

3D4ELDERLY

NUMERO DI PROGETTO: 2020-1-LT01-KA204-077896

IO1A2 - Identificazione delle tecnologie di stampa 3D da usare con i pazienti con l'Alzheimer e gli anziani con demenza.

CONSORZIO DEI PARTNER:



BETi Baltic Education Technology Institute

CEIPES

Technical Research Centre of Furniture and Wood of the Region of Murcia
CETEM

Alzheimer Bulgaria
AB
Алцхаймер - България



Indice

1.Introduzione	3
2.Modellazione a deposizione fusa (FDM)	4
2.1.Processo e descrizione	4
2.2.Macchine e materiali	5
3.Stereolitografia (SLA)	8
3.1.Processo e descrizione	8
3.2.Macchine e materiali	10
4.Sinterizzazione laser selettiva (SLS)	11
4.1.Processo e descrizione	11
4.1.Macchine e materiali	13
5.Perché l'FDM?	14

1. Introduzione

Il progetto 3D4ELDERLY mira, tra le altre cose, a formare i *caregiver* e il personale che lavora con persone affette da Alzheimer e demenza, su come utilizzare una stampante 3D, e sui principali tipi di tecnologie disponibili sul mercato. A tal fine, quindi, identificare le tecnologie più adatte e migliori per questi individui è fondamentale e richiede particolare attenzione.

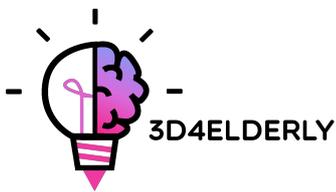
Ci sono molti criteri da prendere in considerazione. Bisogna capire quanto sia realmente accurata una tecnologia di stampa 3D, quali sono i costi legati a questa tecnologia, la complessità di utilizzo, le aree di applicazione, gli esempi, ecc. Il risultato di questa analisi è riportato in questo rapporto.

Come risultato di un precedente studio interno, sono state selezionate tre tecnologie di stampa 3D, ovvero:

- Modellazione a deposizione fusa (FMD)
- Stereolitografia (SLA)
- Sinterizzazione laser selettiva (SLS)



Figura 1. Pezzi ottenuti con le tecnologie FDM, SLA e SLS. Fonte: <https://elmundo3d.com/wp-content/uploads/elementor/thumbs/comparativa-fdm-sla-2--o92mz5e8wvraguk57d2rzf2ju3kjcghqk3824oyna4.jpeg>



Qui di seguito, queste tecnologie sono descritte in modo approfondito, considerando il processo stesso, le macchine, i materiali disponibili sul mercato, e i relativi costi.

2. Modellazione a deposizione fusa (FDM)

3. Processo e descrizione

La Modellazione a deposizione fusa (FDM), nota anche come Fabbricazione di filamenti fusi (FFF) è un processo di produzione additiva in cui un oggetto viene costruito depositando selettivamente materiale fuso in un percorso predeterminato strato per strato. I materiali utilizzati sono polimeri termoplastici e si presentano sotto forma di filamenti.

È la tecnologia di stampa 3D più utilizzata. Spesso, è anche la prima tecnologia che le persone conoscono.

Il processo di fabbricazione FDM inizia caricando una bobina di un filamento termoplastico nella stampante. Per far ciò, la temperatura dell'ugello deve essere impostata in base al materiale. Il filamento viene alimentato alla testa di estrusione e nell'ugello, in cui si fonde.

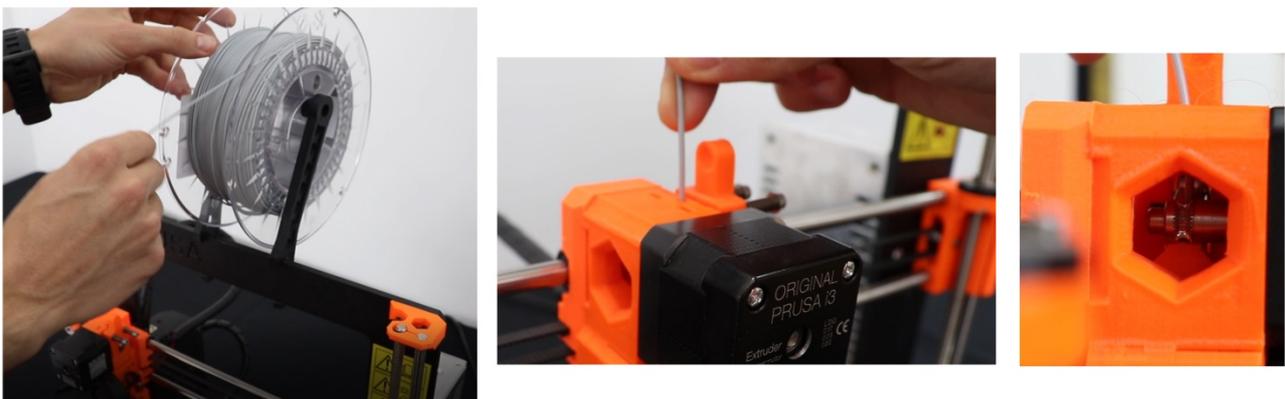


Figura 2. Caricare una bobina di materiale nella stampante 3D. Fonte: CETEM.

