



# Iniziare con la stampa 3D

Introdurre grandi idee attraverso un design palpabile

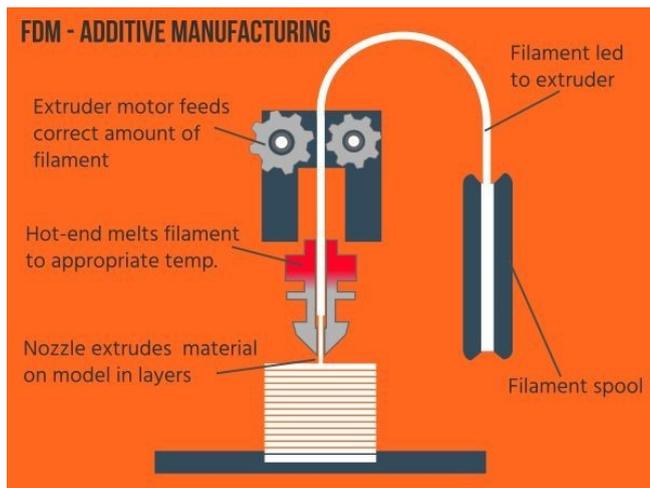
<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>Stampa 3D FDM</b>	<b>2</b>
La terminologia	3
Elementi della stampa 3D	3
Formati dei file	4
<b>Modellare in CAD con Tinkercad</b>	<b>4</b>
<b>Design challenge 1: Targhetta con nome</b>	<b>5</b>
<b>File STL, Slicers e stampa 3D</b>	<b>11</b>
Preparare il file STL alla stampa 3D	12
I supporti di stampa	13
Le sporgenze	13
Orientamento	14
Smart design	15
Pareti e tipologie di riempimento	16
<b>Challenge disegno: Tipologie di resistenza e stampa 3D</b>	<b>18</b>
<b>Design challenge 2: Un ponte autostradale</b>	<b>20</b>
Requisiti del progetto	20
Design e stampa	20
Calcoli e misurazioni	21
Autovalutazione e riflessione	22
<b>Come bilanciare struttura e libertà in un progetto</b>	<b>23</b>
Cosa dice la letteratura?	24
Oresmian Coordinate System	26
<b>Design Challenge: barche, catapulte, trottole</b>	<b>26</b>
Barche	26
Catapulte	27
Trottole	27
<b>Sommario</b>	<b>27</b>
<b>Sitografia</b>	<b>28</b>

## Introduzione

Le stampanti 3D si stanno lentamente ma costantemente diffondendo nelle aule e negli istituti scolastici, dalla scuola primaria alle università. La tecnologia offre grandi occasioni di connettere il mondo virtuale con quello fisico, fornendo la possibilità di vedere prendere vita disegni digitali creati su un computer. Tuttavia, la strada per integrare con successo la tecnologia in classe e renderla uno strumento diffuso per tutti, può essere poco incoraggiante senza un adeguato accompagnamento. Questa guida è stata pensata per facilitare questo percorso e per arrivare a trasmettere grandi idee attraverso la più rivoluzionaria tecnologia del XXI secolo. Il processo di messa in funzione delle stampanti 3D deve coinvolgere i dirigenti scolastici, gli insegnanti e, naturalmente, gli studenti. Questo lo rende un compito che richiederà costantemente molte risorse, indipendentemente dal sostegno fornito dalle diverse aree, tuttavia i vantaggi possono essere immensi. Questa raccolta di pagine includerà anche esempi di lezioni che sono state testate con ottimi risultati in classe. Durante queste sessioni, gli studenti si sono completamente immersi nei progetti e sono stati osservati ottimi risultati di apprendimento.

## Stampa 3D FDM

Sebbene esistano diverse tecnologie per la stampa 3D, quelle che vengono spesso utilizzate nelle aule scolastiche sono le stampanti 3D FDM o FFF. Altri sistemi come SLA e SLS sono spesso troppo costosi. La stampa 3D FDM funziona secondo un principio piuttosto semplice, che consiste nello spostamento di una testina di stampa mentre della plastica liquida cola per estrusione, costruendo così un oggetto strato per strato. Tuttavia, come molti semplici principi, le specifiche della stampa 3D possono diventare complicate una volta che si incomincia a conoscere a fondo il dispositivo. Utilizzando questo metodo di produzione si possono riscontrare molti problemi, che possono essere risolti in modi diversi. La community dei maker sulla stampa 3D è molto attiva nella condivisione dei propri lavori, il che significa che è possibile trovare materiale di qualità online per



quasi tutti gli aspetti della stampa 3D FDM.

In questa sessione sarà solo presente un vocabolario per i termini chiave da riconoscere nell'ambito della stampa 3D FDM e si farà riferimento ad altre fonti.

## La terminologia<sup>1</sup>

Poiché la stampa 3D è ancora un argomento nuovo, la terminologia del settore può talvolta essere confusionaria e persino contraddittoria. Di seguito è riportato un elenco relativamente

<sup>1</sup> Il presente elenco è stato redatto ispirandosi alle seguenti risorse: <https://ultimaker.com/en/resources/11720-terminology>  
<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/definitive-3d-printing-glossary> <https://all3dp.com/1/3d-printing-terms-terminology-glossary/>



breve di termini che possono aiutarvi a iniziare. L'elenco non è completo, ma esistono grandi fonti online nel caso in cui ci si imbatta in termini che non si conoscono.

- **Computer Aided Design (CAD)**

— Il software definito come Computer Aided Design (CAD) è un software che consente agli utenti di creare modelli in formati bidimensionali o tridimensionali. Inizialmente il CAD era stato sviluppato per essere utilizzato nell'ambito del disegno architettonico e nell'industria manifatturiera, ma oggi le applicazioni consumer friendly sono facilmente disponibili a costi ridotti o nulli.

- **Fabbricazione cumulativa**

— La fabbricazione cumulativa è il processo di costruzione di un oggetto tridimensionale attuato attraverso la sovrapposizione di uno strato sottile alla volta. La stampa 3D è solo una categoria di fabbricazione cumulativa, anche se i due termini sono spesso considerati la stessa cosa.

- **Filamento**

— Costituito da diversi materiali plastici. Il materiale utilizzato per la stampa 3D ha la forma di un filo, è solitamente arrotolato su una bobina ed è costituito da diversi materiali plastici.

- **Fused filament fabrication (FFF)**

— Tecnologia di fabbricazione cumulativa basata sul principio della posa in strati del materiale. Ha somiglianza al termine FDM (fused deposition modelling), ma essendo un marchio registrato utilizzeremo sempre la sigla FFF.

- **Polylactic acid - Acido polilattico (PLA)**

— Bioplastica dura e inodore, a basso impatto ambientale. Deriva da risorse rinnovabili a base di amido. Il PLA ha un livello di restringimento molto basso, ideale per i modelli 3D e la realizzazione di prototipi a casa.

- **Slicing**

— Il processo di conversione di un modello 3D in un file stampabile. La conversione divide il modello a "fette" in modo che la stampante 3D possa costruirlo strato per strato. Esempi di software slicers sono: Cura, Slic3r, Simplify 3D e il software slicer REALvision di Create it REAL.

- **Spessore dello strato**

— La risoluzione dello strato (o altezza dello strato). Descrive lo spessore di uno strato del prodotto stampato.

Glossario:

**Fabbricazione cumulativa**

La fabbricazione cumulativa è il processo di costruzione di un oggetto tridimensionale, uno strato sottile alla volta. La stampa 3D è solo una categoria di fabbricazione cumulativa, anche se i due termini sono spesso considerati la stessa cosa.

**Computer Aided Design (CAD)**

Il Computer aided design (CAD), è un software che consente agli utenti di creare modelli in formati bidimensionali o tridimensionali. Inizialmente il CAD era stato sviluppato per l'uso nell'architettura e nell'industria manifatturiera, ma ora le applicazioni consumer friendly sono facilmente disponibili a costi ridotti o nulli.

**Fused filament fabrication (FFF)**



Una tecnologia di fabbricazione cumulativa basata sul principio della posa in strati del materiale. Ha somiglianze con il termine FDM (fused deposition modelling), tuttavia, FDM è un marchio registrato. Pertanto, il termine FFF sarà utilizzato a partire da questo punto.

### **Filamento**

Il materiale utilizzato per la stampa 3D. Ha la forma di un filo e di solito è arrotolato su una bobina. Solitamente è costituito da diversi materiali plastici.

### **Polylactic acid - Acido polilattico (PLA)**

Bioplastica dura, inodore, e a basso impatto ambientale. Deriva da risorse rinnovabili a base di amido. Il PLA ha un livello di restringimento molto basso, ideale per i modelli 3D e la realizzazione di prototipi a casa.

### **Spessore dello strato**

La risoluzione dello strato (o altezza dello strato) descrive lo spessore di uno strato del prodotto stampato.

### **Slicing**

Il processo di conversione di un modello 3D, ad esempio un file STL, in un file stampabile, ad esempio un codice G o F. Dividerà il modello in "fette" in modo che la stampante 3D possa costruirlo strato per strato. Esempi di slicers sono: Cura, Slic3r, Simplify 3D e il software slicer REALvision di Create it REA

## Elementi della Formati dei file

- **STL**

→ Un formato di file ampiamente utilizzato per i modelli 3D durante nella stampa 3D.

- **G-code**

→ Un formato di file che viene utilizzato per i modelli di stampa 3D (dopo essere stato diviso in "fette").

- **F-code**

→ ○ Un formato di file utilizzato da Create it REAL per raggiungere velocità elevate. Il codice F è più basso del codice G e rende disponibili alcune funzioni nella piattaforma di Create it REAL.

## Stampa 3D

- **Estrusore**

→ La parte che controlla l'estrusione del filamento nella stampante 3D.

- **Testina di stampa**

→ Nel caso della tecnologia FFF è l'insieme di più componenti tra cui l'ugello da cui viene estruso/emesso il materiale.

- **Ugello**

→ La parte di una stampante 3D da cui è estruso direttamente il materiale da costruzione.

- **Banco di stampa**

→ I termini banco di stampa e piastra di montaggio vengono utilizzati in modo intercambiabile. Si tratta di una superficie piana su cui viene costruito l'oggetto.

- **Livellamento del banco di stampa**

→ Il livellamento del banco di stampa (talvolta denominato calibrazione) consiste nell'assicurarsi che sia posizionato alla giusta distanza dall'ugello per garantire che l'oggetto



aderisca al banco di stampa. A seconda del modello di stampante, questo può essere più o meno automatico.

- **Assi XYZ**

— Nella maggior parte dei casi, la stampa 3D è vista come un sistema di coordinate cartesiane, in cui X e Y sono il piano su cui è costruito ogni livello e l'asse Z è l'altezza. Fanno eccezione il sistema Delta e il sistema Bipolare.

- **Motori passo-passo**

— I motori più comunemente usati per controllare una stampante 3D. Una stampante 3D è costituita da almeno quattro motori passo-passo, uno per asse e uno o più, utilizzati per lavorare il filamento.

- **Controller**

— Per far funzionare la stampante è necessario disporre di un software e di hardware. Create it REAL ha sviluppato e prodotto la propria scheda madre, il Bluefin, per il controllo della stampante. Tuttavia, per la stampa 3D vengono utilizzate anche diverse schede Arduino.

