

recrea**MATHS**

Manuale per la stampa 3D

Modulo di stampa 3D
di 20 ore per educatori
della scuola materna



Indice

Capitolo 1:

_____	4
Capitolo 1: _____	7
Che cos'è la Stampa 3D? _____	7
_____	Errore. Il segnalibro non è definito.
Storia – Concetti iniziali _____	9
Importanza della Stampa 3D _____	13
Avvicinamento alla Matematica _____	15
Concetti della Stampa 3D _____	15
Uso di mostre interattive nelle scuole materne, _____	17
musei e organizzazioni di matematica _____	17
Scelta della Stampa 3D per le Scuole e per l'Istruzione STEM _____	19
Pratiche migliori – L'esempio del MIND Institute California _____	21
Secondo i ricercatori del MIND, una stampante 3D può aiutare gli studenti a comprendere la matematica fondamentale e sofisticata in molti modi. In particolare, affermano che un prodotto finale stampato può dimostrare che è costituito da una rete di coordinate utilizzate per creare la struttura di un oggetto e che la tecnologia può essere utilizzata per mostrare agli studenti concetti come la simmetria assiale e come interagire con le forme geometriche.	
_____	23
_____	25
Capitolo 2: _____	25
Diversi processi di Stampa 3D _____	25
Fused Deposition Modeling (FDM) _____	26
Stereolithography (SLA) _____	27
Selective Laser Sintering (SLS) _____	28
_____	31
Parti di una stampante 3D _____	31
Ugello (collegato all'estrusore) _____	32
Estrusore _____	33
Hotend _____	33
Raffreddamento (Ventole di raffreddamento delle parti) _____	34
Superficie di costruzione / Letto di stampa _____	34
Visualizzazione di stampa _____	35
Preparazione della tua stampante 3D _____	35

Capitolo 3:	38
Guida introduttiva alla stampa 3D	38
Disegno tecnico & contenuti fondamentali	39
Proiezioni prospettiche	40
_____	41
Software di stampa 3D	41
Dove puoi ottenere i progetti del modello 3D?	42
Come puoi creare il tuo modello?	42
Software Computer-Aided Design (CAD)	42
Capitolo 4:	44
Introduzione a Tinkercad	44
Interfaccia Tinkercad	45
Navigazione con il mouse	46
Il menu delle forme	46
Modifica di forme 3D	47
Creare un buco	51
La pratica rende migliori:	53
Iniziamo a usare Tinkering!	53
➤ Posizionamento di un oggetto su Tinkercad	54
➤ Visualizzazione di un oggetto da diverse prospettive	54
➤ Spostamento di un oggetto sul piano di lavoro	55
➤ Rotazione di un oggetto	55
➤ Dimensionamento su Tinkercad	56
➤ Raggruppamento di forme	56
➤ Allineamento di forme	57
➤ Creazione di buchi	57
Piccoli progetti su cui esercitarsi	58
Esercizio di bowling	59
Tinker Cup	59
_____	61
Capitolo 5:	61
Software di Slicing: introduzione a Cura	61
Introduzione	62
generale	62
_____	63
Importazione di un file 3D	63



Preparazione del file 3D _____	64
Applicazione di parametri al file 3D _____	66
Slice, visualizzazione _____	68
& esportazione _____	68
Spedizione del G-code alla _____	71
stampante 3D _____	71
Fonti _____	75





Introduzione

Le stampanti 3D aprono un nuovo mondo di possibilità in classe. Questo approccio multidisciplinare combina i programmi di base con l'arte e la tecnologia per valorizzare le competenze accademiche degli insegnanti. Il modulo di 20 ore sulla modellazione e la stampa 3D fornirà agli educatori della scuola dell'infanzia il know-how necessario per utilizzare un software assistito da computer per ideare, progettare, illustrare e stampare i loro manipolatori matematici e le loro esposizioni tridimensionali. Partendo da alcuni concetti iniziali e fatti storici, il modulo illustra le fasi della stampa 3D, dall'idea al modello software, al file stampabile che suddivide l'oggetto progettato in strati stampabili, fino all'oggetto finito. Ai lettori vengono forniti progetti pratici e concreti su cui esercitarsi per muovere i primi passi nel mondo della stampa 3D!

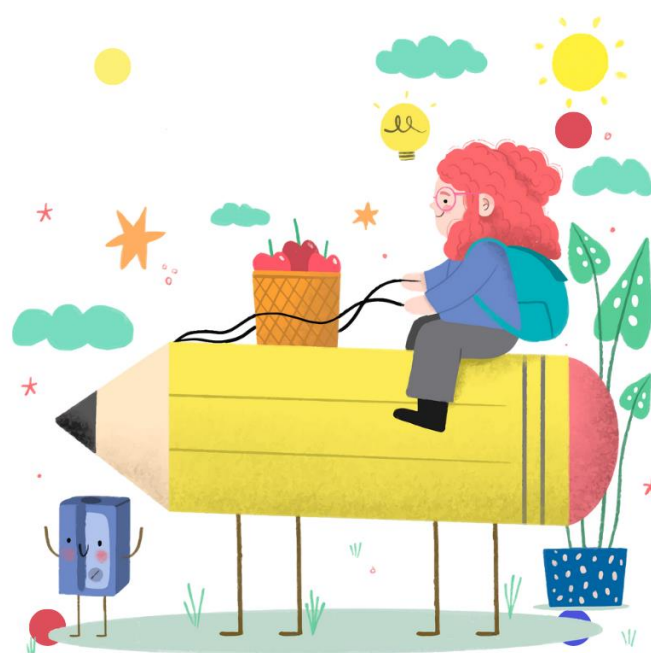




Unità 1

Cos'è la Stampa in 3D?

Concetti Iniziali & uso in Educazione





Capitolo 1:

Che cos'è la Stampa 3D?

Quando si usa la parola stampante, la maggior parte delle persone pensa alla stampante convenzionale che si usa a casa o in ufficio per stampare testi e immagini su carta. Tuttavia, i gadget stampano in uno spazio piatto bidimensionale (2D) utilizzando le dimensioni di lunghezza e larghezza. Una stampante tridimensionale (3D) utilizza lunghezza e larghezza, ma aggiunge anche profondità alla stampa. Questo trasforma una stampa piatta in un oggetto tangibile e utilizzabile.

Immagina di stampare un quadrato piatto su un foglio di carta appoggiato su un tavolo e poi di tirare la forma stampata "su" dalla superficie piatta, creando un cubo fisico che illustra come i lati si sollevano dalla superficie piatta durante il processo di stampa 3D.

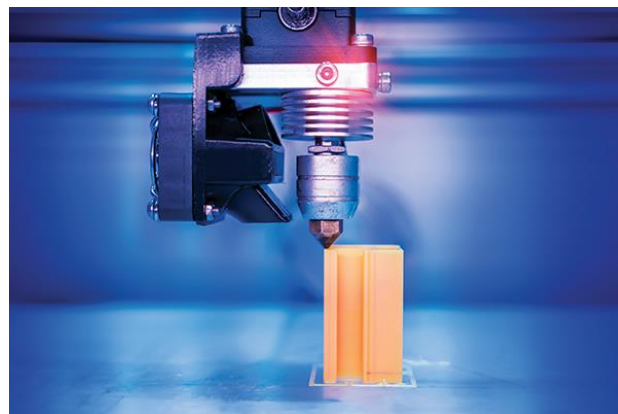


Figura 1 / Un modello 3D in fase di stampa

Fonte: satelliteprome.com

La stampa 3D è un processo di produzione in cui un **modello digitale (cianografia di un progetto 3D) viene creato utilizzando un software di computer-aided design software (CAD) e trasformato in un oggetto fisico tridimensionale aggiungendo materiale uno strato alla volta**. Esistono diversi metodi per fondere o ammorbidire il materiale per produrre gli strati. La tecnologia esiste dal 1990, ma solo nell'ultimo decennio se ne è compreso il



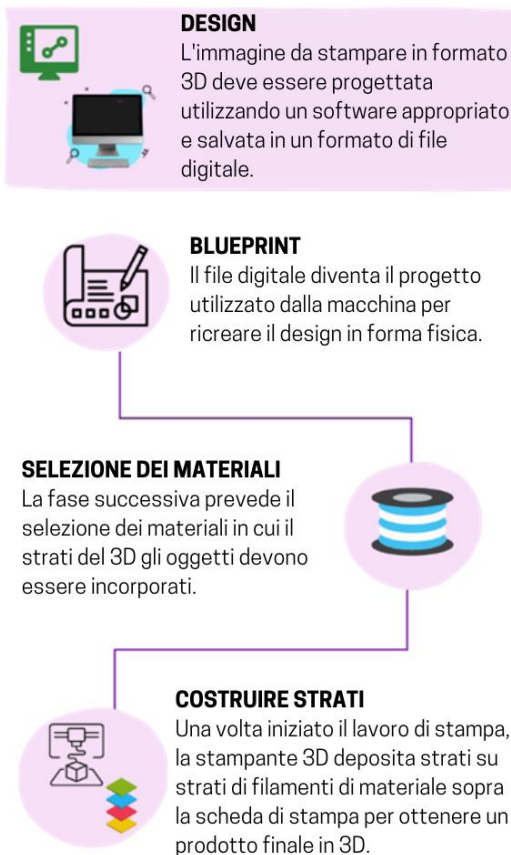
potenziale di cambiamento in tutti i settori. È nota anche come produzione additiva e sta cambiando il modo di produrre e creare, non solo nell'industria. I progetti innovativi sono utilizzati per sviluppare parti di macchine, arti protesici, abitazioni sostenibili e persino farmaci stampati in 3D.

Fabbricazione additiva è un termine generale che si riferisce a vari processi di fabbricazione che utilizzano strumenti di produzione per creare oggetti fisici 3D aggiungendo materiale.

La stampante 3D è un sottoinsieme di questo processo di fabbricazione perché aggiunge continuamente strati di materiale per costruire un oggetto fisico 3D. Si tratta di un processo diverso dalla produzione sottrattiva, in cui il materiale viene rimosso dalle risorse esistenti per creare un oggetto, o dal processo di consolidamento che combina parti più piccole e le fonde per creare l'oggetto progettato. **In sostanza, la stampa 3D è un metodo di produzione che prende un progetto digitale e crea un oggetto fisico in 3D costruendo strati di un materiale selezionato.**

LA STAMPA 3D IN SINTESI

Le cinque fasi fondamentali della stampa 3D



Storia – Concetti iniziali

Nel 1983 Chuck Hull inventò la stereolitografia, o stampa 3D, creando il primo pezzo stampato in 3D. **La macchina fu chiamata Stereolithographic Apparatus**, in quanto utilizzava la stereolitografia per le stampanti.



Figura 2 / La prima parte stampata in 3D, prodotta da Chuck Hull nel 1983

Fonte: historyofinformation.com

Dallo sviluppo di questa macchina, sono stati compiuti rapidi progressi nel campo della stampa 3D.

Il suo contributo al campo della medicina ha svolto un ruolo catalizzatore per il suo rapido sviluppo. Il primo organo cresciuto in laboratorio è stato trapiantato con successo in giovani pazienti, utilizzando un'impalcatura sintetica stampata in 3D e rivestita con cellule provenienti dal loro

stesso corpo.

Questo ha dimostrato che le materie prime utilizzate per creare gli oggetti possono spaziare dalla plastica al metallo, fino alle cellule umane. Le possibilità erano infinite e il futuro sembrava estremamente luminoso per la tecnologia della stampa 3D. Nello stesso anno, un'azienda chiamata "Objet" presentò una stampante 3D in grado di stampare oggetti utilizzando numerosi tipi di materie prime.

Nel 2008 è stata presentata **la prima stampante autoreplicante, in grado di "autoprodursi" stampando le proprie parti e i propri componenti**. Questo ha permesso agli utenti che avevano accesso a questo tipo di stampante di creare altre stampanti per altre persone, come amici e familiari.

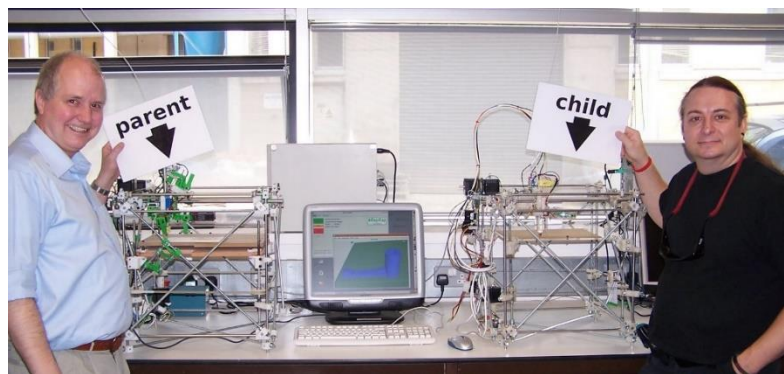


Figura 3 / La prima stampante autoreplicante: Tutte le parti in plastica a destra sono state prodotte dalla stampante 3D a sinistra

Fonte: Wikipedia.com

Più tardi, nello stesso anno, sono stati raggiunti importanti risultati nel campo delle protesi, quando una persona ha camminato con successo con una gamba protesica stampata in 3D composta da tutte le parti, compresi il ginocchio, il piede e l'invasatura, creati come parte della stessa struttura senza alcun assemblaggio.

MakerBot Industries, un'azienda open-source, ha iniziato a vendere kit fai-da-te nel 2009 che consentivano alle persone di creare le proprie stampanti 3D desktop. Negli anni successivi, l'uso della stampa 3D è esploso quando il primo aeroplano stampato in 3D ha sorvolato l'Università di Southampton, nel Regno Unito.



Figura 4 / Prima gamba protesica stampata in 3D

Fonte: all3dp.com

Lo sviluppo della Stampa 3D

La stampa 3D ha attraversato 3 fasi principali:

- la sua creazione (1981-1999)
- il suo sviluppo (1999-2010)
- la sua diffusione (2010-oggi)

- **Gli inizi della stampa 3D (1981 - 1999)**

L'introduzione del primo personal computer da parte di IBM nel 1981 ha aperto la strada alla diffusione della progettazione assistita da computer. Negli anni '80, poi, ci sono stati diversi progetti e temi di ricerca che si sono concentrati sulla stampa 3D, originariamente chiamata Stereolitografia (SLA), nel 1986.

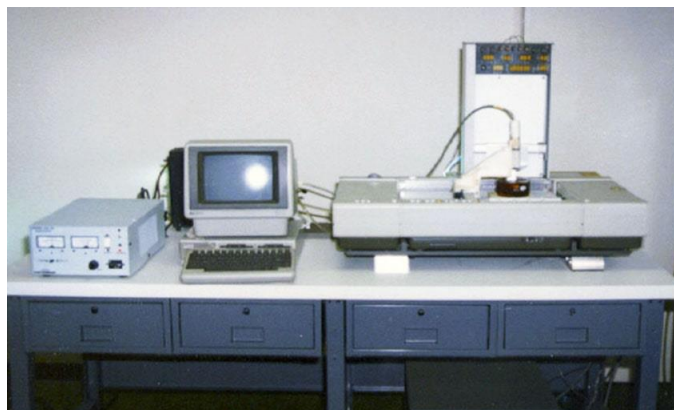


Figura 5/ La prima stampante 3D mai creata è stata realizzata nel 1983 da Chuch Hull.

Fonte: sculpteo.com

In meno di dieci anni sono stati brevettati tre diversi metodi, segnando la nascita della stampa 3D.

Gli anni '90 hanno visto lo sviluppo del primo sistema di prototipazione industriale e la produzione di applicazioni per la stampa 3D.

• Miglioramento della Stampa 3D (1999 - 2010)

Dagli anni 2000, la stampa 3D ha continuato a svilupparsi in molti settori di attività, aumentando significativamente in termini di visibilità e accessibilità e diventando gradualmente ampiamente disponibile.

Ecco alcuni esempi:

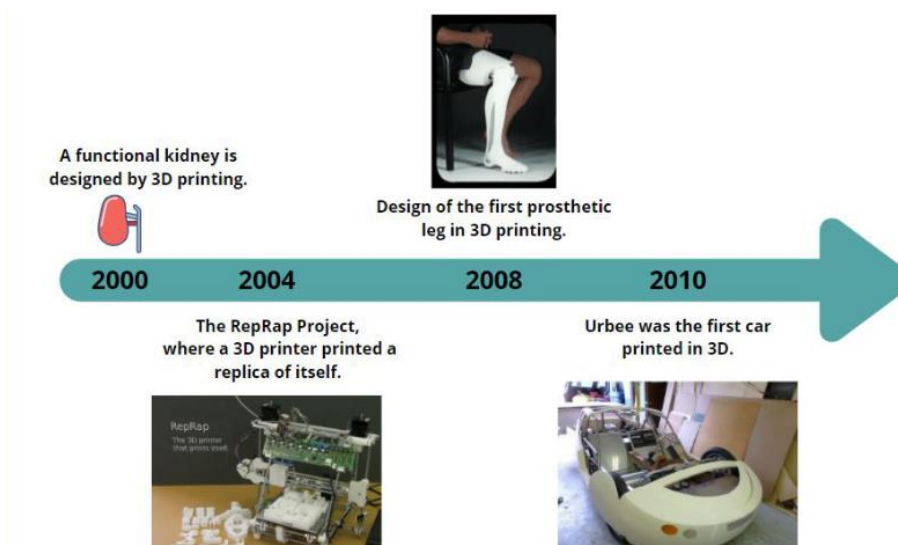


Figura 6 / Esempi delle prime applicazioni stampate in 3D di successo

Verso la fine degli anni 2000 (nel 2006), la stampa 3D ha guadagnato sempre più entusiasmo nel settore industriale con nuovi processi, materiali e molte nuove opportunità. In questo periodo, il mercato della stampa 3D si è aperto al pubblico, diventando più accessibile, più economico e più documentato.

• 2011 a oggi

La tecnologia di stampa 3D continua a svilupparsi e sempre più aziende comprendono i vantaggi che la produzione additiva può offrire loro. Considerando la diminuzione dei costi e i vantaggi di prototipazione offerti dalla stampa 3D, numerosi settori industriali l'hanno integrata completamente nelle loro iterazioni, innovazioni e processi produttivi.

Mentre la stampa 3D ha iniziato a essere utilizzata per la prototipazione, oggi diversi settori, come la medicina e l'architettura, stanno beneficiando di questa tecnologia. Inoltre, la facilità di accesso e il costo ridotto di questa tecnologia hanno permesso al pubblico, in generale, di utilizzarla per scopi accademici, arte, decorazione, creazione di pezzi di ricambio a casa e molte altre applicazioni.



Analogamente al modo in cui l'informatica era considerata la fucina dell'innovazione nei primi anni '70, anche la stampa 3D sta vivendo un analogo rinascimento. Agli inizi la tecnologia di stampa 3D era limitata alle industrie che potevano permettersi le costosissime stampanti 3D. Tuttavia, con l'abbassamento dei costi dovuto agli sviluppi tecnologici, le stampanti 3D desktop hanno consentito l'accesso agli hobbisti e a chiunque voglia provare la nuova tecnologia.

Come già discusso in precedenza, la stampa 3D viene utilizzata per diverse applicazioni in molti campi e anche per scopi didattici. Che cosa rende importante questa tecnologia emergente?

Cambiamento fondamentale dei processi di produzione

L'attuale processo di produzione commerciale utilizza le catene di montaggio per riunire le varie parti fino a quando il prodotto finale prende forma. La stampa 3D avrà enormi implicazioni per gli attuali processi di produzione.

Ad esempio, l'uso di una stampante 3D per la fabbricazione di prodotti in fabbrica richiederà solo l'invio di un progetto al computer alla stampante, eliminando così la necessità di catene di montaggio, poiché la stampante sarà in grado di sfornare prodotti completi.

