BRICKS | TEMA

Classroom 3D Printing
Processo creativo e didattica attiva con la stampa 3D

a cura di:
Equipe Formazione Digitale:
Mario Gabbari, Roberto Gagliardi,
Antonio Gaetano – Daniela Sacchi

stampa3d, 3dprinting, 3dprint, stampa3ditalia, progettazione3d, 3dprinter, didattica3d, strumento3d, tecnologia3d, storia3d, modellazione3d, vantaggi3d, costostampa3d, processostampa3d, creatività3d, intelligenza spaziale, stampa3dinclasse

Premessa

C'è vero progresso solo quando i vantaggi

di una nuova tecnologia diventano per tutti.

Henry Ford

Il mondo della scuola si sta arricchendo di un nuovo strumento digitale: "*la Stampante 3D*". Questo dispositivo, grazie alle sue peculiari caratteristiche e al processo creativo che lo precede e lo accompagna, ha assunto il ruolo di una specie di "*totem didattico*" con una missione consociante e trascinante che fa aumentare in modo sensibile le capacità di adattamento di coinvolgimento e di lavoro degli alunni. Quando gli studenti creano un oggetto con la stampante 3D, possono vedere la concretizzazione di una loro idea, la consistenza dell'oggetto, la sua forma e le caratteristiche del materiale utilizzato. La sua sostanza è la prova di una trasformazione che porta dal mondo del virtuale, del possibile e dell'astratto a quello del reale, del concreto e del tangibile. Quest'operazione stimola la loro creatività e suggerisce le possibilità di un'invenzione senza confine, limiti e spazi (nomadismo)[1], coinvolgendoli in prima persona in una attività didattica divertente ed emozionante.

Figura 1 - Studenti e stampante 3D

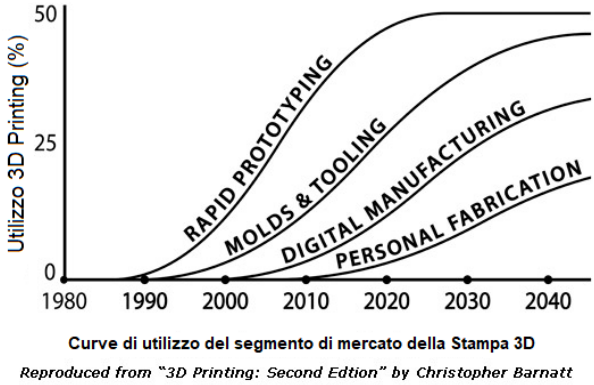

Figura 2 - Previsioni stampa 3D.

L'inserimento e l'utilizzo della stampa 3D in classe sono l'attuale frontiera dell'insegnamento, poiché aprono nuovi scenari dagli sviluppi straordinari che rappresentano un fattore abilitante e che descrivono una piattaforma di lancio per affrontare le sfide futuribili. Questo nuovo strumento nella palestra dell'innovazione, consente agli studenti di ottenere il massimo rendimento con le stesse tecnologie digitali con cui, probabilmente, s'imbatteranno durante la loro vita e nel mondo del lavoro.

La sfida che invece i docenti devono affrontare è quella di integrare con successo la stampa 3D nel loro programma di studio e nel loro percorso didattico per aiutare a trasformare gli studenti di oggi, nei futuri innovatori del domani. Pertanto comprenderne l'uso e il valore didattico è il primo passo per poterla validamente introdurre in un percorso formativo efficace.

[1] Brian Alexander (Going *nomadic: Mobile Learning in Higher Education,* 2004), ha illustrato, in un'incisiva metafora, il cambiamento che dovrebbe essere perseguito attraverso l'uso dei moderni media digitali. Si dovrebbe riuscire a passare dallo studente "sedentario", immobile in un banco in atteggiamento di passiva ricezione d'informazioni e conoscenze, allo studente "nomade", in movimento alla ricerca lungo l'asse scuola- dispositivo mobile-mondo.

L'utilizzo della stampa 3D ormai sta invadendo tutti i settori dell'attività umana, dalla tecnologia all'arte, dall'ingegneria alla medicina, dall'edilizia alla nautica, dall'industria aerospaziale[2] alla pasticceria. La stampante 3D, per esempio, è stata il tema dominante della decima stagione (2013-2014) della serie televisiva Grey's Anatomy, un "medical drama" incentrato sulla vita della dottoressa Meredith Grey, tirocinante di chirurgia nell'immaginario Seattle Grace Hospital di Seattle. La dottoressa Grey, responsabile del progetto di costruzione di un organo funzionante, realizza, a scopo dimostrativo, una forchetta, mentre la Yang, una collega con cui è in competizione, vorrebbe utilizzare la stampante 3D per creare un condotto in grado di salvare un neonato. A parte le vicissitudini tra le due amiche-nemiche ed alcune incongruenze relative all'utilizzo della stampante, la serie ha avuto il merito di contribuire a livello mondiale alla diffusione della stampa 3D e al suo potenziale in ambito medico.

Le applicazioni ritenute più innovative nei settori commerciali e industriali collegati con la stampa 3D sono: l'aumento della velocità di sviluppo di nuovi prodotti, la possibile offerta di prodotti personalizzabili tramite produzione additiva[3], l'ampliamento della flessibilità legata alla produzione, la fabbricazione di serie circoscritte, la gestione di parti di ricambio e la diminuzione dei costi dei prodotti dimostrativi. La stampa 3D rappresenta oggi un nuovo modo di produrre oggetti e prototipi e sta rivoluzionando in maniera rilevante tutta la struttura del sistema artigianale e produttivo. La riduzione dei costi e la successiva moltiplicazione delle stampanti 3D rappresentano uno dei cambiamenti tecnologici più rilevanti; inoltre queste soluzioni permettono di condurre rapide operazioni di *design* e ingegnerizzazione in grado a loro volta di realizzare oggetti reali, prototipi estetici, funzionali e strutturali.

Il potenziale offerto, in termini d'innovazione, sta rivoluzionando interi settori del mercato anche nel campo dell'istruzione e della formazione. L'inserimento e l'utilizzo della stampa 3D in classe rappresentano l'attuale frontiera dell'insegnamento poiché aprono nuovi scenari dagli sviluppi straordinari. Uno dei motivi che però limita l'impatto nell'area della formazione è probabilmente ancora la poca conoscenza che i docenti della scuola hanno di questa recente tecnologia che rappresenta un bagaglio aggiuntivo, uno strumento in più nella "*cassetta degli attrezzi d'istruzione digitale*", che qualsiasi insegnante ormai avrebbe l'obbligo di possedere e gestire didatticamente. Pertanto la sfida che i docenti devono affrontare è quella di integrare con successo la stampa 3D nei loro programmi di studio e nei loro percorsi didattici per aiutare a trasformare gli studenti di oggi nei futuri innovatori del domani.

Definizione e funzionamento

Quando si parla di "*stampa 3D*" a scuola, bisogna intendere un processo di produzione additiva che, tramite un progetto e partendo normalmente da un disegno digitale, genera prontamente, al termine del percorso, un oggetto fisico (*prototipazione rapida*). Il percorso di digitalizzazione, che precede la fase esecutiva, consente di rendere immateriale la realtà fisica e/o rendere astratto un elemento reale, in pratica permette di passare direttamente dall'immaginazione alla realtà. Diverse possono essere le

[2] L'astronauta italiana **Samantha Cristoforetti** ha portato a bordo della stazione spaziale internazionale POP3D, una stampante 3D portatile per stampare pezzi di ricambio.

[3] La produzione additiva o processo additivo o tecniche additive o produzione a strati è un processo di unione dei materiali per fabbricare oggetti da modelli 3D computerizzati, di solito uno strato sopra l'altro, in opposizione alle metodologie di produzione sottrattiva. Un esempio è la modellazione a deposizione fusa o la sinterizzazione laser.

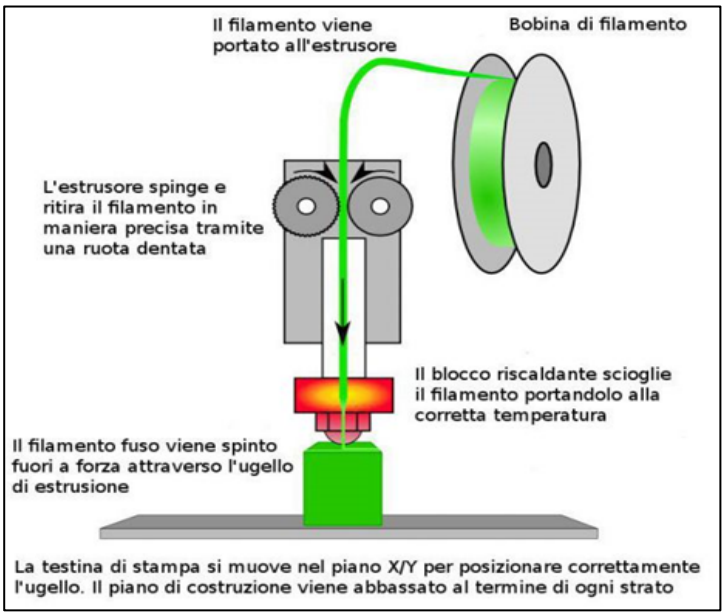

Figura 3 - Fasi di lavoro Stampa 3D.

tecnologie di stampe 3D[4] e differenti possono essere i materiali con cui è possibile stampare, ma tutte le stampanti 3D si basano sullo stesso principio, cioè: un modello digitale è trasformato, in un oggetto fisico tridimensionale solido, sovrapponendo uno strato di materiale dopo l'altro.

Le stampanti 3D, classificate "desktop", fondono un materiale plastico che è progressivamente adagiato su una piattaforma di stampa, mentre in genere le grandi macchine industriali utilizzano un raggio laser che fonde la polvere metallica ad alte temperature in modo minuzioso e discriminatorio. I materiali, utilizzati per la stampa 3D, possono essere diversi in base alle differenti tipologie di stampante 3D e possono variare dalla plastica alla gomma, dall'arenaria ai metalli, dalle leghe fino al cioccolato.