## Formati dei file

- **STL**

— Estensione del file utilizzato per i modelli di disegno in 3D.

- **G-code**

— Un formato di file che viene utilizzato per i modelli di stampa 3D dopo che il modello è stato diviso in "fette".

- **F-code**

— Un formato di file utilizzato da Create it REAL per raggiungere velocità elevate. Il codice F è più basso del codice G e rende disponibili alcune funzioni nella piattaforma di Create it REAL.

•

## Modellare in CAD con Tinkercad

Tinkercad è un software di progettazione CAD gratuito, online e facile da imparare, indispensabile per il disegno in 3D dell'oggetto pre stampa. Tinkercad offre la possibilità di esportare il modello in un file specifico che consente il taglio laser. La compatibilità con il videogioco Minecraft permette un utilizzo del software Tinkercad ancora più creativo.

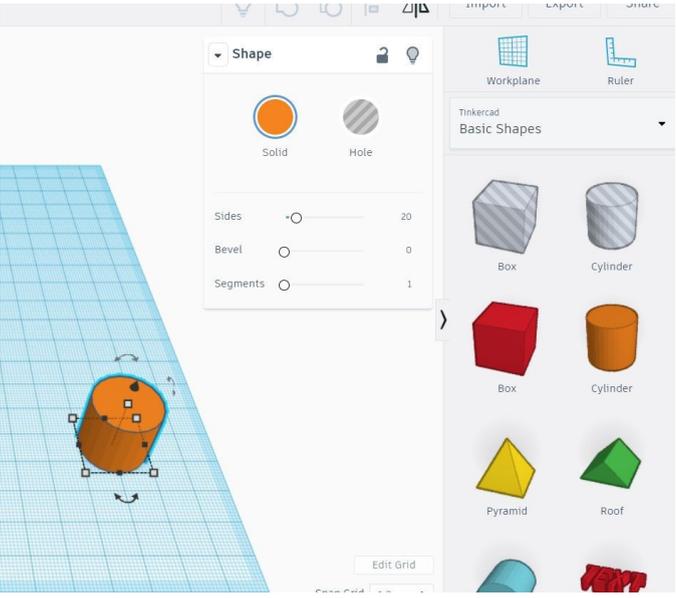
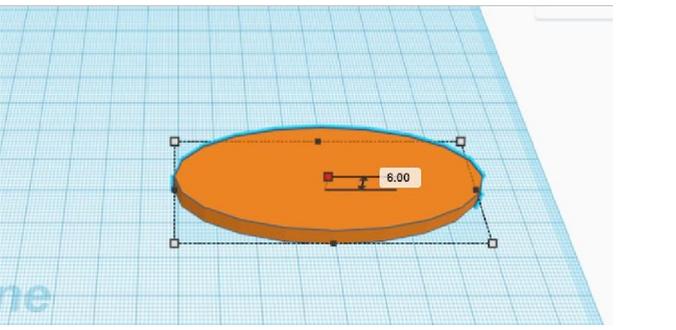
Il principio di base di Tinkercad è quello di arrivare a qualsiasi geometria combinando e manipolando forme tridimensionali predefinite, in una modellazione di solidi definito CSG (ne parleremo più avanti).

La natura intuitiva "drag'n'drop" del software permette di essere insegnato anche ai bambini.

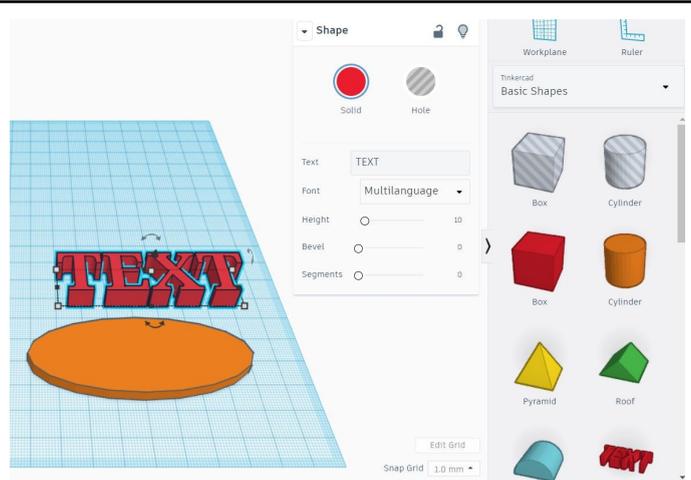
## Design challenge 1: Targhetta con nome

Il modo più semplice per familiarizzare con Tinkercad è cominciare a disegnare e progettare qualcosa interagendo con il software.

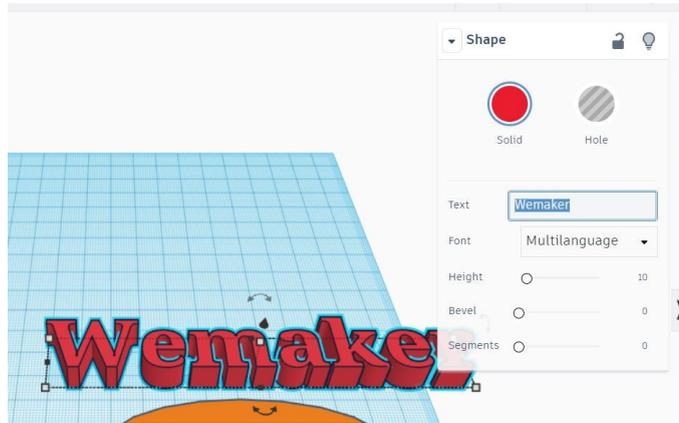
In questo workshop realizzeremo una targhetta.

Step	
<p><b>Step 1:</b> Trascinare nel piano la forma scelta (ad esempio un cilindro) da utilizzare per la base della targhetta.</p>	
<p><b>Step 2:</b> Modellare la forma selezionata utilizzando i quadratini bianchi ai bordi per renderlo un piano piatto e oblungo.</p>	

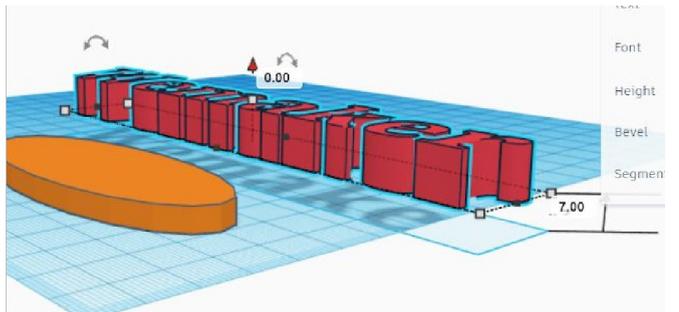
**Step 3:** Trascinare dentro l'editor testuale.



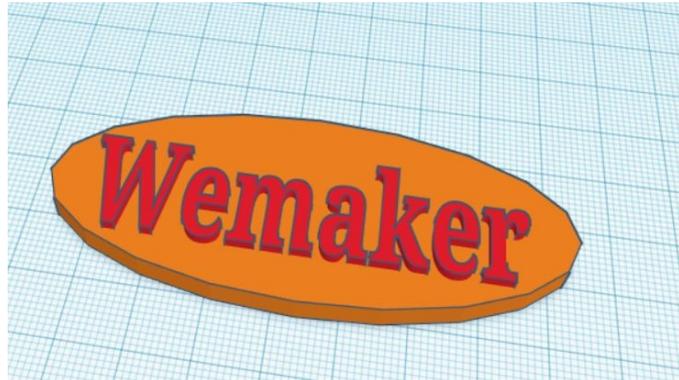
**Step 4:** Utilizzare la "finestra impostazioni forma corrente" per scrivere il proprio nome.  
L'oggetto potrà essere cambiato a piacere modificando i parametri.



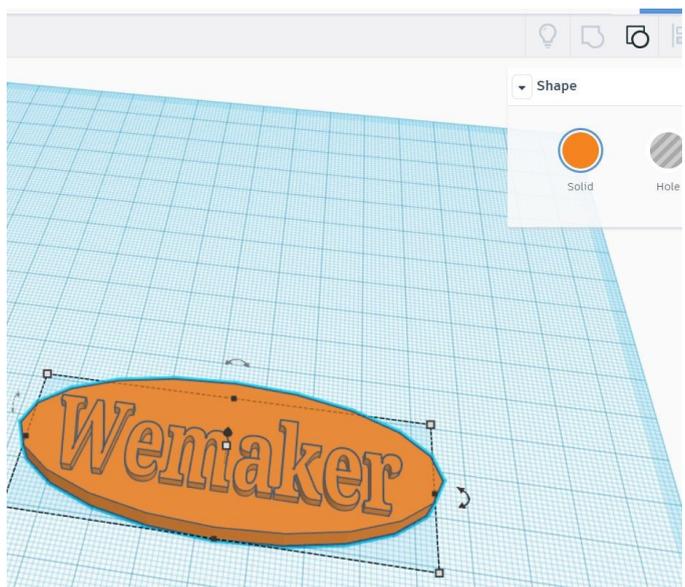
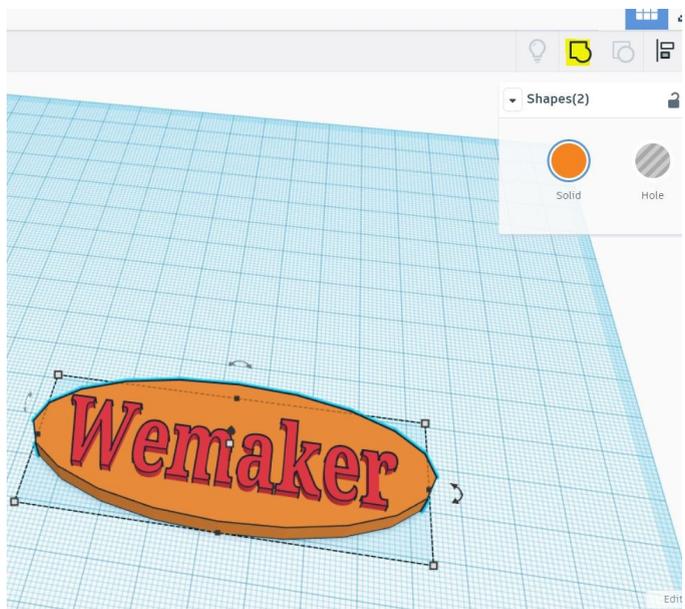
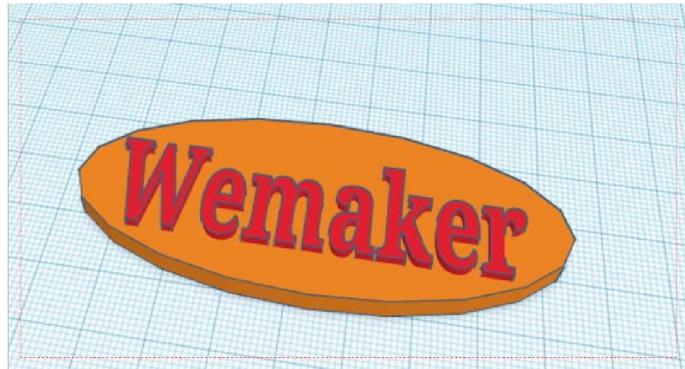
**Step 5:** Utilizzare la freccia orientata in alto per rialzare il testo.