Come già accennato, la tecnologia di stampa 3D rientra nei confini della manifattura additiva, che è l'opposto dei processi di manifattura sottrattiva in cui gli oggetti vengono "scolpiti" utilizzando numerosi strumenti. La prima, invece, costruisce l'oggetto strato per strato senza l'utilizzo di alcuno strumento. Ciò consente ai progettisti di ideare anche i progetti più complessi senza doversi

preoccupare di come verranno creati; le stampanti 3D possono generalmente stampare progetti complessi senza alcun problema.

La stampa 3D può produrre oggetti con strutture interne complesse, che altrimenti sarebbero quasi impossibili da realizzare con i metodi di costruzione tradizionali. Prendiamo l'esempio di una chiave regolabile: con i processi di produzione tradizionali, per creare una chiave regolabile sono necessarie diverse operazioni, tra cui la forgiatura, la rettifica, la fresatura e l'assemblaggio. La stampa 3D, invece, può creare questa chiave in un unico processo.

La stampa 3D ha il potenziale per essere più ecologica dei metodi di produzione tradizionali. Le stampanti 3D possono essere utilizzate per riparare vecchi oggetti, come le automobili che sono diventate obsolete (e il produttore non fornisce o crea più i pezzi di ricambio). A causa dell'indisponibilità di pezzi di ricambio per le vecchie auto, queste vengono solitamente riciclate o lasciate in discarica, danneggiando così l'ambiente.

Alcune persone hanno utilizzato le stampanti 3D per creare parti obsolete al fine di mantenere in funzione le loro auto. La stessa idea può essere applicata a quasi tutti gli altri prodotti in circolazione che possono essere rivitalizzati utilizzando le parti di una stampante 3D. Le possibilità sono davvero infinite. Anche qualcosa di semplice come una cover per il telecomando può essere creata, riducendo la necessità di gettare via il vecchio telecomando.

Localizzazione della produzione di articoli

La stampa 3D può essere utilizzata anche per localizzare la produzione di articoli, con conseguente cambiamento massiccio delle catene di approvvigionamento e della logistica. Invece di rifornirsi da un unico punto vendita, un'azienda sarà in grado di stabilire unità di produzione molto più piccole in tutte le aree che serve, riducendo così al minimo i costi di trasporto. Questo sarà un grande vantaggio per le aziende multinazionali che operano a livello globale. È possibile creare lotti più piccoli in posizioni strategiche per coprire efficacemente tutti i Paesi, riducendo al contempo le spese logistiche.

La maggiore efficienza offerta dalla stampa 3D aprirà inoltre la strada a una maggiore personalizzazione per i consumatori. Prima che la tecnologia di stampa 3D possa apportare cambiamenti significativi all'industria manifatturiera, deve prima affermarsi come pronta per la produzione di massa, mainstream; con i ritmi di miglioramento della tecnologia, potrebbe non essere lontano il giorno in cui, invece di acquistare prodotti, le persone compreranno i

progetti e stamperanno i prodotti utilizzando le loro stampanti 3D desktop! Tuttavia, mentre le idee di stampa 3D sono illimitate, sono lente quando si tratta di produrre molti oggetti. A seconda delle dimensioni e della qualità della stampante, la stampa può richiedere da ore a giorni. Nel prossimo anno, la stampa 3D continuerà a evolversi: le macchine diventeranno sempre più veloci e i lavori che attualmente richiedono giorni o settimane saranno completati in ore o addirittura minuti.

Avvicinamento alla Matematica

Concetti della Stampa 3D

Il rapido sviluppo delle tecnologie ha complicato la loro adozione e integrazione nello sviluppo professionale degli insegnanti di scuola materna.

Mentre diversi studi hanno esaminato lo sviluppo della tecnologia digitale fornita agli educatori della scuola materna in tutto il mondo, si sa relativamente poco della modellazione e della stampa 3D come strumento per lo sviluppo di materiale didattico per la prima infanzia.

Poiché le tecnologie emergenti stanno creando delle possibilità per gli insegnanti di andare oltre i metodi di insegnamento tradizionali, l'ispirazione a cercare nuovi modi di interagire con i problemi matematici è un argomento di grande interesse. La tecnologia di stampa 3D è un potente strumento didattico che può promuovere un'educazione STEM integrativa, collegando ingegneria, tecnologia e applicazioni dei concetti scientifici.



Figura 7 / Arte matematica stampata in 3D: Sierpiński Pyramid

Fonte: all3DP.com



Figura 8 / Studenti impegnati con oggetti stampati in 3D nelle scuole

Fonte: Simon Biggs via LinkedIn

La ricerca ha dimostrato che i bassi livelli di partecipazione e di rendimento in matematica non sono dovuti principalmente a una mancanza di capacità o di potenziale, ma a pratiche educative che negano l'accesso a esperienze di apprendimento significative e di qualità.

La modellizzazione matematica nelle pratiche didattiche è diventata un argomento di primo piano in tutto il

mondo, data l'importanza dell'alfabetizzazione matematica nella vita quotidiana. Tuttavia, gli insegnanti della scuola dell'infanzia spesso incontrano difficoltà nell'impegno STEM, mancando di materiale innovativo, moderno e pratico per avvicinarsi ai concetti matematici.

È qui che la stampa 3D offre un'ampia gamma di opzioni per l'apprendimento degli studenti, consentendo loro di entrare in contatto con i problemi non solo **dal punto di vista teorico e incorporando l'apprendimento visivo e tattile nelle loro lezioni**. Molti di questi problemi coinvolgono situazioni autentiche che devono essere interpretate e descritte matematicamente. Dalla scuola materna alla laurea, **le stampanti 3D aiutano gli studenti a rappresentare numeri e simboli con oggetti del mondo fisico**.

Inoltre, gli studenti imparano ad applicare la matematica con oggetti stampati in 3D, creando varie forme o giocattoli divertenti che integrano l'apprendimento della matematica. Qualsiasi oggetto rappresentato da un significato matematico può essere stampato e integrato nel curriculum. **Se combinata con la stampa 3D, esistono diverse opportunità per rispondere alle esigenze della modellazione matematica e aiutare gli studenti a esplorare la matematica in contesti autentici**.

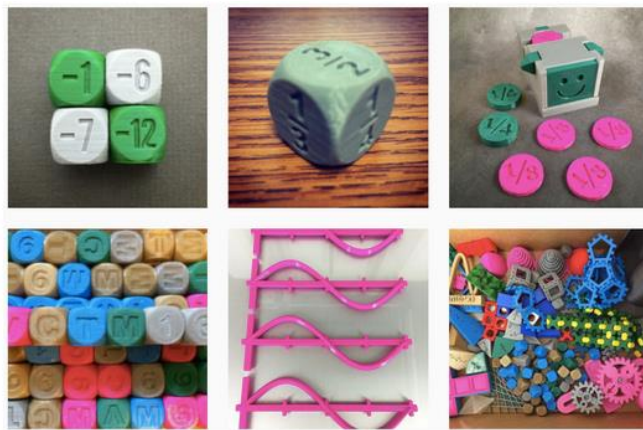


Figura 9 / Oggetti stampati in 3D nell'aula di matematica

Fonte: designermaketeach.com

Questa tecnologia in evoluzione rende la realizzazione di espressioni matematiche molto più accessibile, creando rappresentazioni tangibili che non erano possibili con i metodi didattici tradizionali. La stampa 3D ha reso la realizzazione di modelli matematici più accessibile che mai, aiutando le espressioni matematiche intangibili a prendere vita. Questi

modelli matematici stampati in 3D sono essenziali per l'apprendimento pratico e possono essere utilizzati come prototipi funzionali. Inoltre, il software di modellazione 3D consente agli educatori di progettare oggetti che non potrebbero creare senza il programma. Anche se la modellazione matematica potrebbe non essere l'obiettivo intenzionale di molte scuole dell'infanzia e istituzioni, ci sono molti esempi in cui è stata incorporata in contesti scolastici con un grande potenziale per l'introduzione di concetti matematici.

Uso di mostre interattive nelle scuole materne, musei e organizzazioni di matematica

Una delle sfide principali che gli insegnanti della prima infanzia devono affrontare è come soddisfare gli standard accademici creando al contempo ambienti di apprendimento che onorino le idee matematiche, la curiosità e la giocosità dei bambini. Gli studenti della scuola materna spesso considerano gli argomenti matematici impegnativi, poiché l'approccio di apprendimento tradizionale è diverso dalle attività pratiche e creative che di solito sperimentano nella routine quotidiana della classe.

L'inserimento di reperti matematici provenienti da musei internazionali può supportare le risorse degli insegnanti per quanto riguarda gli strumenti sperimentali e la pedagogia ludica dei concetti matematici. Tuttavia, trovare materiali pronti all'uso può essere impegnativo. È qui che la stampa 3D ha la soluzione!

La stampa 3D consente agli educatori di progettare esperienze di apprendimento personalizzate, adattate agli obiettivi e alle esigenze di ciascun insegnante. Le tecnologie di stampa 3D consentono agli educatori di fornire agli studenti prototipi fisici accurati e conoscenze pratiche e pratiche, utili per visualizzare e avvicinarsi ai concetti scientifici in modo "gamificato". Gli insegnanti possono sviluppare "manipolatori stampati in 3D", strumenti di apprendimento pratici che possono essere utilizzati per mostrare diversi risultati. La chiave è che gli studenti possono interagire con questi giocattoli e strumenti stampati, migliorando il loro apprendimento attraverso un approccio pratico.

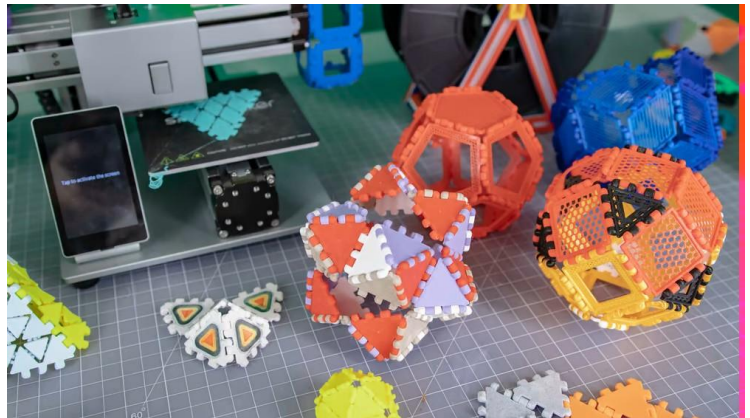


Figura 10 / Polipannelli stampati in 3D di varie forme e dimensioni, ma con i connettori dei bordi sempre uguali, che consentono di sbizzarrirsi con le idee

Fonte: All3DP.com

Con i progressi tecnologici in costante aumento, il ruolo della tecnologia di stampa 3D nell'istruzione si evolve molto più rapidamente. Le tecnologie di stampa 3D facilitano il miglioramento dell'apprendimento e lo sviluppo delle competenze e aumentano il coinvolgimento degli insegnanti nelle materie di studio della scuola materna.

Inoltre, la stampa 3D in chiave didattica permette agli educatori della scuola dell'infanzia di familiarizzare con gli strumenti digitali e l'innovazione tecnologica, fornendo loro risorse e materiali per la costruzione di moderni manipolatori matematici che rispondano alle loro particolari esigenze e obiettivi educativi.

La stampa 3D nell'istruzione mette in evidenza come gli artefatti stampati in 3D offrano vantaggi di apprendimento che non sono ottenibili con l'apprendimento su schermo o su carta. La comprensione migliora grazie alla sperimentazione dei bambini che toccano e osservano fisicamente gli oggetti stampati in 3D. I puzzle e i giochi stampati in 3D promuovono l'apprendimento attraverso l'esplorazione, invece di metodi obsoleti che si concentrano solo sull'apprendimento dai libri di testo. Quando gli studenti partecipano a progetti come il museo della matematica, vedono la matematica come più familiare di quanto pensassero,



aiutandoli a vedere la matematica come una bella disposizione di schemi e passaggi logici.

Per quanto riguarda gli aspetti tecnici, è fondamentale acquistare una stampante 3D adatta all'uso che si vuole fare di questa tecnologia per l'istruzione degli studenti. Le scuole hanno bisogno di stampanti robuste, costruite per soddisfare le esigenze dell'uso quotidiano in classe, ma anche accessibili e facili da usare.

Scelta della Stampa 3D per le Scuole e per l'Istruzione STEM

Le scuole di tutto il mondo si stanno sempre più orientando verso modi più creativi di insegnare agli studenti, introducendo piani di lezione più giocosi e pratici. Il mondo sta cambiando e l'istruzione deve adattarsi di conseguenza. Per questo motivo, sono state sviluppate diverse stampanti 3D appositamente per le aule scolastiche.

Tuttavia, la scelta di una stampante 3D per la propria scuola può essere una decisione difficile.

Da innumerevoli conversazioni con gli insegnanti, le loro considerazioni più importanti nella scelta di una stampante 3D riguardavano la **facilità d'uso, l'accessibilità economica, la durata e la sicurezza.**

Idealmente, una stampante 3D per le scuole dovrebbe essere accompagnata da piani di lezione, progetti di classe o esercizi interattivi. Le aziende produttrici di stampanti 3D, come Makerbot, Tinkering e Dremel, si sono concentrate sullo **sviluppo di stampanti 3D come strumenti didattici, offrendo piani completi e personalizzati per fascia d'età.**

Partendo dalla scelta più economica, la **stampante 3D Toybox** è più adatta ai bambini più piccoli per imparare la stampa 3D.

Un punto di ingresso delicato ed **economico** nel mondo della stampa 3D (*costa circa 300 euro*), il design accessibile e facile da usare della Toybox è pensato per gli studenti che sperimentano per la prima volta una stampante 3D. La funzionalità touch screen, la connettività Wi-Fi, l'ingombro ridotto, la compatibilità con il PLA atossico e biodegradabile "cibo per stampanti 3D" e il supporto per i dispositivi iOS/Android e i browser web consentono ai giovani



studenti di sperimentare la stampa 3D in modo semplice (3D Sourced Team, 2020).

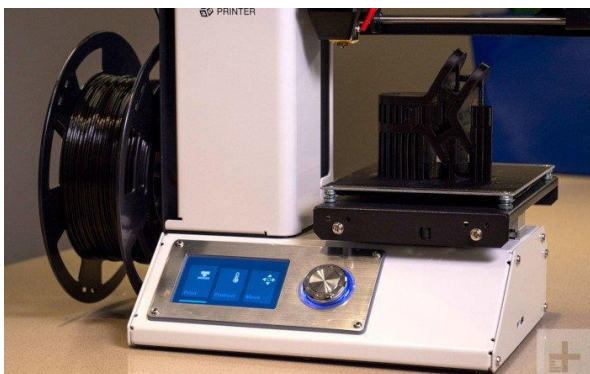


Figura 12 / Stampante 3D Select Mini V2

Fonte: <https://www.3dsourced.com/3d-printers/3d-printer-for-schools-education-children/>

Accade con le stampanti più chiuse. Non viene fornita con piani di lezione o guide didattiche, ma la Monoprice Select Mini V2 ha applicazioni per l'insegnamento della stampa 3D nelle scuole.



Figura 11 / Stampante 3D Toybox

Fonte: <https://www.3dsourced.com/3d-printers/3d-printer-for-schools-education-children/>

Anche se non è stata concepita come stampante 3D per l'istruzione, la **Select Mini V2** è una stampante 3D economica e abbastanza semplice da usare che ogni studente potrebbe avere la propria, allo stesso prezzo di una o due stampanti più costose. Inoltre, il suo design a pianta aperta consente agli studenti di vedere da vicino la stampa, cosa che non sempre

Sebbene sia più costosa (il suo prezzo si aggira intorno ai 3.800 euro), la facilità d'uso e il monitoraggio della stampa della **Ultimaker 3** (funzioni intelligenti di livellamento automatico, stampa remota via telefono) la rendono un'opzione fantastica per la stampa 3D nelle scuole. Grazie alla sua affidabilità, Ultimaker 3 è l'ideale per insegnare ai bambini la stampa 3D.



Figura 13 / Ultimaker 3 Printer

Fonte: <https://www.3dsourced.com/3d-printers/3d-printer-for-schools-education-children/>

A causa della mancanza di esperienza e della grande curiosità associata agli istituti scolastici, consigliamo una stampante 3D che prenda provvedimenti extra per snellire e semplificare il processo. Caratteristiche come il livellamento automatico del letto di stampa ([si veda il Capitolo 2 - Letto di stampa](#)), la connettività Wi-Fi e i controlli touchscreen eliminano gli aspetti più tecnici e di armeggio dall'equazione.

Caratteristiche come queste dovrebbero rendere la stampante accessibile non solo ai giovani studenti, ma anche agli insegnanti meno esperti che introducono per la prima volta la stampa 3D nelle loro classi.

È possibile trovare online dettagli sulle caratteristiche tecniche e sulle funzionalità delle stampanti 3D, con una serie di risorse che confrontano e recensiscono in modo approfondito diversi modelli e design.

Pratiche migliori – L'esempio del MIND Institute California

Un gruppo di insegnanti in California ha adottato un approccio "pratico", utilizzando manipolatori e giocattoli stampati in 3D per aiutare i bambini a imparare facendo.

Ki Karou, progettista di giochi didattici presso MIND, afferma che in passato è stato difficile fornire agli studenti gli strumenti necessari a causa di problemi di costo e di acquisto.

"Abbiamo visto la stampa 3D come un nuovo strumento tecnologico che non solo noi, ma anche altre persone, possono usare per arrivare nelle mani dei bambini", dice Karou.

"I bambini imparano meglio attraverso esperienze pratiche", conferma Karou. "I manipolatori, come classe di oggetti, sono un modo per prendere questi simboli astratti e farli vivere, in modo che i bambini possano capire concretamente come funziona la matematica".

Secondo MIND, un vantaggio della stampa 3D è che se uno strumento didattico dovesse rompersi o andare perso, gli insegnanti possono stamparne uno di ricambio e tornare al lavoro.

Ma l'uso delle stampanti 3D per insegnare i concetti matematici presenta una nuova serie di sfide. Karou sostiene che un distretto scolastico potrebbe dover fornire alcune nuove risorse per far funzionare efficacemente la nozione.

"Avrete bisogno di personale dedicato", dice Karou.

"Qualcuno che capisca come usare la tecnologia e possa esplorarla e trovare il modo di inserirla nel programma di studio". Questo sottolinea l'importanza dell'auto-motivazione e dell'interesse personale degli insegnanti.

Il MIND Research Institute dispone di un team di sviluppo dei contenuti che lavora allo sviluppo di strumenti didattici per fornire agli studenti l'aiuto concettuale di cui hanno bisogno per comprendere i concetti matematici.



Figura 14 / Il cofondatore e CEO del MIND Research Institute, Matthew Peterson, sostiene che l'apprendimento della matematica sarà più attraente per gli studenti quando passeranno dall'apprendimento basato sulle parole alle tecniche di apprendimento visivo.

Fonte: 3dprint.com

Matthew Peterson, cofondatore e amministratore delegato del MIND Research Institute, ritiene che l'aritmetica sarà più interessante per loro quando gli studenti passeranno dall'apprendimento basato sulle parole alle strategie di apprendimento visivo.