In ogni macchina FDM, la testa di estrusione è collegata a un sistema a 3 assi che le permette di muoversi nelle direzioni X, Y e Z. Così, il materiale fuso viene estruso e depositato strato per strato nei punti richiesti, in cui si raffredda e si solidifica.

Quindi, per riempire un'area, sono necessari più passaggi dell'estrusore. Quando uno strato è finito, la piattaforma di costruzione si sposta verso il basso (o in altre configurazioni di macchine, la testa di estrusione si sposta verso l'alto) all'altezza dello strato e poi inizia ad essere depositato un nuovo strato. Questo processo viene ripetuto più e più volte finché il pezzo non è finito.

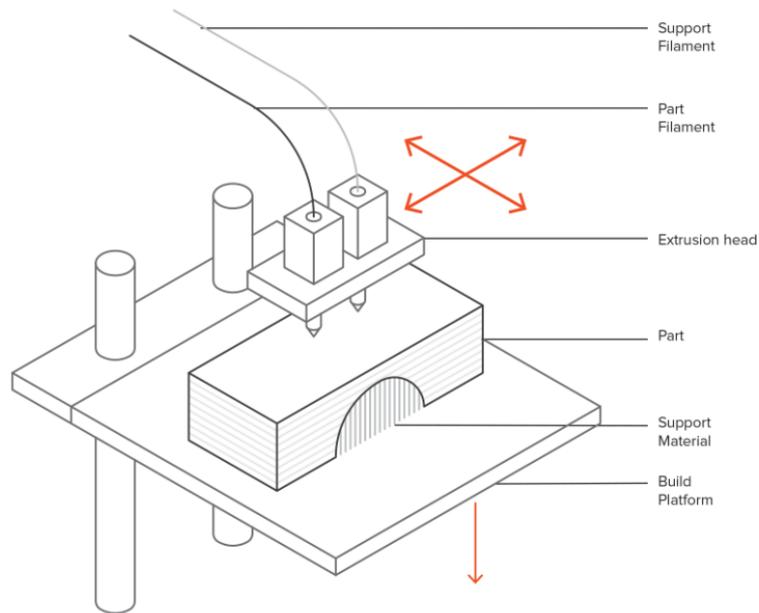


Figura 3. Sistema di lavoro della FDM. Fonte: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

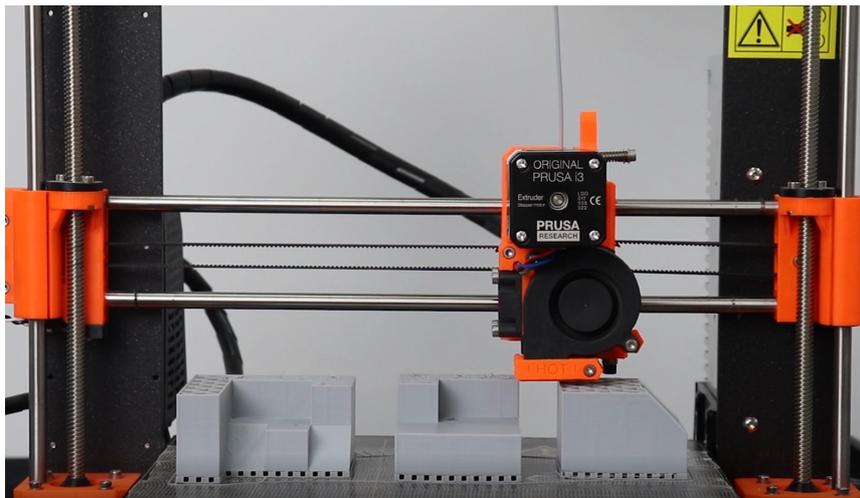
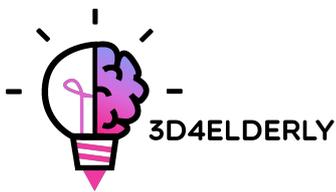


Figura 4. Stampante FDM in funzione. Fonte: CETEM.

4. Macchine e materiali

Quanto alle macchine FDM, bisogna distinguere tra stampanti 3D FDM desktop e stampanti 3D FMD industriali. Le principali differenze sono:

- **Precisione standard:** $\pm 0,15\%$ nelle stampanti industriali, contro $\pm 1\%$ nelle stampanti FDM desktop.