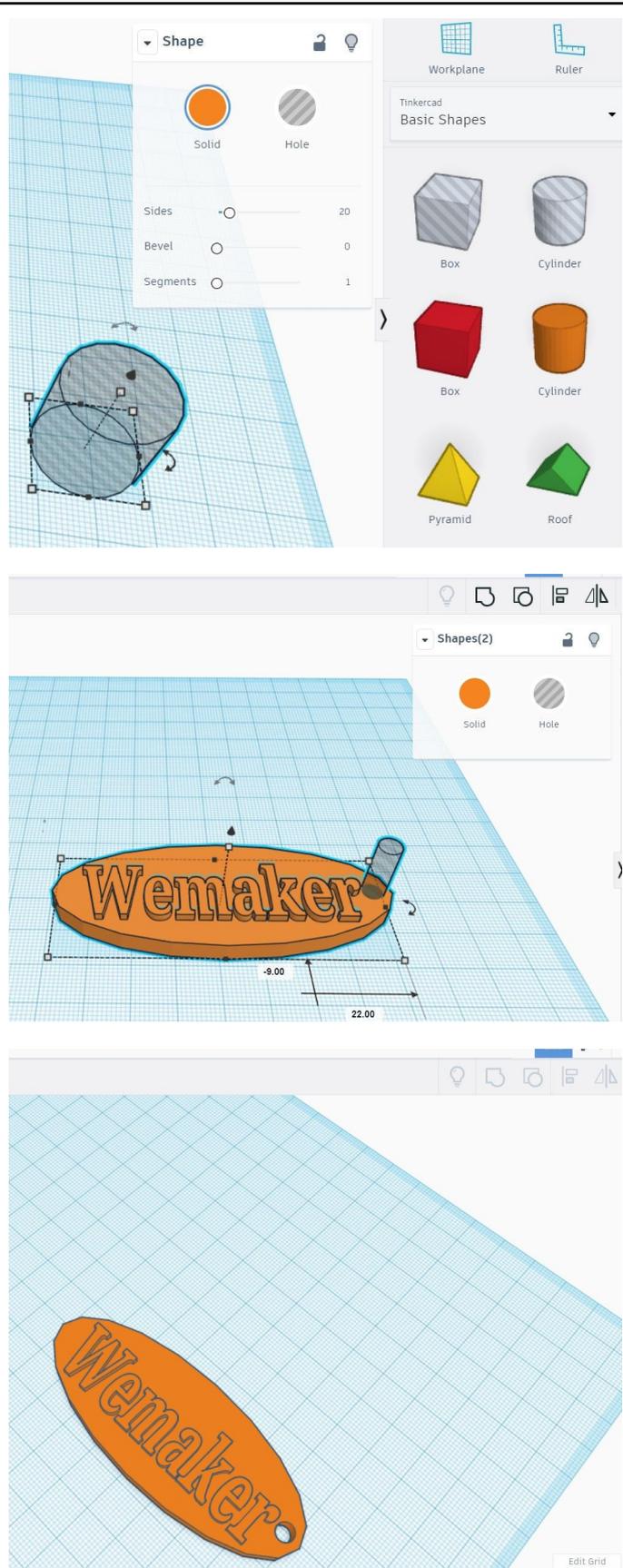
**Step 6:** Posizionare il testo sul lato superiore della targhetta.  
Utilizzare i punti ai bordi per ridimensionare l'oggetto.



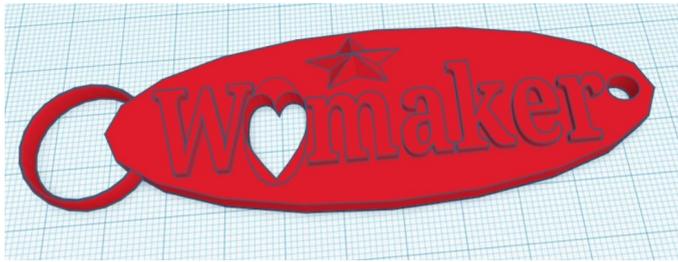
**Step 7:** Raggruppare i modelli selezionando entrambi gli elementi e premendo il tasto raggruppa.



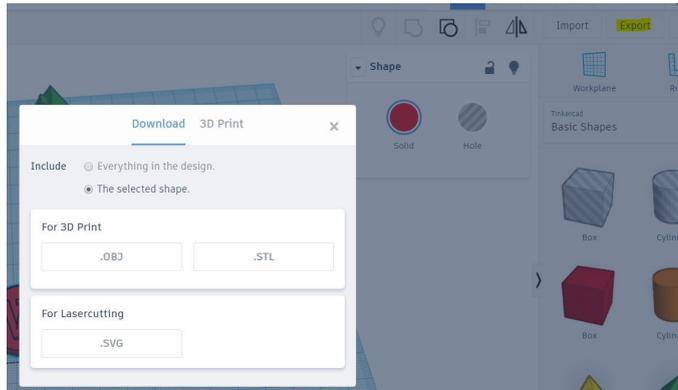
**Step 8:** Creare un foro rotondo nella targhetta con nome. Trascinare un cilindro e cambiarlo da "solid" a "hole". Ridimensionarlo e posizionarlo dove si desidera il foro. Raggruppare gli oggetti.



**Step 9:** Esplora le funzioni di Tinkercad e personalizza la tua creazione.



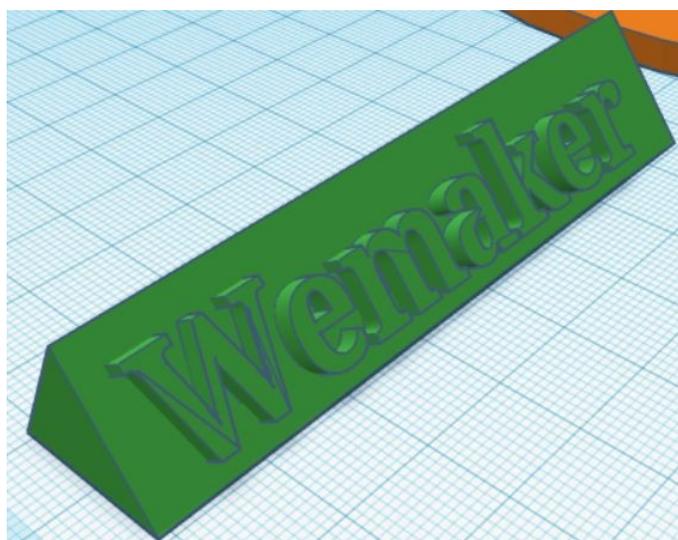
**Step 10:** Stampare la propria creazione.  
Premere il pulsante "esporta" nell'angolo in alto a destra ed esportare il modello in formato STL. Ora sei pronto per stampare il tuo nome.



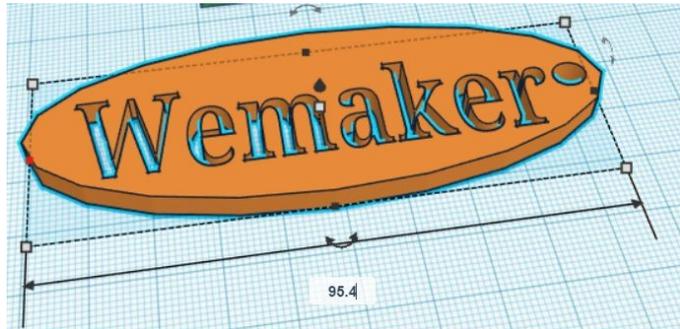
**EXTRA 1:** Scrivere il testo bucando la targhetta. Ricordate che qualsiasi forma può essere convertita da "solid" a "hole".



**EXTRA 2:** Realizzare una targhetta a forma di cuneo. Utilizzare il piano di lavoro.

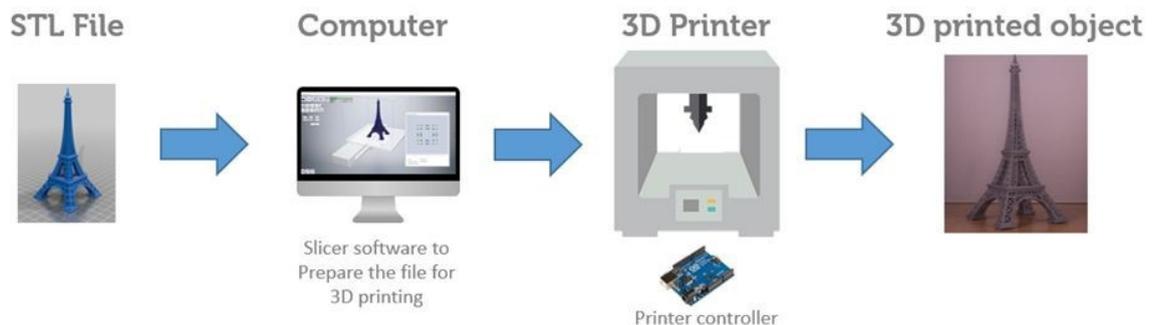


**EXTRA 3:** Rendi la targhetta lunga precisamente 95.4mm.



## File STL, Slicer e stampa 3D

Abbiamo parlato brevemente di file STL e di Slicer in precedenza, in questa sezione ci immergeremo più a fondo nella questione, ed esploreremo come i file STL e gli Slicer lavorino insieme per generare un prodotto finito in 3D. Di seguito è riportato un piccolo grafico che spiega le fasi e l'ordine del processo.



Il formato file STL rappresenta solo la superficie dell'oggetto e può essere salvato dalla maggior parte dei software di modellazione 3D. L'estensione STL sta diventando di fatto lo standard del settore della stampa 3D.

Esistono diversi siti web con una vasta libreria di file .STL che possono essere scaricati liberamente.

Di seguito una lista:

<https://www.thingiverse.com/> Sito realizzato da Makerbot e acquistato da Stratesys. Dispone di una vasta collezione di modelli gratuiti e chiunque può caricare i file direttamente sulla pagina.

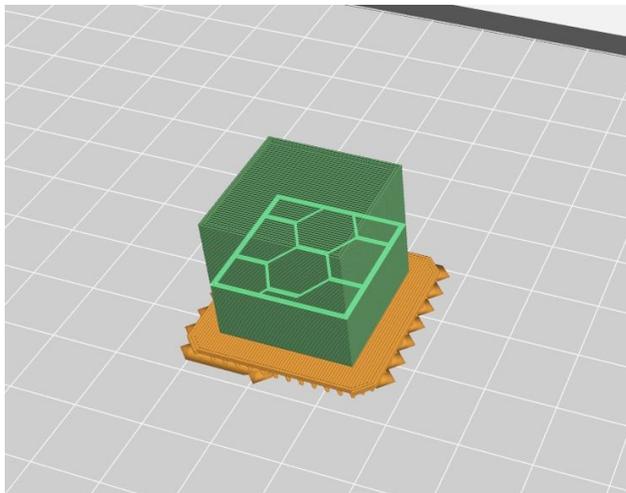
<https://www.myminifactory.com/> I disegni sono stati testati per la stampa 3D. Ciò significa che la qualità media del contenuto è piuttosto elevata.