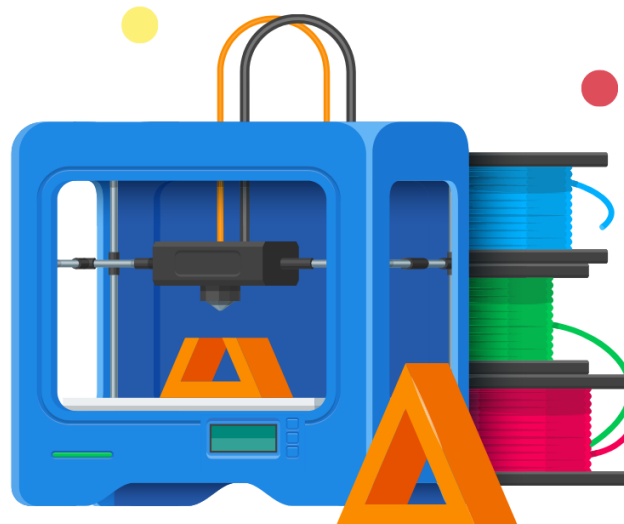


Secondo i ricercatori del MIND, una stampante 3D può aiutare gli studenti a comprendere la matematica fondamentale e sofisticata in molti modi. In particolare, affermano che un prodotto finale stampato può dimostrare che è costituito da una rete di coordinate utilizzate per creare la struttura di un oggetto e che la tecnologia può essere utilizzata per mostrare agli studenti concetti come la simmetria assiale e come interagire con le forme geometriche.



Unità 2

Processi di Stampa in 3D & Componenti della Stampante 3D



Capitolo 2:

Diversi processi di Stampa 3D

Tecnicamente, il termine "stampa 3D" si riferisce allo sviluppo di qualsiasi oggetto tridimensionale strato per strato utilizzando un progetto creato al computer. Le procedure utilizzate in questo tipo di produzione additiva sono diverse e variano in base alle modalità e ai materiali utilizzati durante lo sviluppo del prodotto. Tuttavia, a prescindere dal processo utilizzato, l'idea alla base della creazione di oggetti con la tecnologia di stampa 3D rimane la stessa, a partire dalla produzione di un modello 3D con l'ausilio di un software di computer-aided design (CAD) fino alla messa in funzione della macchina. Tuttavia, come si dirà più avanti, il processo tecnico effettivo utilizzato per creare l'oggetto fisico varia.

Ci sono quattro **diversi tipi** di processi di stampa 3D che probabilmente incontrerete:

- ✓ Fused Deposition Modelling (FDM)
- ✓ Stereolithography (SLA)
- ✓ Selective Laser Sintering (SLS)

Fused Deposition Modeling (FDM)

Il Fused Deposition Modeling (FDM) è il processo di stampa 3D più conosciuto. Si tratta di una tecnica bottom-up basata sulla fusione del filamento e sul suo deposito su un tavolo, strato per strato, secondo il modello affettato. FDM utilizza soprattutto **materiali a base di plastica**, come il polylactide (PLA) o la acrylonitrile butadiene styrene copolymer (ABS). Il processo di stampa per deposizione fusa è una tecnologia di produzione additiva utilizzata per applicazioni di modellazione, prototipazione e produzione. Anche questo metodo funziona creando un oggetto strato per strato. Tuttavia, esistono alcune differenze nel modo in cui i materiali vengono utilizzati da questa tecnologia.

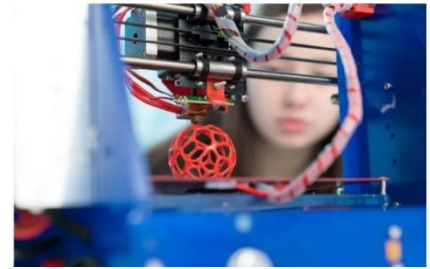


Figura 15 / Stampante 3D FDM in lavorazione

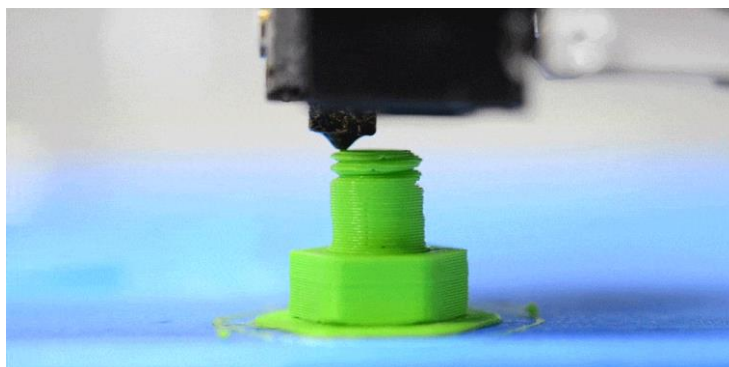
Fonte: sinterit.com

Come funziona

Le **stampanti 3D** che utilizzano la tecnologia FDM costruiscono un oggetto strato per strato, riscaldando un materiale termoplastico allo stato semiliquido. Per completare la stampa, FDM utilizza due materiali: un materiale di modellazione e un materiale di supporto. Il primo costituisce il prodotto finale, mentre il secondo funge da impalcatura.

Le materie prime vengono fornite dagli alloggiamenti della stampante e la testina della stampante è progettata per muoversi in base alle coordinate X e Y, controllate dal computer. Si muove in verticale (asse Z) solo quando uno strato è stato completato.

I vantaggi offerti da FDM la rendono adatta all'uso negli uffici, in quanto è un metodo pulito e facile da usare.



Stereolithography (SLA)



Figura 16 / La stampante 3D SLA fa la sua magia

SLA ha il merito storico di essere la prima tecnologia di stampa 3D al mondo. Il stereolithography è stato inventato da Chuck Hull nel 1986, che ha depositato un brevetto su questa tecnologia e ha fondato la società 3D Systems per commercializzarla.

Come funziona

Una **stampante 3D SLA** inizia con un eccesso di plastica liquida. Una parte di questa plastica viene polimerizzata (o indurita) per formare un oggetto 3D.

Ci sono quattro parti principali in una stampante SLA:

- Una stampante riempita di plastica liquida
 - Una piattaforma perforata
 - Un laser UV
 - Un computer che controlla sia il laser che la piattaforma

Per cominciare, uno strato sottile di plastica (tra 0,05 e 0,15 mm) viene esposto sopra la piattaforma. Il laser "disegna" il modello dell'oggetto sulla piattaforma, come indicato nei file di progettazione. Non appena il laser tocca il materiale, questo si indurisce. Questo processo continua fino alla costruzione dell'intero oggetto.

Gli oggetti creati con lo SLA sono generalmente lisci, mentre la qualità dell'oggetto dipende dalla complessità della macchina SLA.



Selective Laser Sintering (SLS)

SLS è una delle tecnologie di stampa 3D più utilizzate. Durante il processo di stampa SLS, minuscole particelle di ceramica, vetro o plastica vengono fuse insieme da un laser ad alta potenza. Il calore del laser fonde insieme queste particelle per formare oggetti 3D.

Carl Deckard, studente universitario presso l'Università del Texas, insieme al suo professore Joe Beaman, ha sviluppato e brevettato questo processo negli anni Ottanta.



Figura 17 / Stampa 3D SLS; il laser viene utilizzato per solidificare e incollare grani di plastica, ceramica, vetro, metallo o altri materiali in strati per produrre un oggetto 3D.

Fonte: [Mindware Redefining Technology and Human Touch](#)

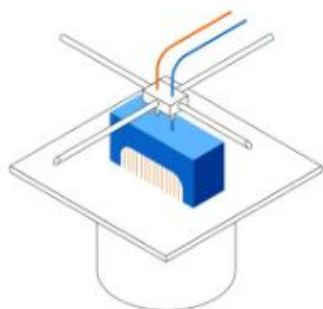
Come funziona

Come tutti gli altri processi di stampa 3D, il processo di creazione di un oggetto con una macchina SLS inizia con la progettazione di un modello 3D mediante un software CAD. Questi file vengono poi convertiti in .STL, che è riconoscibile dalle stampanti 3D.





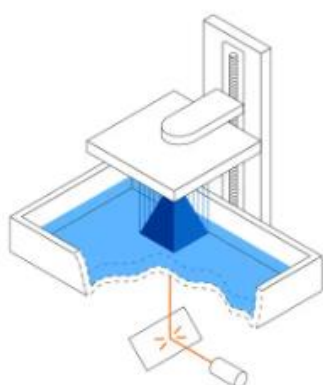
3D Printing Technologies for Plastics



FDM Fused Deposition Modeling

- Melts and extrudes thermoplastic filament
- Lowest price of entry and materials
- Lowest resolution and accuracy

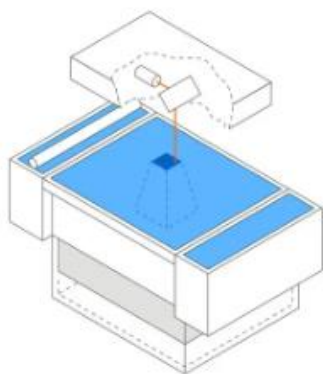
BEST FOR:
Basic proof-of-concept models and simple prototyping



SLA Stereolithography

- Laser cures photopolymer resin
- Highly versatile material selection
- Highest resolution and accuracy, fine details

BEST FOR:
Functional prototyping, patterns, molds and tooling



SLS Selective Laser Sintering

- Laser fuses polymer powder
- Low cost per part, high productivity, and no support structures
- Excellent mechanical properties resembling injection-molded parts

BEST FOR:
Functional prototyping and end-use production

Figura 18 / Processi di stampa 3D

Fonte: <https://formlabs.com/>



Tutti i tipi di processi di stampa 3D hanno alcune cose in comune: **richiedono un modello 3D in formato .STL** per consentire alla stampante di comprendere i progetti che deve sviluppare.



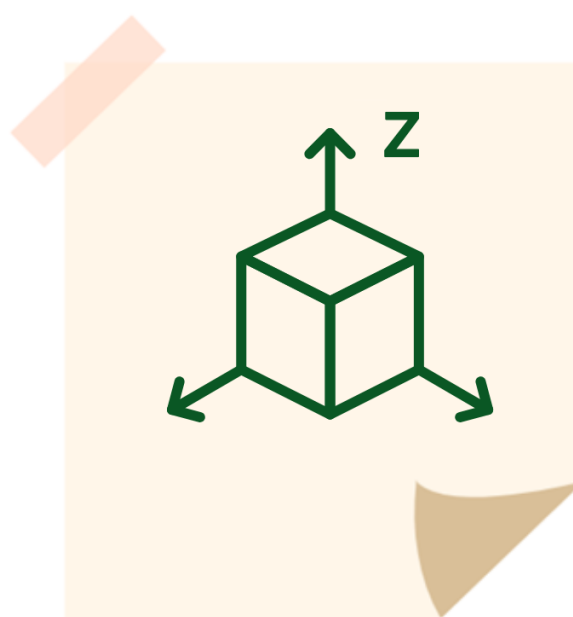
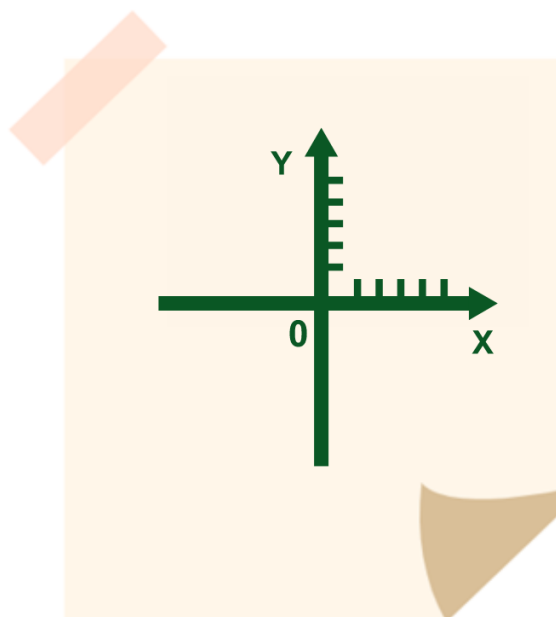
Tutti I tipi di stampanti 3D **costruiscono oggetti strato per strato**; la differenza principale risiede nella tecnica di solidificazione delle materie prime, nonché la natura delle materie prime stesse.



Parti di una stampante 3D

Se sei un principiante **che vuole iniziare a stampare in 3D, la tua prima stampante 3D sarà molto probabilmente una stampante FDM**. Il modo più semplice per capire come funziona la FDM è imparare a conoscerne i componenti. Prima di parlare dei componenti specifici, però, è bene ricordare che la maggior parte delle stampanti 3D utilizza **tre assi: X, Y e Z**.

Gli assi X e Y sono responsabili rispettivamente dei movimenti orizzontali a sinistra e a destra, in avanti e indietro, mentre l'asse Z gestisce i movimenti verticali.



Vediamo i **componenti principali di una stampante 3D**:

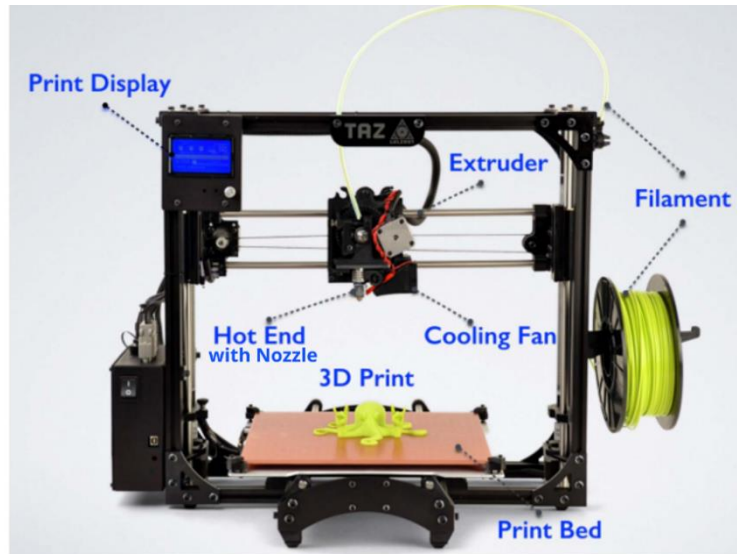


Figura 19 / Componenti principali di una stampante 3D FDM

Fonte: <http://my3dconcepts.com/explore/main-components-of-desktop-3d-printers/>

Ugello (collegato all'estrusore)

I diametri degli ugelli hanno un impatto su diversi aspetti della stampa, tra cui la precisione e la velocità. Quando si sceglie un ugello, **l'obiettivo è bilanciare velocità e precisione.**

0.2mm 0.3mm 0.4mm 0.5mm 0.6mm 0.8mm 1.0mm



Ugelli più grandi (>0.4 mm)	Ugelli più piccoli (<0.4mm)
✓ Tempo di stampa più rapido	✓ Alta precisione
✓ Meno manutenzione / errori legati agli ugelli	✓ Maggiore manutenzione - intasamento



In genere, la maggior parte delle persone utilizza ugelli da 0,4 mm in quanto offrono un buon equilibrio tra velocità e precisione. **Per questo motivo, è comunemente consigliato l'uso di ugelli da 0,4 mm.**

Estrusore

L'estrusore è una delle parti più importanti della stampante. Conosciuto anche come cold end, **ha il compito di guidare e condurre il filamento dalla bobina all'hotend per la fusione.**

L'estrusore è la parte superiore del gruppo estrusore. Il suo compito è quello di trasportare e spingere il filamento nella parte inferiore del gruppo, l'estremità calda.



Figura 20 / Estrusore di una stampante 3D

Fonte: <https://3dprinterly.com/wp-content/uploads/2021/08/What-Are-the-Parts-of-a-Filament-3D-Printer-Extruder-3D-Printerly.jpg>

Hotend



Figura 21 / Hotend

Fonte:

<https://8059blank.github.io/individual/3D-printers-102/>

L'hotend è un'altra parte essenziale della stampante 3D. È la parte che fonde, estrude e deposita il filamento sul letto della stampante per la stampa.

Dopo che l'estrusore alimenta il filamento nell'hotend, il filamento passa attraverso un percorso riscaldato chiamato zona di fusione. Qui il filamento si scioglie per effetto del calore. Grazie alla pressione dell'estrusore, viene spinto fuori dalla piccola apertura dell'ugello.

Raffreddamento (Ventole di raffreddamento delle parti)

Le ventole di raffreddamento dei pezzi **raffreddano la plastica calda appena estrusa, appena uscita dall'ugello**. In questo modo si eliminano vari tipi di problemi di stampa. Tuttavia, alcuni materiali, come l'ABS, creano maggiori problemi con la ventola di raffreddamento dei pezzi attivata. Pertanto, si consiglia di verificare sempre se la ventola di raffreddamento è necessaria per i diversi materiali. **Per la maggior parte dei filamenti, come il PLA, si consiglia di utilizzare una ventola di raffreddamento.**



Figura 22/ Ventole di raffreddamento

Fonte: <https://8059blank.github.io/individual/3D-printers-102/>

Superficie di costruzione / Letto di stampa

La superficie di costruzione della stampante 3D si riferisce alla piattaforma su cui viene depositato il filamento per formare la stampa. A seconda del modello di stampante, la superficie di costruzione può essere stazionaria o muoversi in una direzione specifica.

Nella stampa 3D, la qualità della stampa è fortemente influenzata dal primo strato e dall'adesione della superficie di costruzione. Pertanto, la superficie di costruzione svolge un grande ruolo nel processo di stampa.

A seconda del tipo del materiale del filamento, ci sono diversi aspetti da considerare quando si usa un letto di stampa. Questi elementi includono:

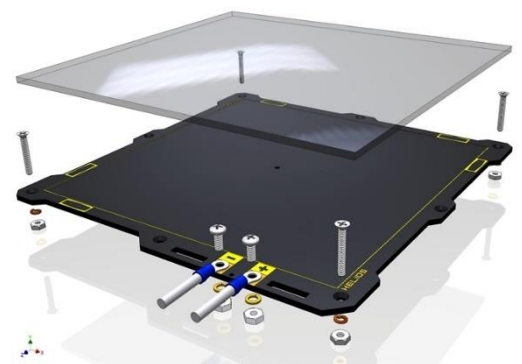


Figura 23 / Superficie di costruzione – Letto di stampa

Source: <https://8059blank.github.io/individual/3D-printers-102/>

- ✓ **Riscaldamento:** Alcuni letti di stampa sono dotati di un cuscinetto riscaldante per aumentare la temperatura della superficie di costruzione. L'aumento della temperatura favorisce l'adesione del primo strato e la deformazione.
- ✓ **Materiale:** Il materiale della superficie di costruzione determina anche le sue prestazioni. Determina la resistenza della superficie di costruzione al calore e la capacità del filamento di aderire ad essa.

Visualizzazione di stampa

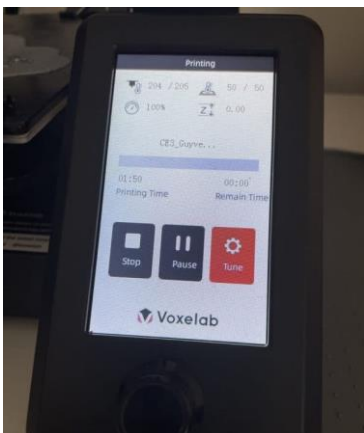


Figura 24 / Visualizzazione di stampa

Fonte: <https://3dprinterly.com/wp-content/uploads/2021/08/What-Are-the-Parts-of-a-Filament-3D-Printer-Control-Screen-3D-Printerly.jpg>

Il display di stampa (o box di controllo) è l'interfaccia uomo-macchina della stampante 3D. È il modo in cui l'operatore della stampante comunica direttamente con la stampante 3D senza utilizzare un PC o un altro dispositivo.

Utilizzando il box di controllo, l'operatore **può avviare, mettere in pausa o interrompere la stampa**. Può anche caricare i file di stampa da supporti esterni come una chiavetta USB o una scheda SD. Tutto dipende dal tipo di firmware caricato sulla stampante.

L'interfaccia della centralina può essere un touchscreen o un semplice LCD con pulsanti fisici o una manopola di controllo.

L'interfaccia della centralina può essere un touchscreen o un semplice LCD con pulsanti fisici o una manopola di controllo.