Uno sguardo sul passato della stampa 3D

La stampa 3D nasce come progresso della stampa 2D. In entrambe le situazioni, il lavoro di progettazione e di modellazione è eseguito tramite un computer e la realizzazione dell'oggetto materiale compete alla stampante 3D tenendo però conto dei dati elaborati dal PC. Mentre nella stampa 2D si ottiene un documento cartaceo con testi o immagini bidimensionali impresse con l'inchiostro o con il laser, con la stampa 3D il risultato è un vero e proprio oggetto tridimensionale realizzato con il tipo di materiale tecnologico di cui è dotato il dispositivo stampante (*plastica, resine, metallo o leghe,* ...).

Nel 1983 un antenato della stampa 3D è stato la "stereolitografia" inventata da Chuck Hull e ottenuta applicando il suo brevetto ai liquidi induribili. In seguito ha ampliato il suo lavoro a tutti i materiali in grado di solidificare o alterare lo stato fisico, definendo l'additivo di produzione (AM). Nel 1988 S. Scott Crump brevettò la "Fused Deposition Modeling" (FDM), cioè la stampa con materiale fuso. Furono accantonati sia il laser, sia la polvere e si cominciò a utilizzare la plastica fusa che veniva "sovrapposta" strato per strato in base al progetto del prodotto da realizzare. Dal 2009 la stampa 3D, scaduto il brevetto per la modellazione fusa con deposizione (FDM), è diventata di dominio pubblico con costi assai ridotti e la sua diffusione si è allargata oltre i confini industriali entrando anche nelle scuole.

[4] L'Organizzazione Internazionale per la Standardizzazione (ISO) e la Società Americana per i Testing e Materiali (ASTM) hanno sviluppato vari standard. L'ultimo è stata introdotto nel dicembre 2015 e si chiama ISO / ASTM 52900 e definisce sette tecnologie di stampa 3D. È possibile vedere sei delle sette tecnologie in azione come parte del rapporto video dal TCT 3D Printing Show 2014 .

La Modellazione e la Tecnica di produzione additiva

Il metodo più conosciuto e utilizzato anche dalle stampanti 3D, presenti nella maggioranza delle nostre aule scolastiche, è il *Fused Deposition Modeling* (FDM), valido per applicazioni di modellazione, prototipazione e produzione.

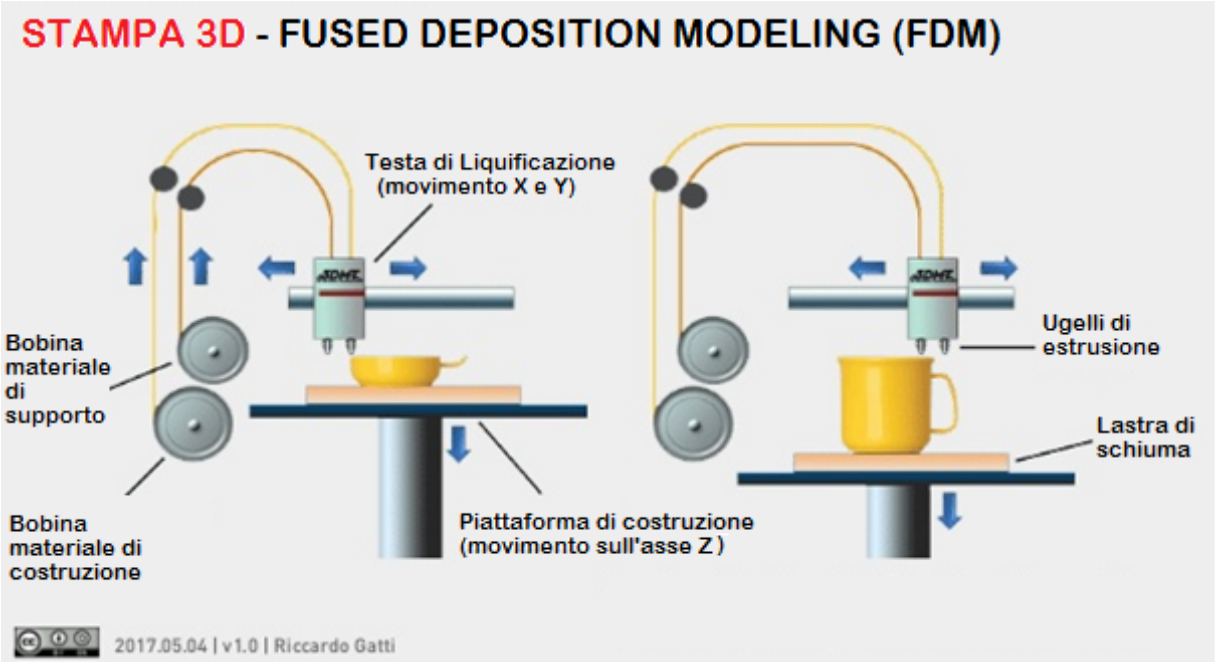

Figura 5 - Applicazione per la modellazione, prototipazione e produzione.

Questa modalità di lavoro FDM (simile anche alla FFF[5]) consiste fondamentalmente in una "*estrusione*": un filamento plastico, di cera o un filo metallico viene srotolato da una bobina che fornisce il materiale, a un ugello di estrusione che deposita il materiale in modo da costruire, strato dopo strato, i piani bidimensionali dell'oggetto su un percorso specifico e predeterminato creato dal software sul computer. L'ugello si riscalda tramite dei radiatori che riescono a mantenere la temperatura al sopra del punto di fusione del materiale, in modo che questo riesca a fuoriuscire senza ostacoli. La piattaforma di lavoro si sposta dopo che ogni strato è stato depositato ed è caratterizzata da temperature più basse in modo da permettere al materiale appena depositato, un rapido raffreddamento e indurimento.

Figura 6 - Bobine Filamento PLA.

Uno dei materiali più utilizzati è il filamento di PLA (acido polilattico), un polimero del tutto biodegradabile, non tossico nella sua forma base, resistente, con un odore gradevole, facile da utilizzare, lucido e sicuro anche se i suoi risultati sono un po' grezzi. E' composto di amido di mais o di altri prodotti di origine vegetale come scarti, alghe o materiali poco nobili (*canna da zucchero, radici di tapioca e di patate*). È estruso a temperature tra i 160° e i 200°C, non ha bisogno di un piano di lavoro riscaldato e durante la fusione emette un leggero odore gradevole di mais tostato. Avendo origini vegetali, bisogna evitare che sia tenuto esposto in modo prolungato in ambienti con forte umidità. Gli oggetti in PLA sono più rigidi, quasi cristallini, e per questo si possono

[5] Fused Filament Fabrication

spezzare più facilmente. Inoltre a temperature di circa 60°C si ammorbidiscono, diventano fragili quando fa freddo, si raffreddano lentamente e possono diventare tossici a causa dei pigmenti colorati. Il PLA ha una temperatura di fusione più bassa rispetto all'ABS[6], altro materiale plastico di utilizzo comune per la stampa 3D, ma ha una più ampia gamma di colori e una maggiore elasticità.

Le bobine di PLA in genere sono vendute con il peso di 1 Kg.

Vantaggi e svantaggi della Stampa 3D

Come tutte le tecnologie anche la stampa 3D offre dei pregi e/o degli svantaggi che in base agli utilizzi possono essere catalogati e classificati.

Tra i "*vantaggi*" più efficaci, che è possibile individuare, segnaliamo i seguenti:

- Permette di ridurre i costi di produzione.
- Offre flessibilità di progettazione (un singolo materiale (filamento) può assumere un qualsiasi numero di forme e dimensioni).
- Permette ai progettisti di facilitare la creazione di forme complesse molte delle quali non possono essere ottenute con metodi di produzione convenzionali.
- Permette una facile personalizzazione; basta modificare il disegno digitale per apportare modifiche senza utensili aggiuntivi o nuovi stampi. Questo comporta l'abbassamento dei costi fissi di fabbricazione richiesti per produrre il prodotto finale.
- Permette di abbreviare lo sviluppo e i tempi del ciclo di produzione.
- Diventa un metodo conveniente per i progettisti o imprenditori che stanno cercando di fare test di mercato o di piccola serie - o anche lanciare i loro prodotti attraverso i siti di crowdfunding[7]. Offre pertanto un percorso molto meno rischioso per tutti quelli che sono alla ricerca di nuovi prodotti da lanciare sul mercato.
- Permette di limitare gli sprechi, poiché utilizza solo la quantità di materiale necessaria per creare quel particolare prodotto. Inoltre, la maggior parte di questi materiali può essere riciclata e *repurposed*[8] in altri oggetti con stampa 3D.
- Rivoluziona il concetto di produzione grazie al basso impatto ambientale dei materiali ed alla possibile produzione a km 0.
- Permette una facile configurazione se la calibrazione è effettuata in automatico.

---

[6] L'acrilonitrile-butadiene-stirene o ABS, è un comune polimero termoplastico utilizzato per creare oggetti leggeri e rigidi come tubi, strumenti musicali , teste di mazze da golf, parti o intere carrozzerie automobilistiche e giocattoli come i famosi mattoncini della LEGO. L'ABS trova grande applicazione nella realizzazione di prodotti mediante l'utilizzo di macchine di prototipazione rapida che utilizzano tecniche produttive quali la FDM (*Fused Deposition Modeling*).

[7] Raccolta di fondi, per lo più tramite Internet, attraverso piccoli contributi di gruppi molto numerosi che condividono un medesimo interesse o un progetto comune oppure intendono sostenere un'idea innovativa.

[8] È il processo mediante il quale un oggetto, con un valore d'uso, viene trasformato o ridistribuito come un oggetto con un valore d'uso alternativo.

- Permette, in un certo senso, la fine all'obsolescenza dei prodotti trasformando il modo in cui le parti di scorta sono gestite, in pratica si può ridurre o eliminare il problema della gestione della filiera dei ricambi.
- Può produrre forme complesse che non possono essere stampate a iniezione ed è in grado di generare delle parti già funzionanti che non richiedono un montaggio aggiuntivo.