<http://www.yeggi.com/> I file possono essere condivisi liberamente ma anche venduti e acquistati dai designer.

## Preparare il file STL alla stampa 3D

Il file del progetto in formato STL deve essere caricato in un software di slicing, che lo converte in un formato G-code (nel caso di Create it REAL in F-code) che dispone la stampante 3D al suo movimento e all'estrusione. Il software di slicing, tuttavia, non converte necessariamente il modello in un oggetto stampato 3D, questo perché la maggior parte degli oggetti stampati in 3D non sono solidi. Lo slicer trasforma il modello non in un oggetto che ha una guscio solido, ma in un'area interna parzialmente cava.

Qua sotto si può vedere un'immagine di un quadrato realizzato con materiale di riempimento esagonale e un guscio esterno. La maggior parte dei software di slicing consentono anche di eseguire determinate manipolazioni dell'oggetto, ad esempio ridimensionamento, riflessione, rotazione, ecc.



Tuttavia, gli slicer hanno anche caratteristiche più avanzate, che consentono all'utente di impostare parametri specifici per la stampante, tra cui la quantità di plastica che deve essere estrusa, quale dovrebbe essere la velocità di movimento, come controllare le temperature, e molto altro ancora.

## I supporti di stampa

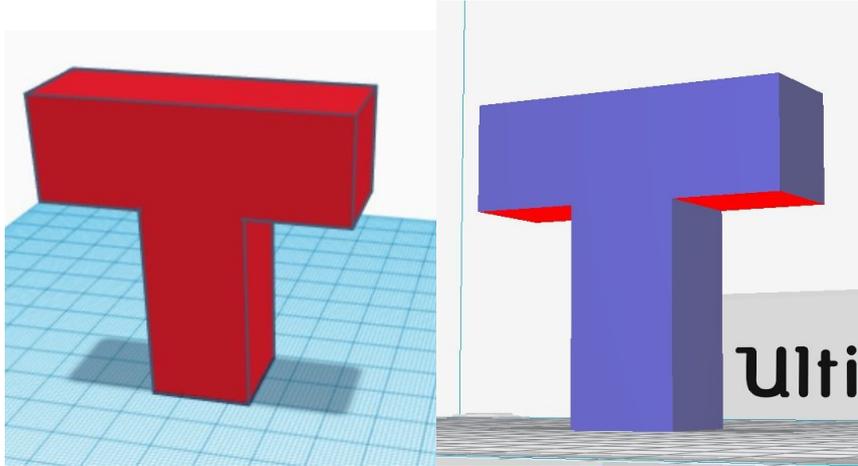
In questa sessione analizzeremo a fondo temi quali: riempimento, supporto e strati esterni (chiamati "contours").

Quando insegniamo queste tecniche agli studenti consigliamo che vengano affidate loro delle design challenge. Consideriamo buona pratica che gli studenti si "sporchino le mani", solo dopo che hanno progettato e stampato qualcosa si possono attivare delle lezioni di approfondimento, in modo da collegare le nozioni teoriche alla loro esperienza nel mondo reale. Riempire studenti con troppe informazioni specifiche può non risultare efficace alla lezione stessa.

## Le sporgenze

Le sporgenze sono la parte di un oggetto 3D non supportato da strutture al di sotto di esso.

Figure 1 e 2



Consideriamo l'oggetto a sinistra (figura 1). Si tratta di una forma simile alla lettera "T". Le sporgenze sono parte di un oggetto 3D non supportato da strutture al di sotto di esso. Caricando questo modello sul software di slicer Cura si otterrà il risultato che si può vedere di seguito (figura2).

L'area sotto le sporgenze (figura 2) è di colore rosso per indicare che sono problematiche. Se la casella "genera supporto" è selezionata e il modello viene modificato in "visualizzazione strato/livello", apparirà un rendering dei supporti che vengono generati (figura 3).

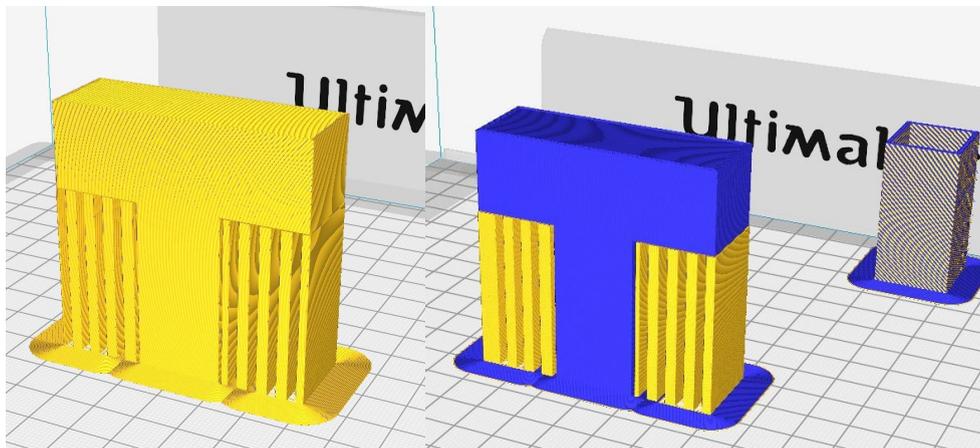
I supporti sono un modo per gestire le sporgenze e, come si può vedere, aggiungono semplicemente del materiale che può essere rimosso una volta terminata la stampa. Tuttavia, a volte può essere difficile rimuovere il supporto, a seconda della stampante 3D, del filamento e dei diversi parametri inseriti nella costruzione del supporto stesso, inoltre, è dispendioso in termini di materiali e richiede più tempo per la stampa. Queste caratteristiche possono variare notevolmente da slicer a slicer e da stampante a stampante.

Alcune stampanti hanno l'opzione "doppia estrusione", in cui un estrusore può estrarre il materiale per il supporto, e l'altro quello per l'oggetto finito come ad esempio il PLA. I supporti possono essere stampati in un materiale idrosolubile, ciò significa che l'oggetto può essere immerso in acqua e che il materiale di supporto si dissolverà nel tempo.

Con le impostazioni raccomandate dalla stampante Ultimaker, la stampa di questo oggetto richiede 9 ore e 50 minuti.

Figura 3

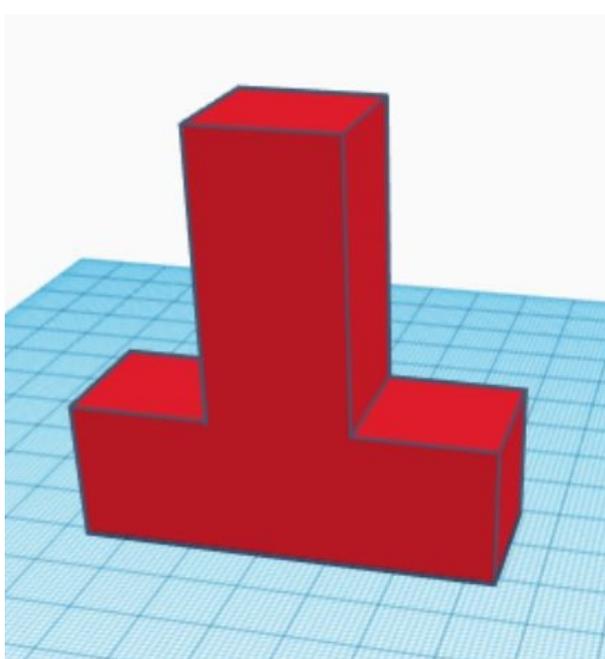
Uno screenshot del software Cura con la stampante Ultimaker 3.



## Orientamento

Un altro modo per rimediare alle sporgenze è semplicemente guardare l'orientamento del modello. Alcuni modelli possono infatti essere semplicemente capovolti su uno o più assi e diventano stampabili. Sia i software di CAD che quelli di slicer danno questa possibilità che è preferibile alla costruzione del supporto, in quanto non spreca materiale e impiegherà meno tempo per la stampa. Col tempo si acquisisce "l'orientamento" più efficace per ridurre al minimo o eliminare la necessità del supporto, diventa un "senso" naturale pensare a come può essere orientato l'oggetto.

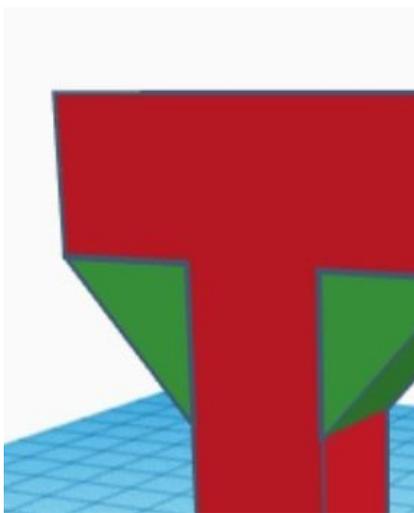
Dai software di slicer si può osservare, oltre l'effetto dell'orientamento, anche la quantità di utilizzo del materiale e il tempo di stampa.



Un aspetto importante, all'interno di qualsiasi tipo di progettazione fisica, è pensare al processo di stampa e al metodo di fabbricazione. Questo campo di solito non viene insegnato fino all'università, in quanto è considerato un argomento difficile e avanzato. Tuttavia con l'osservazione diretta della stampa 3D può diventare una parte naturale del processo di progettazione anche da parte di ragazzi di minore età.

## Smart design

Progettare un modello, tenendo sempre presente il processo di stampa 3D, aiuta la gestione delle sporgenze, in quanto si dovranno progettare modelli con sporgenze minime o nulle.

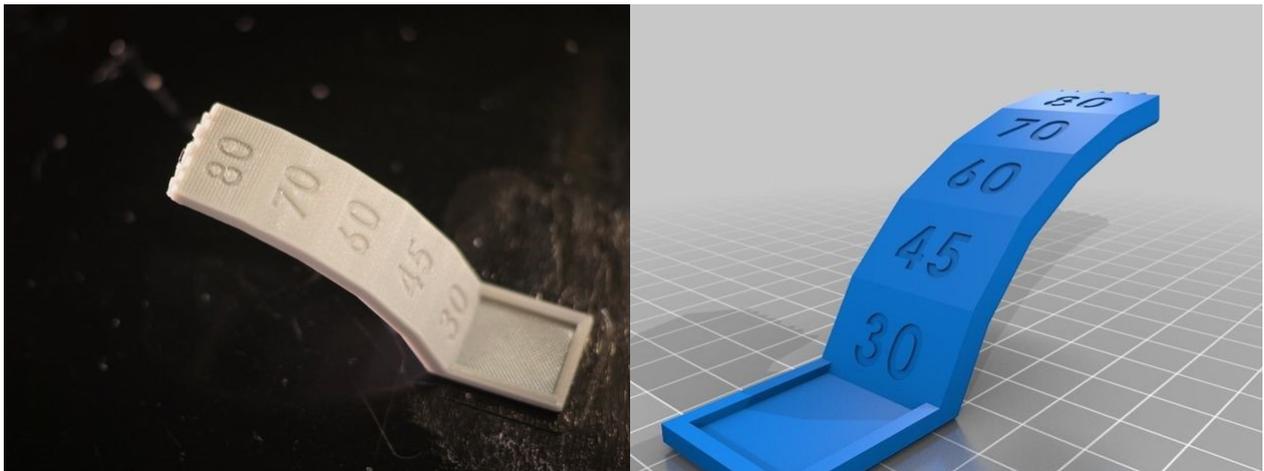


Come si vede a destra, il modello viene modificato per adattarsi alle sporgenze. Il vantaggio è il fatto che le stampanti 3D FFF possono effettivamente stampare piccole sporgenze.