Preparazione della tua stampante 3D

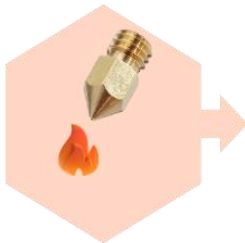
Il processo inizia quando si invia un file di modello 3D alla stampante. Il file contiene una serie di istruzioni per tutto, **comprese le temperature a cui**

mantenere l'ugello e la piattaforma di costruzione, nonché le modalità di spostamento dell'ugello e la quantità di filamento da estrarre.

1. Quando inizia il lavoro di stampa, l'ugello si riscalda. **2.** Quando l'ugello raggiunge la temperatura necessaria per fondere il filamento, l'estrusore spinge il filamento nell'estremità calda. A questo punto, la stampante è pronta per iniziare la stampa 3D del pezzo. **3.** La testina di stampa si abbassa e inizia a depositare il filamento fuso, spremendo il primo strato tra l'ugello e la superficie di costruzione. **4. e 5.** Il materiale si raffredda e inizia a indurirsi poco dopo essere uscito dall'ugello, grazie alla ventola (o alle ventole) di raffreddamento della parte. Una volta completato lo strato, la testina di stampa si sposta leggermente verso l'alto lungo l'asse Z e il processo si ripete fino al completamento del pezzo.

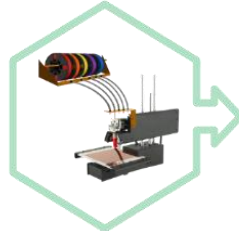
1. Heating Up

In order to print, the **nozzle** heats up and reaches the required temperature to melt the filament



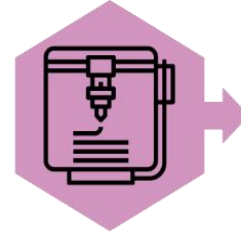
2. Pulling the filament

The filament is fed to the extruder via a motor that ensures the correct volume of plastic is laid down as it moves.



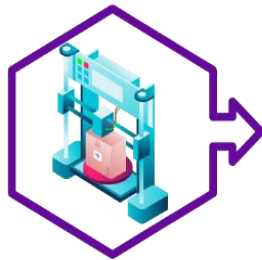
3. Actual 3D Printing

The extruder lowers and starts depositing molten filament, squeezing out the first layer between the nozzle and the build surface.



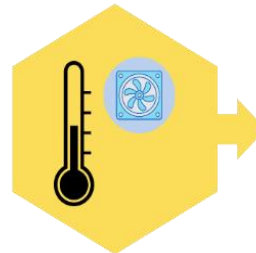
5. Final Product

The material cools and begins to harden shortly after exiting the nozzle, thanks to the part cooling fan (or fans).



4. Cooling

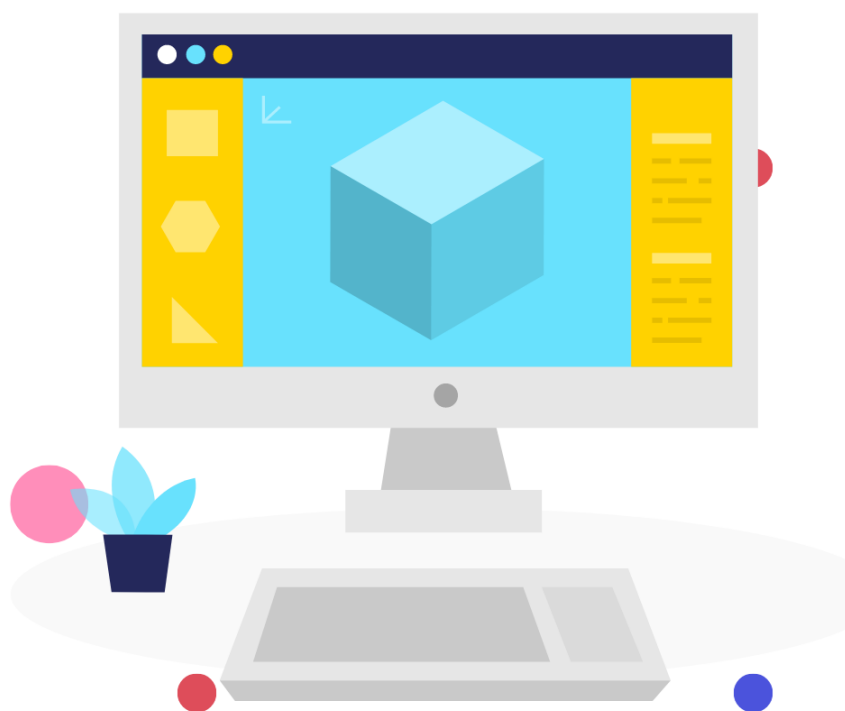
The material cools and begins to harden shortly after exiting the nozzle, thanks to the automated cooling part (or fans).



Unità 3

Iniziare con la Stampa in 3D

Introduzione a Tinkercad &
Esercizi



Capitolo 3:

Guida introduttiva alla stampa 3D

Prima di addentrarci nella trattazione dei software di stampa 3D, è opportuno ripercorrere brevemente il processo di modellazione-stampa 3D da zero, evidenziandone le fasi e i punti chiave.

○ Step 1: L'idea



Innanzitutto, scegli un oggetto che vuoi creare. Può essere qualsiasi cosa, da una semplice vite a un giocattolo complesso. Ti consigliamo di iniziare con progetti di base fino a quando non ti sentirai più sicuro nello sviluppo di progetti complessi.

○ Step 2: Progettare il modello



La fase principale è la progettazione del modello vero e proprio. Dopo aver deciso cosa vuoi realizzare, è necessario utilizzare un software CAD che possa aiutarti a creare una prima bozza del modello.

○ Step 3: Convertirlo in STL



È necessario convertire il modello in formato STL una volta completato. La maggior parte dei software CAD disponibili dispone di funzioni integrate che consentono di esportare il modello in formato STL.

Dopo che hai convertito il modello in formato .STL, sarai a metà strada per ottenere un file stampabile in 3D.

- Step 4: Slicing it



La quarta fase richiede di "slice up" il modello in strati. In questa fase, il modello 3D viene convertito in una serie di istruzioni che la stampante può comprendere. Questa è l'ultima fase che prevede l'uso di un software, al termine della quale otterrai **il file di codice G finale che la stampante è in grado di riconoscere.**



Disegno tecnico & contenuti fondamentali

Definizione di disegno tecnico

Il disegno tecnico, la stesura o il disegno, è l'atto e la disciplina di comporre disegni che visualmente comunicano come qualcosa funziona o è costruito.

Definizione da Wikipedia

Il disegno tecnico è un elemento essenziale e codificato per garantire che i piani e i disegni sviluppati siano compresi e comunicati senza errori nel mondo dell'industria e dell'ingegneria. Infatti, come rendere su carta la realtà di un oggetto. Prendiamo come esempio una matita.

A seconda di come verrà disegnata e rappresentata, può essere complicato capire che si tratta della stessa matita. È sempre una questione di **prospettiva**.

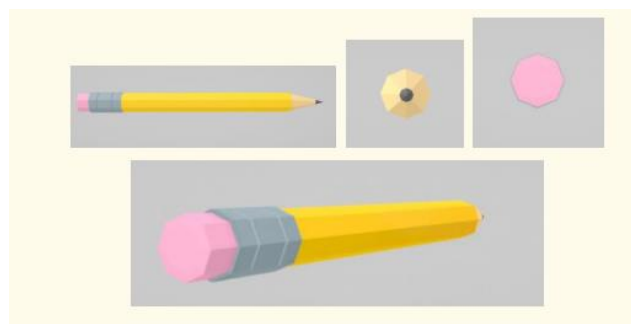


Figura 25 / 3 - Prospettiva del punto

Proiezioni prospettiche

Le proiezioni prospettiche sono disegni che cercano di riprodurre ciò che l'occhio umano vede realmente quando guarda un oggetto specifico. Esistono tre tipi di proiezioni prospettiche: **a un punto**, **a due punti** e **a tre punti**. I punti di prospettiva sono chiamati punti di fuga.

Quando guardi un oggetto 3D di fronte a te ed è centrato nella tua visuale, si tratta di un esempio di **prospettiva a un punto**.

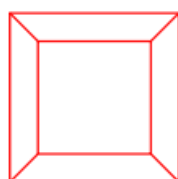


Figura 26 / 1 – Prospettiva del punto

Ora il cubo è all'altezza degli occhi e sei vicino a uno dei suoi spigoli. Per illustrare il cubo con una buona illusione di profondità, avrai bisogno della prospettiva a due punti.

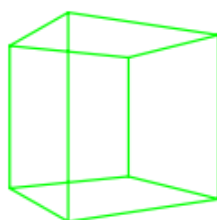


Figura 27 / 2 – Prospettiva del punto

Immagina ora di trovarti sopra il cubo, vicino a uno dei suoi angoli. Per disegnarlo, avrai bisogno di tre punti di fuga, uno per ogni serie di spigoli paralleli.

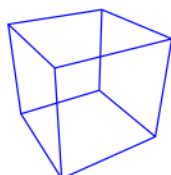


Figura 28 / Più viste della stessa matita in una vista 3D

La prospettiva è difficile da disegnare a mano, ma i software di modellazione 3D forniscono diverse scene e indicano da dove visualizzare la scena.

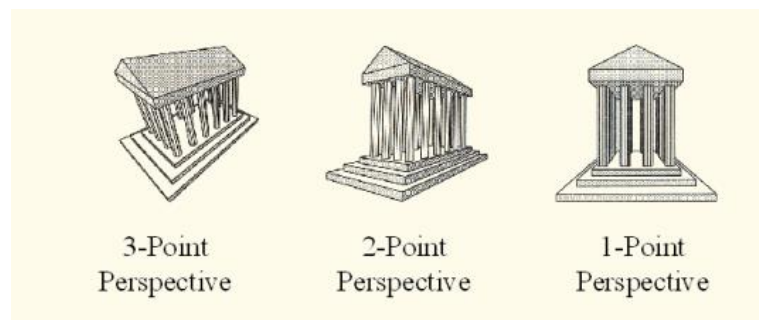


Figura 29 / I tre tipi di proiezioni

Senza il software giusto, la stampa 3D rimane un sogno lontano. Se fosse vero che occorrerebbe una stampante specializzata in grado di creare oggetti 3D, sarebbe anche vero che avresti bisogno di disporre di una serie di software essenziali che ti consentano di progettare il modello vero e proprio e di convertirlo in un formato riconoscibile dalla stampante.

Questo capitolo illustra i tipi di software di cui avrai bisogno per iniziare il tuo viaggio verso la stampa 3D.

Prendendo come esempio la matita di cui sopra, possiamo notare che nel disegno di produzione vengono utilizzati diversi tipi di viste per scopi diversi.

I disegni tecnici includono dimensioni, geometria, tolleranze, tipo di materiale, finitura e hardware. Inoltre, i disegni tecnici hanno sempre un blocco informativo che contiene informazioni essenziali sull'assieme e che si trova spesso nell'angolo in basso a destra.



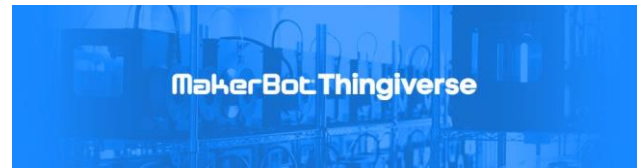
Un suggerimento importante per le visuali: utilizza solo le visuali necessarie che contribuiscono a una migliore comprensione del disegno.

Software di stampa 3D

A meno che tu non abbia intenzione di scaricare da Internet progetti di modelli già pronti e di utilizzarli per stampare oggetti, dovrai capire che tipo di software di stampa 3D ti servirà.

Dove puoi ottenere i progetti del modello 3D?

Per quanto riguarda la progettazione vera e propria degli oggetti, puoi avere la possibilità di reperire online modelli pronti all'uso o di crearne di propri.



Su [Thingiverse](https://www.thingiverse.com) puoi trovare modelli di ogni tipo. Sebbene il sito sia di proprietà di famosi produttori della stampante Replicator, MakerBot, contiene un archivio di progetti creati da utenti comuni.

Come puoi creare il tuo modello?

Un tempo il software Computer Aided Design (CAD) era progettato da ingegneri, per ingegneri. Il software CAD era estremamente complicato (in parte lo è ancora, ma ora è più maneggevole) e solo chi aveva una formazione adeguata poteva usarlo correttamente.

Il software CAD ha una curva di apprendimento ripida. I tempi sono cambiati e i software CAD più recenti sono rivolti agli utenti generici. L'aspetto migliore dei moderni software CAD è che non sono così difficili da imparare e da usare come lo erano in passato.



Software Computer-Aided Design (CAD)

Il software computer-aided design (CAD) esiste da decenni. Inizialmente era destinato solo ad applicazioni ingegneristiche; tuttavia, dall'avvento della tecnologia di stampa 3D, il software CAD è stato ampiamente utilizzato per creare modelli 3D di oggetti. Una delle ragioni principali dell'utilizzo di un software CAD rispetto a un'alternativa non CAD, come Photoshop, è che consente ai progettisti di esportare il modello come file STL. **Per ricordarlo: Un file STL è un formato che contiene le informazioni necessarie per produrre un modello 3D su stampanti stereolithography.**

Fortunatamente, oggi sono disponibili molti software CAD gratuiti che sono altrettanto eccellenti di alcune versioni a pagamento. Anche molti programmi CAD commerciali hanno versioni gratuite o con licenza limitata che consentono



di avvicinarsi al mondo della progettazione CAD e della stampa 3D senza spendere migliaia di dollari.

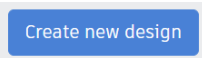
Capitolo 4:

Introduzione a Tinkercad

Tinkercad è un'applicazione gratuita di modellazione e stampa 3D basata sul web che può aiutare chiunque a iniziare a progettare e stampare oggetti 3D.

Tutto ciò che crei con Tinkercad viene memorizzato nel proprio account e sarà disponibile ogni volta che si accede. Puoi tornare ai tuoi progetti e lavorarci in qualsiasi momento da qualsiasi computer collegato a Internet.

Vai su www.tinkercad.com e clicca  sul bottone per creare un account gratuito.

Per iniziare a creare un oggetto, clicca sul bottone  *My Recent Designs Section (La mia recente sezione di design)*

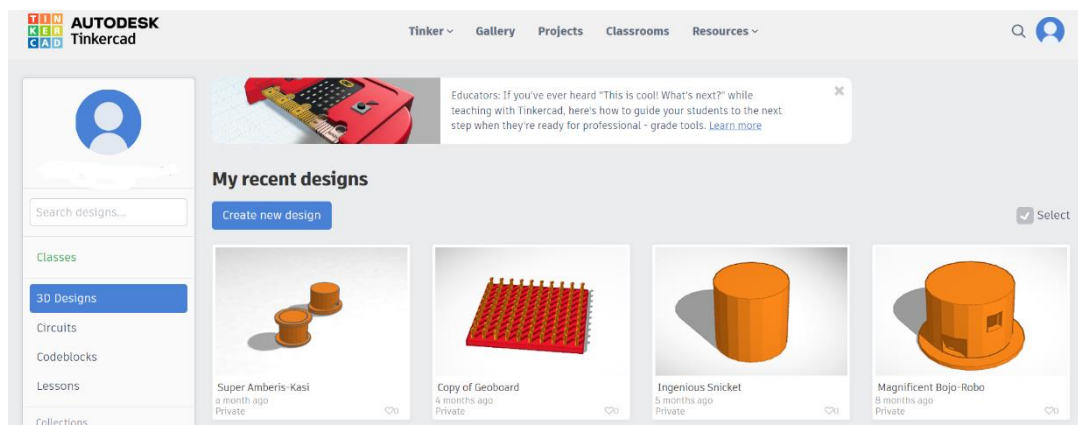
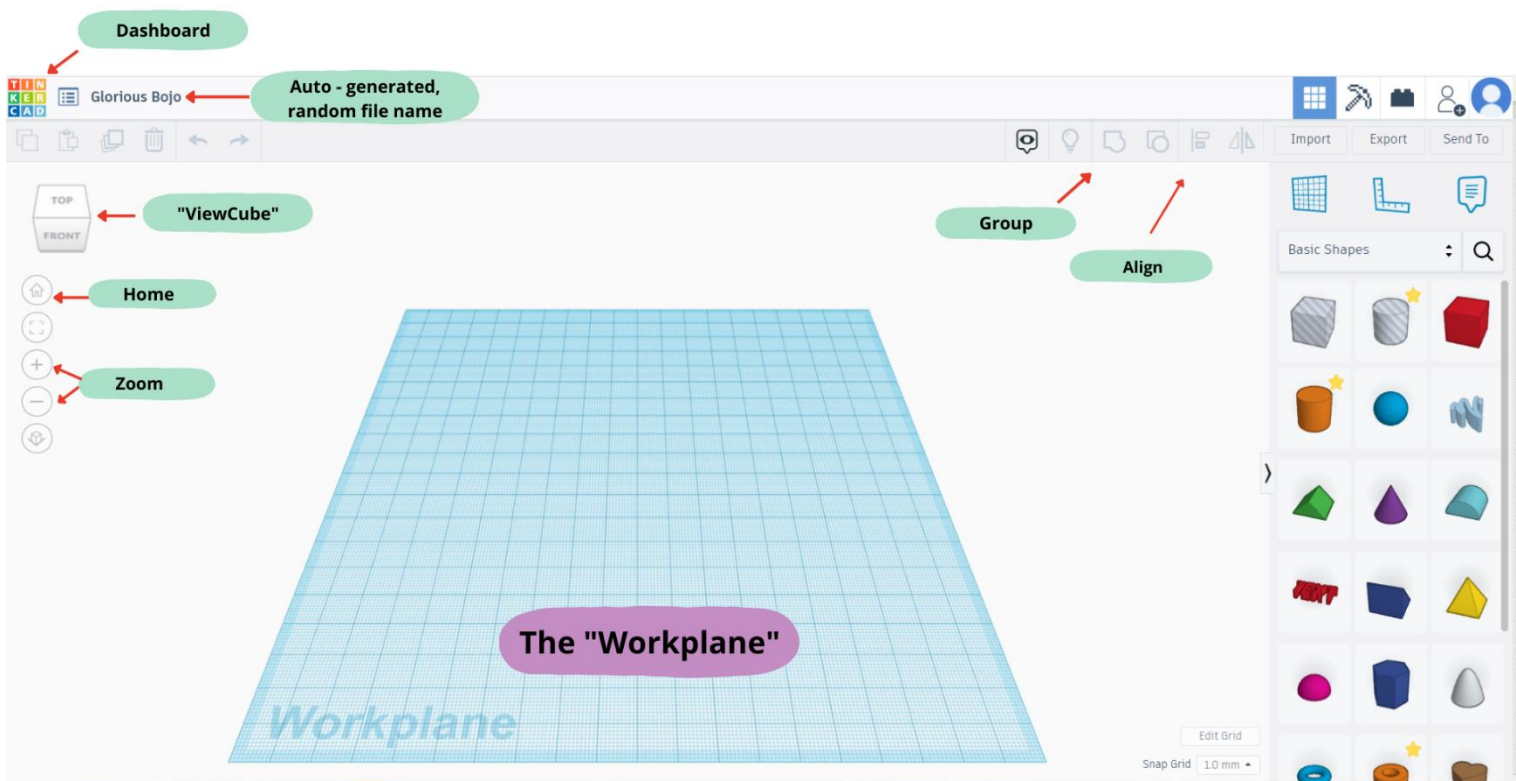


Figura 30 / Creazione di un nuovo design



Interfaccia Tinkercad



Una volta che hai iniziato a creare il tuo progetto, l'ambiente di lavoro si presenterà come segue:



Navigazione con il mouse

Puoi utilizzare gli strumenti a sinistra del piano di lavoro o il mouse per manipolare il piano di lavoro. Usa il mouse per:

- Fare lo zoom avanti e indietro con la rotellina del mouse.
- Far ruotare il piano di lavoro con il click destro e il trascinamento.
- Cambiare la vista cliccando a lato del "View Cube".
- Ritornare alla prospettiva di vista di default cliccando sull'icona della casa.