- **Spessore tipico dello strato o altezza dello strato:** 0,18-0,5 mm nelle stampanti FDM industriali e 0,1-0,25 mm per le stampanti desktop.
- **Massimo involucro di costruzione:** Fino a 900x600x900 mm per le stampanti industriali e fino a 200x200x200 mm per quelle desktop.
- **Materiali:** Le stampanti industriali possono usare una gamma di materiali più ampia, per via delle temperature che possono raggiungere sia l'estrusore che la superficie del letto.
- **Costi:** Da questo punto di vista, ci sono differenze importanti. Il prezzo delle stampanti FDM industriali può variare tra 10.000€ e >50.000€. Le macchine desktop sono più economiche; si possono trovare stampanti da 300€ a 5000€.

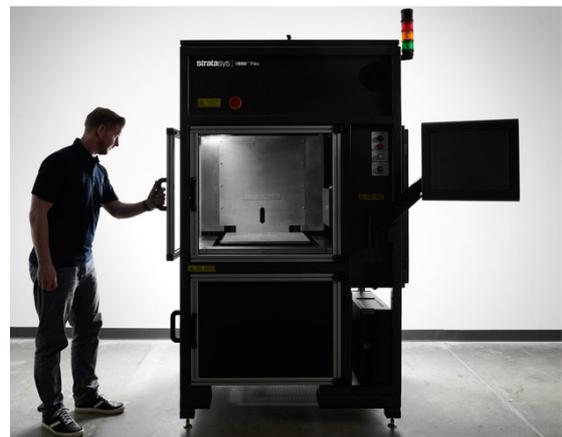
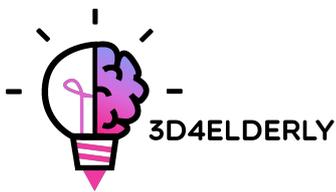


Figura 5. Stampante FDM desktop (sinistra) e stampante FDM 3D industriale (destra). Fonte: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/3dhubs-knowledgebase/industrial-vs-desktop-fdm/photo3.jpg> Source: <https://www.3dnatives.com/es/stratasys-v650-flex-sla-f120-010320192/>

Quanto alla precisione, in genere, le stampanti FDM 3D industriali producono parti più precise rispetto alle macchine FDM desktop, per via del maggiore controllo dei parametri di lavorazione durante la stampa. Le macchine industriali eseguono algoritmi di calibrazione prima di ogni stampa, comprendono una camera riscaldata per minimizzare gli effetti del rapido raffreddamento della plastica fusa. D'altra parte, le stampanti 3D FDM desktop stanno riprendendo campo e esistono macchine che supportano queste caratteristiche avanzate (cioè algoritmi di calibrazione, camera riscaldata, temperature di stampa più elevate e doppia estrusione). Una macchina desktop FDM di base ben calibrata può produrre parti con una precisione dimensionale abbastanza alta (solitamente con tolleranze di $\pm 0,5$ mm) e con la stessa dimensione minima degli elementi delle macchine FDM industriali (cioè circa 1 mm). Questa precisione è sufficiente per la maggior parte delle applicazioni.



Per quanto riguarda i **materiali** per le stampanti 3D FDM, è importante notare che uno dei punti di forza chiave della tecnologia FDM è la vasta gamma di materiali disponibili. Questi possono variare dalle materie termoplastiche di base (come PLA e ABS) ai materiali tecnici (come PA, TPU e PETG) e alle termoplastiche ad alte prestazioni (come PEEK e PEI).

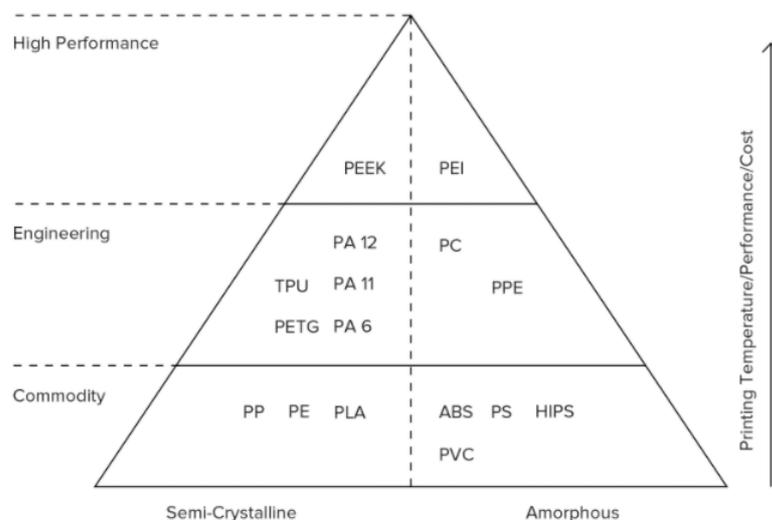


Figura 6. Materiali termoplastici nell'FDM. Fonte: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing/>