La qualità di una stampante nello stampare delle sporgenze varia notevolmente e dipende dalla velocità di raffreddamento del filamento, dalla velocità della stampante, dal materiale utilizzato e da molti altri fattori. È possibile eseguire diverse stampe di prova per conoscere le prestazioni di ogni singola configurazione della stampante.

Guarda il modello qui sopra. Si presenterà come una lettera T una volta stampata?

Come accennato prima, la progettazione intelligente di una parte del modello per superare i limiti di un metodo di produzione, è importante come principio, sia per il metodo di produzione stampa 3D, che per la lavorazione CNC (lavorazione con macchine a controllo numerico), taglio laser o altri. Tuttavia, in alcuni casi ciò potrebbe falsare l'intenzione originaria del modello. Guarda il modello qui sopra. Si presenterà come una lettera T una volta stampata? Di conseguenza, le sporgenze possono essere gestite in molti modi e in diverse parti del processo di stampa 3D.



Di conseguenza, le sporgenze possono essere gestite in molti modi e in diverse parti del processo di stampa 3D.

Nella pagina successiva una piccola tabella mostra quando vengono applicati i diversi metodi di gestione delle sporgenze. La lezione "Design challenge 2: un ponte autostradale", che verrà descritta più avanti, è di solito un buon metodo per introdurre il concetto di "sporgenze" agli studenti.

Per chi invece è ai primi approcci alla stampa 3D, la prima fase sarà quello di progettare un ponte come lo si vede nella realtà. Consigliamo che gli studenti siano lasciati liberi di commettere errori e stampare oggetti anche se saprete già che non andranno a buon fine. Per lo studente è più facile affrontare le sporgenze se è in grado di mettere in relazione



l'esperienza reale di vedere una stampa fallita, piuttosto che una lunga lezione frontale su di essa.

TABELLA GESTIONE SPORGENZE

Metodo	CAD/design SW	Slicer	Post stampa
Aggiunta supporto	Supporto manuale	Supporto automatico	Ripulita
Cambio orientamento	Progettazione cambiando orientamento	Girare e riflessione	
Smart design	Progettare tenendo conto della stampa 3D		

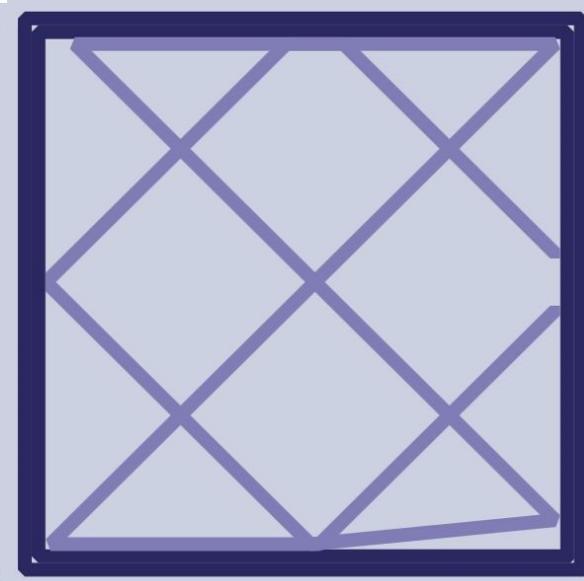
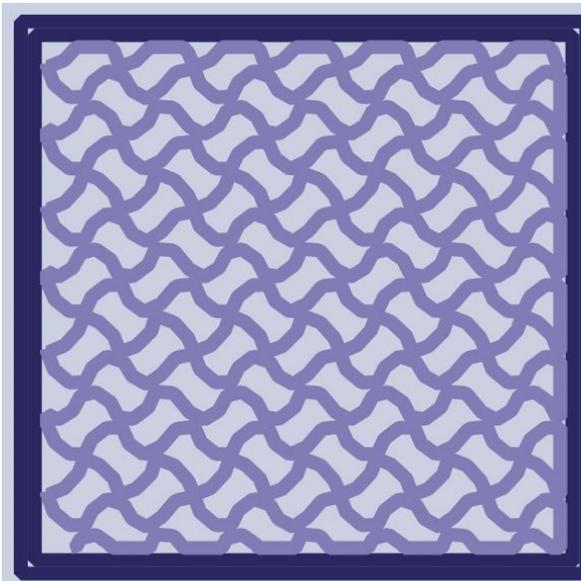
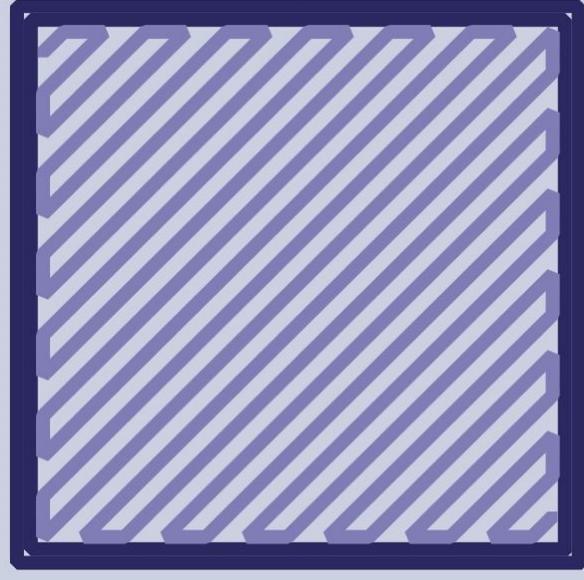
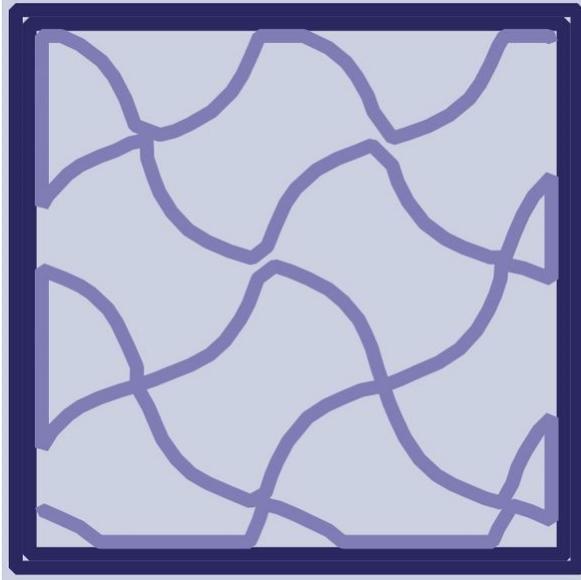
## Pareti e tipologie di riempimento

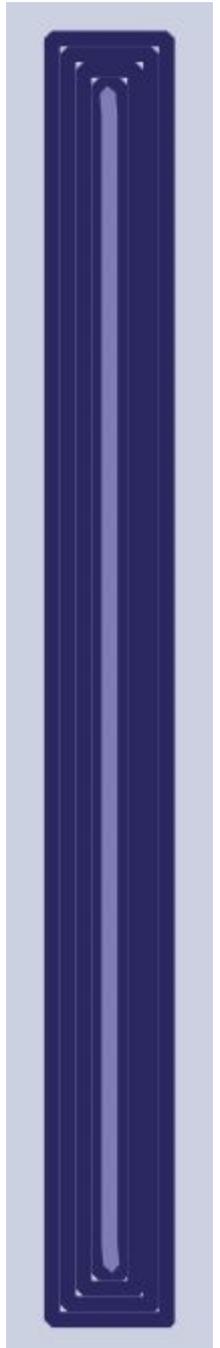
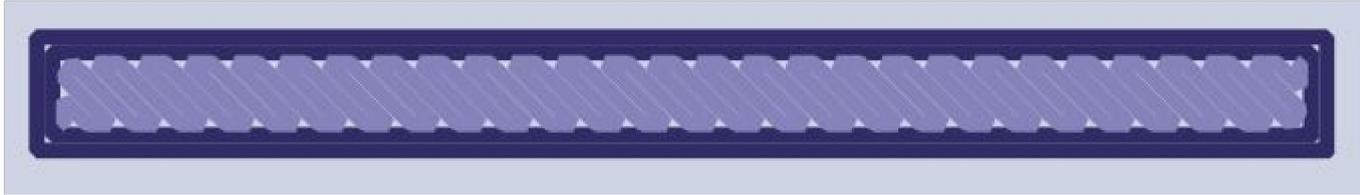
La maggior parte degli oggetti stampati in 3D non sono stampati come un solido, ma come un guscio con un interno per lo più vuoto. L'interno sarà costituito da una struttura di materiale stampato, denominato "riempimento".

Nel software di slicer è generalmente possibile controllare la densità di questo riempimento. Il valore predefinito è di circa il 20%, il che significa che il 20% della geometria interna dell'oggetto sarà costituito da plastica, mentre il restante 80% sarà costituito da sacche d'aria vuote. Per gli oggetti che non richiedono un'integrità strutturale significativa questo è di solito sufficiente. Tuttavia, la densità di riempimento può essere aumentata per acquisire una maggiore resistenza. La conseguenza è che questo aumenta l'uso del materiale e i tempi di stampa.

Esistono diversi tipi di riempimento con proprietà interessanti che si possono dare all'oggetto, ma il più comune, e uno dei più semplici, è il riempimento quadrato.

Di seguito vediamo un esempio di riempimento quadrato al 15% e 50%, e di riempimento Gyroid al 15% e 50%. La Gyroid ha molte proprietà interessanti e saremo lieti di rispondere a tutte le domande che avete su questo e altri tipi di riempimento.