Tra gli "*svantaggi*" più rilevanti è possibile annoverare i seguenti:

- La produzione non è ancora competitiva quando si tratta di produrre oggetti in serie; i processi di produzione tradizionali sono ancora, per il momento, più convenienti.
- Le scelte dei materiali di produzione, nonostante il settore sia in rapida evoluzione, per ora si limitano a plastica e metalli che sono i più utilizzati.
- A causa del processo di fabbricazione: "*strato su strato*", gli oggetti prodotti, anche perché realizzati con macchine stampanti differenti tra loro, possono mostrare una contenuta robustezza e resistenza. Queste limitazioni sono comunque destinate a scomparire nel futuribile.
- La stampa 3D non avendo un grado di precisione molto alto, non è utilizzabile in alcuni processi produttivi che richiedono basse tolleranze o hanno bisogno di ottenere dei gradi di precisione molto alti.
- I rischi attribuibili alla stampa 3D sono ancora numerosi per la sicurezza di chi la utilizza. Ci riferiamo alla scarica accidentale per contatto diretto e/o indiretto, alla possibile scottatura per la presenza di materiali molto caldi, al possibile schiacciamento di parti del corpo (es. mani) negli ingranaggi, al surriscaldamento, alla produzione di gas e di vapori causati dalla fusione della plastica o di altri materiali stampabili, limitabile con appropriati interventi. E' opportuno, in particolare per le scuole, scegliere modelli di stampanti chiuse e senza accesso diretto alle parti soggette a riscaldamento.

Elementi per determinare il costo di una stampa 3D

Questa tecnologia emergente è diventata accessibile e di largo consumo e oggi è facilmente accessibile anche al vasto pubblico. Una scuola può acquistare una stampante 3D desktop, con prestazioni affidabili e di classe, a meno di € 1.000 e i costi sono destinati a diminuire ulteriormente. Anche i materiali di consumo e la manutenzione sono diventati assai meno costosi del passato. Si possono acquistare i materiali di stampa 3D dai € 20 per ogni KG di filamento.

Comunque per conoscere i costi di realizzazione di un manufatto con stampa 3D è necessario sapere:

- Il costo di progettazione dell'oggetto da stampare (in proprio o per altri).
- Il costo per l'acquisto della stampante 3D (per le scuole mediamente dai € 500 a max € 2.000).
- Il materiale necessario per la realizzazione dell'oggetto.
- La durata del tempo di stampa.
- Il consumo elettrico richiesto.

- Il costo di obsolescenza tecnico/commerciale della macchina e del software in dotazione o acquistato a parte.

Orientare nella scelta della stampante 3D più adatta

Si segnalano alcune indicazioni, suggerite anche da INDIRE, per orientare gli insegnanti, i dirigenti scolastici e chi opera nell'ambito della scuola, nella scelta di una stampante 3D adeguata. Naturalmente bisogna sempre tenere presente i prezzi di mercato, poiché costituiscono, ancora di più, in un ambito come quello scolastico, un fattore decisivo nella scelta dell'articolo. Tra le caratteristiche fondamentali che sono da tenere presente segnaliamo:

- Il contenitore, se chiuso, migliora la protezione delle parti in movimento e degli elementi caldi.
- La facilità di messa in opera: la configurazione della macchina, l'installazione e la configurazione dei software.
- La manutenzione ai fini della stampa: il cambio del filo, la taratura del piatto.
- L'ordine e il grado della scuola in cui deve essere installata la stampante (scuola dell'infanzia e primaria spesso richiedono dispositivi con caratteristiche differenti).
- La presenza di un display che mostri le informazioni sullo stato della stampante e/o sull'avanzamento del processo di stampa.
- Il livellamento del piatto (regolazione)[9] per una buona riuscita della stampa, il suo eventuale riscaldamento e la possibilità di una sua calibrazione.
- Il rispetto delle normative per garantire la maggiore sicurezza possibile, vedi Certificazione CE.

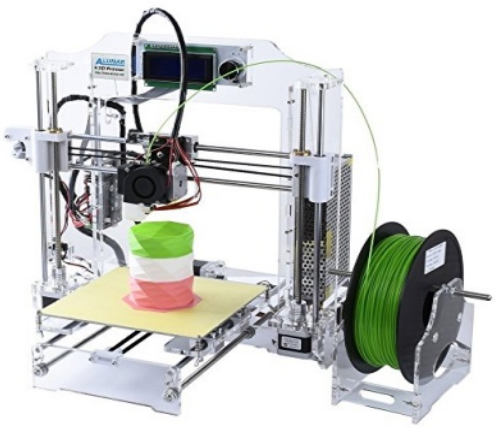

Figura 7 - Stampante 3D aperta.

Normalmente per la stampa 3D, con stampanti modello FDM, i tempi di stampa dipendono dalle dimensioni dell'oggetto, in genere si va intorno ai 15' per piccoli modelli fino a diverse ore per grandi stampe. Normalmente gli oggetti realizzati con le stampanti "desktop" non superano la dimensione massima di cm 20x20x20. Altro elemento rilevante diventa la velocità di stampa: generalmente un valore fino ai 40 mm/sec è considerato medio-lento, dai 50 ai 100 mm/sec si parla di stampa accelerata (anche in questo caso la stampante deve essere configurata a dovere), oltre i 100 mm/sec la stampante comincia a vibrare in maniera preoccupante. Alcuni software visualizzatori e analizzatori (es. gCodeViewer) aiutano a individuare, in tempo reale sul proprio browser, la quantità di materiale utilizzato per ottenere un determinato oggetto e il tempo necessario, a sua volta utile, per determinare la quantità di consumo elettrico (per la stampa di 1 h il costo dell'energia, ai valori attuali, potrebbe essere intorno a € 0,18). I programmi come "gCodeViewer",

[9] Il piatto deve essere perfettamente orizzontale rispetto agli assi di spostamento dell'estrusore affinché la plastica si depositi uniformemente.

sono in grado di mostrare anche la quantità di filamento necessaria, in base al diametro del filamento impiegato. Prendendo come riferimento il costo al metro (o al grammo) del filamento sarà sufficiente fare una semplice moltiplicazione per avere il costo del materiale da usare per realizzare quella determinata stampa 3D. Un altro fattore determinante è anche quello del massimo riempimento possibile da applicare all'oggetto da stampare. Se la stampa è "solida" nel senso con il massimo grado di riempimento, saranno necessari più materiale e più tempo per l'estrusione e quindi un aumento dei costi.

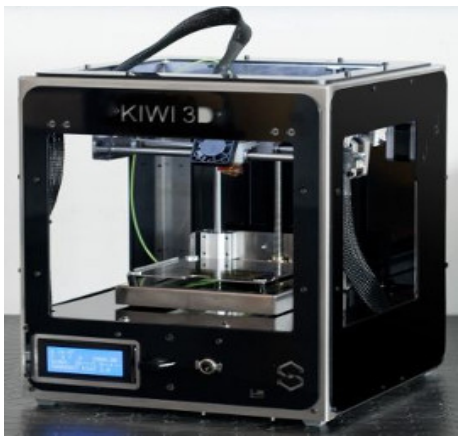

Figura 8 - Modello di stampante 3D

Una manutenzione essenziale per una stampante 3D è la lubrificazione occasionale dei cuscinetti lineari. Per quanto riguarda invece i costi di usura delle parti "consumabili" (*cinghie, pulegge, spingifilo, ugelli, motori*) questi dipendono anche dal numero di ore di funzionamento. In base ai riferimenti dei costi rintracciati in rete, un costo forfettario max di circa 1 o 2 euro potrebbe essere accettabile per stampe di oggetti di piccola e media dimensione.

Le fasi del processo per la stampa 3D

Il processo 3D consiste nell'eseguire le fasi del percorso sotto indicato, partendo dal mondo reale, per passare, tramite la creatività degli alunni, dalla fase di digitalizzazione e di Pre-processing alla Modellazione dell'oggetto (es. Tinkercad[10], SugarCAD[11], Rhinoceros[12]). Poi, attraverso l'azione di un software dedicato, si arriva alla stampa 3D vera e propria in modo da realizzare il prodotto finale, ritornando al mondo reale (es. Doodle 3D[13]). Dal punto di vista didattico la parte di creatività, quella d'ideazione, di progettazione, … che precedono le fasi processuali della stampa *(learning by doing*), raffigurano i "*valori aggiunti*" che, attraverso l'uso di una stampante 3D, permettono di migliorare l'apprendimento degli studenti.

---

[10] Il software Tinkercad è completamente gratuito e richiede una semplice registrazione al sito per poterlo utilizzare. È principalmente orientato al disegno 3D, ma consente anche lo sviluppo di progetti bidimensionali per preparare gli alunni non solo al futuro nel mondo del lavoro, ma anche ad un modo di pensare indirizzato verso le tecniche di *problem solving*.

[11] SugarCAD è un software gratuito di modellazione 3D ottimizzato dai ricercatori del team di INDIRE per le scuole, in lingua italiana e inglese.

[12] Rhinoceros è software applicativo per la modellazione 3D di superfici. Grazie all'estrema padronanza e precisione che garantisce nella gestione delle forme 3d, Rhinoceros è attualmente uno degli strumenti preferiti nel campo del *product design*.

[13] Doodle 3D è un sistema ibrido costituito da un dispositivo hardware e da una *web application* che assolve a diversi compiti, tutti orientati a semplificare sensibilmente l'uso della stampante 3D in ambiti non tecnici, come ad esempio la Scuola dell'Infanzia. Inoltre evita di dover eseguire manualmente la fase di *slicing* e riduce l'intervallo che incorre tra la fase di disegno e quella di stampa semplificando i tempi e le procedure.

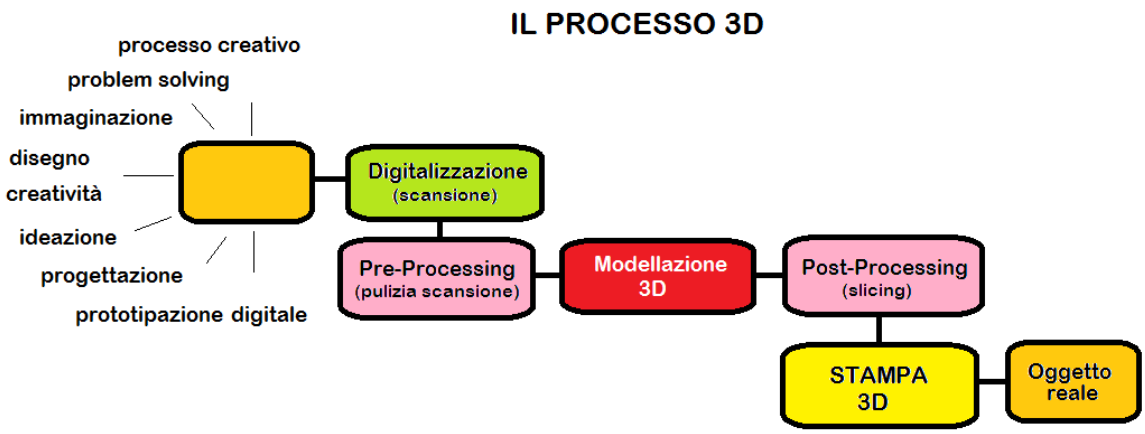

Figura 9 - Percorso del processo 3D.

La fase di "Modellazione 3D" termina con il salvataggio del file con estensione .STL (Standard Triangulation Language)[14], lingua di comunicazione internazionale del mondo della stampa 3D, che però deve essere a sua volta processato per creare eventuali supporti e per essere ottimizzato (Post-Processing) rispetto anche alla risoluzione della stampante di destinazione. Quest'operazione definita "*slicing*"[15], consiste nel sezionamento del file in base alla tipologia della stampante in uso, nello scomporre "*strato dopo strato*" (*layer-by-layer*) l'oggetto e inviare poi le istruzioni alla stampante stessa. E' un'operazione abbastanza complessa, assolta in genere da software (es. Slic3r, Octoprint, Doodle3D, Cura[16]) direttamente collegati alla stampante 3D, tramite una porta USB. In questo modo si elude l'esecuzione manuale della fase di *slicing*. Quest'utilizzo permette di semplificare le operazioni di stampa in ambienti scolastici poiché consente un flusso di lavoro molto più continuativo. Inoltre si riesce a ridurre l'intervallo temporale necessario tra la fase di ideazione-disegno e quella di stampa agevolando così uno dei procedimenti maggiormente avviati in classe. Inoltre, tramite questi software, per stampare è sufficiente indicare, tramite l'interfaccia di configurazione, il modello della stampante (tra quelle compatibili). Se la stampante non è annoverata nell'elenco, sarà sempre possibile, con una certa facilità, configurare manualmente tutti i parametri di stampa e riuscire, con buona probabilità, a stampare.

Figura 10 - Modellizzazione e stampa 3D.

[14] Il formato file **.stl** (stereolithografy) nasce per i software CAD e ogni macchina ha bisogno del progetto in input per funzionare.

[15] Lo **slicing** ("affettare", in inglese) è una delle fasi principali del processo che consente di passare da un modello tridimensionale di un oggetto alla sua realizzazione con una stampante 3D basata sulla soluzione della modellazione a deposizione fusa. L'operazione di *slicing* oltre a generare un'immagine bidimensionale di ogni strato deve anche definire i percorsi del blocco estrusore, la sua velocità, le temperature di estrusione e del piatto di stampa, riconoscere perimetri, spazi vuoti e riempimenti. Il software deve definire esattamente la modalità con cui la stampante deve andare a costruire fisicamente ogni singolo strato. Per svolgere questa funzione esistono numerosi software, tra cui Slic3r, Octoprint, Cura e Skeinforge.

[16] Cura, ampiamente apprezzato dagli utenti, è uno dei più semplici software *open source* per la gestione dei file .STL (caricare, modificare e convertire). Con Cura la stampante 3D viene "istruita" su quali movimenti compiere sui tre assi, mentre viene estruso il materiale in plastica fusa.

Perché una stampante 3D in classe

L'introduzione della stampante 3D in ogni ordine e grado di scuola, da quella dell'infanzia fino ai licei e agli istituti tecnici, è possibile, facilita l'apprendimento esperienziale (imparare facendo) ma solo e soltanto se l'introduzione dello strumento è accompagnata da solidi programmi educativi pensati intenzionalmente per valorizzarne l'integrazione nella didattica di tutti i giorni e non con l'unico scopo di "*imparare a usare uno strumento digitale*". Inoltre la ricerca didattica deve sviluppare e verificare anche le possibilità inclusive introdotte dall'uso delle stampanti a sostegno degli alunni con difficoltà, come gli ipovedenti o i non vedenti. La classe che introduce una stampante 3D nel proprio bagaglio informatico, non insegue le ultime tecnologie, né un impiego "*usa e getta*" delle stesse, ma mette in atto un "*esercizio all'innovazione*" e uno stimolo al pensiero critico per formare insegnanti e studenti a un utilizzo più consapevole e creativo. Diversi docenti affermano che la stampa 3D aiuta gli studenti a vedere il valore della loro educazione nella forma di risoluzione dei problemi del mondo reale. Il compito dei docenti pertanto è di creare un percorso coinvolgente che ispiri e guidi a imparare e a rafforzare le competenze cognitive, socio-emozionali e multisensoriali contribuendo inoltre, in modo rilevante, allo sviluppo dell'immaginazione e dell'inventiva, requisiti che anche la scuola dovrebbe sempre ricercare, motivare e valorizzare. Riuscire a mettere questa tecnologia nelle mani dei propri studenti e farla concretare, ad esempio, tramite alcune sfide su problemi del mondo reale che la comunità deve affrontare (compiti di realtà), crea le condizioni per apprendere con empatia, per sperimentare il lavoro di squadra e raggiungere la soluzione dei problemi. Alla scuola e alla società servono allievi abituati e stimolati ad avere un approccio del tipo *problem posing/solving*.

Alcune riflessioni che nascono sulle possibili applicazioni future di questo innovativo e in parte ancora poco esplorato strumento, fanno presumere che grazie all'inserimento di una stampante 3D, gli studenti possano sviluppare avanzate capacità critiche e di ragionamento spaziale[17], cioè la possibilità di arrivare, in un ambiente tridimensionale, a conclusioni precise da osservare (*laboratori e atelier creativi*[18]). La creatività e il pensiero laterale, la capacità di pre-visualizzare un prodotto o un oggetto immaginato, sono tutte abilità che maturano tramite un'attività di laboratorio attentamente progettata. Sviluppare l'approccio aumentativo e la capacità di affrontare situazioni-problema, favorire l'attitudine a lavorare in gruppo e alle sue dinamiche, abituare gli studenti a prendere in considerazione soluzioni diverse per un unico problema, comprendere che riprogettare un oggetto, a fronte dei problemi riscontrati, non è un disastro, ma una fase del lavoro, sono tutti elementi che contribuiscono all'attività didattica e al miglioramento delle competenze. Gli allievi devono essere stimolati a interpretare, a formulare giudizi circa la forma, le dimensioni, il movimento e le relazioni tra gli oggetti circostanti, a prevedere e manipolare modelli 3D.

---

[17] L'intelligenza spaziale, una delle nove intelligenze secondo lo psicologo Howard Gardner, si riferisce alla capacità di rappresentare il mondo esterno all'interno della nostra mente. Park, Lubinski e Benbow nel libro *Recognizing Spatial Intelligence* affermano che l'intelligenza spaziale è la capacità di generare, ruotare e elaborare mentalmente oggetti tridimensionali.

[18] I laboratori si trasformano in ambienti di apprendimento operativo diventando atelier creativi. La didattica si fa attiva, grazie al supporto di stampanti 3D, scanner 3D, kit per la robotica educativa, per il coding e il pensiero computazionale, per il making, il tinkering e l'elettronica educativa. L'elenco del MIUR delle attrezzature necessarie per realizzare degli Atelier creativi: http://schoolkit.istruzione.it/wp-content/uploads/2016/04/Allegato_2.pdf (DECRETO MIUR N°157 del 11-03-2016)

Figura 12 - Alunna osserva il suo prodotto.

Pertanto l'obiettivo fondamentale del docente diventa quello di far incrementare le conoscenze progettuali, le capacità operative e strumentali nell'uso dei programmi di disegno (es. CAD 3D) e le procedure di stampa, oltre a sviluppare una didattica per competenze con un approccio destinato alla risoluzione di problemi. Gli insegnanti possono utilizzare la stampa 3D anche per aiutare gli studenti ad affrontare problemi matematici astratti. Ad esempio, un insegnante può prendere, di una figura geometrica, i numeri e gli angoli utilizzati in una lezione di geometria e avvalersi di questi numeri in un programma gratuito di modellazione (es. Tinkercad, SugarCAD, OpenSCAD o 123D Design) prima di poter stampare la forma risultante in 3D.

La possibilità che gli alunni possano vedere operativamente come i concetti di matematica si traducono nel mondo fisico, li aiuta a raggiungere una comprensione più profonda di questi concetti astratti. Tutto questo realizza il "*pretesto didattico*" per far conseguire abilità trasversali accompagnate da competenze articolate. I processi di *Problem Posing/Solving e Problem Setting* che si compiono durante la realizzazione del percorso creativo e didattico finalizzato alla concretizzazione di un prodotto tramite la stampante 3D (*making*), forniscono agli alunni una maggiore prospettiva dei dati che stanno analizzando, una comprensione più profonda sugli eventuali errori di preparazione e diventano necessariamente la premessa per attuare tutte quelle condizioni affinché uno studente affronti in modo "progettuale" il compito assegnato. Il riconoscimento dei difetti, degli errori nei loro disegni, le procedure e le spiegazioni di come risolverli, rappresentano il significato primo della funzione del docente il cui ruolo diventa, anche quello di ricordare agli studenti che non riuscire a realizzare qualcosa è comunque semplicemente un'opportunità per imparare, crescere e riprovare. Attraverso l'uso di semplici programmi di disegno tridimensionale e di modellazione, gli alunni sono messi nelle condizioni di esprimere la propria creatività tramite un'attività di realizzazione personalizzata.

Figura 13 - Alunna infanzia e stampante 3D.

Secondo la teoria enattiva[19] si sviluppa una concezione della conoscenza non come semplice riproduzione di un mondo già predefinito, ma come cognizione che s'identifica con la nostra storia fisica e sociale. Pertanto disegnare e realizzare oggetti in 3D non solo aiuta gli alunni ad affinare le loro capacità creative, ma primariamente sviluppa anche la loro capacità di "definire e risolvere" problemi reali e allo stesso tempo fare tesoro degli errori commessi.