Il materiale più comunemente usato nelle stampanti 3D FDM desktop è il PLA (Acido Polilattico). Il PLA è facile da stampare e può produrre parti con dettagli più fini. Qualora fosse necessaria una maggiore resistenza, duttilità e stabilità termica, si userebbe l'ABS (acrilonitrile-butadiene-stirene). L'ABS è più incline a deformarsi (a causa del restringimento) e la geometria della parte stampata può vietarne l'uso, soprattutto in macchine che non dispongono di una camera riscaldata.

Le stampanti FDM 3D industriali usano principalmente plastiche ingegneristiche (ABS, policarbonato (PC) o Ultem). Questi materiali sono, di solito, riempiti con alcuni additivi che alterano le loro proprietà e li rendono particolarmente utili per certe esigenze industriali (ad esempio, alta resistenza agli urti, stabilità termica, resistenza chimica e biocompatibilità).



Figura 7. Diversi rotoli di materiali FDM. Fonte: <https://cdn2.sculpteo.com/wp-content/uploads/2019/06/Filaments2.jpg>

Per quanto riguarda il costo di tutti questi materiali, sono venduti sotto forma di rotoli di filamenti (anche se alcune stampanti 3D possono stampare parti da pellet di plastica). Per esempio, 1 kg di PLA costa circa 20€. Anche l'ABS di base costa all'incirca 20€ al kg. Per altre plastiche ingegneristiche, i prezzi possono essere più alti: 1 kg di PC (Policarbonato) è circa 60€.

5. Stereolitografia (SLA)

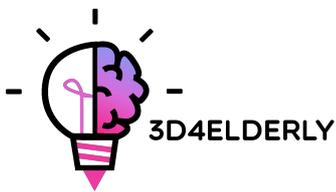
6. Processo e descrizione

La stereolitografia (SLA) è un processo di produzione additiva in cui l'oggetto viene creato indurendo selettivamente una resina polimerica strato per strato, utilizzando un raggio laser ultravioletto (UV). I materiali utilizzati in questa tecnologia sono polimeri termoindurenti fotosensibili che si presentano in forma liquida.

Altre tecnologie, tra cui la DLP (Digital Light Processing) sono molto simili, l'unica differenza è che la DLP usa uno schermo di luce digitale, invece di un raggio laser UV, per indurire la resina. Le due tecnologie, insomma, possono essere considerate uguali.

Se sono richieste parti di altissima precisione o una finitura superficiale liscia, la SLA è la tecnologia di stampa 3D disponibile più conveniente.

Nella tecnologia SLA, il processo è il seguente. Prima di tutto, la piattaforma di costruzione è posizionata nel serbatoio pieno di fotopolimero liquido, ad una distanza di uno strato per la superficie del liquido. Successivamente, un laser UV crea lo strato polimerizzando e solidificando selettivamente la resina fotopolimerica. Il raggio laser si focalizza sul percorso



prestabilito in modi diversi a seconda della macchina. Si possono usare, per esempio, degli specchi.

Ci sono 2 tipi di macchine SLA: stampanti SLA top-down e stampanti SLA bottom-up. Nelle macchine top-down, la parte è costruita a testa in giù. Il serbatoio ha un fondo trasparente con un rivestimento in silicone che permette alla luce del laser di passare ma impedisce alla resina polimerizzata di attaccarsi ad esso. Dopo ogni strato, la resina polimerizzata si stacca dal fondo del serbatoio, mentre la piattaforma di costruzione si sposta verso l'alto. Questa fase è chiamata fase di peeling.

L'orientamento bottom-up è usato principalmente nelle stampanti desktop, mentre quello top-down è generalmente usato nei sistemi SLA industriali. Le stampanti SLA bottom-up sono più facili da produrre e utilizzare, ma la loro dimensione di costruzione è limitata, poiché le forze applicate alla parte durante la fase di peeling potrebbero far sì che la stampa non riesca bene. D'altra parte, le stampanti top-down possono scalare fino a dimensioni molto grandi senza perdere troppa precisione. Le capacità avanzate di questi sistemi hanno dei costi più elevati.