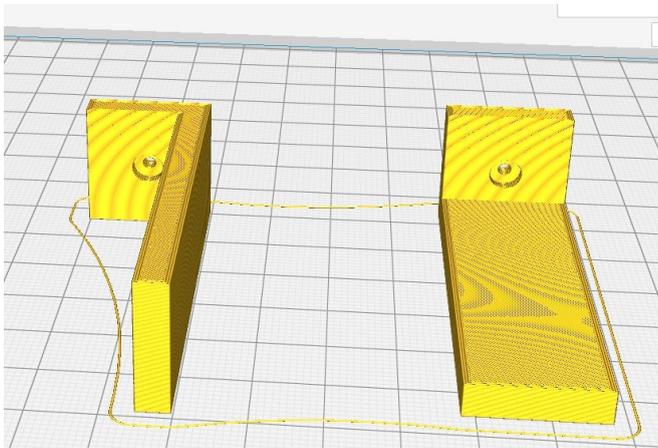
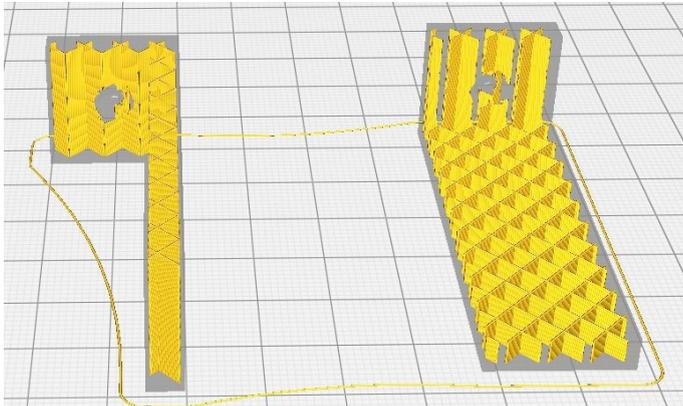




Il riempimento però non è l'unico fattore determinante nella resistenza di un oggetto. Le pareti esterne, o la quantità di strati, possono avere una grande influenza sulla resistenza di un oggetto. Sopra una

prospettiva dello stesso oggetto in cui può essere vista. L'unica differenza tra i due è che l'oggetto inferiore ha 4 strati, mentre l'oggetto superiore ne ha soltanto 2. L'aumento della quantità di strati può effettivamente aumentare la resistenza.

Di seguito un esempio di un supporto molto semplice visto con il software Cura. Nella foto in alto viene mostrato solo il riempimento, e nella foto in basso vengono mostrate le pareti esterne. Come avrete notato, l'oggetto è mostrato in due diversi orientamenti. La domanda è: sarà ugualmente resistente in ogni caso? Questo dipende in realtà da ciò che intendiamo con resistenza, come è mostrato nel prossimo esempio.

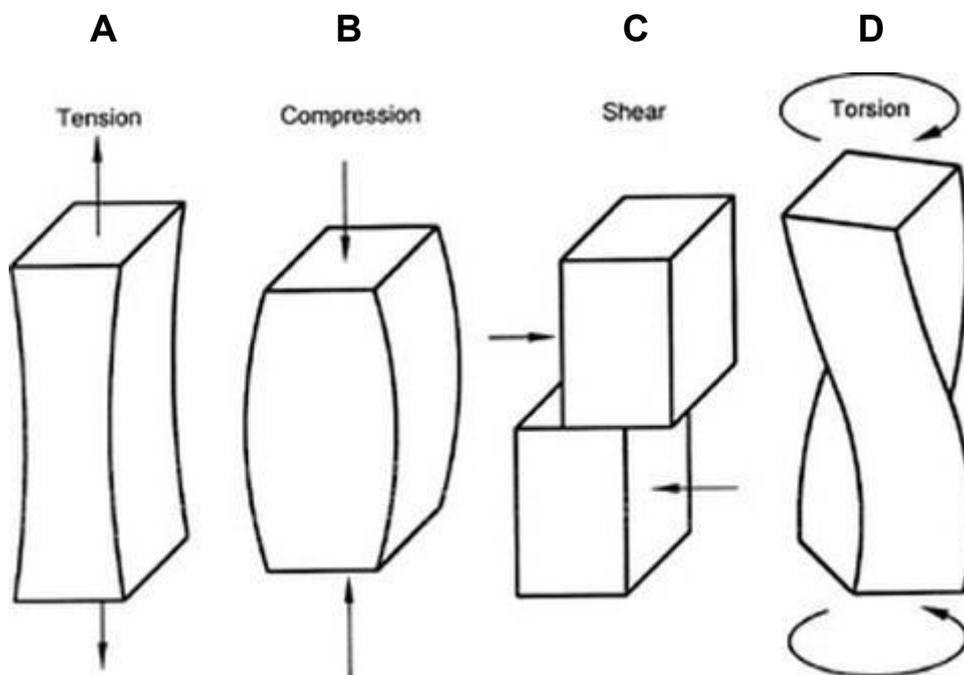


## Challenge disegno: tipi di resistenza e stampa 3D

Osserva il disegno della pagina successiva. È una rappresentazione di 4 diversi tipi di resistenza che un oggetto può avere nel campo dell'ingegneria strutturale: resistenza alla trazione, alla compressione, al taglio e alla torsione.

In questo esercizio bisognerà capire quale orientamento dell'oggetto si tradurrà nel valore di riempimento e di spessore di pareti esterne più alto per ciascuno di questi tipi di forza.

**Esercizio 1:** Disegna gli strati degli oggetti 3D raffigurati nei disegni qui sotto nell'orientamento che ritieni risulterà avere un valore più alto per ciascun tipo di resistenza.



**Esercizio 2:** Quali di queste forme ritieni che benefici maggiormente di un'alta percentuale di riempimento e quale di queste ritieni che benefici maggiormente di pareti esterne spesse a più strati? Segna quelli che pensi di seguito con una X.

	Alta percentuale di riempimento	Pareti spesse / Molti contours
A		
B		
C		
D		

Discuteremo i risultati in classe più tardi.

Il fatto che un oggetto stampato in 3D non sia ugualmente resistente su tutti i lati è indicato come "anisotropo". Questa proprietà deriva dal processo stesso di stampa 3D, che è quello di costruire oggetti da strati. Questo rende l'adesione tra gli strati come un fattore limitante riguardo alla resistenza. Per questo motivo, nell'esempio precedente, la resistenza è sempre più elevata, quando le forze si muovono in senso opposto agli strati, lungo il "guscio". Questo vale quando si progetta e si stampa un oggetto in cui si desidera un'alta resistenza. (Per maggiori informazioni si rimanda al "manuale di stampa 3D"). Per queste semplici figure, la resistenza ottimale per una parte specifica può essere trovata utilizzando le opzioni dello slicer. Tuttavia, per le parti più complesse che potrebbero richiedere diversi tipi di



resistenza in aree diverse, si dovrà pensare a queste cose già durante la modellazione CAD. Ecco un esempio di un semplice piano di lezioni, che può essere dato a studenti di varie età e che permetterà loro di esplorare quest'argomento in modo intuitivo.

## Design challenge 2: Un ponte autostradale

La sfida progettuale è stata sperimentata realmente in una delle nostre scuole partner. Si tratta di una buona introduzione alle impostazioni di base dello slicer, poiché i partecipanti spesso scopriranno argomenti come sporgenze, riempimento e contours di propria iniziativa, mentre stanno lavorando al progetto. Il programma delle lezioni è adatto anche per il lavoro di gruppo e può essere facilmente modificato per aumentare o diminuire la complessità, rendendolo adatto ad un'ampia fascia di età.

### Traccia:

Il ministero della logistica e dei trasporti ha riscontrato che molti dei ponti sulle autostrade del paese sono logori e dovranno essere immediatamente sostituiti. Sono alla ricerca di un imprenditore in grado di fornire loro un ponte che utilizzi poco materiale, ma che allo stesso tempo sia resistente. In questo compito il vostro team sarà l'appaltatore e progetterà un modello in scala dei ponti che possa convincere il comitato che il vostro progetto sia la scelta migliore.

### Requisiti del progetto:

- Progettare un modello del ponte in scala 1:500.
- Il ponte deve ospitare 4 camion che passano sotto di esso, e due auto che passano sopra di esso.
- Calcolare il costo del materiale del ponte, sapendo che 1 m<sup>3</sup> di cemento armato costa 210€.
- Verificare la resistenza del ponte posizionando gradualmente dei pesi sul ponte stesso fino al punto di rottura. Annotare il peso con il quale il ponte si è rotto, e questa sarà la misura della resistenza.
- Riprogettare il ponte in base all'esperienza acquisita con il ponte precedente, migliorando così la progettazione attraverso diverse iterazioni.

## Design e stampa

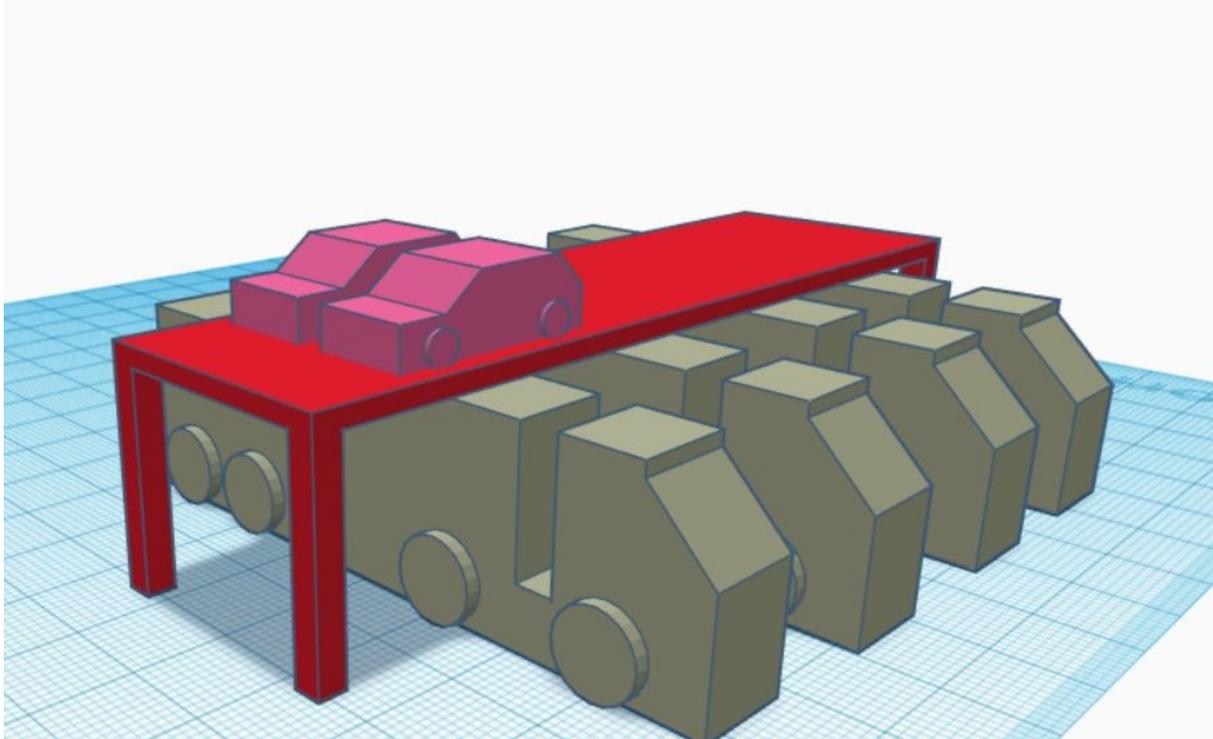
Progettare il ponte su Tinkercad, con cui si dovrebbe già avere una buona dimestichezza. Tuttavia, alcune caratteristiche di Tinkercad sono degne di menzione per questa parte. Fate riferimento alla scheda Tinkercad per trovare queste funzionalità.

**Importa:** Utilizzare questa opzione per importare i file car.stl e truck.stl. Si tratta di modelli in scala di auto e camion reali che è possibile utilizzare per progettare il ponte. Ricordate che il ponte deve ospitare quattro camion sotto e due auto sopra.