Preparare gli alunni a non avere timore di commettere errori, a comprendere il processo che porta a un risultato e a stampare concretamente ciò che è stato pensato, progettato e realizzato, consente di

[19] La teoria enattiva, secondo Francisco J. Varela, neuro scienziato cileno, sottolinea lo stretto rapporto che esiste tra azione e agente nel processo cognitivo, pur nel rispetto dei vincoli posti dall'ambiente e rappresenta una via di mezzo tra costruttivismo forte e soggettivismo eccessivo. Dunque, secondo la prospettiva enattiva, l'apprendimento è considerato come costruzione di un mondo comune del quale ciascuno è responsabile.

esaminare e migliorare ciò che la mente ha concepito con la propria fantasia[20]. Il mondo si sta trasformando a un ritmo così rapido che poter imparare dai propri errori può essere, per i nostri alunni, un'ulteriore capacità preziosa per il proprio futuro lavorativo. Le parole chiave che accompagnano questo percorso formativo sono: ***Think*** (Pensare), ***Make*** (Realizzare), ***Improve*** (Migliorare)[21]. Le stampanti 3D funzionano in modo adeguato solo se il disegno iniziale e il progetto sono ben concepiti. La stampante 3D richiede pertanto un'attenzione particolare nella fase di progettazione, poiché un semplice errore in questa fase provoca la stampa di un oggetto imperfetto.

Anche INDIRE[22], sta facendo sperimentare in alcune classi l'introduzione integrata delle stampanti 3D, e intravede importanti opportunità di potenziamento, non solo limitate alle competenze logico-matematiche, ma anche a quelle scientifiche e linguistiche. Per facilitare e rendere concrete negli allievi la motivazione, la condivisione e lo scambio tra pari (*peer learning*), il lavoro collettivo e il *problem solving* bisogna approntare nelle classi esempi pratici e facilmente applicabili anche di didattica inclusiva, pensati per il miglioramento delle capacità organizzative, in una logica di "*percorso a seguire*" rispetto alla programmazione. L'utilizzo del *coding*, del pensiero computazionale e l'uso gratuito di software *open source* con un forte grado d'interattività, sono tutti elementi propedeutici alla fase preparatoria della stampa 3D e sicuramente facilitano negli alunni l'apprendimento e l'allenamento della mente ai processi creativi.

Figura 14 - Esempi di utilizzazioni scolastiche.

[20] Gli alunni delle classi dell'obbligo non sempre riescono a mettere in relazione gli oggetti virtuali e il mondo digitale con la realtà fisica e spaziale. L'esperienza digitale, acquisita dai nativi digitali grazie alla disponibilità di strumenti digitali molto comuni come smartphones, tablet, e PC, avviene in un'area mentale di fantasia che difetta di una progettazione creativa e di "spessore", dove normalmente si relaziona solo per comunicare e non anche per creare.

[21] A) Pensare: la fase di definizione dei problemi, il *brainstorming* e la pianificazione dei problemi legati alla produzione dell'oggetto.
B) Realizzare: la fase di costruzione attuale. C) Migliorare: fase di correzione per eventuali difetti nell'oggetto, se non funziona o non sembra come previsto, lo scopo è quello di migliorarlo ripetendo e analizzando i passaggi precedenti.

[22] Istituto Nazionale Documentazione Innovazione Ricerca Educativa

Di seguito alcuni esempi di utilizzazioni delle stampanti 3D, nei vari ambiti disciplinari:

- **chimica,** tramite la stampa di modelli molecolari da toccare con mano,
- **biologia,** con lo studio di modelli di organi anatomici, di modelli di cellule e di protesi in odontotecnica,
- **tecnologia, disegno tecnico, arte,** con la realizzazione di progetti mirati con texture e geometrie innovative anche nei corsi di studio STEM[23] volti a incrementare la competitività in campo scientifico e tecnologico,
- **geografia,** tramite lo studio di mappe interattive, topografiche, forme geologiche,
- **storia,** con la realizzazione di manufatti storici, di campioni di fossili e di reperti preistorici anche per videolesi, aiutando la comprensione e l'apprezzamento per il passato,
- **geometria,** tramite il potenziamento della visualizzazione tridimensionale,
- **matematica,** con la realizzazione di modelli matematici, diagrammi e grafici e la loro percezione attraverso una rappresentazione fisica che crea qualcosa di tangibile da vedere e toccare,
- **cucina,** con la realizzazione di stampi di prodotti alimentari o di pasticceria,
- **costruzioni**, **arredamento** e **scenografia teatrale**, tramite lo studio e la realizzazione di modelli e strutture,
- **musei** e **gioielleria,** con la progettazione e/o realizzazione di manufatti per collezioni.

Anche nel settore dei Beni Culturali la stampa 3D ha creato nuove opportunità in molteplici settori: es. restauro integrativo di statue, di elementi architettonici, di opere d'arte, di beni artistici in genere, di *merchandising* museale, di allestimenti di percorsi tattili per ciechi e ipovedenti all'interno dei Musei e altro, di creazione di attività didattiche nelle scuole d'arte con la realizzazione di confronti fondati, a scopo d'indagine, non più solo su semplici fotografie e/o disegni.

Figura 15 - Alunni e stampa 3D.

Le stampanti 3D possono diventare un affascinante e straordinario aiuto didattico.

Suggerimenti per l'utilizzo in classe

Uno dei vantaggi della stampa 3D è il fatto che per questa tecnologia sono disponibili in rete, applicazioni praticamente illimitate. Tuttavia, l'abbraccio di una nuova appassionante tecnologia può confondere senza un piano di lavoro adeguato. È importante non solo avere un progetto curricolare centrato sulla stampa 3D, ma anche attivare un modo efficace e sicuro per utilizzare la tecnologia. E' utile tenere presente i seguenti suggerimenti:

[23] L'acronimo **STEM** deriva dall'inglese *Science, Technology, Engineering and Mathematics* e viene utilizzato per indicare i corsi di studio e le scelte educative volte a incrementare la competitività in campo scientifico e tecnologico. La classificazione degli insegnamenti come STEM ha implicazioni in vari ambiti, non solo educativi.

- **Pianificare la propria stampa**

  Prima di iniziare a utilizzare la stampa 3D nella propria classe, è importante avere un piano dettagliato su come organizzare nella classe i lavori di stampa. Con un'aula piena di studenti desiderosi di utilizzare la stampante, ci saranno molti che vogliono stampare subito i loro prodotti e portarli a casa. Il processo di stampa 3D richiede un po' di tempo e gli studenti dovranno attendere pazientemente mentre gli elementi vengono stampati. E' importante prevedere in anticipo questa situazione e regolarsi di conseguenza prestabilendo una maggiore pianificazione. Ad esempio può essere consigliabile che gli studenti agiscano divisi in gruppi di tre o quattro elementi.

- **Prendere in considerazione il software**

  La maggior parte delle stampanti 3D è dotata del software richiesto che normalmente può utilizzare una varietà di file .STL. Tuttavia, gli studenti, in base ai diversi livelli scolastici, avranno bisogno di un software che sia il più possibile "amichevole" e adeguato all'utilizzo e al livello. In rete sono disponibili programmi gratuiti come Tinkercad, SugarCAD o Google SketchUp che sono certamente i più adatti per un utilizzo a carattere generale.

  Alcune delle applicazioni progettate per i dispositivi mobili, stanno diventando disponibili e consentono di stampare con un singolo comando. Un'altra parte preziosa dell'esperienza di apprendimento potrebbe essere quella di lasciare agli studenti l'occasione di scoprire e confrontare le proprie scelte di un programma.

- **Impostare le regole**

  I docenti devono tenere sempre presente che le stampanti 3D lavorano applicando strati di materiale a temperature elevate. Gli studenti a loro volta devono apprendere, seguire e rispettare le linee guida sulla sicurezza, in particolare tenere le mani lontane dalle parti interne della stampante. I filamenti di plastica che si sciolgono dall'ugello della stampante, possono infliggere dolorose bruciature. I produttori più responsabili collocano le parti di lavoro della stampante all'interno di un contenitore protettivo, ma gli studenti possono accedervi per recuperare i prodotti stampati prima del loro raffreddamento. Pertanto è importante non permettere mai agli studenti di aprire prematuramente la porta della stampante, neppure per accelerare il raffreddamento. Per rimuovere il vassoio o l'elemento caldo è meglio utilizzare un raschietto o una spatola metallica. Inoltre, poiché una stampante 3D è un dispositivo elettrico che coinvolge temperature elevate, non dovrebbe mai essere lasciato incustodito o funzionante durante la notte. Soprattutto per i principianti, l'utilizzo di tali macchinari deve essere eseguito con tutte le misure di sicurezza rigidamente osservate.

- **Non pretendere di sapere tutto**

  Non tutti i docenti sono dei tecnici nella stampa 3D e non si può pretendere di essere un'autorità in materia. Pertanto, dove la propria conoscenza termina, bisogna comunicare agli studenti che non si è in grado di dare risposte e bisogna coinvolgerli a partecipare alla ricerca della soluzione dei problemi. Uno dei tanti vantaggi della stampa 3D è proprio l'impegno di complicità che può nascere tra docenti e studenti. Il processo di collaborazione: *imparare l'uso dell'attrezzatura, stabilire il modo di lavorare, adottare i metodi migliori, esplorare le possibilità offerte insieme ai propri studenti*, rende sicuramente coinvolgente e appassionante l'utilizzo della stampa 3D in classe.

Alcune considerazioni

La creatività

Quando si parla della stampante 3D, uno dei termini più ricorrenti, quasi un *leitmotiv*, è la creatività. Ci viene da chiedere in che modo stimola la creatività. Forse, immaginare di realizzare qualsiasi cosa venga in mente? Abbiamo visto, come nel caso dell'episodio di Grey's Anatomy, che non è sufficiente la volontà, il desiderio di costruire, di "fare" per avere successo. Infatti, nel caso citato, il risultato è stato un fallimento. Costruire un organo umano o una forchetta non richiede creatività. Si tratta di costruire un oggetto già esistente. Questo richiede: competenza, conoscenza, capacità di adattare l'oggetto alle necessità contingenti, forse, ma non creatività. L'insegnante, che dovrà gestire l'utilizzo di questo strumento ed essere in grado di mettere in luce la creatività dello studente, quali piste dovrà seguire, quali accorgimenti, quali metodologie?

Vediamo, per primo, cosa s'intende per creatività. Una definizione, che viene attribuita di volta in volta ad autore diverso (Einstein, Edison, Hemingway), recita: "*la creatività richiede un 10% di genialità o d'ispirazione e un 90% di sudore o di traspirazione*".

Si può definire, in modo più articolato, la creatività, come: "*uno stile di pensiero che si esprime in processi mentali caratteristici. Procede essenzialmente per associazioni tra idee, concetti, fatti e dà origine a idee e concetti nuovi, invenzioni, scoperte. La creatività è una* ***metacompetenza****, cioè un'abilità trasversale, che può essere applicata a campi diversi (arti, scienze, tecnologia, impresa...). La stessa creatività, che consente ai singoli individui di sviluppare e mettere a frutto una quantità di capacità specifiche, ha permesso all'umanità di progredire conquistando conoscenze, producendo cultura e praticando attività sempre più complesse*"[24]. La descrizione più nota del processo creativo è quella per "fasi successive" proposta da Graham Wallas e da Richard Smith.[25]

Le fasi descritte da G. Wallas sono cinque, ma nella maggior parte delle pubblicazioni vengono poi ricondotte a quattro[26]:

1. **Preparazione**

   Il pensatore, pienamente consapevole delle sue azioni, *indaga il problema da risolvere*, l'idea da sviluppare in tutte le direzioni. Accumula risorse intellettuali da cui costruire nuove idee. Ricerca le informazioni, le pianifica, le dispone in un quadro mentale per eventuali sviluppi futuri.

2. **Incubazione**

   In seguito, arriva un *periodo di elaborazione inconscia*, durante la quale non si esercita alcuno sforzo diretto sul problema in questione - è qui che avviene il "gioco combinatorio" che ha segnato il pensiero di Einstein.

---

[24] Per approfondimento, si veda il sito: http://nuovoeutile.it/creativita-cosa-vuol-dire-2/

[25] Autori del testo "The art of thought", pubblicato nel 1926

[26] Per approfondimento, si veda il sito http://nuovoeutile.it/come-si-esprime-la-creativita-i-modelli-del-processo-creativo/

Wallas osserva che il palcoscenico ha due elementi divergenti:

- il "fatto negativo" : durante l'incubazione non consideriamo in modo consapevole un particolare problema, o ci preoccupiamo d'altro,
- il "fatto positivo": quando si hanno una serie di pensieri e ragionamenti incoscienti, involontari"[27].

3. **Illuminazione o insight**

In seguito all'Incubazione c'è *la fase dell'illuminazione*, che Wallas ha basato sul concetto di "illuminazione improvvisa" del matematico francese Henri Poincaré: *'quel lampo di intuizione che il sé cosciente non può e il sé subliminale, invece, può accogliere, solo quando tutti gli elementi raccolti nella fase di preparazione hanno fluttuato liberamente durante l'Incubazione e ora, spontaneamente e non in modo forzato, sono pronti a scattare in una nuova formazione illuminante'*.

4. **Verifica**

L'ultima fase avviene in maniera cosciente, *'richiede uno sforzo consapevole e deliberato nel modo di verificare la validità dell'idea, riducendo l'idea stessa ad una forma esatta'*. Questo periodo di *lavoro cosciente*, che segue l'ispirazione e in cui i risultati dell'ispirazione sono verificati e le conseguenze sono concluse, richiede disciplina, attenzione, volontà.

Walls osserva: "Nel flusso quotidiano di pensiero, questi quattro diversi stadi si sovrappongono continuamente mentre esploriamo diversi problemi. Un economista che legge un rapporto sul bilancio (Blue Book), un fisiologo che guarda un esperimento, o un uomo d'affari che legge le lettere del mattino, possono contemporaneamente "incubare" un problema proposto a se stessi pochi giorni prima, accumulare la conoscenza in "Preparazione" di un secondo problema e "verificare" le sue conclusioni su un terzo problema. Anche durante l'esplorazione di un problema, la mente può incubare inconsciamente un aspetto, mentre è consapevolmente impiegata nella preparazione o nella verifica di un aspetto differente".

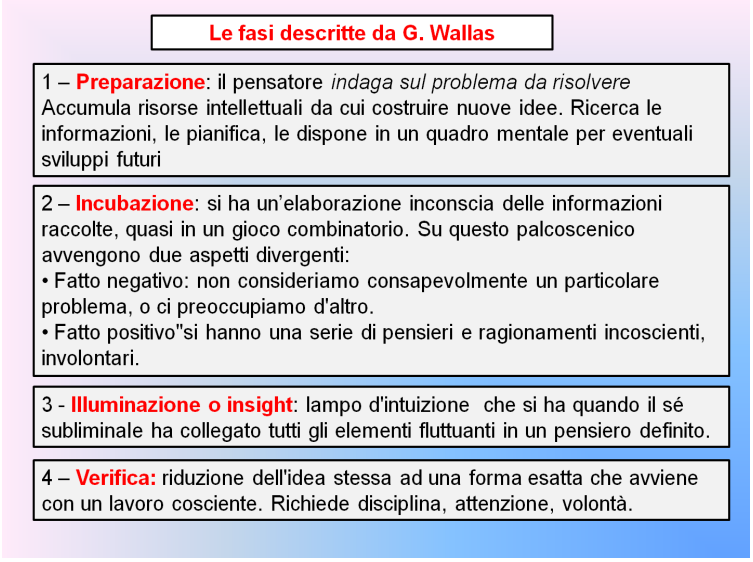

Figura 16 - Fasi successive di G. Wallas

[27] Per approfondimenti, si veda il sito: https://www.brainpickings.org/2013/08/28/the-art-of-thought-graham-wallas-stages/

Stampante 3D, creatività e livello scolastico

Quando si parla di utilizzare la stampante 3D nella didattica, è opportuno fare qualche precisazione e qualche approfondimento riguardo al livello scolastico, per rendersi conto quando e quanto si può parlare di creatività.

Lo sviluppo cognitivo del bambino, secondo le teorie di Jean Piaget che è sempre un punto di riferimento, avviene per assimilazione ed accomodamento di informazioni, mediante scambi che hanno luogo direttamente con l'ambiente. In questo modo, arriva a strutturare delle rappresentazioni mentali, schemi cognitivi, ben organizzati. Successivamente a Piaget, (Vygotsky ed altri ...) è stato osservato che Il bambino, dopo aver lavorato con dei coetanei, se gli viene proposta una soluzione diversa dalla sua (non necessariamente più avanzata) ma con cui si può confrontare, subisce un conflitto sociocognitivo che è generatore di progresso. Il livello di abilità iniziale è importante: solo i bambini, che hanno raggiunto una certa comprensione dei principi implicati nella soluzione corretta, possono beneficiare dell'interazione con i coetanei. Quindi, i fattori culturali e sociali influenzano la velocità di conseguimento, ma non la sequenza delle fasi di apprendimento. Questo sviluppo, sempre secondo Piaget, avviene in età e fasi differenti[28] che possono essere schematizzate, grosso modo, in 5 fasi.

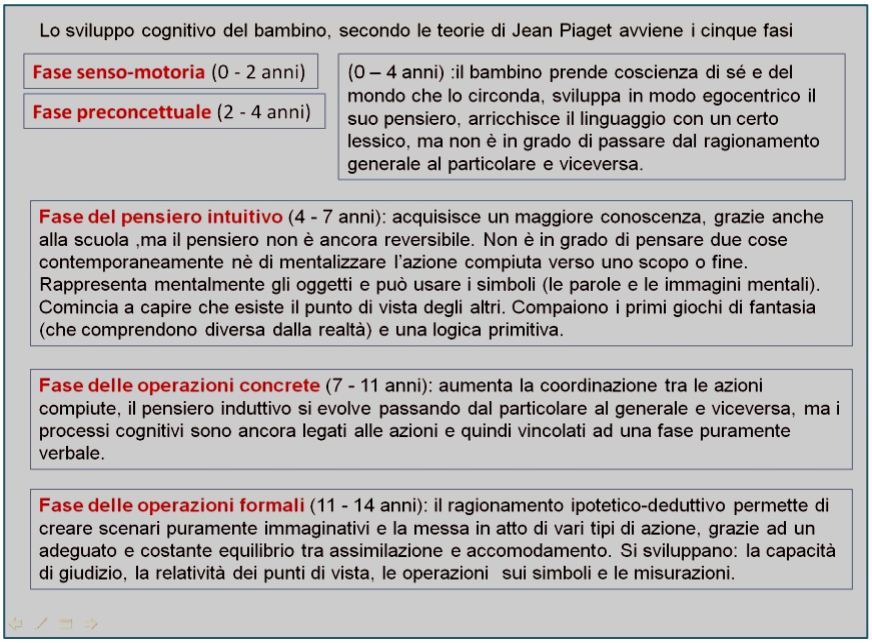

Figura 17 - Sviluppo cognitivo di J.Piaget

Tenendo conto delle fasi dello sviluppo cognitivo, secondo Piaget, gli studenti possono fare uso della creatività solamente nella fase delle operazioni formali (11 - 14 anni), quindi secondaria di primo grado. Poi nella secondaria di secondo grado, ed oltre, calibrando gli esercizi in base all'età e alle competenze acquisite, effettivamente sono in grado di "creare" dei prodotti tridimensionali e stamparli per verificarne il funzionamento pratico. Nelle fasi di sviluppo cognitivo precedenti, possono seguire dei percorsi ben definiti, riguardo ad oggetti proposti dal docente o dalle società che propongono Corsi di formazione. Nell'infanzia e parte della primaria, ci sono delle attività di manipolazione, che avvengono, utilizzando vari dispositivi e software, come la stampante 3D e Doodle3D, con esercizi semplici, adatti a bambini dai cinque anni in su, per esempio disegnando e stampando delle sagome. Tutto ciò segue solo in parte la lezione di Célestin Freiet (L'apprendimento del disegno)[29], che propone un disegno naturale e quindi libero. Freiet dimostra che le abilità dei bambini nel disegno seguono quelle della capacità di esprimersi con il linguaggio. I bambini, da 1 a 7 anni, fanno dei disegni, dei "grafismi" che devono esprimere qualcosa, parallelamente ai significati del linguaggio, per interpretare il mondo che li

[28] Per approfondimenti, si veda il sito: http://www.stateofmind.it/2016/05/sviluppo-cognitivo-piaget/, oppure : https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean_Piaget

[29] Si veda "l'apprendimento del disegno" Célestin Freinet (1980), ed. Editori Riuniti, Roma

circonda ed, in particolare, per richiamare l'attenzione degli adulti/genitori e quindi, avere il loro plauso o aiuto. Tra le numerose esperienze pubblicate sulla rete, interessante e ben documentato, è il progetto dell'*Istituto Comprensivo Statale di Cadeo e Pontenure*[30], del 2014, che propone, attraverso una presentazione in Prezi[31], arricchita da video, un'interessante esperienza per l'infanzia, mediante attività manipolative, realizzata con diversi materiali ed anche la stampante 3D, secondo il percorso narrativo di una fiaba. Il *Secondo Comprensivo Statale Bilotta-Montessori* di Francavilla Fontana (Br*)*, presenta un'attività strutturata in due moduli formativi[32], con due progetti didattici indirizzati:

- il primo ad alunni di scuola secondaria di primo grado (11-12 anni) che, seguendo la loro fantasia, passano dall'assemblaggio di una stampante 3D, alla realizzazione ed alla stampa di oggetti da loro progettati.

  Dall'esecuzione di questo progetto, si possono trarre delle interessanti osservazioni:

  - che l'entusiasmo partecipativo dei ragazzi, associato alla curiosità e alla voglia di apprendere, ha costituito il vero successo del progetto,
  - che ci vuole impegno e duro lavoro per riuscire a costruire un dispositivo come una stampante 3D con tanta tecnologia al suo interno e che non è sufficiente l'improvvisazione,
  - che è necessario un lavoro di squadra (attività collaborativa) tra docenti, studenti ed esperti per conseguire con successo un risultato valido ed interessante.

- il secondo agli alunni di scuola primaria (da 7 a 10 anni), aventi come finalità quella di far apprendere agli studenti i primi rudimenti di prototipazione digitale, facendo loro acquisire competenze da sfruttare nel prosieguo della carriera scolastica. *'Due gruppi di circa venti bambine e bambini ciascuno si sono approcciati alla grafica 3D attraverso Tinkercad e 123D Design di Autodesk, sotto la guida sapiente del solito esperto e delle maestre tutor, giocando, hanno dato libero sfogo alla loro creatività, si sono divertiti ed hanno per la prima volta scoperto la possibilità di dare nuova vita ai loro disegni'*.

Calibrando gli esercizi in base all'età e alle competenze acquisite, il processo d'ideazione e realizzazione di oggetti reali è molto facilitato dalla possibilità di stampare concretamente l'oggetto e verificarne il funzionamento pratico.

Secondo quest'aspetto, la scuola statunitense *PS 15 Patrick F. Daly School of the Arts.Red Hook, (NY)*[33] ha strutturato l'esperienza[34] secondo l'età degli studenti:

- da 8 a 9 anni, disegnare e realizzare un'autovettura che si muove con un motore ad elastico, e dei progetti di edifici che possono resistere ai terremoti,
- da 9 a 10 anni, disegnare e realizzare delle spille a led mediante il programma Thinkercad,

---

[30] Si veda l'esperienza proposta dall'Istituto Comprensivo Statale di Cadeo e Pontenure all'indirizzo: http://www.istitutocomprensivocadeo.it/

[31] Si veda il sito: https://prezi.com/dzuzfqvvm-nh/tra-tecnologia-e-gioco-la-stampante-3d/

[32] Si veda il sito: http://www.youreduaction.it/nostro-primo-anno-di-modellazione-e-stampa-3d-nella-scuola-del-primo-ciclo/

[33] Si veda il sito: http://schools.nyc.gov/SchoolPortals/15/K015/default.htm

[34] Si veda il sito: https://www.makerbot.com/media-center/2016/09/19/case-study-revolutionizing-project-based-learning-ps-15-patrick-f-daly-school-arts

- da 10 a 11 anni, assistiti da uno studio di progettazione e 6 architetti, progettare nuove banchine per il cortile della scuola.

La creatività è stata modulata secondo le esigenze dell'utilità, facendo riferimento alla logica dello STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) che propone corsi di studio e scelte educative volte a incrementare la competitività in campo scientifico e tecnologico per lo sviluppo economico, nella prospettiva della new economy.

Stampante 3D e Intelligenza spaziale

Disegnare sagome o, semplicemente, fare disegni a due dimensioni che siano piante di edifici o progetti di pezzi meccanici, fornisce una rappresentazione solamente a due dimensioni. Il processo della stampa 3D stimola gli alunni a pensare e progettare nelle tre dimensioni. Li costringe cioè a prendere in considerazione, oltre a larghezza e altezza, anche la profondità, una dimensione che in genere nel disegno è un po' trascurata. Nel nostro immaginario, possiamo dare a queste rappresentazioni immateriali di oggetti, una forma a tre dimensioni, ma in caso di una loro realizzazione concreta, questa percezione denuncia i suoi limiti, perché la terza dimensione non è stata considerata, o meglio è stata tralasciata, messa in secondo piano. Si crea un modello astratto, valido come pensiero, ma difficilmente misurabile e realizzabile nella realtà del concreto. La stampante 3D ci dà la possibilità di rendere concreti tali modelli, creandone versioni tangibili. *'L'intelligenza spaziale è la capacità di trarre conclusioni precise, dall'osservazione di un ambiente tridimensionale (3D). Comprende l'interpretazione e il giudizio sulla forma, la dimensione, il movimento e le relazioni tra gli oggetti circostanti, nonché la capacità di immaginare e manipolare modelli 3D di cose che non sono immediatamente visibili. La gente usa questa forma di ragionamento in molte attività quotidiane, che vanno dall'organizzazione di una stanza alla guida di un'auto. Questo tipo di intelligenza nasce dal lato destro del cervello, o più precisamente nell'ippocampo'*[35].

L'intelligenza spaziale è una delle nove intelligenze proposta da Howard Gardner nella sua "Teoria delle Intelligenze multiple"[36] e consta nel riconoscere e utilizzare lo spazio[37] e le aree a esso correlate. La mente deve essere in grado di prendere un'immagine astratta bidimensionale e interpretarla in relazione ad un ambiente tridimensionale. Immaginare un oggetto è come vederlo con gli occhi della mente, rappresentarlo da diverse prospettive, richiede immaginazione e creatività.

Cercare di realizzare un'etichetta con il proprio nome è una delle prime esercitazioni proposte da Tinkercad. Subito ci si accorge che, dopo aver disegnato l'etichetta nel piano, se non si è fatta la dovuta attenzione, ruotando l'etichetta, le lettere del nome difficilmente sono allineate sullo stesso piano: una sprofonda nel corpo dell'etichetta, un'altra sporge esageratamente rispetto alle altre. La nostra intelligenza spaziale non ha risposto al suo compito. Disegnare un oggetto per la stampa 3D, coinvolge l'intelligenza spaziale, l'immaginazione e la creatività. É un processo mentalmente complesso reso semplice mediante l'utilizzo di questa tecnologia.

---

[35] Si veda il sito: http://www.wisegeek.org/what-is-spatial-intelligence.htm

[36] Si veda il sito: https://en.wikipedia.org/wiki/Theory_of_multiple_intelligences

[37] Si veda il sito: http://www.stateofmind.it/2016/03/intelligenze-multiple-psicologia/

Conclusioni

La tecnologia digitale ha dato un grande contributo all'apprendimento interattivo e ha prodotto una rivoluzione nei processi più basilari dell'istruzione, dalla scuola materna fino alla laurea, ma in molte classi è ancora una tecnologia emergente. Nelle scuole dove la stampa 3D è stata introdotta sperimentalmente, si riscontra, da parte dei docenti, una generale soddisfazione come riportato anche dai risultati e dalle testimonianze via, via raccolti. L'inserimento della stampante in classe invoglia il corpo docenti, a collaborare per garantire il funzionamento della tecnologia come strumento di apprendimento. Inoltre aiuta a rinforzare le attività di *storytelling* e di *problem solving* incentrate sulla stampa dei disegni e sull'analisi dei risultati ottenuti, sostenendo, con sempre maggior intensità, l'attitudine degli alunni a lavorare collaborando. Tutto il processo incoraggia il pensiero e aumenta la creatività e la crescita degli studenti che avranno maggiori competenze di ragionamento spaziale e di comprensione della conversione da 2D a 3D. E' utile e necessario far percepire a tutto il mondo della scuola, le infinite possibili applicazioni che la stampa 3D può introdurre e il contributo che essa può apportare per modificare la formazione tecnico-scientifica -artistica delle nuove generazioni. Anche il MIUR deve attivarsi definendo, tra gli obiettivi di apprendimento, anche una strategia mirata all'inserimento integrato della stampante 3D, una strategia nazionale per una "cultura dell'innovazione"[38] tramite la quale dare gli *input* per l'introduzione capillare nelle scuole e la formazione necessaria ai docenti. Una sempre maggiore consapevolezza, dal punto di vista della didattica innovativa, deve fare da supporto all'introduzione di queste nuove tecnologie. L'inserimento di questi strumenti deve diventare, nel prossimo futuro, parte integrante della didattica laboratoriale, ma dovrà però essere accompagnata anche da solidi programmi educativi pensati proprio per valorizzarne l'uso didattico (es. attività museali[39]). Il mondo della produzione è fortemente interessato a questa nuova rivoluzione introdotta dalla stampa 3D, poiché ritiene che questo sviluppo tecnologico sia destinato a cambiare la natura del commercio e del mondo così come lo conosciamo ed è pronto a investire forti risorse. Nel prossimo futuro, la stampa 3D influirà su molti aspetti della nostra vita quotidiana. Pur essendo ancora nella sua fase iniziale, sta già rivoluzionando l'industria manifatturiera e diventerà molto presto del tutto "*consumer*"[40].

Figura 18 - Alunno e il suo lavoro.

Figura 19 - 3D - Color

Sono entrate in commercio anche nuove stampanti 3D a colori con tecnologia True Color molto competitive. Utilizzando la tecnologia a getto d'inchiostro CMYK, le goccioline d'inchiostro si fissano al

---

[38] Paolo Ferri, prof. Straordinario Università degli studi Milano Bicocca, nell'articolo "Valorizziamo gli insegnanti o la Scuola innovativa è utopia" 21/07/2017 scrive: "manca ancora la cultura della necessità di un cambiamento radicale legato all'innovazione e alla trasformazione delle metodologie didattiche e quindi sul modo in cui gli studenti, ogni giorno, apprendono".

[39] L'applicazione delle tecnologie 3D sta progressivamente ampliando le potenzialità di tutte le attività di base caratteristiche dell'ambito museale. Esse introducono nuove metodologie che porteranno nei prossimi anni a un cambiamento di scenario, nei musei, paragonabile a quello che negli anni '80 vide l'introduzione dei primi computer utilizzati per la catalogazione. Museo di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Bari.

[40] Molte grandi aziende (Samsung, HP, Microsoft, ...) a breve immetteranno sul mercato del grande consumo stampanti 3D di loro produzione

filamento PLA che assorbe il colore, consentendo a questa tipologia di stampante (es. "XYZprinting – da Vinci Color[41]") di creare stampe di vari colori (fino a 16 milioni di colori) combinando le gocce d'inchiostro sul filamento. La novità interessante offerta da queste stampanti è che il filamento, un materiale CPLA (PLA a colori), permette l'assorbimento delle gocce d'inchiostro e di stampare *full color*. Queste stampanti sono molto facili da utilizzare, grazie ad una soluzione che integra la miscelazione del materiale e il caricamento, la stampa e il recupero del materiale, in un'unica macchina. Stiamo entrando in un'epoca in cui i consumatori passivi stanno diventando creatori attivi e questo comporterà un nuovo paradigma su scala globale. Anche la replicabilità degli oggetti 3D ha sollevato alcuni dubbi sulla questione del *copyright*: poiché tramite la scansione in 3D e la stampa successiva è possibile riprodurre una copia identica di oggetti anche molto complessi e in molti casi coperti dal diritto d'autore. La pirateria potrebbe colpire duramente il mercato manifatturiero così come è avvenuto per il mercato musicale. Comunque pur tenendo in mente tutte queste considerazioni, non avrebbe senso non spingere l'integrazione della conoscenza di questa tecnologia nelle scuole. Se non viene fatto, si rischia di rallentare il progresso e la possibilità di impiego di questa generazione di studenti. Entro poco tempo le scuole e le università dovranno rispondere a questa esigenza, impegnandosi nelle sfide future a formare allievi dotati delle competenze necessarie e con il compito di svolgere un ruolo attivo, anche per ridurre i tempi di ritorno dell'investimento stesso. Numerosi settori dell'industria mondiale stanno ormai realizzando e studiando nuove stampanti[42], nuovi metodi di produzione e di applicazioni con materiali diversi e sistemi moderni di utilizzo delle stampanti 3D e la scuola non può e non deve essere in ritardo.

Bibliografia

Andrea Maietta "*Stampa 3D" Guida completa*" - LSWR Editore + www.stampa3Dguidacompleta.it

Anna Kaziunas France "*Stampa 3D" Concetti di base, tutorial e progetti*" - Tecniche Nuove Editore

Pier Carderan "*Stampa 3D" il manuale per hobbisti e maker*" - Apogeo Editore + http://bit.ly/stampa_3d

Giancarlo Magnaghi "*Stampa 3D. Applicazioni di un'idea innovativa. Principi, utilizzi e ...*" - ESTE Editore

Paolo Aliverti "*Stampa 3D. Stazione futuro*" – Hoepli Editore

David e Norman Thornburg "*The Invent to Learn Guide to 3D Printing in the classroom*" (in inglese)

James Floyd Kelly "*3D Modeling and Printing with TINKERCAD*" (in inglese) QUE Publishing

Christopher Barnatt "*3D Printing - The Next Industrial Revolution*" (in inglese) Terza edizione

[41] Il costo della stampante XYZ Printing Vinci Color è di circa 3500€ , il filamento PLA di 39€ e la cartuccia d'inchiostro di 60€

[42] Un recente studio condotto da ricercatori del Politecnico federale di Zurigo, e pubblicato sulla rivista *Scientific Reports*, descrive la possibilità di produrre stampanti in "4D", dove la quarta dimensione è: "il tempo". Questa nuova tipologia di stampanti prevede che gli oggetti prodotti, se assoggettati a semplice pressione delle dita o sottoposti anche a calore o umidità, possono assumere forme diverse nella fase di post-produzione, e anche riprendere la forma di partenza. La stampa "4D" potrà avere numerosi vantaggi soprattutto in termini di risparmio di spazio nelle fasi di trasporto: le applicazioni più promettenti potrebbero riguardare ad esempio l'industria aerospaziale, per trasportare nello spazio strutture compresse.

Linkografia

http://manipolarepercomunicare.com/ (progetto Opensource Scientific FabLab di Trieste)
http://www.icsanvalentinotorio.gov.it/stampanti-3d.html (Costruire giocattoli con la stampante 3D)
http://www.wikipin.it/forum/esplorazone-didattica-con-la-stampante-3d/ (articolo e video)
https://www.makerbot.com/media-center/2015/06/17/makerbot-in-the-classroom-a-resource-for-educators
https://www.slideshare.net/InsideTraining/insegnare-3d-modellazione-e-stampa-riccardo-gatti
https://it.wikipedia.org/wiki/Modellazione_a_deposizione_fusa ("Modellazione a Deposizione Fusa.")
http://leganerd.com/2014/02/04/stampa-3d-unesperienza-personale/ (Esperienza in rete)
http://www.yeggi.com/q/didactic+tool/?s=tt (raccolta di proposte)
http://www.amtekcompany.com/100-free-3d-printing-lesson-plans/ (raccolta di proposte)
https://www.stlfinder.com/ (modelli 3D)
https://www.thingiverse.com/MakerBotLearning/about (modelli 3D)
https://it.pinterest.com/explore/3d-printer-projects/ (progetti stampa 3D)
https://ww2.kqed.org/mindshift/2013/07/31/why-we-need-to-value-spatial-creativity/ (creatività spaziale)
http://www.indire.it/wp-content/uploads/2016/05/DEF_Articolo_stampanti_23maggio.pdf(consigli INDIRE)

Software e video

https://www.tinkercad.com/ (applicazione gratuita di stampa e progettazione 3D online)
https://www.youtube.com/watch?v=W5ts6ztcLjk (modellazione 3D Tinkercad per alunni e bambini)
https://www.youtube.com/watch?v=KCaenAGeK_Q (tutorial Tinkercad in inglese)
https://www.youtube.com/watch?v=D_AWDI5QU9M (indicazioni base per creare una casa con Tinkercad)
https://www.youtube.com/watch?v=5gWqi02wE2g (realizzazione del Partenone con Tinkercad)
http://3d.indire.it/sugarcad/index.php (applicazione gratuita del Team di INDIRE per la scuola)
http://octoprint.org/download/ (controlla gli aspetti della stampante 3D e i lavori di stampa)
http://3d.indire.it/index.php?act=in3Dire (ambiente di ricerca e sviluppo di INDIRE)
http://www.doodle3d.com/ (progettazione in 3D facile e divertente per infanzia e primaria)
http://www.sketchup.com/ (per disegnare in 3D)
http://www.openscad.org/ (per scrivere codice semplificato di modellazione 3D)
https://www.blender.org/ (suite di creazione 3D gratuita e open source).
https://3dwarehouse.sketchup.com/ (galleria d'immagini in 3D)
https://www.thingiverse.com/ (raccolta modelli 3D gratuiti)
https://www.myminifactory.com/it/search/?featured=1&sortBy=date (raccolta modelli 3D)
http://autodesk-123d-design.en.lo4d.com/download
http://slic3r.org/download (scaricare generatore di G-code per stampa 3D)
https://www.repetier.com/download-software/ (generatore di G-code per stampanti 3D)
http://www.stampa3d-forum.it/repetier-host-guida-parte-1/ (guida repetier)
https://www.blender.org/ (software di modellazione)
https://www.youtube.com/watch?v=L1vCZ1EysE8v (come realizzare un ciondolo)
https://www.autodesk.com/products/netfabb/overview (software di progettazione)

https://ultimaker.com/en/products/cura-software (preparazione alla stampa 3D)

Nota finale degli autori: *molti materiali e indicazioni presenti sono stati ripresi da letture e stimoli ritrovati in rete e non sempre è stato possibile citare tutti gli autori. Desideriamo comunque ringraziare tutti coloro che in qualche modo ci hanno dato idee e proposte che hanno permesso la realizzazione di questo articolo.*

— Gli autori —

In ordine da destra:

Mario Gabbari: *Docente-formatore presso OPPI-Milano. Ha collaborato per lungo tempo con l'Ufficio Scolastico della Lombardia partecipando e/o organizzando attività seminariali e di formazione e svolgendo numerosi incarichi per conto del MIUR e Indire. Ha scritto e pubblicato diversi articoli sulle tecnologie informatiche e insieme ad altri, un libro guida sulla LIM (Lavagna Interattiva Multimediale), come ambiente di apprendimento costruttivista e dedicato a tutti gli operatori della comunicazione.*

Antonio Gaetano: *Docente in scuola statale, formatore per conto del MIUR, del nucleo Regionale Lombardia e dell'ex Indire. Collabora dal 1999 come esperto con l'USR Lombardia e con il CSA di Milano per l'introduzione delle ICT e delle LIM nella scuola. Autore, con altri, di un libro guida sull'utilizzo della LIM.*

Roberto Gagliardi: *Docente-formatore, coordinatore della Equipe dell'OPPI di Milano, per Tecnologie didattiche e di Comunicazione. Si è occupato della formazione LIM per conto di INDIRE/MIUR e degli Aspetti strumentali e metodologico - didattici. Ha collaborato con l'USR Lombardia in corsi e attività seminariali come tutor, relatore e progettista. Autore, con altri, di diverse pubblicazioni: libri e articoli sugli aspetti metodologici didattici e sull'utilizzo della LIM come ambiente di apprendimento costruttivista*

Daniela Sacchi: *Docente-formatore presso OPPI-Milano, ha collaborato per lungo tempo con l'Ufficio Scolastico della Lombardia partecipando ad attività seminariali e di formazione e ha svolto diversi incarichi per il MIUR. Ha condotto per alcuni anni il laboratorio ADA (Progettazione di percorsi didattici multimediali per i diversi tipi di disabilità) all'Università Bicocca di Milano. Ha scritto articoli e libri nell'ambito delle ICT, personalmente o insieme ad altri.*