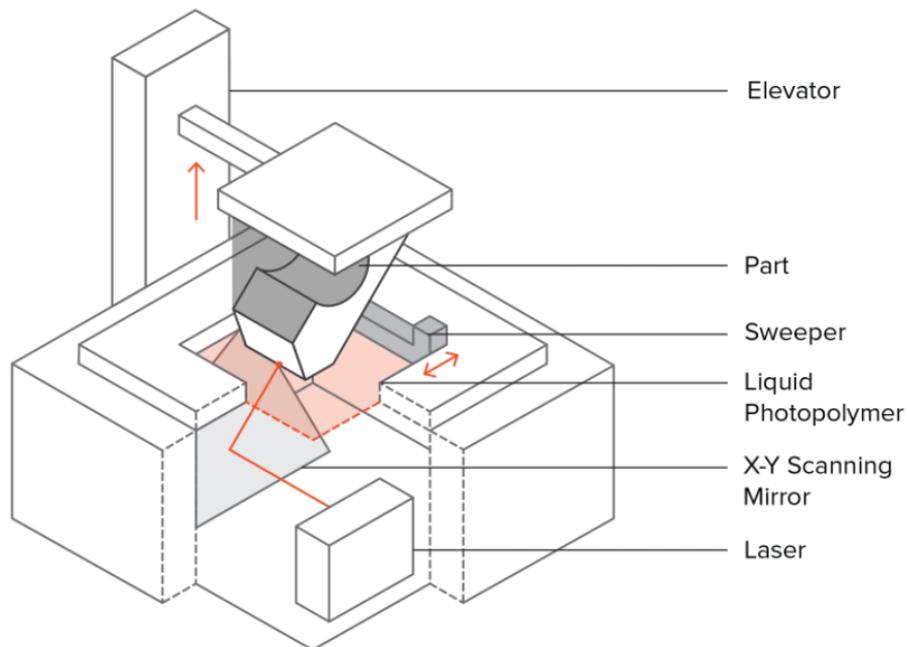


Figura 8. Sistema di una stampante SLA top-down. Fonte: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sla-3d-printing/>

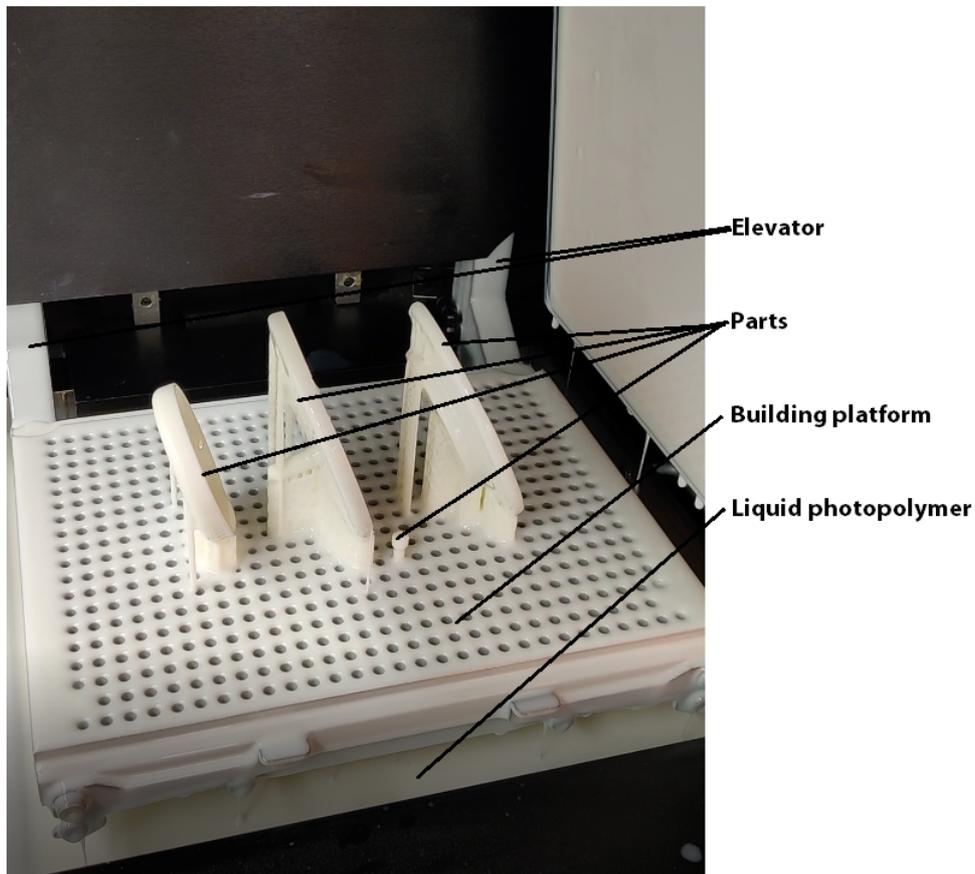


Figura 9. Stampante 3D DLP (simile all'SLA), con parti appena stampate. Fonte: CETEM.

