filamento

Nella stampa 3D, il filamento è inteso come fili di plastica che costruiscono l'oggetto da stampare strato per strato con l'aiuto dell'estrusione. I filamenti sono usati come materiale di stampa nel Fused Deposition Modelling (FDM)/ Fused Filament Fabrication (FFF). I filamenti dominanti sul mercato sono ABS e PLA. Il PLA è più adatto ai principianti perché è più facile da stampare. Con gli oggetti stampati in ABS, la superficie può essere levigata con acetone, per esempio, il che porta a risultati molto belli. Problemi come "l'effetto deformazione" non si verificano con il PLA.
Da alcuni anni sono disponibili sul mercato filamenti sempre più flessibili. Si tratta di elastomeri termoplastici (TPE), cioè di plastica che può resistere a carichi come la tensione o la pressione, deformarsi e tornare alla forma originale quando il carico viene rilasciato. Come esempio, consideriamo una palla di gomma.[7]

Fused Deposition Modelling (FDM), Fused Filament Fabrication (FFF)

I processi FDM e FFF appartengono ai processi di estrusione, cioè processi durante i quali un materiale termoplastico riscaldato allo stato pastoso, viene pressato - preferibilmente in modo continuo - attraverso uno o più ugelli e il filamento risultante viene depositato in modo definito su un substrato. L'energia del materiale è sufficiente a fondere il substrato in modo tale che dopo il raffreddamento si crei un legame permanente.[8]

G-Code

Nel contesto della stampa 3D, il G-code si riferisce ai comandi di stampa che sono generati dal software per comunicare comandi sotto forma di istruzioni ad una stampante 3D. Il G-code può quindi essere inteso come un linguaggio tra il computer/software CAD e la stampante 3D.
Ci sono diversi modi di preparare i G-code per l'uso nella stampa 3D. Nello *slicing*, per esempio, c'è un codice per ogni strato. Oppure si lavora con una libreria che rende più controllabile la stampa di modelli complicati. I codici G possono anche essere scritti dal creatore e possono anche essere cambiati durante il processo di stampa. I creatori intraprendenti usano i codici G anche per riparare le loro stampanti 3D. Questo accade sempre quando sono necessari dei comandi che il software di controllo non contiene.[9]

IDEX

IDEX si riferisce a doppi estrusori che possono stampare indipendentemente l'uno dall'altro. Con IDEX è possibile stampare una parte con due filamenti o stampare due parti più piccole allo stesso tempo con uno degli estrusori.

Layer

Nella stampa 3D, un layer è ogni singolo strato con cui una stampante 3D costruisce l'oggetto strato per strato. Un gran numero di strati risulta in un oggetto 3D completamente stratificato.

[6] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/extruder/ (07.05.19)
[7] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/filament/ (07.05.19)
[8] Gebhardt, Andreas: Additive Fertigungsverfahren, Carl Hanser Verlag, München, 2016, S.259
[9] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/g-code/ (07.05.19)

I termini dimensione dello strato, altezza dello strato e altezza dello strato sono spesso usati in relazione agli strati. Questo si riferisce all'altezza di un singolo strato con cui la stampante 3D costruisce l'oggetto. L'altezza dello strato dipende dalla stampante 3D utilizzata ed è una delle proprietà elementari del prodotto per le stampanti 3D.

Livellamento
- Allineamento del letto di stampa/piattaforma di costruzione
- Rimozione delle differenze tra i diversi livelli.

MeshMixer
Software gratuito per la modellazione 3D e la semplice ottimizzazione delle mesh di Autodesk.

Ugello
Nella stampa 3D, l'ugello si riferisce all'ugello che fa parte dell'estrusore, cioè la testina di stampa. Il materiale di consumo, che in gergo tecnico viene anche chiamato filamento, viene premuto attraverso l'ugello e applicato strato per strato alla piastra di costruzione o piastra di stampa. Con la maggior parte delle stampanti 3D, l'ugello può essere sostituito. Durante il processo di stampa, l'ugello è solitamente molto caldo. A seconda del materiale utilizzato, ma anche a seconda delle dimensioni dell'apertura, possono verificarsi di tanto in tanto dei blocchi, che devono essere rimossi. Allo stesso tempo, con il tempo l'ugello subirà dei segni di usura e dovrà quindi essere sostituito. L'apertura dell'ugello deve essere scelta in base al materiale utilizzato e all'oggetto da produrre.
Come standard, la maggior parte dei fabbricanti ricorre di solito a ugelli la cui apertura è di 0,4 mm di diametro. La scelta della dimensione dell'ugello può influenzare sia il tempo di stampa che la qualità di stampa.[10]

Filamento PETG
PETG è l'abbreviazione di polietilene tereftalato, modificato con glicole.
Il filamento PETG è superiore agli altri filamenti in molte proprietà. Combina le proprietà positive del PLA e dell'ABS.
Quindi, il PETG è molto durevole, ha forti proprietà meccaniche, è ignifugo, resistente a molti prodotti chimici e facile da stampare.
La velocità di stampa del filamento PETG varia a seconda della temperatura di stampa, più è calda la testina di stampa, più velocemente la stampante 3D può stampare il PETG.[11]

Filamento PLA
I polilattidi (PLA) sono polimeri sintetici che appartengono ai poliesteri. Sono usati per fare plastica che è ottenuta da fonti rigenerative (come l'amido di mais). Questo rende il PLA una materia prima biocompatibile. Il filamento per la stampa 3D spesso non è PLA puro, ma una cosiddetta miscela PLA, la cui struttura di base è arricchita con additivi per ottenere determinate proprietà desiderate.[12]

Filamento PVA
L'alcol polivinilico (PVA o PVOH) è una plastica termoplastica che viene prodotta come una polvere da bianca a giallastra per lo più dalla saponificazione (idrolisi) dell'acetato di

[10] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/nozzle/ (07.05.19)
[11] https://www.filamentworld.de/produkt-kategorie/special-filament/petg-filament (07.05.2019)
[12] https://www.filamentworld.de/3d-druck-wissen/was-ist-pla/ (07.05.2019)

polivinile (PVAC). Il PVA è solubile in acqua e quindi ben adatto come materiale di supporto per la stampa 3D.

Fusione laser selettiva (SLM)
La fusione laser selettiva (SLM) è un processo di fabbricazione generativa che appartiene al gruppo dei processi basati sulla fusione a fascio e a letto di polvere. La fusione laser selettiva è spesso chiamata anche stampa 3D ed è quindi un processo di fabbricazione additiva.
Nel processo SLM, il materiale viene applicato come polvere alla piastra di base e fuso con il raggio laser. Il materiale si solidifica e la piastra di base viene abbassata dello spessore dello strato in modo che possa essere applicata nuova polvere. Il software 3D (vedi anche CAD) viene usato per creare i dati per la guida del raggio laser. L'oggetto viene poi costruito dalla stampante SLM 3D da molti strati individuali. Questa costruzione strato per strato viene ripetuta fino a quando tutti gli strati di polvere sono stati rifusi. La forma dell'oggetto risulta dalle aree in cui la polvere è stata depositata dalla macchina e fusa dal laser.
Alla fine della produzione, il manufatto è liberato dai residui di polvere ed è pronto per l'uso. Nella maggior parte dei casi, si utilizzano materiali di serie senza leganti, poiché questi possono essere polverizzati. Con la fusione laser selettiva, non sono necessari stampi (di fusione), creando così una libertà geometrica. Il tempo di produzione è ridotto, il che porta a minori costi di stoccaggio e produzione.

Sinterizzazione laser selettiva (SLS)
La sinterizzazione laser selettiva è una tecnica di produzione additiva (AM) che utilizza un laser come fonte di energia per sinterizzare materiale in polvere. È simile alla fusione laser selettiva e appartiene ai processi basati sul letto di polvere. SLS e SLM sono istanziazioni dello stesso concetto ma differiscono nei dettagli tecnici. Nel processo SLM, lo stato aggregato della polvere viene cambiato dalla fusione, la polvere viene liquefatta e quando si raffredda diventa solida. Nel processo SLS, il laser lega solo la polvere.

Slicing (taglio)
Per preparare la stampa, l'oggetto deve essere allineato in modo ottimale sulla piattaforma di costruzione e diviso in strati di altezza. Questo si chiama slicing.

Stereolitografia (SLA o STL)
Nella stereolitografia, una plastica liquida fotopolimerica (fotopolimero), per esempio una resina sintetica o epossidica, viene polimerizzata in strati sottili da un laser. Questo viene fatto in un bagno riempito con i monomeri di base della plastica sensibile alla luce. Dopo ogni passo, il pezzo viene abbassato di qualche millimetro nel liquido e riportato in una posizione che è la quantità di uno strato sotto il precedente. La plastica liquida viene distribuita uniformemente sullo strato precedente da un tergicristallo. Poi un laser, controllato da specchi mobili, si muove sulla superficie di indurimento sul nuovo strato.[13]

Formato del file STL
I file STL descrivono superfici mesh come liste di caratteristiche geometriche. Un corpo è composto da tre superfici triangolari costituite da una normale e 3 assi, che sono descritti dalle loro coordinate. Il formato di file STL fornisce informazioni geometriche per i programmi

[13] Fastermann, Petra: 3D-Druck/Rapid Prototyping, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2012, S. 121

CAD in modo che la stampa 3D possa essere utilizzata per produrre oggetti tridimensionali.[14]

Supporto
Strutture generate ulteriormente per sostenere le parti del modello con sporgenze. Senza questa struttura, tali parti collasserebbero.

Serbatoio/VAT
Un componente della stampante SLA. Il serbatoio della resina è un contenitore trasparente situato al centro della stampante Formlabs 2 3D. È fatto di un acrilico che blocca i raggi UV. I serbatoi contenenti la resina liquida possono essere rimossi e reinseriti molto rapidamente e facilmente. Inoltre, il coperchio riutilizzabile rende possibile impilare diversi serbatoi che sono già stati riempiti di resina. Questo significa che la resina rimasta dopo una stampa 3D può essere conservata in modo sicuro e facilmente al di fuori della stampante Formlabs 2 3D. Ha senso avere un serbatoio di resina per ogni tipo di resina. In questo modo si può decidere spontaneamente in qualsiasi momento con quale materiale si vuole lavorare. La iGo3D raccomanda di cambiare i serbatoi di resina dopo 2-3 litri di consumo di resina.
IVA è il termine usato per i serbatoi delle stampanti Digital Light Processing (DLP). Qui, il fondo è costituito da una pellicola trasparente sostituibile.

Thingiverse
Thingiverse è una piattaforma online per lo scambio di dati di progettazione digitale (CAD) che possono essere utilizzati per stampanti 3D, tagliatrici laser, frese CNC e altre macchine. Thingiverse è una delle piattaforme più popolari al mondo del movimento DIY. I file caricati su Thingiverse.com sono open source e principalmente soggetti a licenze CC e GPL. La maggior parte dei file caricati su Thinigverse sono utilizzati per scopi di riparazione. Tuttavia, anche gioielli, oggetti decorativi e idee creative si possono trovare in innumerevoli varianti su Thingiverse, e possono essere stampati da chiunque a casa con una stampante 3D, per esempio.
Il proprietario di Thingiverse è MakerBot. I creatori di Thingiverse sono i fondatori di MakerBot Zach Smith e Bre Pettis. La piattaforma è online dal novembre 2008 ed è disponibile in inglese. Thingiverse è stato fondato da Zach Smith.[15]

Z-Wobble / Z-Wobble
Una Z-Wobble (alternativamente scritto Z-Wobble) si verifica quando le forze laterali agiscono sul dado della barra filettata. Questo può portare ad una rotazione dell'asse Z in alcune stampanti 3D. Come risultato, l'estrusore si sposta in entrambe le direzioni Y e Z.

[14] https://www.sculpteo.com/de/glossar/stl-definition-de/ (29.04.2019)
[15] https://www.3d-grenzenlos.de/glossar/thingiverse/ (25.04.2019)

5 Elenco delle figure

Figura 1 Prima stampante SLA 1 (Riferimento: ResearchGate)	Pag. 4
Figura 2 Grafico della domanda di brevetto di Charles Hull	Pag. 5
Figura 3 Processo tradizionale	Pag. 6
Figura 4 Processi additivi	Pag. 6
Figura 5 Libertà di forma. Entrambi i modelli sono stati stampati in un unico processo	Pag. 7
Figura 6 Rappresentazione di una finestra di un computer con carta gonfiata	Pag. 8
Figura 7 Modello di una tastiera realizzata con la termoformatura	Pag. 9
Figura 8 Matrice della tastiera della figura precedente	Pag. 9
Figura 9 Mappa tattile in stampa 3D	Pag. 10
Figura 10 Modello 3D dalla stessa pianta della figura precedente	Pag. 10
Figura 11 Modelli tattili di strutture cellulari	Pag. 12
Figura 12 Esempi di cartelli per porte con Braille	Pag. 12
Figura 13 Esempio di schede didattiche Braille	Pag. 12
Figura 14 Sfaccettature triangolari di un file STL	Pag. 13
Figura 15 Il percorso di una stampa 3D	Pag. 14
Figura 16 Struttura di un estrusore a sinistra: vista laterale, a destra: vista frontale	Pag. 17
Figura 17 Funzionalità di una stampante FDM (Scopigno R.,et.al., 2017)	Pag. 17
Figura 18 Strumenti più importanti	Pag. 19
Figura 19 Gruppo stampante SLA con coperchio	Pag. 20
Figura 20 Stampante SLA senza copertura	Pag. 21
Figura 21 Fase di esposizione nella stampa SLA. L'IVA è stata tolta per una migliore visualizzazione	Pag. 21
Figura 22 Processo di stampa SLA	Pag. 22
Figura 23 Stazione di pulizia SLA con tre bagni di pulizia	Pag. 23
Figura 24 Camera di polimerizzazione UV dell'azienda XYZprinting	Pag. 23
Figura 25 Rappresentazione dettagliata con stampa SLA	Pag. 25
Figura 26 Griglia QLONE con modello	Pag. 26
Figura 27 Schermata del dispositivo iOS con elementi scansionati in QLONE	Pag. 26
Figura 28 Processo di scansione attiva. La metà della scansione che è stata completata è visibile	Pag. 27
Figura 29 Proiezione del modello di luce strutturata	Pag. 27
Figura 30 Scanner di luce a strisce - Beamer VGA e fotocamera su treppiede	Pag. 28
Figura 31 Software di fotogrammetria 3DZephyr	Pag. 28

6 Bibliografia

Scopigno R., Cignoni P., Pietroni N., Callieri M., Dellepiane M. (2017). "Digital Fabrication Techniques for Cultural Heritage: A Survey". *Computer Graphics Forum* **36** (1): 6–21. DOI:10.1111/cgf.12781. read: 24.03.2021

Wikipedia (2021); 3D printing processes; https://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing_processes#Material_extrusion; read: 01.05.2021