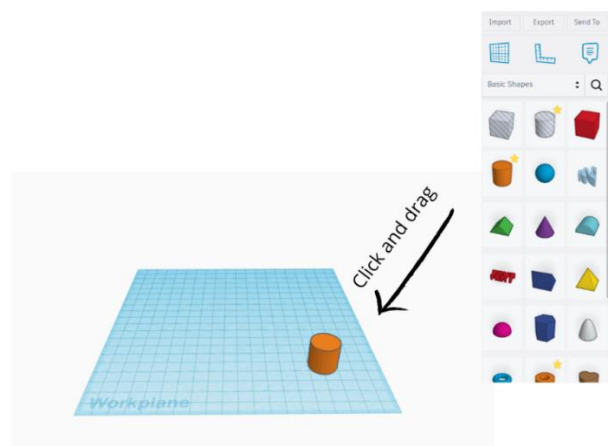
Il menu delle forme

Il menu delle forme si trova sul lato destro dell'interfaccia.

Utilizzerai queste forme per progettare il vostro oggetto.

Esercitati a spostare le forme

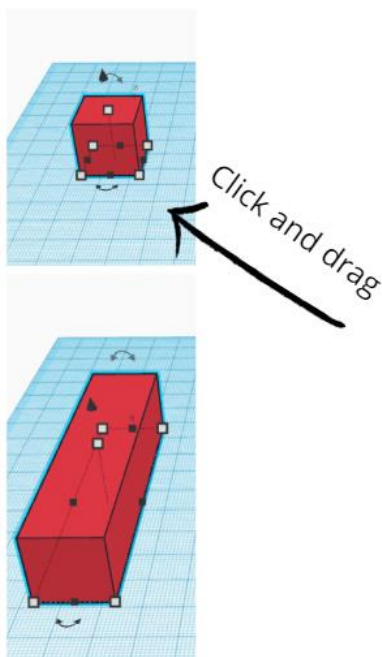
cliccando e trascinando alcune di esse sul piano di lavoro.



A first example: Modelling a simple car



Modifica di forme 3D



Nota i piccoli riquadri bianchi intorno alla forma.

Allunga o riduci la forma facendo clic e trascinando i piccoli riquadri bianchi agli angoli.

Per modificare l'**altezza** della forma, clicca e trascina il piccolo quadrato bianco sulla parte superiore della forma.

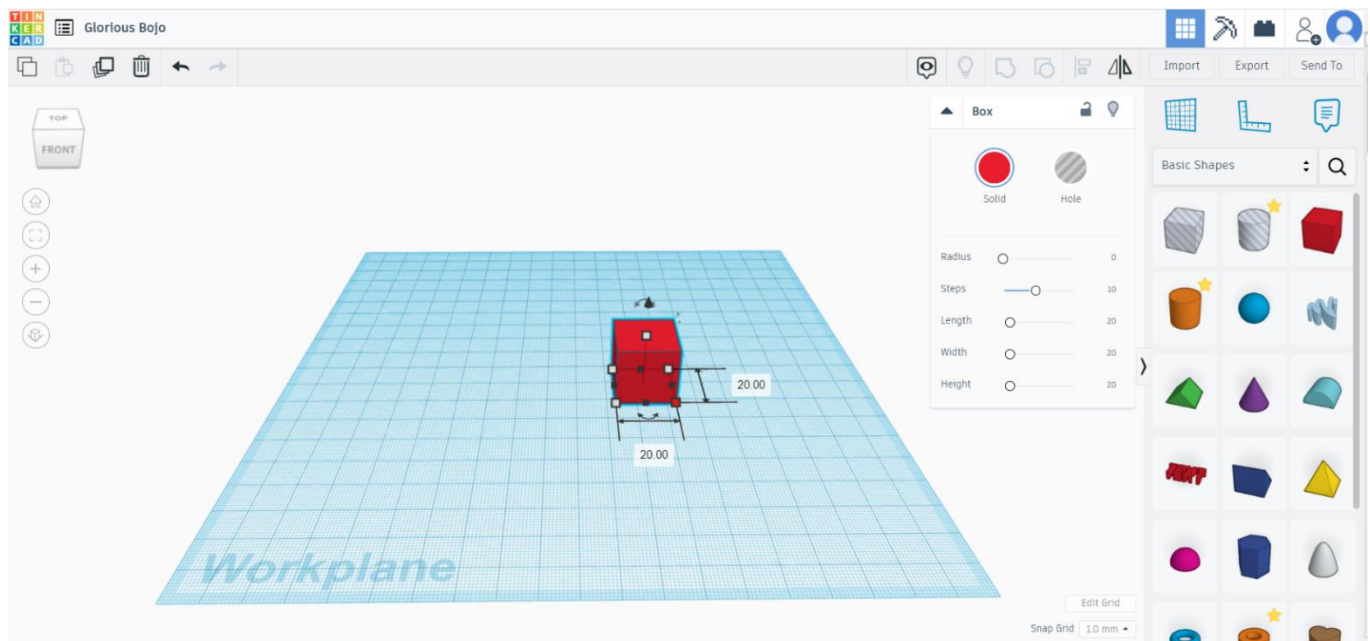
Puoi inoltre modificare le dimensioni selezionando e inserendo i numeri desiderati.



I numeri che vedi sono le dimensioni in millimetri.

Cominciamo a creare una semplice automobile, navigando tra le diverse funzionalità e gli strumenti di Tinkercad!

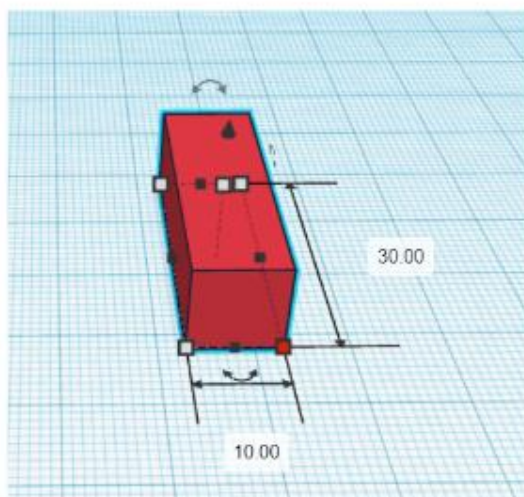
Inizia **trascinando un riquadro solido** sul piano di lavoro. Facendo clic sull'angolo inferiore sinistro del quadrato, visualizzerai la lunghezza e la larghezza del quadrato.



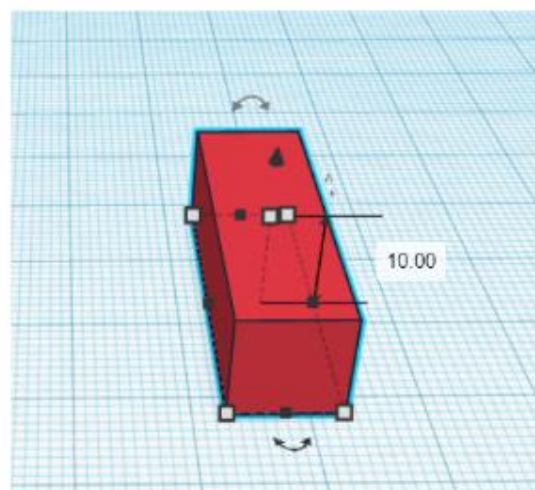
Per modificarla, basta fare clic sui numeri e inserire quelli desiderati (ricorda, stiamo lavorando nella scala predefinita dei millimetri). Per modificare l'altezza, puoi fare clic sul quadratino in alto e cambiare la dimensione. Poiché stiamo creando un'automobile, modifica le dimensioni in 10 x 30 x 10. Questo creerà un rettangolo. In questo modo si creerà un **rettangolo**.

Rectangle's Dimensions

- Larghezza: 10 millimetri (mm)
- Lunghezza: 30 mm
- Altezza: 10 mm



Width: 10 millimetres (mm)
Length: 30 mm

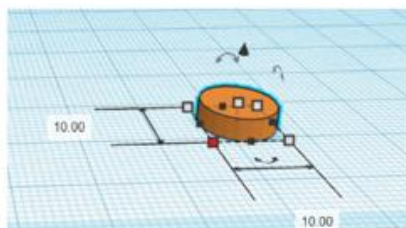


Height: 10 mm

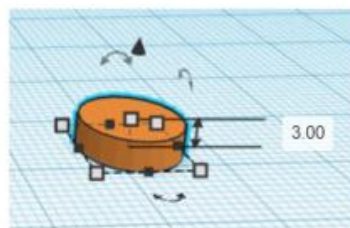
Ora che il rettangolo è a mezz'aria, prendi un cilindro e imposta le dimensioni di 10 x 10 x 3. In questo modo si creerà **una ruota**. Ruota la ruota utilizzando le frecce laterali per modificare gli angoli.

Wheel's
Dimensions

- Larghezza: 10 millimetri (mm)
- Lunghezza: 10 mm
- Altezza: 3 mm



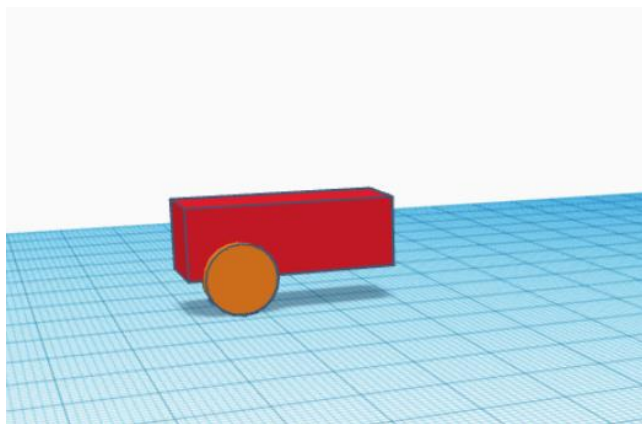
Width: 10 millimetres (mm)
Length: 10 mm



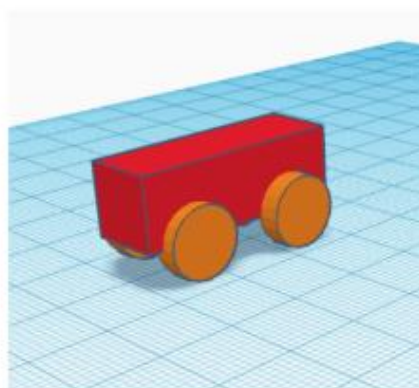
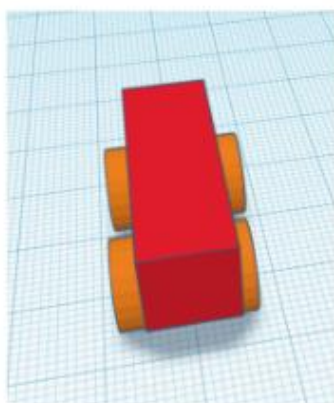
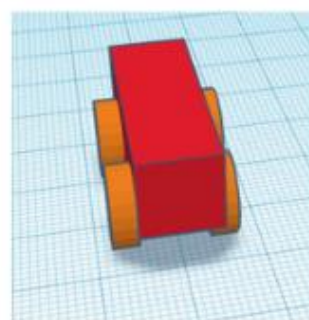
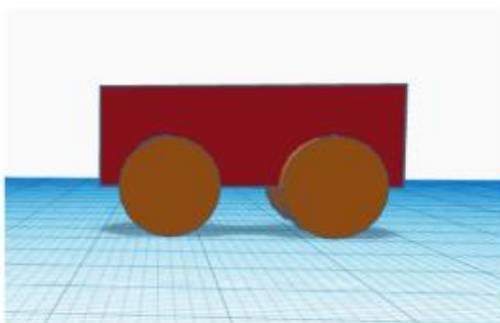
Height: 3 mm



Ruota la ruota, utilizzando le frecce laterali per modificare gli angoli.



Copia la ruota 4 volte (**Ctrl C + Ctrl V**) e posizionale nelle rispettive posizioni.



Naviga il tuo modello da diverse prospettive per assicurarti di ottenere il risultato desiderato.

Successivamente, aggiungeremo una finestra a questa macchina. Trascina un quadrato di dimensioni 2 x 5 x 2.

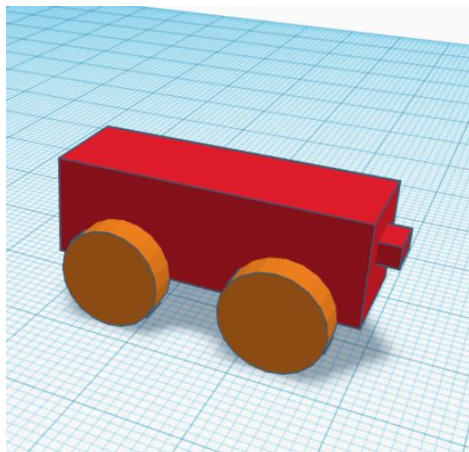
Posiziona il rettangolo proprio davanti all'auto.

Window's Dimensions

- Larghezza: 2 millimetri (mm)
- Lunghezza: 5 mm
- Altezza: 2 m

Creare un buco

Per aggiungere un finestrino alla parte anteriore dell'auto, sposta il rettangolo - finestrino in modo che tocchi la carrozzeria dell'auto. In questo momento, l'auto dovrebbe avere questo aspetto:



A questo punto, fai **doppio clic** sulla finestra e seleziona la funzione foro nel menu della forma.

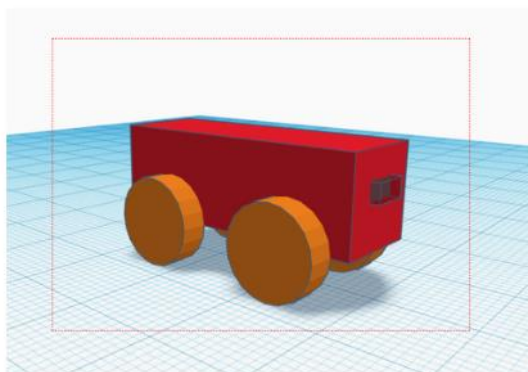




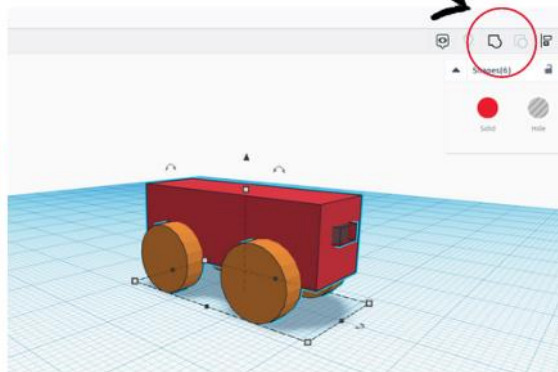
Ora, seleziona l'intero oggetto creato e fai clic sul Group Button (pulsante raggruppa).



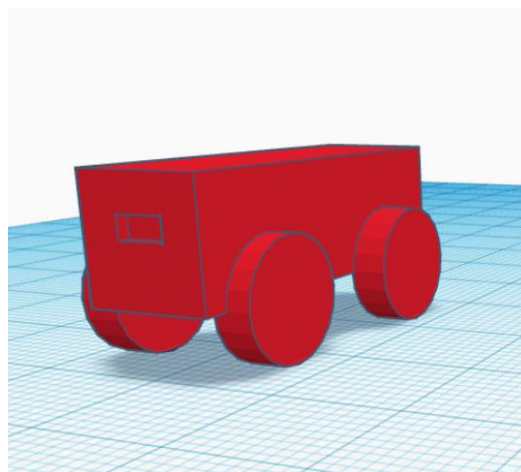
Select the whole car



Select the Group Button



La versione finale della tua auto è stata creata! Puoi fare tutti gli adattamenti che vuoi, dal cambiare i colori alle ruote a cuore!

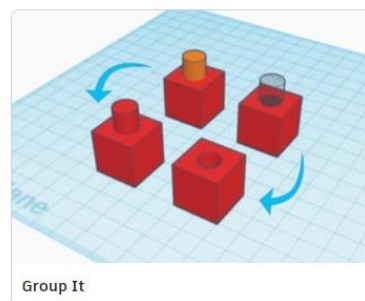
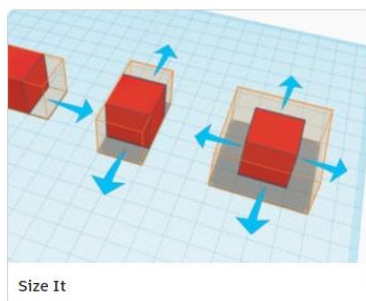
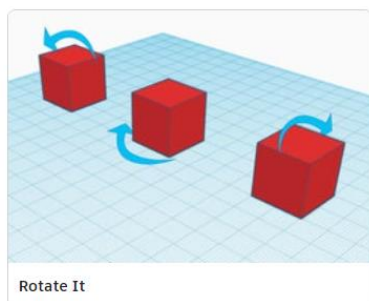
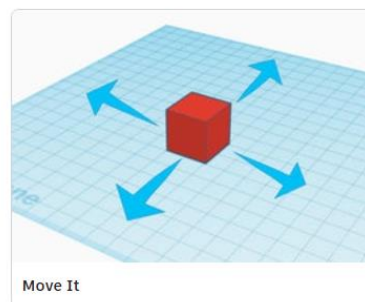
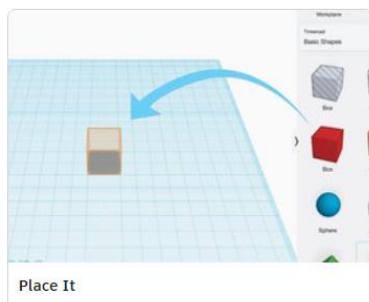


La pratica rende migliori:
Iniziamo a usare Tinkering!

Per iniziare a esercitarsi sulla modellazione 3D, avrai bisogno di familiarizzare con l'ambiente e le funzionalità di base del piano di lavoro.

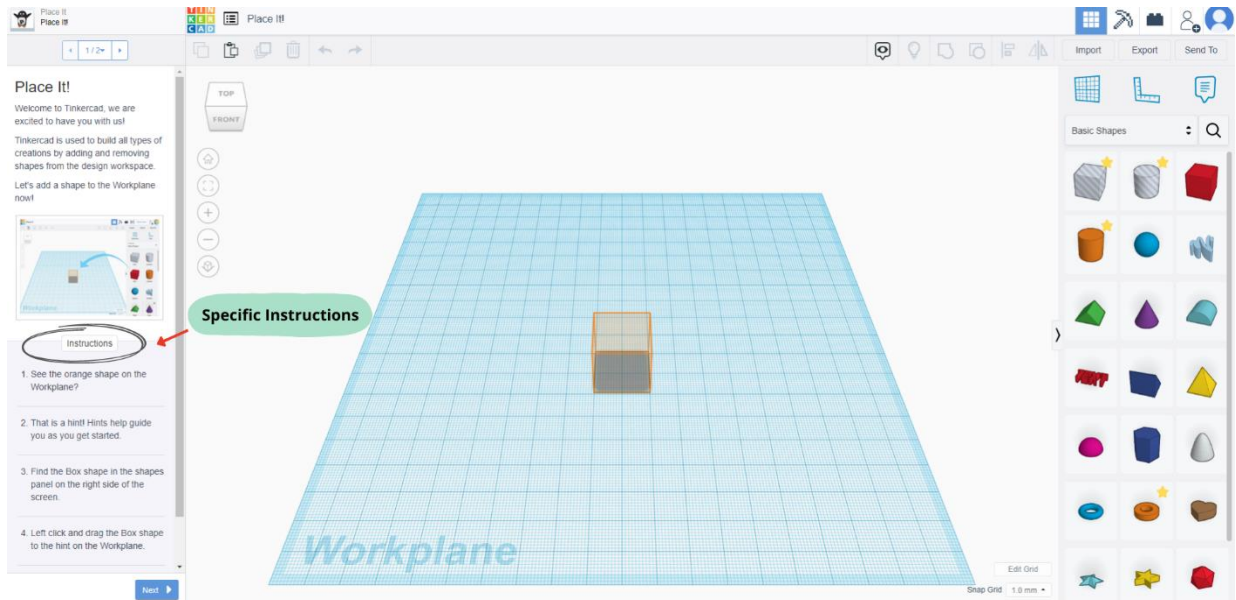
Basic Functions

Puoi trovare tutte le lezioni qui: <https://www.tinkercad.com/learn/designs>



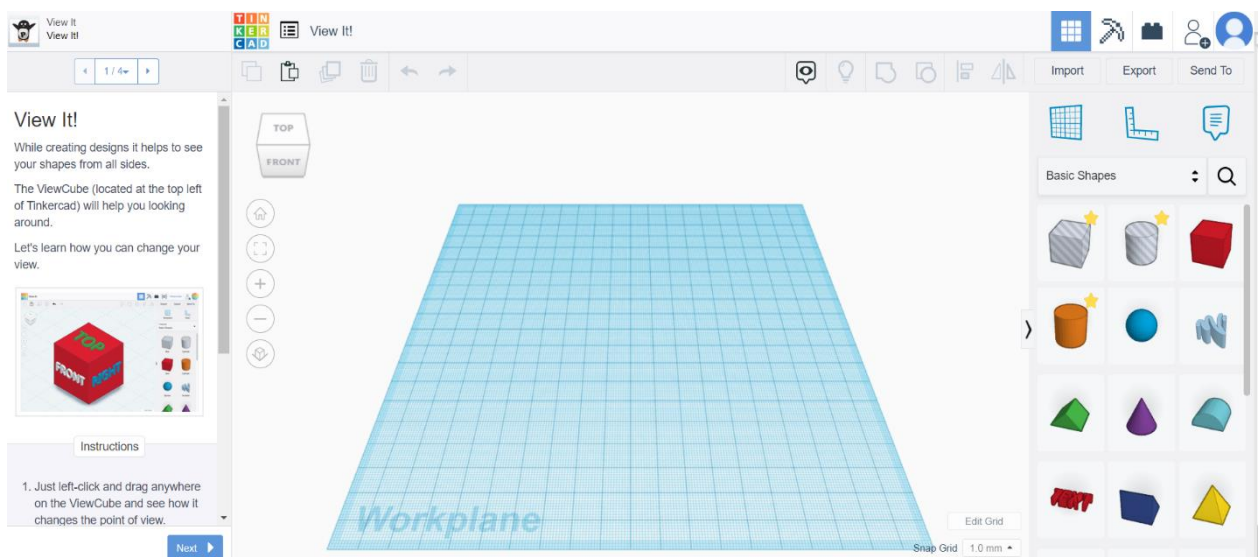
➤ Posizionamento di un oggetto su Tinkercad

Il posizionamento delle forme è una delle azioni più comuni in Tinkercad e consiste semplicemente nell'inserire una forma nel disegno e nel piano di lavoro.



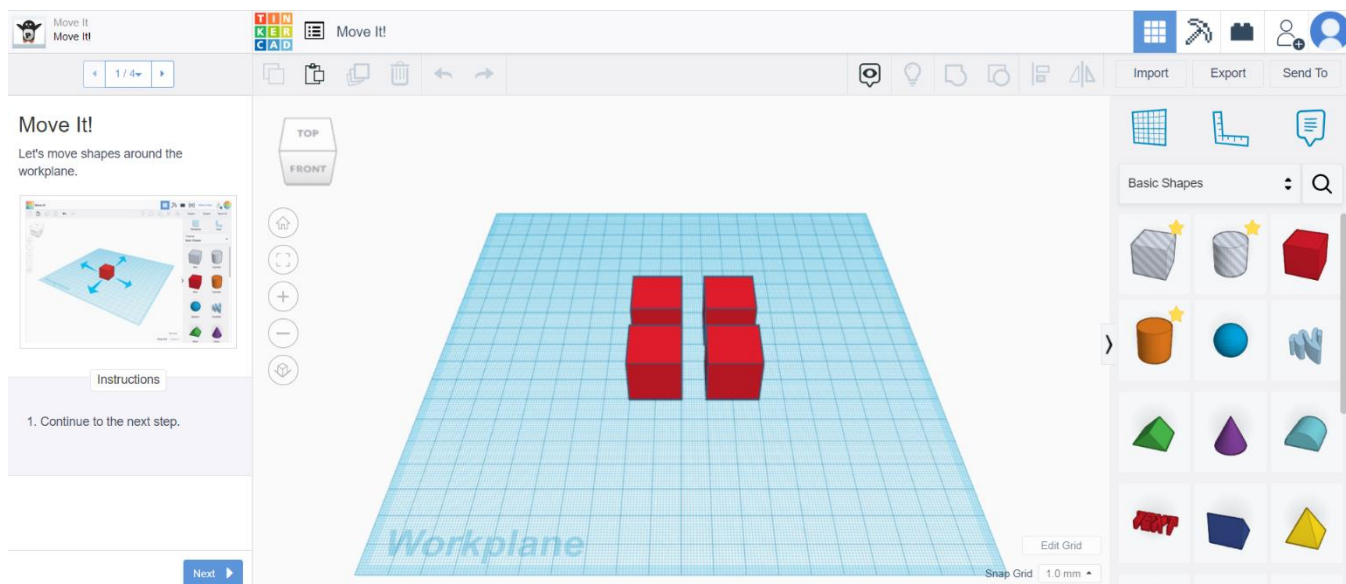
➤ Visualizzazione di un oggetto da diverse prospettive

Durante la creazione di progetti è utile vedere le forme da tutti i lati. Il **ViewCube** (situato in alto a sinistra in Tinkercad) ti aiuterà a guardarti intorno. Scopriamo come cambiare la visuale.



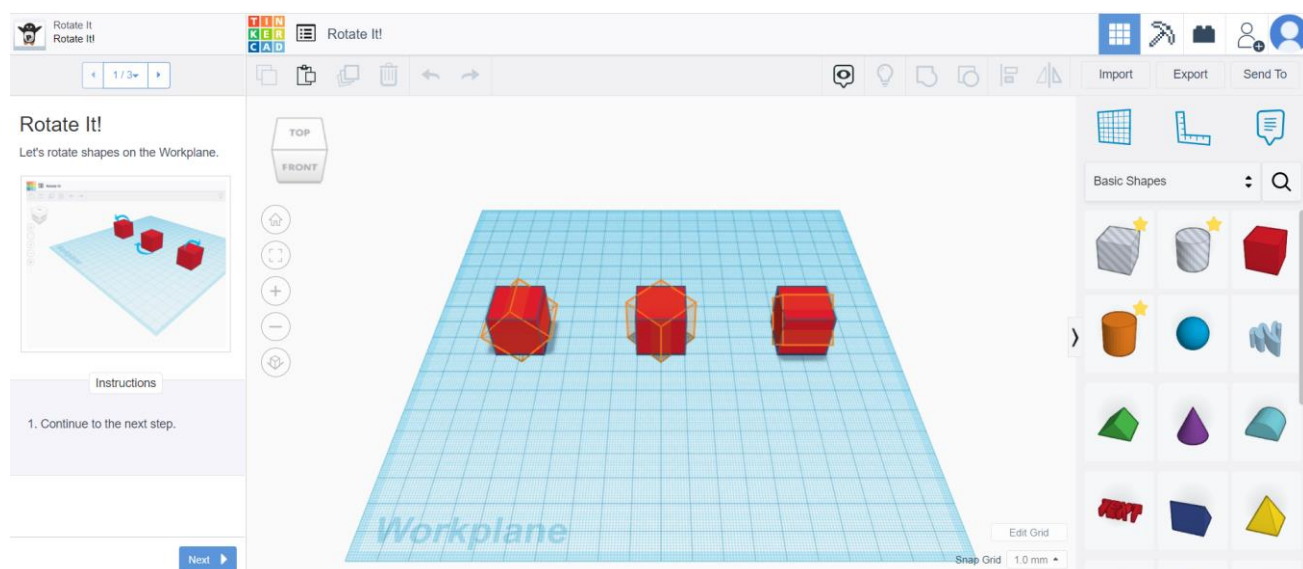
➤ Spostamento di un oggetto sul piano di lavoro

Spostare, ruotare e disporre le forme di base è ciò che permette la creatività in Tinkercad. La combinazione di forme semplici permette di creare progetti più complessi e creativi.



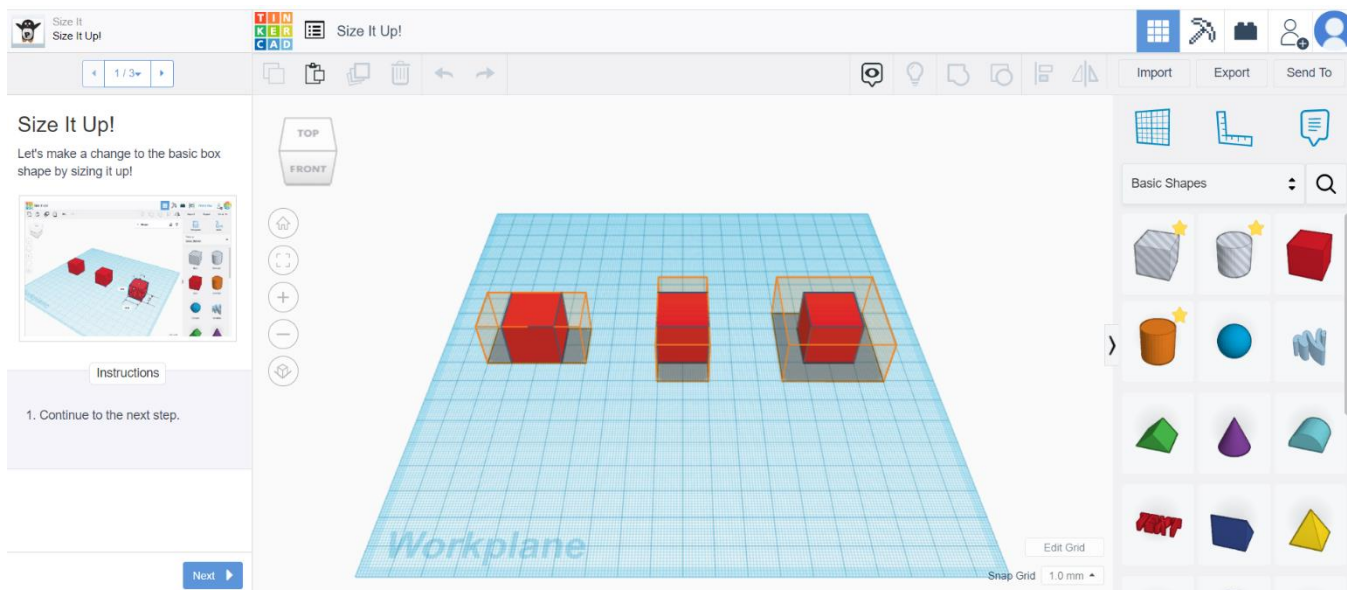
➤ Rotazione di un oggetto

Impariamo a ruotare le forme sul piano di lavoro.



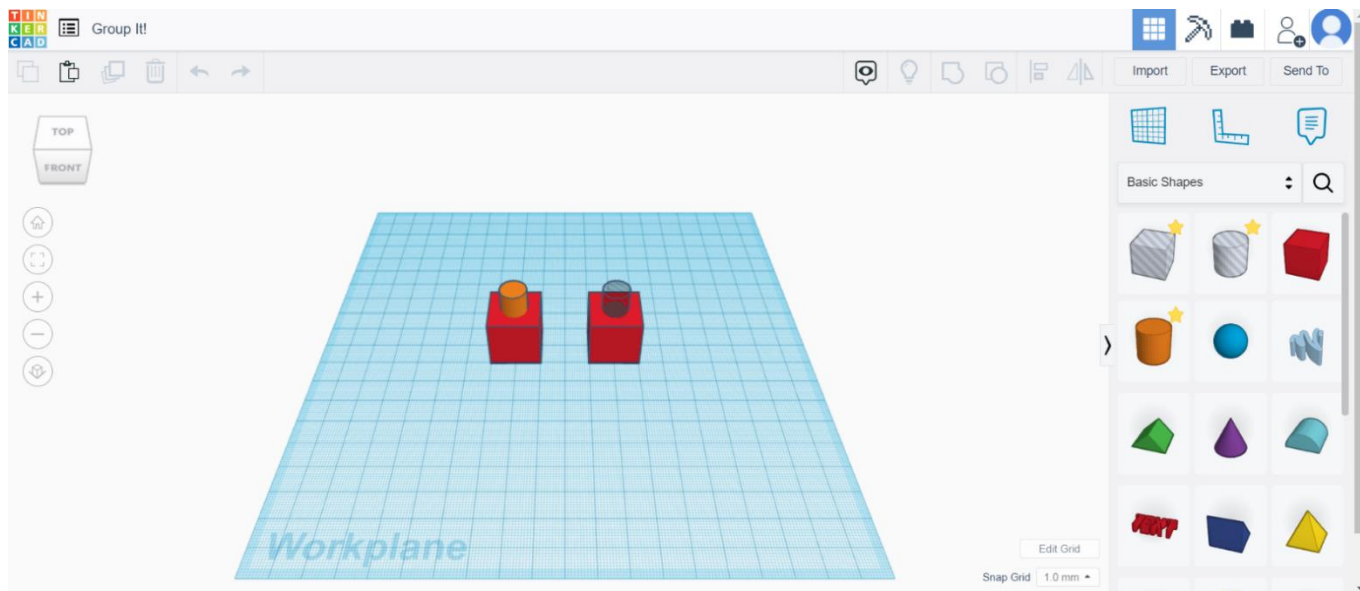
➤ Dimensionamento su Tinkercad

Impara a modificare la scala di una forma aumentandola o riducendola.



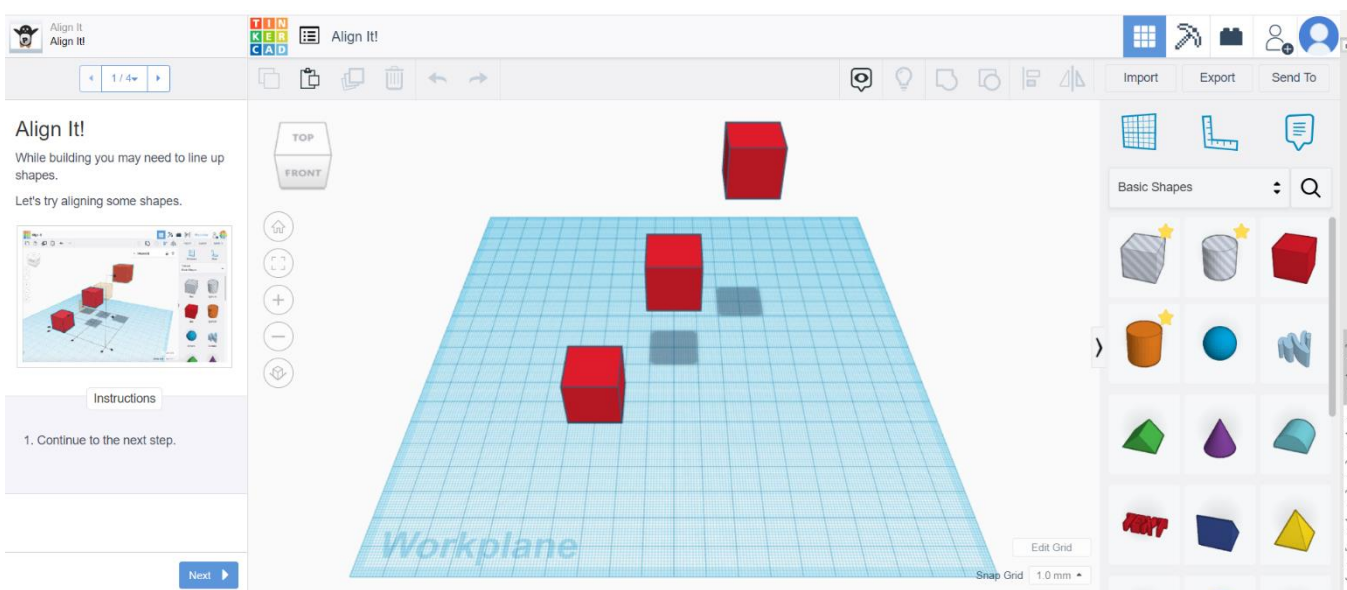
➤ Raggruppamento di forme

Il raggruppamento delle forme ti consente di combinare le forme in un unico oggetto. Ogni forma del gruppo può essere utilizzata per aggiungere o rimuovere materiale dalle altre forme con cui è combinata.



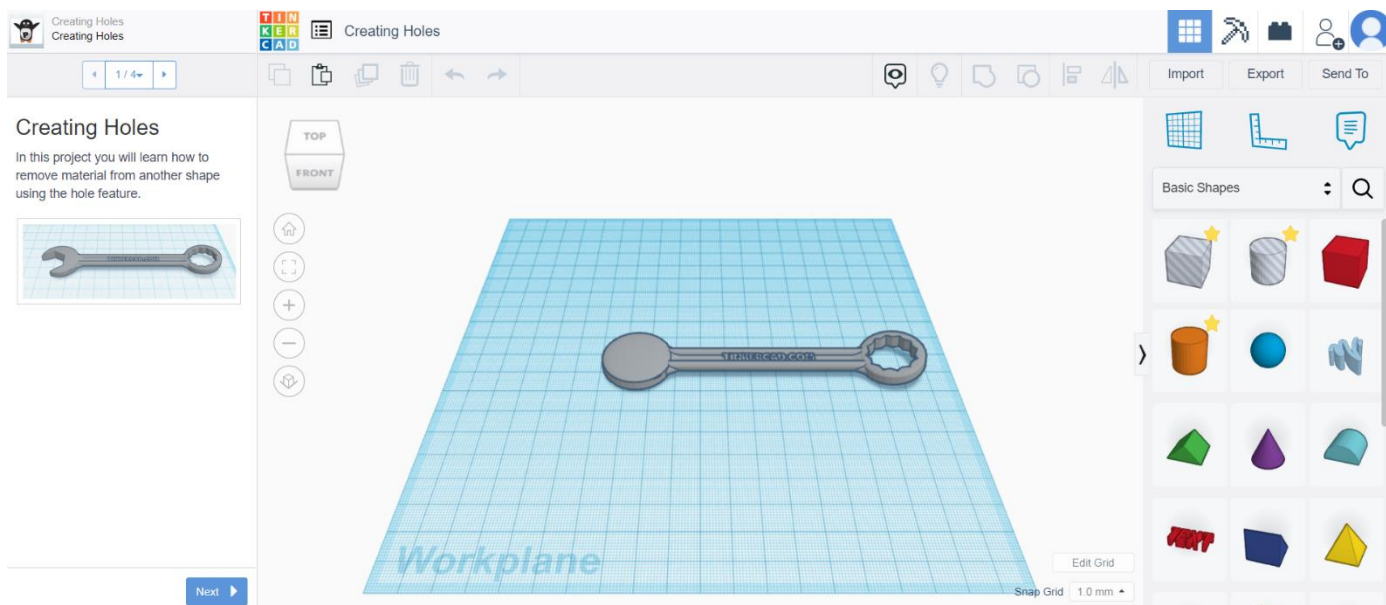
➤ Allineamento di forme

Durante la costruzione potresti aver bisogno di allineare le forme. Proviamo ad allineare alcune forme.



➤ Creazione di buchi

In questo progetto apprenderai come rimuovere il materiale da un'altra forma utilizzando la funzione buco.

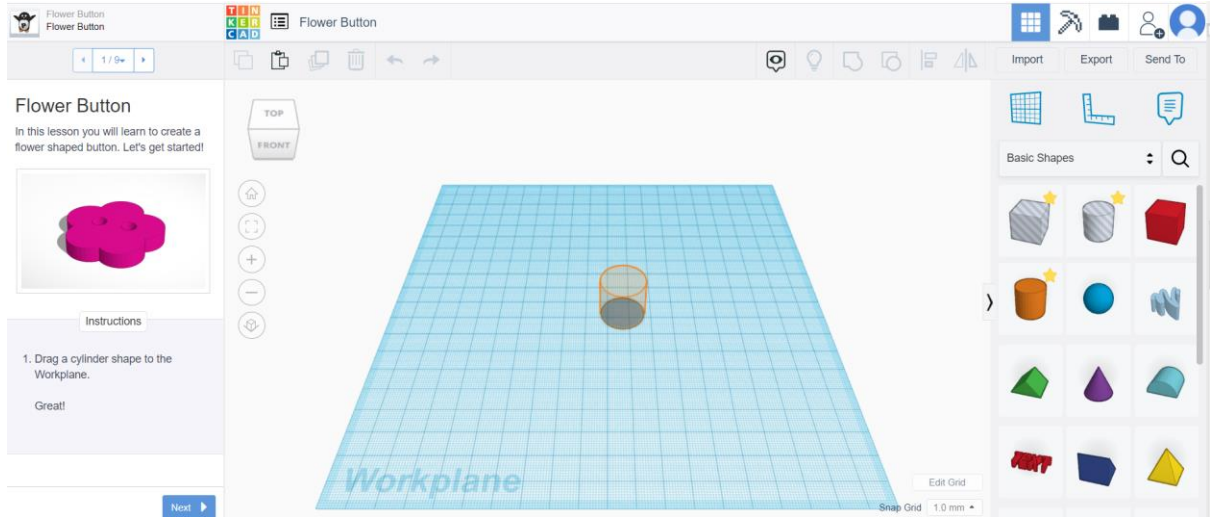


Piccoli progetti su cui esercitarsi



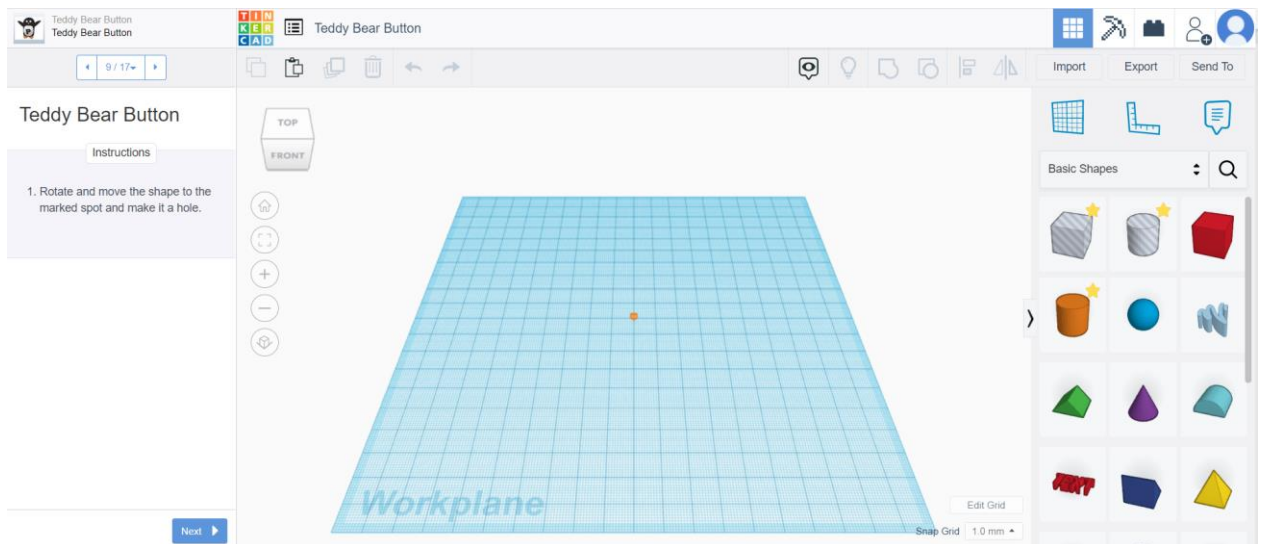
Flower Button

In questa lezione imparerai a realizzare un bottone a forma di fiore utilizzando forme cilindriche.



Teddy Bear Button

In questa lezione imparerai a realizzare un bottone a forma di orsetto con forme semplici.



Esercizio di bowling

- Trascina e rilascia il cilindro sul piano di lavoro.
- Crea un totale di 6 cilindri sul piano di lavoro utilizzando i metodi di duplicazione o copia e incolla.
- Posiziona i cilindri in modo che formano un triangolo (tre nella fila posteriore, seguiti da due nella fila centrale e da uno nella fila anteriore).
- Trascina una sfera sul piano di lavoro.
- Solleva la sfera di 2 mm dal piano di lavoro.
- Guarda l'esercizio finito da più angolazioni, esercitandoti sulla rotazione e sulle diverse viste del piano di lavoro.

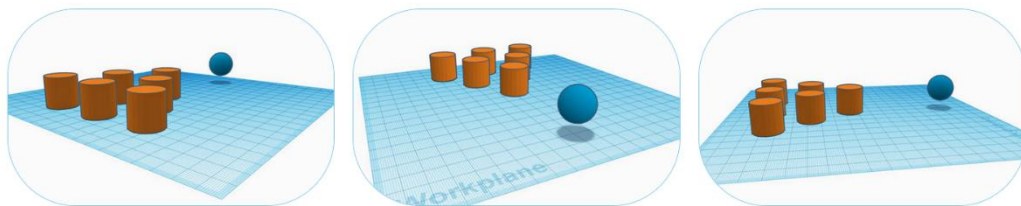


Figura 31 / Esercizio di bowling

Fonte: promoambitions.com

Tinker Cup

- Aggiungi un cilindro al piano di lavoro e modificare le dimensioni in... (Lato: 60, Smusso: .75, Segmento: 10, Lunghezza: 20, Larghezza: 20, Altezza: 30)
- Aggiungi un altro cilindro al piano di lavoro e modificarne le dimensioni in... (Lato: 60, Smusso: 0, Segmento: 1, Lunghezza: 17,5, Larghezza: 17,5, Altezza: 32)
- Trasforma il secondo cilindro in un foro.
- Utilizzando lo strumento allinea, posiziona il cilindro del foro al centro del cilindro solido, assicurandoti che il cilindro del foro sia a 2 mm dal piano di lavoro (per evitare che tagli il fondo della tazza quando viene raggruppata).
- Raggruppa per creare la tazza.

Bonus: crea un manico con un toro e fissarlo alla tazza (assicurati che il manico non sporga all'interno della tazza).

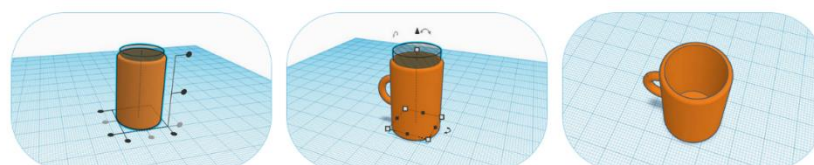


Figure 10 / Esercizio di TinkerCup

Source: promoambitions.com

Unità 4

Software per il slicing

Introduzione a Cura



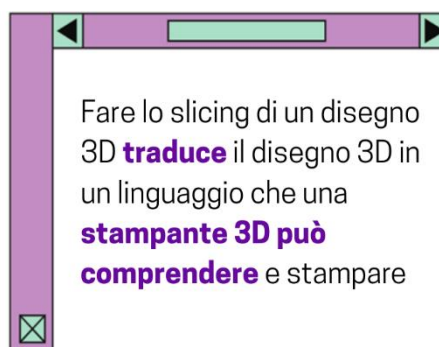
Capitolo 5:

Software di Slicing: introduzione a Cura

Dato che ora abbiamo le conoscenze per modellare in 3D un oggetto, la domanda principale è: **come possiamo passare da un modello 3D a un oggetto stampato in formato 3D?**



Sappiamo che per la stampa 3D sono necessari diversi strumenti di supporto. Ovviamente abbiamo il modello 3D e la stampante 3D, ma c'è un pezzo fondamentale del puzzle tra questi due punti. Il **software slicer della stampa 3D** funge da intermediario tra il modello 3D e la stampante



Il software slicing è una parte essenziale della stampa 3D perché le stampanti 3D non possono tradurre da sole i disegni CAD. Una stampante 3D ha bisogno che

le specifiche dell'oggetto che sta progettando siano tradotte in un linguaggio che possa interpretare.

Se desideri una spiegazione leggermente più tecnica, lo slicing converte un modello 3D digitale in **G-codes** (un termine generico per un linguaggio di controllo) che una stampante 3D può comprendere.

I codici G contengono le istruzioni per la stampante 3D. In altre parole, il codice G dice alla stampante 3D come stampare il modello. Senza G-code, una stampante 3D è inutile!



Introduzione

generale



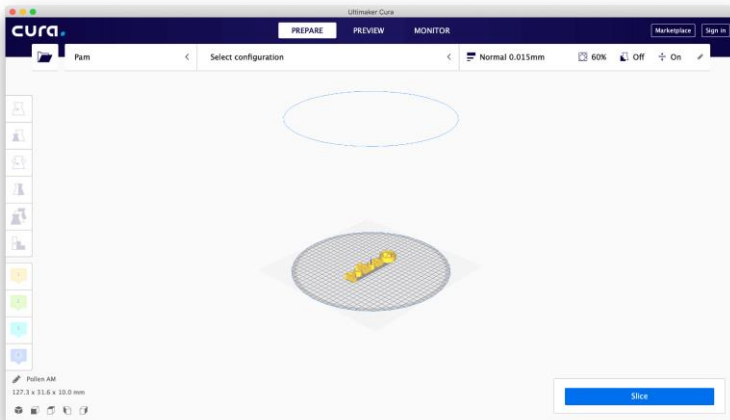
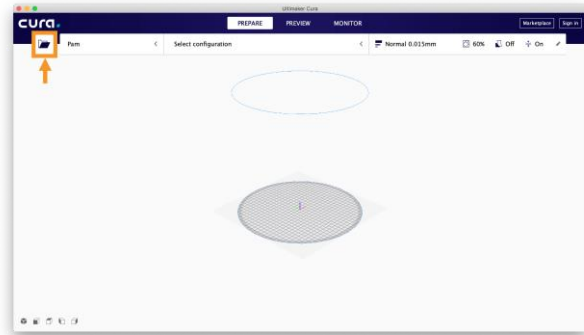
I software slicing di base, in realtà tutti i software slicing, creano percorsi che la stampante 3D deve seguire durante la stampa. Questi percorsi sono istruzioni per la geometria e indicano alla stampante 3D la velocità di stampa per i vari punti e lo spessore dei layer da adottare, se applicabile (a volte è meglio farlo manualmente). Esistono molti software slicing che possono essere utilizzati.

Uno dei software più apprezzati, Cura è stato sviluppato da Ultimaker per rendere la stampa 3D il più semplice ed efficiente possibile. **Contiene tutto ciò che serve per preparare un file 3D per la stampa.** È completamente preconfigurato per funzionare su ogni modello Ultimaker. Cura è dotato di un programma di configurazione facile da usare che aiuta a installare il firmware più recente e a calibrare la stampante. Mentre si prendono decisioni sull'aspetto e sulla qualità dell'oggetto 3D, il motore slicer di Cura prepara il modello in background, più velocemente che mai. Da quel momento è a pochi secondi di distanza dalla stampante e pronto a diventare l'oggetto fisico. Questo programma non solo si può scaricare gratuitamente, ma è anche open source.

Importazione di un file 3D

Il software slicing Cura riconosce un'ampia gamma di formati di file (STL, OBJ, X3D, 3MF, BMP, GIF, JPG, PNG, ecc.). Si differenziano dai formati di file nativi del software CAD utilizzato. Questi formati di file sono file 3D triangolati.

A differenza dei comuni file CAD 3D, un modello 3D triangolato contiene solo la superficie dell'oggetto e non le singole primitive e i contenuti modificabili. La superficie dell'oggetto consiste quindi in un accumulo di triangoli le cui dimensioni possono variare in base alla risoluzione scelta al momento della conversione nel formato di triangolazione.



Per importare il modello 3D nel software slicing Cura è necessaria una semplice azione di "Trascina & Rilascia". È anche possibile fare clic sull'icona della cartella fluttuante a sinistra o select File (seleziona file) > Open File(s) (apri file) dal menu in alto.

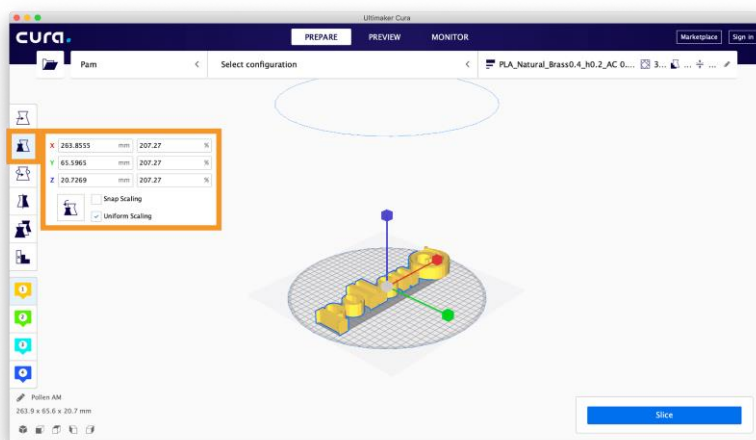
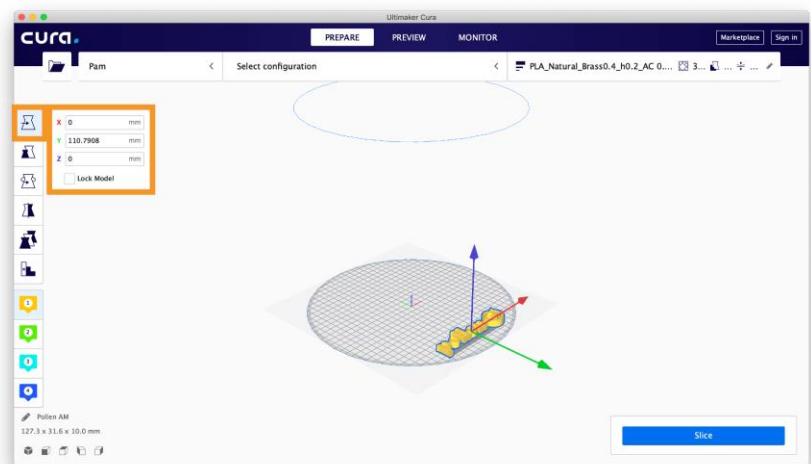
Il modello appare quindi sulla superficie di costruzione, il tempo di attesa per la sua apparizione dipende dalla dimensione del file 3D.

Preparazione del file 3D

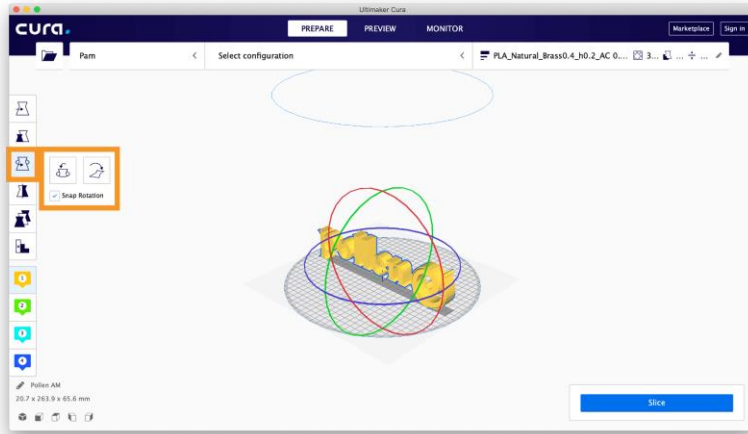
A volte le parti devono essere spostate, ridimensionate, ruotate o moltiplicate. Questo è completamente accessibile con pochi clic grazie al "pannello degli strumenti".

Se il modello 3D necessita di modifiche, tutto ciò che dobbiamo fare è cliccare sulla parte 3D e quindi selezionare l'opzione dal "pannello degli strumenti" a sinistra.

A seconda dell'opzione dello strumento selezionato, attorno al modello appariranno frecce o cerchi specifici. Per modificare la parte, puoi utilizzare la freccia/cerchio che appare o inserire le informazioni direttamente sul pannello aperto. La modifica può essere annullata cliccando con il tasto destro sulla parte e poi sul pulsante "ripristina".

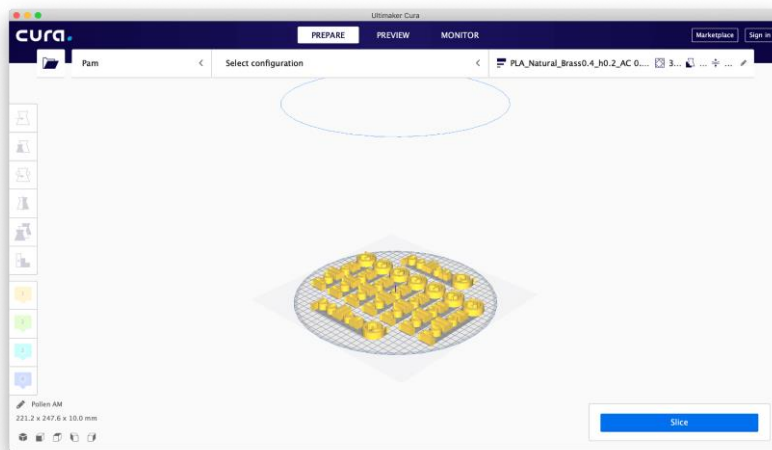


Esempio di un modello 3D in scala con il software slicing.



Esempio di rotazione di un modello 3D con il software slicing.

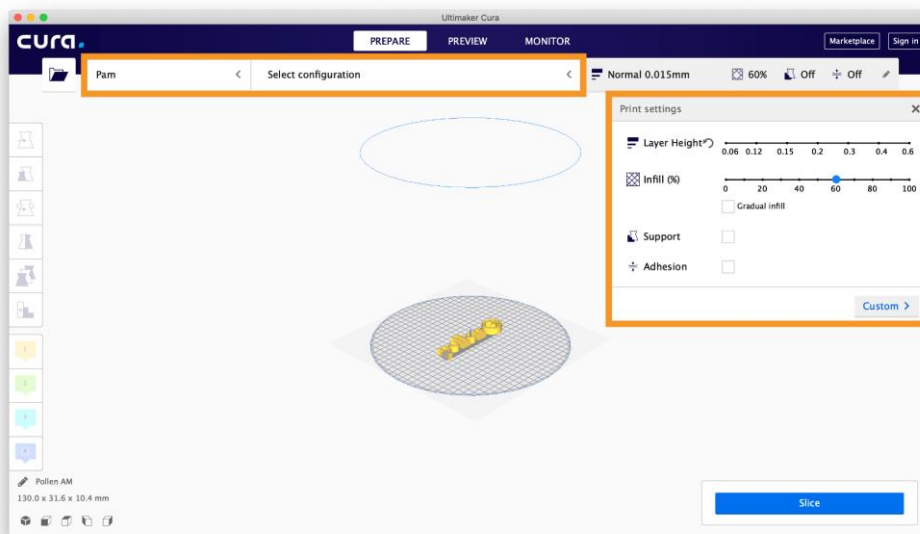
Sul piatto può essere prodotto più di un modello. L'unico limite è il volume delle parti posizionate sul piano di stampa. Per moltiplicare la parte, fare clic con il pulsante destro del mouse e selezionare "duplica". Le parti aggiuntive verranno automaticamente riposizionate.



Esempio di un modello 3D replicato con il software slicing.

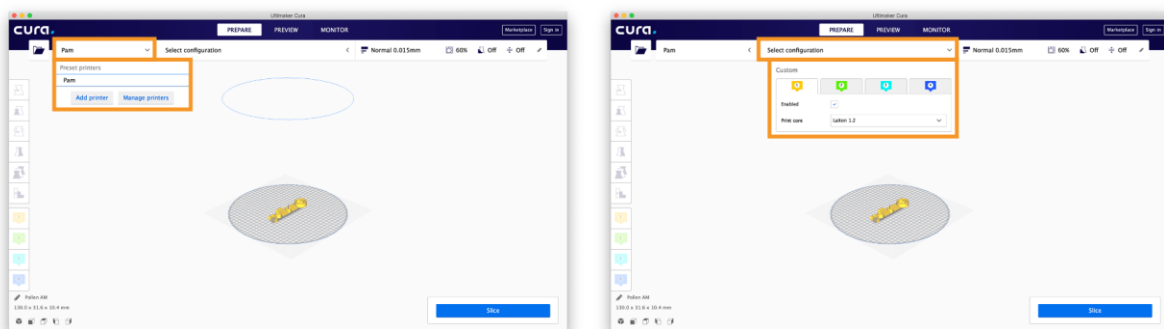
Il "pannello impostazioni" slicing è diviso in due sezioni, una dedicata alle impostazioni della stampante 3D e l'altra alle impostazioni di stampa.

La sezione superiore del software slicing è dedicata alle impostazioni della stampante 3D e la sezione destra alle impostazioni di stampa.



Impostazioni della stampante

Questa sezione consente all'utente di selezionare la stampante 3D corretta e la sua configurazione (specifiche degli ugelli).

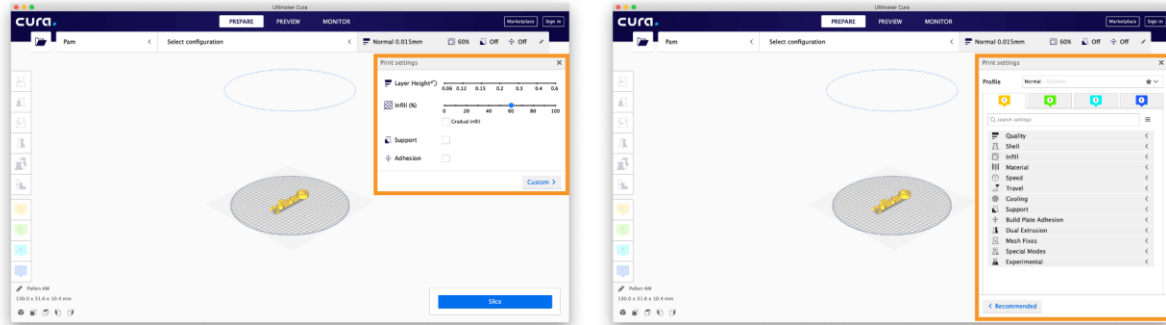


Stampante 3D: seleziona la stampante 3D. Se sono installate altre stampanti 3D, è necessario selezionare quella giusta dal menu a tendina.

Configurazione: seleziona rapidamente l'ugello montato per ciascun estrusore.

Impostazioni di stampa

Due modalità sono accessibili all'utente: Recommended e Custom.



Recommended: le opzioni sono limitate nella modalità Recommended. Dà accesso a quattro principali parametri di stampa 3D: l'altezza dello strato, la percentuale di riempimento, la struttura di supporto abilitata e l'adesione della superficie di costruzione.

Slice, visualizzazione

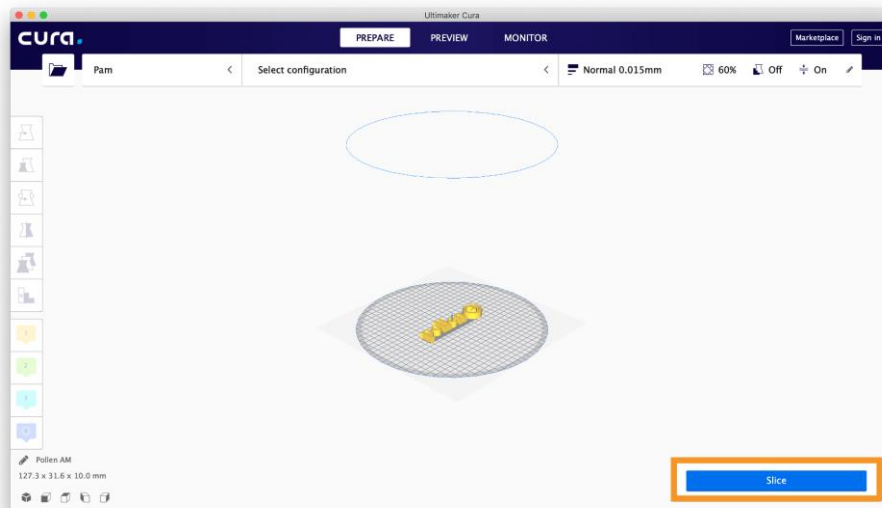
& esportazione



La procedura slicing consiste nell'interpretare il file 3D in una serie di piani 2D secondo i parametri di stampa 3D selezionati. Questo passaggio si tradurrà in un'interpretazione digitale che può essere visualizzata nel software slicing. Una volta convalidato, può anche essere valutato in un file G.code.

Slicing

È presente un pulsante accessibile per consentire la procedura slicing, cliccandolo. Il pulsante "slicing" avvia il processo di analisi e interpretazione.



Una volta tagliate, le parti interpretate in una successione di piani 2D possono essere analizzate dall'utente. In questo modo è possibile verificare l'adeguatezza dei parametri di stampa con il file 3D.

Visualizzazione

Questa sezione consente all'utente di selezionare la stampante 3D corretta e la sua configurazione (specifiche degli ugelli).

Seleziona la tua stampante 3D

Seleziona la stampante 3D. Se sono installate ulteriori stampanti 3D, sarà necessario selezionare quella giusta dal menu a tendina.

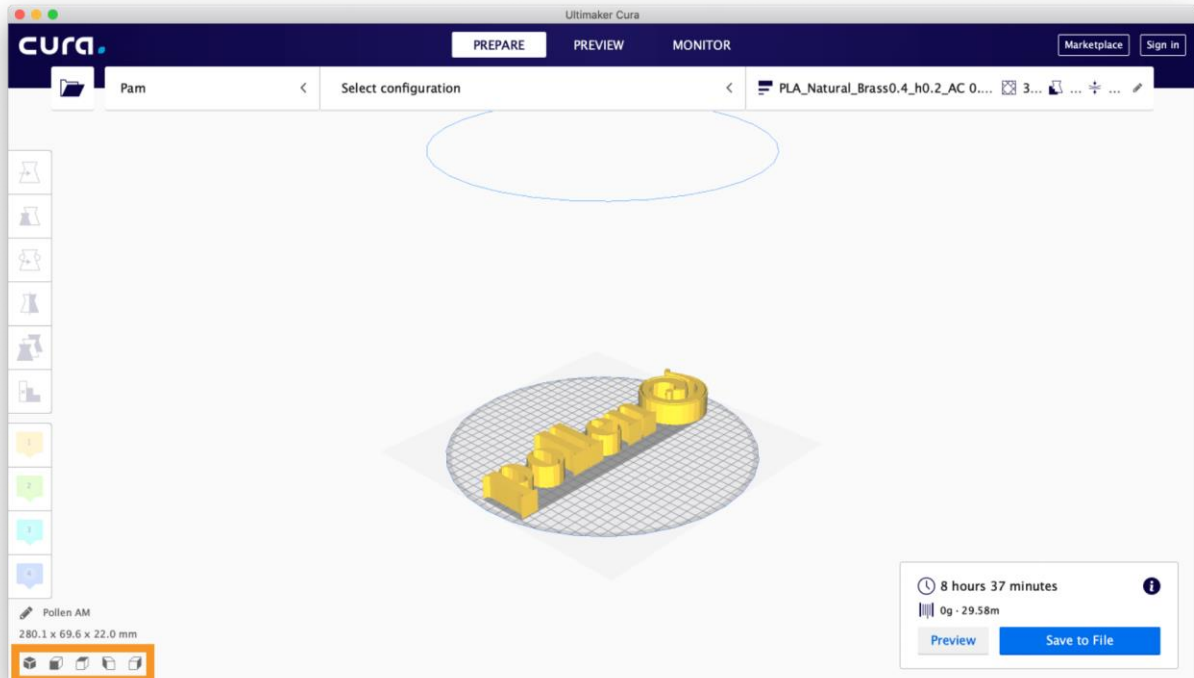
Configurazione: selezionare rapidamente l'ugello montato per ciascun estrusore.

Print settings

Esistono tre modi basici per visualizzare il modello:

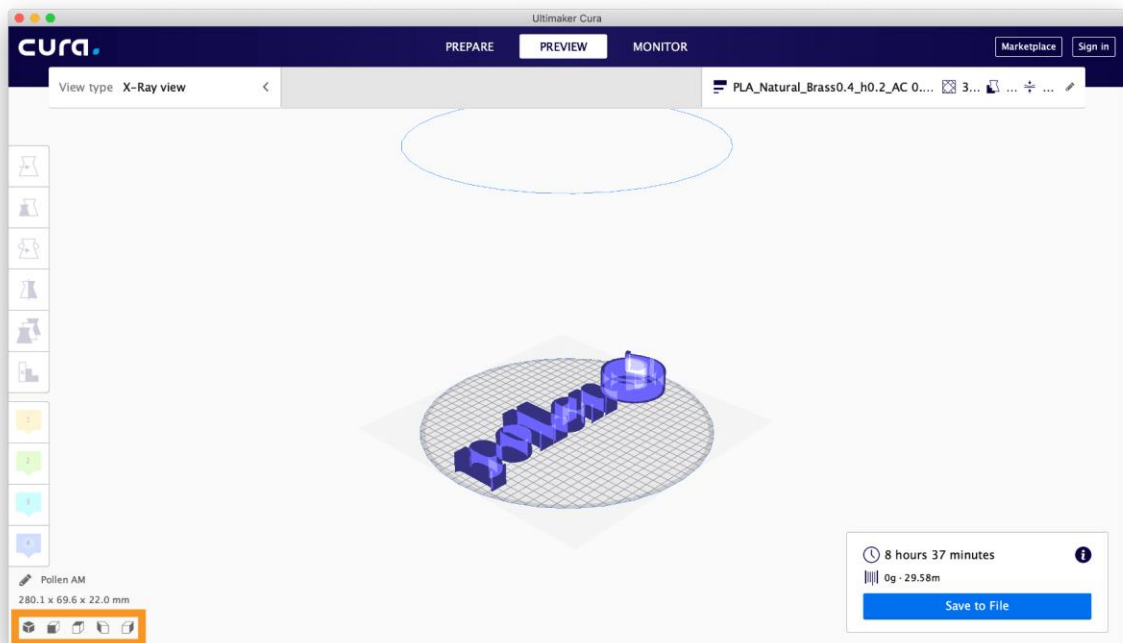
- Solido
- Raggi X
- A strati

Visualizzazione solida: questa è la vista di default che permette di avere una visione globale del pezzo, dimensione, orientamento di stampa, ecc. Anche l'utilizzo delle impostazioni di navigazione per modificare il punto di vista può essere utile.





Visualizzazione a raggi X: disponibile nelle impostazioni di anteprima, questa funzione consente di analizzare la struttura interna del pezzo 3D e di capire quale elemento del pezzo deve essere rielaborato. Anche l'utilizzo delle impostazioni di navigazione per modificare il punto di vista può essere utile.





Visualizzazione a strati: disponibile anche nelle impostazioni di anteprima, è importante conoscere questa funzione, utilizzandola permette di massimizzare la percentuale di successo delle sue stampe e di verificare che il file sia stato interpretato correttamente. Questa funzione consente la visualizzazione di diversi elementi, come materiale, tipo di linea, federati e spessore dello strato. È anche visualizzabile la strategia di deposizione del materiale strato per strato.

Anche l'utilizzo delle impostazioni di navigazione per modificare il punto di vista può essere utile.



L'ultima parte, dobbiamo collegare la nostra stampante 3D con il modello che abbiamo creato.

Nella maggior parte dei casi, l'invio di un file G-code a una stampante 3D è un'attività semplice che consente di creare modelli stampati in 3D belli e creativi. Dopo aver creato il tuo file G-Code dalla tua affettatrice, ci sono alcuni modi per inviarlo alla stampante 3D:

- **Inserimento della scheda (micro) SD nella stampante 3D**
- **Cavo USB che collega la stampante 3D a un computer o laptop**
- **Attraverso la connettività Wi-Fi**

Inserimento della scheda (micro) SD nella stampante 3D

L'utilizzo di una scheda SD è uno dei modi più comuni per inviare il G-Code alla stampante 3D. Quasi tutte le stampanti 3D hanno uno slot per schede SD e vengono spesso utilizzate proprio per questo scopo.

Puoi inviare facilmente il G-Code a una scheda SD o MicroSD dopo aver tagliato il tuo modello CAD sul computer o sul laptop. Molte stampanti 3D sono dotate di una scheda MicroSD e di un lettore di schede USB, che consente di salvare direttamente i file.

Salva il file G-Code sulla scheda MicroSD e inserirlo nello slot per schede MicroSD sulla stampante.

Questo è probabilmente il metodo più utilizzato per inviare file G-Code a una stampante 3D, grazie alla sua semplicità ed efficacia per portare a termine il lavoro senza applicazioni o dispositivi aggiuntivi.



Cerca di non commettere l'errore di scollegare la scheda SD durante il processo di stampa 3D o il tuo modello si fermerà.

Cavo USB collegato a un computer o laptop

Invece di utilizzare una scheda SD, puoi collegare la tua stampante 3D direttamente al tuo computer o laptop con un semplice cavo. Questo è un metodo meno comune, ma è particolarmente efficace nella stampa 3D. L'unico aspetto negativo di questa opzione è che quando utilizzi il tuo laptop, devi mantenerlo sempre in funzione perché la modalità di sospensione può interrompere il processo di stampa e rovinare il tuo progetto.

Invio di G-Code tramite connettività Wi-Fi

Un modo sempre più popolare per inviare G-Code al 3D è l'opzione Wi-Fi. Questa opzione ha cambiato l'intero scenario della stampa 3D e ha portato l'esperienza di stampa a un livello superiore.

Esistono molte applicazioni e software che possono essere utilizzati per questo processo come OctoPrint, Repetier-Host e AstroPrint.



Oggetto/i in movimento:

- ←/ ↑/ →/ ↓ = Sposta un oggetto lungo il piano terra (piano X/Y)
- Ctrl + ↑/ ↓ = Sposta un oggetto in alto o in basso (piano Z)
- Shift + ←/ ↑/ →/ ↓ = Sposta un oggetto 10 volte più velocemente lungo il piano terra (piano X/Y)
- Ctrl + Shift + ↑/ ↓ = sposta l'oggetto in una sola direzione
- D = Rilascia l'/gli oggetto/i selezionato/i sul posto di lavoro

Tieni premuti i tasti della tastiera, quindi fai clic/trascina il mouse per le scorciatoie seguenti...

- Shift + clic destro = Vista panoramica
- Alt+ tasto sinistro del mouse = Oggetto/i duplicato/i
- Shift+ tasto sinistro del mouse = Seleziona più di un oggetto
- Shift+ tieni premuto durante la rotazione = Rotazioni di 45 gradi

Scorciatoie utili per le azioni degli oggetti...

- ctrl + C = Copia un oggetto o gli oggetti selezionati
- ctrl+ V = Incolla un oggetto o gli oggetti
- ctrl+ Z = Annulla l'azione o le azioni
- ctrl + Y = Rifai un'azione o azioni
- ctrl + D = Duplica l'oggetto o gli oggetti sul posto
- ctrl+ G = Raggruppa gli oggetti
- ctrl+ shift+ G = Separa gli oggetti raggruppati
- Del = cancella un oggetto o gli oggetti

Opzioni oggetto:

Seleziona l'/gli oggetto/i e quindi esegui la/e seguente/i azione/i...

- T = Attiva/disattiva trasparenza
- H = Trasforma uno o più oggetti in un buco
- S = Trasforma uno o più oggetti in un solido
- ctrl + L = Blocca o sblocca gli oggetti selezionati
- ctrl + H = Nascondi un oggetto
- ctrl + shift + H = Rendi di nuovo visibili tutti gli oggetti nascosti



Modifica le dimensioni di un oggetto:

- Alt + fai clic e trascina la maniglia laterale = Scala in una direzione
- Alt + fare clic e trascinare la maniglia d'angolo = Scala in due direzioni
- Shift + clic e tieni premuta la maniglia d'angolo = Scala uniforme
- Alt + Shift + fare clic e tenere premuta la maniglia d'angolo = Scala uniforme dal centro

Strumenti e visioni

- W = Crea un nuovo piano di lavoro
- L = Strumento allinea
- R = Strumento righello
- M = Strumento capovolgi
- F = Una migliore visualizzazione degli oggetti selezionati
- Ctrl + A = seleziona tutte le forme visibili

Fonti

1. 3DInsider, Beginner's Guide to 3D Printing, 2020, Available online: <https://3dinsider.com/3d-printing-guide/>
2. 3Dsourced, 2022, 7 Key 3D Printing Slicer Settings you need to know
3. AdditiveX Team, 2021, What is slicing software and what does it do?, Available online: <https://www.additive-x.com/blog/what-is-slicing-software-and-what-does-it-do>
4. Autodesk Tinkercad Lessons, Available online: <https://www.tinkercad.com/learn/designs>
5. Carolo Lucas, 2022, Fused Deposition Modeling: FDM 3D Printing Simply Explained, Available online: <https://all3dp.com/2/fused-deposition-modeling-fdm-3d-printing-simply-explained/>
6. Cura's User Manual, 2021, Ultimaker's software for making 3D Prints, Available online: <https://manualzz.com/doc/6615410/cura-13.11.2>
7. Deshais August, 2015, How one teacher creates real-world learning opportunities through "making".
8. Dwamena Michael, 2020, How to Send G-Code to your Printer, 3D Printerly, Available Online: <https://3dprinterly.com/how-to-send-g-code-to-your-3d-printer-the-right-way/>
9. Halterman, 2015, Teachers are using 3D Printed manipulatives to help children understand math, Available online: <https://3dprint.com/52139/3d-printed-math-manipulatives/>
10. Hyojae et al., 2018, Implications for Activating 3D Printer Use for Education in Elementary and Secondary Schools
11. MakerShaper, Types of 3D Printing, 2018, Available online: <https://www.makeshaper.com/types-3d-printing/>
12. Novak Elena, Wisdom Sonya, Effects of 3D Printing Project-based Learning on Preservice Elementary Teachers' Science Attitudes, Science Content Knowledge, and Anxiety About Teaching Science, 2018, Journal of Science Educations & Technology
13. O'Connell Jackson, 2021, 3D Printed Math: 10+ Amazing Projects, Available online: <https://all3dp.com/2/3d-printed-math-3d-printed-geometric-shapes/>
14. Spicewood Elementary School, 2017, Kindergarten explores 3D Printing
15. Swanson, 3D Printing Lecture, 2019, Available online: <https://slideplayer.com/slide/16130644>
16. Torta, 3D Printing: An Introduction, 2019



17. Wise Rachel, 2021, Find out how using 3D Printers in the classroom makes learning exciting for students
18. Zia Martin, 2022, Why do I need a slicer to 3D Print?, Available online: <https://www.3dprintingbuff.com/why-do-i-need-a-slicer-to-3d-print/>