7. Macchine e materiali

Come nella tecnologia FDM, le stampanti SLA 3D si distinguono in desktop e industriali. Le principali differenze sono le seguenti:

- **Dimensione di costruzione:** La dimensione di costruzione delle macchine SLA desktop è circa fino a 145x145x175 mm, mentre la dimensione di costruzione delle stampanti SLA industriali è fino a 1500x750x500 mm.
- **Altezza tipica dello strato:** Sia per le stampanti SLA desktop che industriali: da 25 a 100 micron (0,025 - 0,1 mm).
- **Precisione:** La precisione dimensionale per le macchine SLA desktop è di circa $\pm 0,5\%$, ma per le stampanti industriali è di circa $\pm 0,15\%$.
- **Costi:** Da questo punto di vista, vi sono importanti differenze. Mentre una macchina SLA desktop può valere da 2.000€ fino a 6.000€, le stampanti SLA industriali possono arrivare a 500.000€.



Figura 10. Stampante SLA desktop (sinistra) versus stampante SLA industriale (destra). Fonte: https://formlabs-media.formlabs.com/filer_public_thumbnails/filer_public/be/50/be501495-9972-4536-9d27-57c0375b16a7/03062019_daguerre_1_565.jpg__1354x0_q85_subsampling-2.jpg Source: https://www.materialise.com/sites/default/files/styles/case_teaser/public/image-uploads/pages/Manufacturing/Technologies/3d-printing-technology_stereolithography.jpg?itok=DMgnH71i

Per quanto riguarda i materiali per la tecnologia SLA, uno dei maggiori vantaggi delle stampanti SLA industriali rispetto a quelle desktop è la gamma di materiali che queste sono in grado di stampare. Mentre le stampanti desktop possono offrire una resina flessibile, le macchine industriali offrono una vasta gamma di resine flessibili, ciascuna con diverse proprietà meccaniche (durezza shore, alta temperatura ecc.).

I materiali SLA si presentano sotto forma di resina liquida. Il prezzo per litro della resina varia notevolmente, da circa 50 dollari per il materiale standard, fino a 400 dollari per i materiali speciali, come la resina colabile o dentale. I sistemi industriali offrono una gamma più ampia di materiali rispetto alle stampanti SLA desktop, che danno al progettista un maggiore controllo sulle proprietà meccaniche della parte stampata.

I materiali SLA (termoindurenti) sono più fragili dei materiali prodotti con l'FDM o la SLS (termoplastici) e per questa ragione, le parti SLA, solitamente, non vengono usate per prototipi funzionali che supporteranno un carico significativo. I progressi realizzati in merito ai materiali potrebbero cambiare questa situazione nel prossimo futuro.

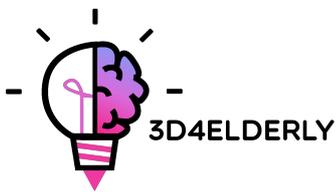


Figura 11. Materiali SLA. Fonte: <https://manufactur3dmag.com/wp-content/uploads/2018/05/Formlabs-Clear-Resin-300x214.jpg> Source: <https://5.imimg.com/data5/YL/QO/MY-11147533/dlp-sla-3d-printer-resin-500x500.jpeg>

I materiali più comuni sono: resina standard (finitura superficiale liscia ma relativamente fragile), resina trasparente (trasparente, ma richiede, per questo, una post-elaborazione), resina colabile (usata per modelli di stampi creati), resina dentale (biocompatibile ma con un costo più elevato), resina dura o resistente (proprietà meccaniche simili all'ABS o al PP), ecc.

8. Sinterizzazione laser selettiva (SLS)

9. Processo e descrizione

La sinterizzazione laser selettiva (SLS) è un processo di produzione additiva in cui un laser sinterizza selettivamente le particelle di una polvere polimerica, fondendole insieme e costruendo una parte strato per strato. I materiali usati in questa tecnologia si presentano in forma granulare e sono polimeri termoplastici.

Questa tecnologia è usata per la prototipazione ma anche per componenti polimerici funzionali e piccole serie di produzione, poiché offre un'ampissima libertà di progettazione, un'alta precisione e produce parti con buone e costanti proprietà meccaniche, a differenza della FDM o della SLA.

Il processo di fabbricazione SLS è spiegato di seguito: Prima di tutto, il contenitore della polvere e l'area di costruzione vengono riscaldati appena sotto la temperatura del punto di fusione del polimero. Poi, una lama di ricopertura sparge un sottile strato di polvere sulla piattaforma di costruzione (appena all'altezza dello strato). Poi, un laser CO2 sinterizza selettivamente (fonde) le particelle della polvere, creando uno strato rigido dell'oggetto. Quando uno strato è completo, la piattaforma di costruzione si sposta verso il basso e la

lama ricopre la superficie con altra polvere. Questo processo viene ripetuto ancora una volta, fino a quando il pezzo è completo.