**Allineamento:** La funzione di allineamento può essere utilizzata per allineare uno o più modelli tra loro. Questa funzione può essere d'aiuto per questo progetto in quanto rende più facile lavorare con precisione.

**Piano di lavoro:** È possibile inserire un nuovo piano di lavoro per facilitare la costruzione di modelli uno sopra l'altro. Un piano di lavoro può anche essere aggiunto ai lati di un modello.

Una volta creato un modello di ponte, scaricare il file STL e caricarlo in REALvision. Si consiglia di stampare il primo modello abbastanza velocemente, in modo da ottenere diverse iterazioni.



Quando si fa scorrere il modello attraverso lo slicer, ricordarsi qual è il modo più efficiente per gestire le sporgenze.

## Calcoli e misure

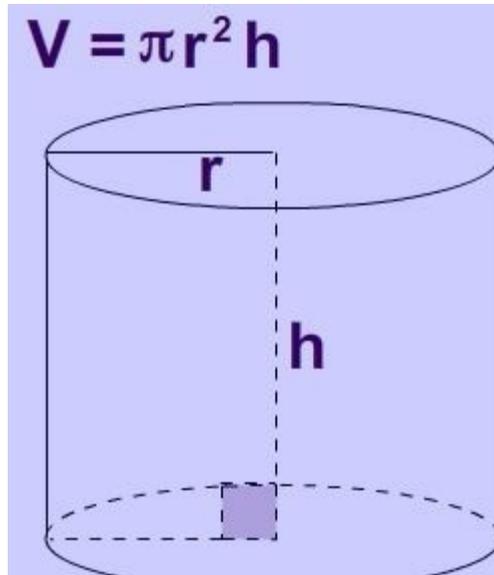
Per ogni ponte che progetterete e stamperete in 3D dovrete estrarre due fattori: il **prezzo** delle materie e la **resistenza** del modello. Il prezzo complessivo del cemento armato utilizzato dovrà essere ottenuto mediante un calcolo matematico, mentre la resistenza del ponte attraverso la sperimentazione.

### Prezzo

Nel software slicer di solito è possibile ottenere informazioni sul consumo di filamenti. Questo può essere dato in metri di filamento, o grammi di filamento.

Ricordate che il filamento è solitamente un cilindro lungo con un determinato diametro (in questa lavorazione il diametro è di 1,75 mm, ma si utilizza anche 2,85 mm). Utilizzando l'equazione per ottenere il volume di un cilindro dal suo **raggio (r)** e dalla sua **altezza (h)**, si

ottiene il volume di materiale utilizzato per il modello. Ricordate che il modello è stato progettato in **scala 1:500**. Infine ricordate che il **prezzo (p)** di un metro quadrato di cemento armato è di 210€. Si noti anche che il diametro del filamento è indicato in mm, mentre la lunghezza del filamento è in m. Può essere un vantaggio convertire tutte le unità in metri. Di seguito è riportata l'equazione che può essere utilizzata per questo calcolo:



$$Price = \pi \cdot r^2 \cdot h \cdot s^3 \cdot p$$

Una volta calcolato il prezzo, scrivetelo su un post-it. Il prezzo del ponte può essere calcolato durante che il primo ponte è in fase di stampa.

### Resistenza

Una volta che il ponte è stato stampato, la sua resistenza dovrà essere testata:



• Mettere delle pile di carta sopra il ponte, aumentando gradualmente il peso, fino a quando il ponte crolla.

• Annotare quante pile di carta il ponte è in grado di sostenere. Questa sarà la nostra misura di forza in questa lezione. Scrivete anche questo sullo stesso post-it.

## Autovalutazione e riflessione

Una volta che il ponte è stato progettato, il prezzo è calcolato, e la resistenza testata, utilizzare come strumento di valutazione quello definito come "Oresmian Coordinate System". Il sistema dovrà essere composto da due assi, relativi ai due fattori che abbiamo analizzato: prezzo e resistenza.

Una volta disegnato il sistema di coordinate porre il post-it con i dati nell'area corrispondente. Il sistema di coordinate può aiutare a pianificare la prossima iterazione del ponte.

Ora è possibile discutere le seguenti questioni:

1. In che punto del sistema di coordinate la struttura è ottimale?
2. Perché pensi che il tuo ponte è posizionato proprio in quel punto?

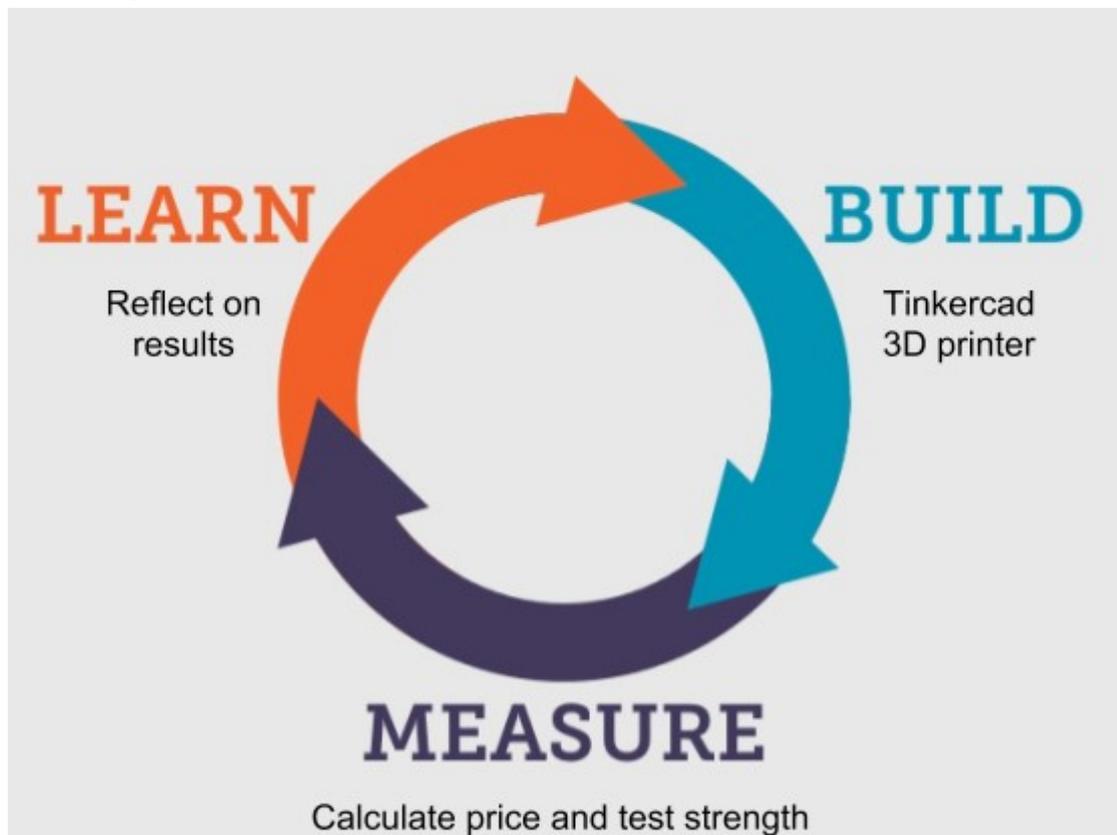


3. Confrontare la propria posizione con quella della concorrenza. Quali sono i maggiori punti di forza e di debolezza del vostro progetto?
4. Come potete migliorare il vostro progetto?

Una volta discusse le relative questioni nel vostro gruppo, tornate al tavolo da disegno!

Progettate una seconda iterazione del vostro ponte che sia migliore su almeno un asse. Guardate dove il tuo ponte si è rotto e usate questa conoscenza a vostro vantaggio.

Continuate con questo processo e passate attraverso il maggior numero di iterazioni finché avete tempo.



## Come bilanciare struttura e libertà in un progetto

Questo esempio di piano di lezione è un tentativo di trovare il perfetto equilibrio tra libertà e struttura in una lezione.

La stampa 3D come tecnologia è profondamente radicata nel "maker movement". La filosofia di questo movimento sta cominciando a influenzare il modo in cui è insegnata la tecnologia nelle scuole. Il maker movement sostiene il libero accesso a tecnologie potenti e una mentalità comunitaria di aiuto reciproco nell'apprendimento di nuove tecnologie e competenze. Le istituzioni educative a volte sono troppo rigorose e consolidate per attuare una lezione davvero efficace su questi nuovi temi. Tuttavia, quando le istituzioni educative si



accostano a questa filosofia, è importante guardare a entrambi i modi di insegnare per trarre il meglio da ciascuno.

La nostra ricerca presso le scuole locali ha evidenziato che i docenti preferiscono avere una certa struttura nelle loro lezioni. Questo capitolo si concentrerà su come unire il desiderio degli insegnanti a mantenere la loro struttura di insegnamento, con la filosofia dell'auto-apprendimento e pratica.

## Cosa dice la letteratura?

La maggior parte delle persone coinvolte con la tecnologia educativa avrà familiarità con le opere di Seymour Papert. Studente di Piaget, oltre che matematico, Papert scrisse libri come "Mindstorms" e "The Children's' Machine" che gettarono le basi per la sua teoria del "Costruzionismo".

Il Costruzionismo è un ulteriore sviluppo del Costruttivismo di Piaget: l'idea che i bambini "costruiscano" la conoscenza attraverso l'esperienza diretta piuttosto che attraverso un libro o un insegnante. Il Costruzionismo di Papert aggiunge a questa teoria che la "costruzione" della conoscenza da parte dei bambini, che avviene al meglio in situazioni in cui essi costruiscono oggetti personalmente significativi, che si tratti di una poesia, di un robot, di un programma per computer o di qualcos'altro. Il lavoro di Papert era incentrato sul computer e la programmazione (questo è ciò che egli si riferisce come la "children's' machine" nel libro dallo stesso nome). Sebbene Papert non si sia mai rivolto specificamente alle stampanti 3D (soprattutto perché la stampante desktop 3D così come la conosciamo oggi non era stata inventata all'epoca in cui era attivo sul campo), le sue teorie sull'insegnamento e la pedagogia sono ampiamente applicabili a questa tecnologia.

Uno dei concetti che Papert ha introdotto, che può essere applicato a queste lezioni, è il concetto di "micromondo". Questo si riferisce ad un ambiente di apprendimento in cui idee potenti e apparentemente complesse possono essere indagate in modo naturale ed esplorativo. Papert introduce uno di questi micromondi per l'apprendimento della fisica newtoniana, una materia che è spesso molto difficile da afferrare per i principianti. Papert suggerisce che la ragione di questo è il fatto che la fisica newtoniana sia sempre introdotta attraverso le equazioni matematiche che vengono utilizzate per descriverla. Come approccio alternativo Papert ha sviluppato un micromondo in cui i bambini potevano programmare diversi elementi che agissero attraverso le leggi della fisica newtoniana. Questo significa che possono avere una comprensione più naturale e intuitiva del concetto di fisica newtoniana senza la necessità di coinvolgere la matematica formale. Papert sostiene che, anche se il bambino non vede mai un'equazione, attraverso questo processo per lui sarà molto più facile relazionarsi con le equazioni vere e proprie quando verranno introdotte in un secondo momento, perché sarà in grado di collegarle attraverso un'esperienza diversa.

Sylvia Martinez autrice del libro "Invent to learn - Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom" valuta molti aspetti della filosofia del maker movement nel campo dell'istruzione. Uno di questi è stato trattare il tema "cosa rende valido un progetto", che lo ha definito in otto caratteristiche.

Di seguito cercheremo di spiegare brevemente come l'esercizio del progetto del ponte possa sostenere questi aspetti.

1. **Scopo e rilevanza** – Gli studenti stanno lavorando su un problema che è molto vicino ai problemi del mondo reale.
2. **Tempo** - E' importante dedicare tempo sufficiente al progetto. Sono necessarie circa cinque ore, anche con stampanti 3D veloci. Questo perché i ragazzi dovrebbero ottenere diverse iterazioni del loro disegno.
3. **Complessità** – Il progetto del ponte può introdurre il concetto di analisi finita e tecniche di costruzione a seconda del livello degli studenti.
4. **Intensità** – I ragazzi sono completamente immersi nella progettazione dei ponti. Abbiamo avuto studenti che hanno trovato la pausa pranzo estremamente fastidiosa e scomoda durante il loro flusso di lavoro.
5. **Connessione** – Lo scambio di informazioni tra i membri del gruppo in questo progetto è uno dei modi per insegnare il lavoro di squadra e la collaborazione. L'aspetto inaspettato è stato aver visto gli studenti aiutarsi a vicenda tra gruppi diversi, anche tra diversi livelli di istruzione e classi, per eseguire un buon test di resistenza.
6. **Accesso** - Abbiamo pianificato l'attività in modo che ogni gruppo di 3-4 studenti avesse la propria stampante 3D. Questo rendeva possibile pianificare da soli il processo di stampa. Gli studenti sono diventati lentamente maestri nella gestione del tempo. Ad esempio hanno dovuto ridisegnare il ponte dopo che avevano eseguito i calcoli del il progetto e osservato, una volta avviata la stampa, che la stampa completa avrebbe richiesto troppo tempo.
  7. **Condivisibilità** – La valutazione “Oresmian Coordinate System” rende la lezione condivisibile. Tutti gli studenti possono vedere, lavorare e confrontarsi tra di loro nei propri progressi.
8. **Novità** – Si scoprono gli elementi del ponte in modo autonomo. Gli studenti hanno solo una breve traccia di progettazione che descrive lo scopo e quali parametri dovrebbero funzionare bene. Da quel momento iniziano ad implementare traverse e archi, senza aver mai spiegato loro questi concetti che sono entrambe pratiche di ingegneria strutturale.

Mantenere i tempi di progettazione brevi è stato descritto da Martinez come una buona pratica di un progetto.

Nel caso della challenge del ponte:

- La traccia può essere molto breve con un obiettivo abbastanza semplice che può essere spiegato facilmente.
- La possibilità di avere una rapida dimostrazione di un test di resistenza, attraverso un ponte molto fragile, può essere sufficiente per spiegare come questo venga fatto.
- Bisogna assicurarsi che lo studente inizi a progettare velocemente poiché la risoluzione del calcolo può richiede più tempo, anche se questo può essere fatto ad hoc con risultati accettabili.
- L'apprendimento avviene dalle iterazioni del ponte e le esperienze dirette coinvolte in questo.

Il nostro progetto di ponte è un tentativo di creare un progetto o un micromondo per l'insegnamento dell'ingegneria strutturale attraverso una traccia chiusa ma guidata. I ragazzi acquisiranno conoscenze sull'analisi finita e sulle tecniche di costruzione, di norma non insegnate fino al livello universitario di ingegneria meccanica, architettura o campi simili.



Non stanno studiando le equazioni formali utilizzate, ma stanno invece acquisendo l'esperienza di apprendimento intuitiva Piagetiana. Essi apprenderanno le informazioni su ciò che rende una struttura di un ponte resistente, con l'esperienza diretta di accatastamento graduale di pesi sopra il ponte che hanno progettato loro stessi, con quella curiosità che spinge i ragazzi a cercare di capire quando il ponte crollerà completamente.

Abbiamo scoperto attraverso la nostra esperienza che gli studenti si diletano nel processo di rottura del ponte. Dopo tutto, con quale frequenza qualcuno ti permette di rompere le cose di proposito a scuola? In una lezione in cui gli argomenti sono approfonditi, insegnare il fallimento a volte è necessario per imparare. Il loro ponte non solo dovrebbe, ma deve fallire. Se il ponte non venisse spinto al suo punto di rottura non sapremmo come migliorarlo per la prossima iterazione. La lezione li costringe anche a riflettere sulla distruzione dei pesi che portano con sé conseguenze sul loro progetto. Non è solo distruzione per divertirsi, come si potrebbe vedere quando un bambino costruisce un castello di sabbia, solo per calciarlo pochi minuti dopo, sono costretti a ispezionare attentamente i danni che hanno arrecato al loro ponte e a trasformare ciò che scoprono in un nuovo progetto tangibile, che può essere nuovamente testato in questo processo iterato.

## Oresmian Coordinate System

L'idea di attività di apprendimento libere basate su progetti non è nuova, e anche le idee di Papert degli anni '80 si basavano sulle idee ancora più vecchie di John Dewey e Maria Montessori.

Con qualche esitazione possiamo dire che l'unica cosa che può essere considerata un nuovo metodo di analisi dei dati è quella sull'uso dell'Oresmian Coordinate System. In senso stretto, non si tratta altro che di più di due strisce di nastro adesivo, con le unità e la scala scritte su di esse. Tuttavia, l'effetto di questo aiuto didattico è stato osservato essere più idoneo per un risultato approfondito. Il sistema di coordinate rende evidente il carattere iterativo del processo di progettazione. Si possono vedere gli errori che avete commesso in una versione più chiara e capire come questo abbia cambiato le prestazioni nelle altre versioni. Il sistema di coordinate offre una grande opportunità per una discussione con gli studenti sul loro progetto, oltre a fornire feedback e domande sul loro processo, al fine di farli riflettere sulle loro future iterazioni. L'Oresmian Coordinate System può essere usato anche in altre lezioni, purché ci siano almeno due parametri su cui un oggetto possa agire.

## Design challenge: barche, catapulte, trottole

Di seguito una lista da cui trarre spunto per altre lezioni. Potete fare riferimento ai file ppt "We are the maker" e a "Getting started with 3D Printing Wemaker Template".



## Barche

Gli studenti possono trarre ispirazione dal seguente design su Thingiverse:

<https://www.thingiverse.com/thing:843646>

Riprogettare diversi componenti per ottenere una barca che possa andare più lontano, ma anche portare più peso (trasporto di monete per esempio). Qui si esploreranno argomenti come: Idrodinamica, attrito, principio di Archimede e baricentro.

## Catapulte

Progettare catapulte in grado di lanciare un oggetto predefinito nel modo più preciso possibile. Gli studenti dovranno, altresì, progettare una catapulta che abbia, sia la capacità di scagliare lontano un oggetto in modo approssimato, sia la precisione di colpire all'interno di un bersaglio. Pertanto, entrambi gli assi del sistema di coordinate avranno un'unità di lunghezza (distanza percorsa e distanza dall'obiettivo). La catapulta può essere composta da molte parti, un telaio, un braccio, una molla e molte altre. Tutti questi elementi possono essere ridisegnati individualmente per ottenere il miglior risultato. In questo modo gli studenti possono apprendere: balistica, curve paraboliche, principio di scala e leva e progettare un sistema composto da più parti, costringendoli così a pensare all'intero sistema in modo olistico.

## Trottole

La trottola è stato un giocattolo popolare per molti anni. È possibile trovare una versione completamente stampabile in 3D su questo sito web:

<https://www.thingiverse.com/thing:1395135>

Il vantaggio di questo design è che la maggior parte delle parti possono essere stampate con anticipo, prima dell'inizio dell'attività. Durante la lezione gli studenti possono concentrarsi sulla riqualificazione e il miglioramento di solo alcune parti chiave del progetto. I ragazzi potranno utilizzare l'Oresmian Coordinate System per tracciare il peso o il diametro e il tempo medio di rotazione della trottola. In questa lezione si parlerà di: inerzia, slancio, fisica newtoniana e coordinate di Eulero.

## Sommario

Questo manuale è una guida rapida su come iniziare a stampare in 3D in classe. Non si tratta in alcun modo di una guida completa, in quanto tale, molto probabilmente non potrebbe mai esistere. La stampa



3D è un settore in continua evoluzione e le tecnologie che insegniamo ora ai ragazzi saranno senza dubbio superate una volta che avranno iniziato la loro carriera. Pertanto, è importante rendersi conto che i risultati non vengono dall'insegnare ai studenti come modellare e stampare in 3D, ma dall'insegnare completamente altri elementi attraverso l'uso di questa tecnologia. Insegnare agli studenti che un disegno non è mai definitivo, che le cose possono essere migliorate attraverso le iterazioni, che è necessario fallire per riuscire in qualcosa, qualche volta risultano esempi di lezioni di vita piuttosto che lezioni di stampa 3D, gli studenti imparano idee potenti concentrandosi sulla parte virtuale, su ciò che si vuole ottenere con la stampa 3D, piuttosto che perdersi nelle specifiche degli slicer e qualità di stampa. La possibilità unica della stampante 3D è quella di vedere le proprie idee prendere vita davanti ai loro occhi e di essere in grado di testarli nella vita reale. Le possibilità di questa tecnologia sono ancora ben lungi dall'essere comprese, ma crediamo fermamente che gli usi veramente sorprendenti della tecnologia non verranno dalle menti della nostra generazione, ma della generazione a cui insegneremo.

## Sitografia

### Stampa 3D in generale

Il manuale per la stampa 3D <https://www.3dhubs.com/3d-printing-handbook>

Simplify3D ha una guida sia per la qualità di stampa che per i materiali  
<https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/> <https://www.simplify3d.com/support/print-quality-troubleshooting/>

### Tecnologia nell'istruzione e makerspace

“Invent to Learn: Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom”, *Sylvia Martinez e Gary Stager* <https://inventtolearn.com/>

“Meaningful making, Projects and inspirations for fab labs and makerspaces”, *Paolo Blikstein,*

*Sylvia Martinez* <http://fablearn.stanford.edu/fellows/page/meaningful-making-book>

“MINDSTORMS, Children, computers and powerful ideas”, *Seymour Papert*

<http://worrydream.com/refs/Papert%20-%20Mindstorms%201st%20ed.pdf>

Worlds of making <https://www.worldsofmaking.com/>

Makerbots 3D stampa manuale per l'istruzione [https://www.makerbot.com/educators-guidebook/?utm\\_source=thingiverse&utm\\_medium=education&utm\\_campaign=tv-makerbot-in-the-classroom](https://www.makerbot.com/educators-guidebook/?utm_source=thingiverse&utm_medium=education&utm_campaign=tv-makerbot-in-the-classroom)

### Software CAD

[www.tinkercad.com](http://www.tinkercad.com) <https://www.rhino3d.com/>



<https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>

<http://www.grasshopper3d.com/> <https://www.autodesk.dk/products/maya/overview>

<https://www.blender.org/>