Così, alla fine del processo, il o i pezzi sono completamente immersi nella polvere. Una volta che il contenitore della polvere si è raffreddato, il pezzo può essere disimballato e pulito con aria compressa. Un grande vantaggio è che la polvere non sinterizzata viene raccolta e può essere riutilizzata.

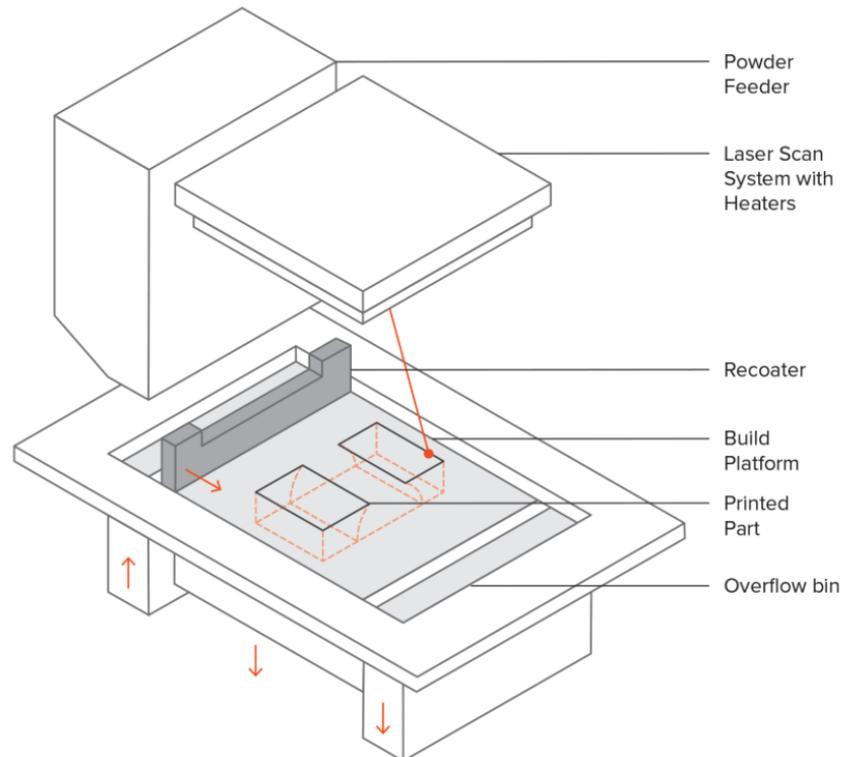


Figura 12. Sistema della tecnologia della stampante 3D SLS. Fonte: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-sls-3d-printing/>



Figura 13. Estrazione e pulizia dei pezzi di una stampante 3D SLS. Fonte: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1284,h=722,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2018/11/05175257/cleaning-the-powder-off-a-batch-of-items-printed-with-mjf-hp-youtube-181105.jpg>

1. Macchine e materiali

Quanto alle **macchine**, anche qui, così come nell'FDM e nella SLA, possiamo distinguere stampanti 3D SLS desktop o industriali.

Nella SLS, quasi tutti i parametri del processo sono preimpostati dal produttore della macchina. L'altezza predefinita dello strato utilizzata è di 100-120 micron.

Per quanto riguarda la precisione dimensionale, la maggior parte delle stampanti è circa $\pm 0,3\%$.

La dimensione dell'edificio delle macchine SLS desktop è fino a 180x180x300 mm. Al contrario, le stampanti SLS industriali possono variare, fino a 600x600x500 mm. Quando si stampa con la SLS, è molto importante sfruttare l'intero volume di costruzione, specialmente per piccole produzioni in serie. Un contenitore di una data altezza richiederà più o meno lo stesso tempo per stampare, indipendentemente dal numero di parti che contiene. Questo perché la fase di ricopertura determina il tempo totale di lavorazione (la scansione laser avviene molto rapidamente) e la macchina dovrà passare attraverso lo stesso numero di strati. Lo spazio dei contenitori può influenzare i tempi di consegna dei piccoli



ordini, dato che gli operatori, di solito, aspettano che un contenitore sia pieno prima di iniziare una nuova stampa.

Un vantaggio chiave della SLS è che non ha bisogno di strutture di supporto. La polvere non sinterizzata fornisce alla parte tutto il supporto necessario. Per questo motivo, la SLS può essere utilizzata per creare geometrie a forma libera che sono impossibili da produrre con qualsiasi altro metodo.

Un aspetto importante da tenere in considerazione è che la porosità dà alle parti SLS la loro caratteristica finitura superficiale granulosa. Ciò significa, inoltre, che i pezzi SLS possono assorbire acqua, quindi possono essere facilmente tinti in un bagno caldo in una vasta gamma di colori, ma anche che richiedono una speciale post-elaborazione se devono essere usati in un ambiente umido.

Quanto al costo delle macchine, la più economica costa circa 12.000€ e la più cara costa quanto le macchine SLA.

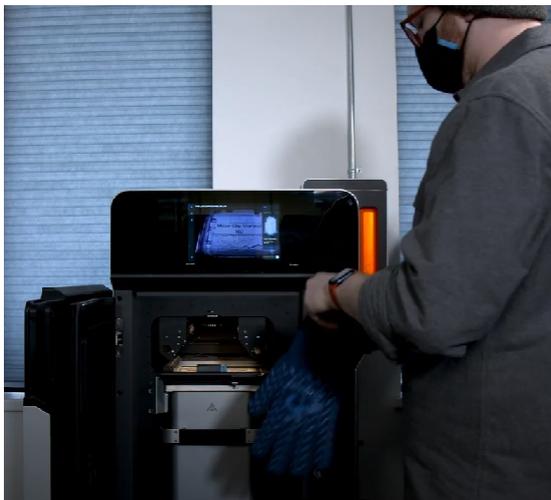
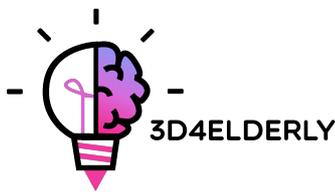


Figura 14. Stampante 3D SLS desktop (sinistra) e industriale (destra). Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=oiEL4BGXQss> Source: <https://i.ytimg.com/vi/Y7Nj5NmTdEo/maxresdefault.jpg>

Il **materiale** SLS più usato è il poliammide 12 (PA 12), conosciuto anche come Nylon 12. Il prezzo per chilogrammo di polvere PA 12 è di circa \$50 - \$60. Sono disponibili anche altri materiali termoplastici, come il PA 11 e il PEEK, ma non sono così ampiamente utilizzati.

La polvere di poliammide può essere riempita con vari additivi (come fibre di carbonio, fibre di vetro o alluminio) per migliorare il comportamento meccanico e termico della parte SLS



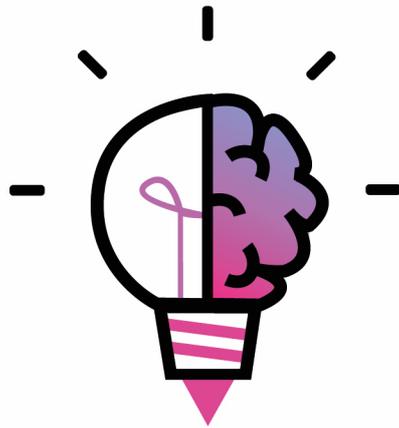
prodotta. I materiali riempiti con additivi sono solitamente più fragili e possono avere un comportamento altamente anisotropico.

2. Perché l'FDM?

In questo capitolo, parleremo dei vantaggi della Modellazione a deposizione fusa (FDM), e spiegheremo il motivo per cui questa tecnologia dovrebbe essere identificata come quella più adatta ai fini del progetto 3D4ELDERLY.

Quindi, le ragioni principali e anche i vantaggi della tecnologia FDM sono i seguenti:

- ✓ L'uso della FDM è il modo più conveniente per produrre parti termoplastiche personalizzate e prototipi.
- ✓ I tempi di consegna della FDM sono brevi (un giorno), grazie alla disponibilità della tecnologia.
- ✓ È una tecnologia di stampa 3D economica e accessibile. Questo la rende perfetta per i principianti della stampa 3D. È anche la tecnologia di prototipazione rapida più usata, grazie alla sua facilità di accesso.
- ✓ È disponibile una vasta gamma di materiali termoplastici, anche a colori, adatti sia alla prototipazione che alle applicazioni funzionali.
- ✓ Le stampanti FDM sono spesso facili da usare.
- ✓ Grande dimensione di costruzione della maggior parte delle stampanti 3D FDM desktop. La dimensione tipica di una macchina desktop FDM è di circa 20x20x20cm, che è una buona dimensione per la maggior parte delle parti da stampare.
- ✓ Sicuro da usare. Rispetto alla SLS o SLA, la FDM è una tecnologia sicura, perché non causa danni. La SLS coinvolge alte temperature e può essere pericolosa, e alcuni materiali SLA possono causare allergie alla pelle.



3D4ELDERLY

CONSORZIO DEI PARTNER:

