



## Il senso della Z

Uno studio tassonomico delle potenzialità espressivo-sensoriali della stampa 3D FDM

Politecnico di Milano  
Scuola del Design  
CdLM Design & Engineering  
AA 2013/2014  
Elaborato di Tesi

Laureando: Sara Ridolfi I 781398

Relatore: Marinella Levi  
Correlatori: Luigi Bandini Buti, Valentina Rognoli



# Indice

Indice .....	2
Abstract .....	9
CAP.0 Introduzione .....	10
<b>Prima Parte</b> Low cost 3D printing	
<b>CAP.1 Additive Manufacturing</b> .....	16
Sviluppo	
Perché una stampante 3D?	
Le tecnologie di Additive Manufacturing	
<b>1.1 Fused Deposition Modeling (FDM)</b> .....	28
Il processo	
Dai bit agli atomi: le fasi di stampa	
<b>CAP.2 Personal fabrication technology</b> .....	34

<b>2.1 I Maker e la Terza Rivoluzione Industriale</b> .....	36
Oltre il fai da te: il trionfo della tecnologia	
Il mondo dei Maker	
Una nuova rivoluzione?	
Il cuore del digitale: Arduino	
La diffusione sui media	
Il progetto RepRap	
<b>2.2 La cultura della condivisione</b> .....	49
Il Copyleft e l'Open Source	
Diffusione	
<b>CAP.3 La stampa 3D desk</b> .....	58
<b>3.1 Hardware</b> .....	60
Parti che compongono le stampanti	
Materiali	
Modelli in commercio	
<b>3.2 Software</b> .....	84
Modellatori 3D	
Librerie online di modelli 3D	



Programmi di gestione stampa

**3.3 Parametri di stampa** .....88

- Intrisechi
- Dimensionali e deposizione del filamento
- Termici
- Velocità
- Ausili alla stampa
- Criticità

**CAP.4 Laboratori di stampa 3D** .....112

**4.1 +LAB** .....114

**4.2 Le fabbriche del futuro (in 3D): i Fablab** .....116

**Seconda Parte FDM Design Tool Kit**

**CAP.5 Perché un Tool Kit** .....124

- L'impronta dei processi

**CAP.6 Tassonomia** .....130

**6.1 Tassonomia del processo**.....132

- Il modello morfologico
- 6.1.1 Classificazione .....136
- 6.1.2 Proposta per una definizione delle proprietà .....138

**6.2 Tassonomia progettuale** .....144

**Terza Parte Per una 3Dteca**

**CAP.7 In gioco i sensi**.....152

**7.1 Elementi del processo percettivo**.....155

- Soggettività

**7.2 La dominanza sensoriale**.....160

**7.3 Quantitativo e qualitativo: parametri e proprietà**.....162

**7.4 Aspetto fotometrico** .....167

- 7.4.1 La vista .....167
- 7.4.2 Parametri e proprietà ottiche .....169

  - Lucentezza
  - a. riflessione speculare
  - b. riflessione diffusa
  - Trasparenza
  - Texture ottica

**7.5 Aspetto tattile** .....179

- 7.5.1 Il tatto .....179
- 7.5.2 Parametri e proprietà tattili .....182

  - Peso
  - Texture tattile

**CAP.8 Sensorialita' e progetto**.....186

**8.1 Il ruolo dei materiali** .....189

- L'esperienza del Bauhaus

**8.2 Strumenti per il designer** .....194

**8.3 Le analisi sensoriali**.....198

**8.4 Il linguaggio della sensorialità**.....201

**8.5 Materiotecche** .....203

**8.6 Sul concetto di sample** .....206

- Casi studio

<b>CAP.9 Metodo</b> .....	<b>246</b>	11.2 Sistema 1.1 .....	333
9.1 Il materiale scelto: PLA .....	250	11.3 Comparazione Sistema 1 e Sistema 1.1 .....	335
9.2 Il modello dei tre assi: i sistemi tridimensionali .....	253	11.4 Sistema 2 .....	336
9.2.1 Parametri di stampa .....	256	11.5 Sistema 2bis .....	337
La preserie		11.6 Comparazione Sistema 2 e Sistema 2bis .....	339
9.2.2 Colore .....	261	11.7 Sistema 3 .....	339
9.2.3 Forma .....	265	11.8 Sistema 4 .....	340
9.3 Le stampanti .....	266	11.9 Sistema 4.1 .....	341
9.4 La valutazione sensoriale .....	271	11.10 Sviluppi futuri .....	342
Qualita' fotometriche			
Qualita' tattili			
Riempimento			
<b>CAP.10 La sperimentazione</b> .....	<b>278</b>	<b>CAP.12 Conclusioni</b> .....	<b>344</b>
10.1 Aspetto fotometrico .....	281	<b>ALLEGATO Tabelle</b> .....	<b>348</b>
10.1.1 Sistema 1 .....	282		
10.1.2 Sistema 1.1 .....	288	Indice immagini .....	366
10.1.3 Sistema 2 .....	294	Indice grafici .....	370
10.1 Aspetto tattile .....	301	Bibliografia .....	374
10.1.1 Sistema 3 .....	302	Sitografia .....	382
10.1.2 Sistema 2bis .....	308		
10.5 Riempimento .....	315		
10.1.1 Sistema 4 .....	316		
10.1.2 Sistema 4.1 .....	322		
<b>CAP.11 Discussione risultati</b> .....	<b>328</b>		
11.1 Sistema 1 .....	330		

# Abstract

Questa tesi si colloca in un contesto nuovo, in fibrillazione e dalle caratteristiche rivoluzionarie: il *Desktop Manufacturing*.

La tecnologia che più sta interessando questo fenomeno è l'FDM (Fused Deposition Modeling). Dalla sua creazione, la stampa FDM è cresciuta diventando uno dei principali processi utilizzati nel mondo industriale, esplodendo poi negli ultimi anni come fenomeno di produzione domestica, e non solo. Si sta assistendo ad una estensione applicativa della tecnologia: si è passati dalla creazione di soli prototipi a quella di veri e propri prodotti aprendo quindi nuove prospettive. Ad oggi non è ancora chiaro cosa ciò implichi e quali siano le reali possibilità.

Dopo aver approfondito il contesto, gli attori e le caratteristiche più prettamente tecniche della stampa 3D, si propone uno studio tassonomico con l'intento di fornire delle linee guida e degli spunti progettuali utili al design nella sua accezione più ampia, evidenziando le potenzialità della tecnologia. Lo studio viene svolto su più livelli creando un dialogo tra le proprietà di *engineering* e quelle di *design*.

Di quest'ultime si considerano di particolare rilevanza le qualità espressivo-sensoriali e si indaga come sia possibile controllarle nel processo tramite la creazione di una 3Dteca composta da 158 campioni e 494 valutazioni sensoriali, il tutto organizzato in 6 sistemi tridimensionali che controllano 14 diversi parametri.

Tra gli obiettivi auspicabili c'è quello che, tramite l'applicazione del metodo identificato da questa tesi, si possano realizzare altre 3Dteche ad integrazione della tassonomia per avere una panoramica completa della tecnologia.

# 0

## Introduzione

*"Ogni tecnologia sufficientemente avanzata è indistinguibile dalla magia."*

Arthur C. Clarke, '2001 Odissea nello spazio'

• Osservando una stampante 3D all'opera si può capire cosa intendesse: vedere per la prima volta un oggetto che si materializza strato dopo strato o che emerge da un bagno di polimeri è come assistere ad una magia.

• In 'Star Trek: The Next Generation' (1980) *il Replicator* (nome completo: replicatore di materia a matrice molecolare) è un protagonista essenziale della trama capace di fare qualsiasi cosa si renda necessaria. E lo fa, in teoria, seguendo istruzioni salvate in memoria, unendo particelle subatomiche per fare atomi, atomi per fare molecole e molecole per fare qualsiasi cosa gli sia richiesto.

• Per il capitano Picard si trattava frequentemente



di una tazza fumante del suo tè preferito, ottenuto dal replicator con il comando: “Tè, Earl Grey, caldo”.

Possiamo considerare il *replicator* come il capostipite fantascientifico delle stampanti 3D.

Queste tecnologie, in particolar modo l’FDM (Fused Deposition Modeling) nella sua accezione low-cost (sono dispositivi con un costo indicativo dai 400 ai 2.500 euro), stanno prendendo sempre più piede. Negli ultimi anni si sta infatti assistendo al fenomeno del *Desktop Manufacturing* che porta con sé un’estensione applicativa della tecnologia: si sta passando dalla creazione di soli prototipi a quella di veri e propri prodotti destinati agli utenti finali.

#### ***Che cosa implica nella pratica del design?***

Poichè il fenomeno è molto recente e in continua evoluzione non esistono ancora delle definizioni certe e non è ancora chiaro quali siano le reali possibilità.

Con questa tesi si cerca di porre le basi per la creazione di un Tool Kit che possa orientare i progettisti.

Per poter fare chiarezza è indispensabile prima analizzare lo stato dell’arte. Nella Prima parte della tesi è possibile quindi trovare una panoramica sulle tecnologie di Additive Manufacturing con particolare attenzione al processo FDM di cui si descrivono le fasi di stampa, gli elementi hardware e software e i settaggi di stampa. Si delinea poi il contesto in cui le stampanti 3D (definite open source) sono nate, e la diffusione del fenomeno.

La Seconda parte è dedicata alla proposta di uno studio tassonomico con lo scopo di classificare la tecnologia FDM all’interno del mondo dei processi produttivi, con particolare attenzione alle potenzialità nella disciplina del design.

L’ispirazione, ovvero la capacità di attivare il pensiero creativo, ha molte fonti; una di queste è rappresentata proprio dalle tecnologie di produzione che hanno stimolato il genere umano, fin dai tempi antichi, a realizzare prodotti la cui forma e funzione ne sfruttassero le caratteristiche al meglio.

Lo scopo dello studio è quello di fornire delle linee guida all’utilizzo della stampa FDM che possano essere anche degli spunti progettuali che mettano in risalto le potenzialità della tecnologia.

Il requisito necessario è quello di definire le proprietà della tecnologia stessa. Le più

chiare ed evidenti sono quelle ingegneristiche. Esistono però anche proprietà che delinano il ‘carattere’ della tecnologia. Si propone una struttura in cui questi due aspetti, definiti di *engineering* i primi e di *design* i secondi, dialogano tra loro per stimolare quella creatività che dà al progetto una propria personalità.

Di particolare rilevanza si considerano quelle proprietà che intervengono sulle qualità espressivo-sensoriali. I sensi sono infatti il punto di partenza per l’interazione esperienziale con gli artefatti.

#### ***E’ possibile progettare le qualità espressivo-sensoriali degli oggetti stampati in FDM?***

Nella Terza parte della tesi, dopo aver analizzato gli elementi che intervengono nel processo percettivo, gli strumenti e i linguaggi ed aver individuato le proprietà sensoriali coinvolte, si esegue una sperimentazione volta alla creazione di una 3Dteca che metta in luce le potenzialità espressivo-sensoriali della tecnologia.

La 3Dteca viene strutturata in sistemi tridimensionali che permettono di controllare i diversi aspetti sensoriali e ne facilitano la lettura.

Si cerca, attraverso l’analisi dei risultati delle valutazioni sensoriali svolte sui campioni, di fornire delle indicazioni che possano guidare chi si volesse approcciare alla tecnologia con un’attenzione per le qualità espressivo-sensoriali.

La metodologia seguita nella sperimentazione è stata realizzata in modo da poter completare lo studio tassonomico della tecnologia: infatti il modello dei sistemi tridimensionali ben si presta alla realizzazione di altre 3Dteche a completamento del lavoro svolto in questa tesi.



A close-up photograph of a 3D printer nozzle printing a blue cube. The nozzle is positioned above the cube, and the background is a blurred industrial setting with blue and yellow lighting. The text "Prima Parte" and "Low cost 3D printing" is overlaid on the right side of the image.

# Prima Parte

Low cost 3D printing



# 1

## Additive Manufacturing

*"Se puoi sognarlo, puoi farlo"*

Walt Disney

• Verso la metà degli anni ottanta, pionieri come Charles Hull (fondatore di 3D Systems) e Scott Crump (fondatore di Stratasys) svilupparono una serie di tecnologie basate su processi additivi per la creazione di oggetti tridimensionali; questi processi divennero noti come **Additive Manufacturing (AM)**.

• Poiché molti metodi AM erano basati sulla tecnologia di stampa a getto d'inchiostro, il termine "stampa 3D" fu ampiamente adottato sia dal mondo industriale che dai mass media per riferirsi a qualsiasi processo di AM.

• La stampa 3D è un processo che consente di produrre un oggetto solido partendo da un modello digitale dell'oggetto medesimo (questa



tecnologia viene infatti chiamata anche **Digital Fabrication**).

Una stampante 3D lavora partendo da un file tridimensionale per creare una serie di porzioni in sezione trasversale; ciascuna porzione è poi stampata l'una in cima all'altra per creare l'oggetto.

E' una procedura inversa a quella utilizzata nei tradizionali sistemi di fabbricazione (produzione sottrattiva):

*«Dove sono le parti?» domandai. «Sono lì dentro» rispose mio nonno, indicando i blocchi di metallo. «Il nostro compito è tirarle fuori». Ed è esattamente quello che facemmo quell'estate. Indicava il processo di fresatura, ovvero un processo di lavorazione dal pieno, l'equivalente della scultura per il metallo»<sup>1</sup>.*

Tramite la produzione di tipo sottrattivo l'oggetto viene ricavato a partire da un blocco di materiale iniziale, il che comporta una combinazione di processi, tecnologie e macchinari (i.e. forgiatura, fresatura, piegatura, stampaggio, taglio, saldatura, incollaggio e assemblaggio).

Con una stampante 3D è possibile ottenere l'oggetto in un'unica operazione senza la perdita di materia prima tipica dei processi sottrattivi e senza la necessità di attrezzature come stampi e matrici.

Si prenda ad esempio la produzione di un oggetto apparentemente semplice come una chiave inglese regolabile. Con i processi tradizionali è necessario eseguire: forgiatura dei componenti, molatura, fresatura e montaggio. Con la stampa 3D la chiave esce dalla stampante pronta all'uso: completamente assemblata, comprese le parti mobili (anche se non del tutto paragonabile come prestazioni meccaniche).

Le tecnologie di stampa 3D creano modelli che emulano molto da vicino l'aspetto e le funzionalità degli oggetti finiti.

Nello scenario attuale, questo sistema, chiamato Prototipazione Rapida (**Rapid Prototyping**) si è ramificato: non viene infatti solamente utilizzato per la realizzazione di prototipi ma anche nella realizzazione di prodotti finiti (**Rapid Manufacturing**) o di utensili (**Rapid Tooling**) in ambiti che si stanno sempre più diffondendo e affermando quali gioielleria, calzolieria, progettazione industriale, architettura, design, moda, food, automotive, aerospaziale, medico e dentistico, educazione, ingegneria civile, DIY<sup>2</sup> e molti altri.

<sup>1</sup> Anderson C. (2012), Makers. The New Industrial Revolution, Crown Business.

<sup>2</sup> Il DIY (abbreviazione di Do It Yourself, equivalente all'italiano 'fai da te') è un'attività manuale di costruzione, modifica o riparazione di oggetti senza l'ausilio di esperti o professionisti. Strettamente collegato è il movimento culturale dei maker, che dell'attività del fai da te rappresenta un'estensione su base tecnologica.

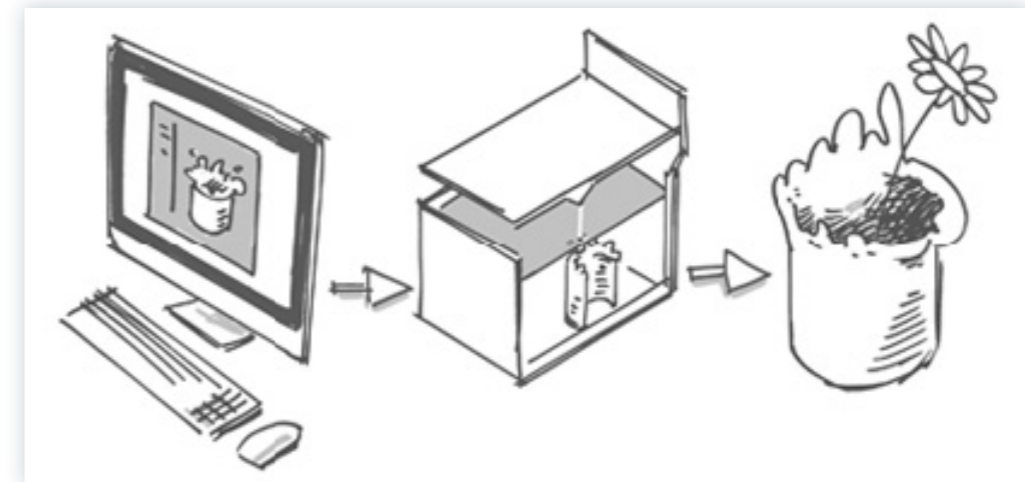


Fig.1 Stampare in 3D è un processo che trasforma un disegno tridimensionale in un oggetto reale.

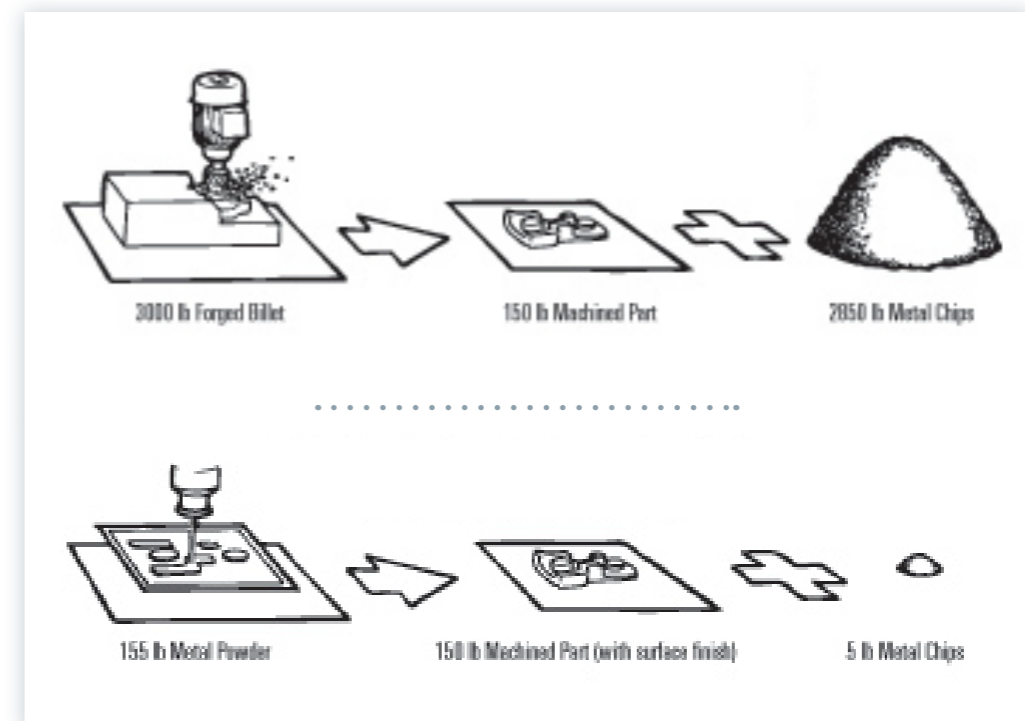


Fig.2 Paragone tra il processo Sottrattivo e quello Additivo.



## Sviluppo

L'inizio della stampa 3D può essere fatto risalire al 1976, quando fu inventata la stampante a getto d'inchiostro. Intorno al 1984 si superò la stampa con l'inchiostro aggiungendo a quest'ultima l'asse Z, ovvero una terza dimensione e si iniziò a stampare con i materiali. La differenza risiede nel passaggio dalla creazione di documenti a quella di oggetti.

I primi sistemi di stampaggio tridimensionale furono progettati con l'obiettivo di supportare le aziende nello sviluppo di prototipi. Nei decenni successivi furono sviluppate molte tecnologie per la stampa 3D e una grande varietà di applicazioni in diversi settori.

Gli sviluppi di questa tecnologia sono così sintetizzabili:

**Fine anni Sessanta:** Gli americani A. Herbert, e C. Full e il Giapponese Kodama lavorano in modo indipendente per sviluppare un sistema di solidificazione selettiva di un fotopolimero per costruire un oggetto tridimensionale per strati successivi.

**1984:** Charles Hull brevetta un sistema che battezza "stereolitografia".

**1986:** C. Hull e R. Fried fondano la 3D Systems<sup>3</sup>, azienda destinata alla produzione e alla commercializzazione delle macchine per la stereolitografia.

**1986-87:** Si sviluppano la maggior parte di sistemi alternativi di prototipazione rapida.

**1987:** La 3D Systems presenta la prima macchina (SLA I) e viene avviato il B test con alcune aziende interessate alla sperimentazione della stereolitografia.

**1991-93:** Vengono commercializzate le prime macchine Stratasys<sup>4</sup> con tecnologie alternative alla stereolitografia per la costruzione dei prototipi.

**1999:** Ingegnerizzazione di organi: il primo organo stampato in laboratorio viene impiantato negli esseri umani. La tecnologia è sviluppata dagli scienziati presso l'Istituto Wake Forest<sup>5</sup> di Medicina Rigenerativa. Poiché questi organi sono creati con le cellule del paziente stesso vi è poco o nessun rischio di rigetto.

**Inizio 2000:** Sviluppo di prime stampanti di dimensioni ridotte (desk), adatte per la casa.

**2005:** L'Open Source collabora con la stampa 3D. Il dottor Adrian Bowyer presso l'Uni-

<sup>3</sup> <http://www.3dsystems.com>

<sup>4</sup> <http://www.stratasys.com>

<sup>5</sup> <http://www.wakehealth.edu/WFIRM>

versità di Bath fonda RepRap<sup>6</sup>, un'iniziativa open source per costruire una stampante 3D in grado di stampare la maggior parte dei suoi componenti.

**2008:** Prima stampante auto replicante. Dopo la nascita nel 2005, il progetto RepRap lancia Darwin in grado di stampare la maggior parte dei propri componenti. Condivisa e sviluppata in Open Source.

**2008:** Shapeways<sup>7</sup> crea un nuovo servizio di co-creazione e DIY permettendo agli artisti, architetti e designer di stampare i loro disegni in 3D a buon mercato.

**2009:** MakerBot Industries<sup>8</sup>, una società di hardware open-source per stampanti 3D, comincia a vendere i kit fai da te che consentono agli acquirenti di costruire le proprie stampanti.

## Perché una stampante 3D?

Nel suo libro 'Makers' Chris Anderson cerca di inquadrare il ruolo nell'attuale economia di produzione delle stampanti 3D evidenziandone le principali caratteristiche.

Come primo elemento sottolinea come possano rappresentare una modalità più sostenibile di fare le cose:

1. Ci sono **pochi costi di trasporto**, in quanto il prodotto è prodotto a livello locale.
2. C'è **pochissimo scarto**, perché non si utilizza più materia prima del necessario. L'Additive Manufacturing permette infatti di sprecare pochissima materia prima mentre i grandi processi produttivi producono tantissimi scarti. Il materiale viene depositato solo laddove serve per conferire geometrie richieste o resistenza meccanica ottenendo inoltre oggetti più leggeri.
3. Ed infine poiché il prodotto **può essere realizzato a misura dell'utente**, gli si conferisce più valore (affettivo ed emotivo) e si tende a tenerlo più a lungo. Prodotti personalizzati sono meno usa e getta: si ha semplicemente più cura di loro.

Bisogna ricordare però che la stampa 3D e qualsiasi altra tecnica di produzione digitale non possono offrire economie di scala: non è più economico, su una base per unità, produrre un migliaio di pezzi piuttosto che uno solo.

<sup>6</sup> <http://reprap.org/wiki/RepRap>

<sup>7</sup> <http://www.shapeways.com>

<sup>8</sup> <http://www.makerbot.com>

“Se volete fabbricare un milione di paperette di gomma, nulla può battere lo stampaggio a iniezione. La prima potrebbe costarvi 10.000 dollari per l'attrezzaggio della macchina, ma ogni pezzo fabbricato in più va ad ammortizzare il costo iniziale. Quando ne avrete fabbricate un milione, vi costeranno pochi centesimi, per la sola materia prima. Fate lo stesso lavoro su una stampante 3D, e la prima paperetta potrebbe costarvi appena 20 dollari tra tempo e materiali: un risparmio colossale. Ma purtroppo vi costerà 20 dollari anche la milionesima, non ci sono sconti legati ai volumi. Facendo un parallelo tra il costo ammortizzato della macchina che serve per la stampa 3D di quelle papere una alla volta, processo che potrebbe richiedere un'ora, e l'ammortimento del macchinario dello stampaggio a iniezione che può produrre una dozzina o più di paperelle a meno di un minuto per partita, si può vedere come il punto in cui è più conveniente stampare ad iniezione arriva ad appena qualche centinaio. Per piccoli lotti il sistema digitale vince, ma per grandi lotti il vecchio sistema analogico è ancora il migliore”<sup>9</sup>.

Le tecniche AM offrono infatti un vantaggio: non c'è un aumento di costo cambiando ogni singola unità o producendone solo alcuni pezzi per tipo. E' l'opposto della produzione di massa, che implica la ripetizione e la standardizzazione.

La stampa 3D favorisce la personalizzazione.

La grande vittoria dell'era della produzione digitale è proprio quella di avere la scelta tra le due tipologie, senza dover ripiegare su costose produzioni artigianali.

Vediamo ora nel dettaglio in che modo la stampa 3D permette un'elevata personalizzazione senza incidere sui costi di produzione.

Nella produzione di massa, la maggior parte dei costi sono legati all'attrezzaggio, e il più è complicato il prodotto e le ulteriori modifiche apportate, più costa. Con la fabbricazione digitale gli elementi che incidono sui costi della produzione tradizionale diventano gratuiti:

1. “Customization is free” : **la varietà è gratuita**. Due oggetti completamente diversi hanno lo stesso costo di produzione di due oggetti identici. Per differenziare ogni singolo prodotto non è necessario modificare le attrezzature; la stampante rimane la stessa, a cambiare è solamente il file 3D.
2. “Complexity is free” : **la complessità è gratuita**: un prodotto estremamente complesso e dettagliato si può stampare in 3D allo stesso costo di un semplice blocco di plastica. Il computer non percepisce la complessità della geometria, esegue i calcoli ugualmente.

<sup>9</sup> Anderson C. (2012).

3. “Flexibility is free” : **la flessibilità è gratuita**. Modificare un prodotto dopo l'avvio della produzione significa solo cambiare il codice di istruzione. La macchina rimane la stessa.

Dal punto di vista del design, questo è rivoluzionario. Non è più necessario per il progettista di tener presente o conoscere il processo produttivo poiché “possiamo separare la progettazione di un prodotto dalla sua fabbricazione per la prima volta nella storia, perché tutte le informazioni necessarie per stampare l'oggetto sono incorporate nello stesso design dell'oggetto” spiega Carl Bass, CEO di Autodesk.

E' necessario però ricordare anche quelli che attualmente sono i limiti del 3DP:

1. Tempo di processo. E' uno dei principali problemi della stampa 3D: la produzione di un singolo oggetto necessita di un'abbondante quantità di tempo rispetto alle tecnologie tradizionali con cui siamo abituati a confrontarci.
2. Controllo della qualità. Risulta molto difficile eseguire un effettivo controllo qualitativo sulla produzione degli oggetti. Dal momento in cui ogni pezzo prodotto può essere costituito da migliaia di strati di materiale è difficile sapere a priori quali strati potranno avere delle imperfezioni e in che modo questo possa compromettere la funzionalità dell'oggetto.

## Le tecnologie di Additive Manufacturing

Esistono molte alternative per stampare in 3D. Vediamo le principali tecnologie in base al tipo di materiale utilizzato (liquido, polvere, solido).

### Liquido

**Stereolitografia (SL)**: primo sistema di prototipazione rapida sviluppato (SLA1 della 3D System 1987).

Basata sulla fotopolimerizzazione di un monomero liquido sottoposto ad una radiazione luminosa emessa da una sorgente laser e focalizzata sulla superficie del liquido con un sistema di specchi.

Fotopolimeri più diffusi:

- Acrilico
- Epossidico
- Resine viniliche.

**Multi Jet Modeling (MJM):** tecnica ink-jet. Tecnica simile a quella della stampa a getto d'inchiostro a cui si aggiunge la terza dimensione attraverso lo spostamento lungo l'asse Z.

Deposito di materiale simile a cera (termoplastico) attraverso una testina di stampa.

Materiale utilizzato:

- Thermojet: resina analoga alla cera, con basso punto di fusione ( $T_m \sim 80^\circ\text{C}$ ) e con una certa fragilità.

**Tecnica PolyJET Resina acrilica:** il processo si basa sulla deposizione di strati liquidi di fotopolimeri sensibili ai raggi ultra violetti e successiva esposizione a radiazione UV per mezzo delle lampade poste ai lati della testina e solidali con essa.

Questa tecnica ha la caratteristica di ottenere superfici con risoluzioni molto spinte.

### Polvere

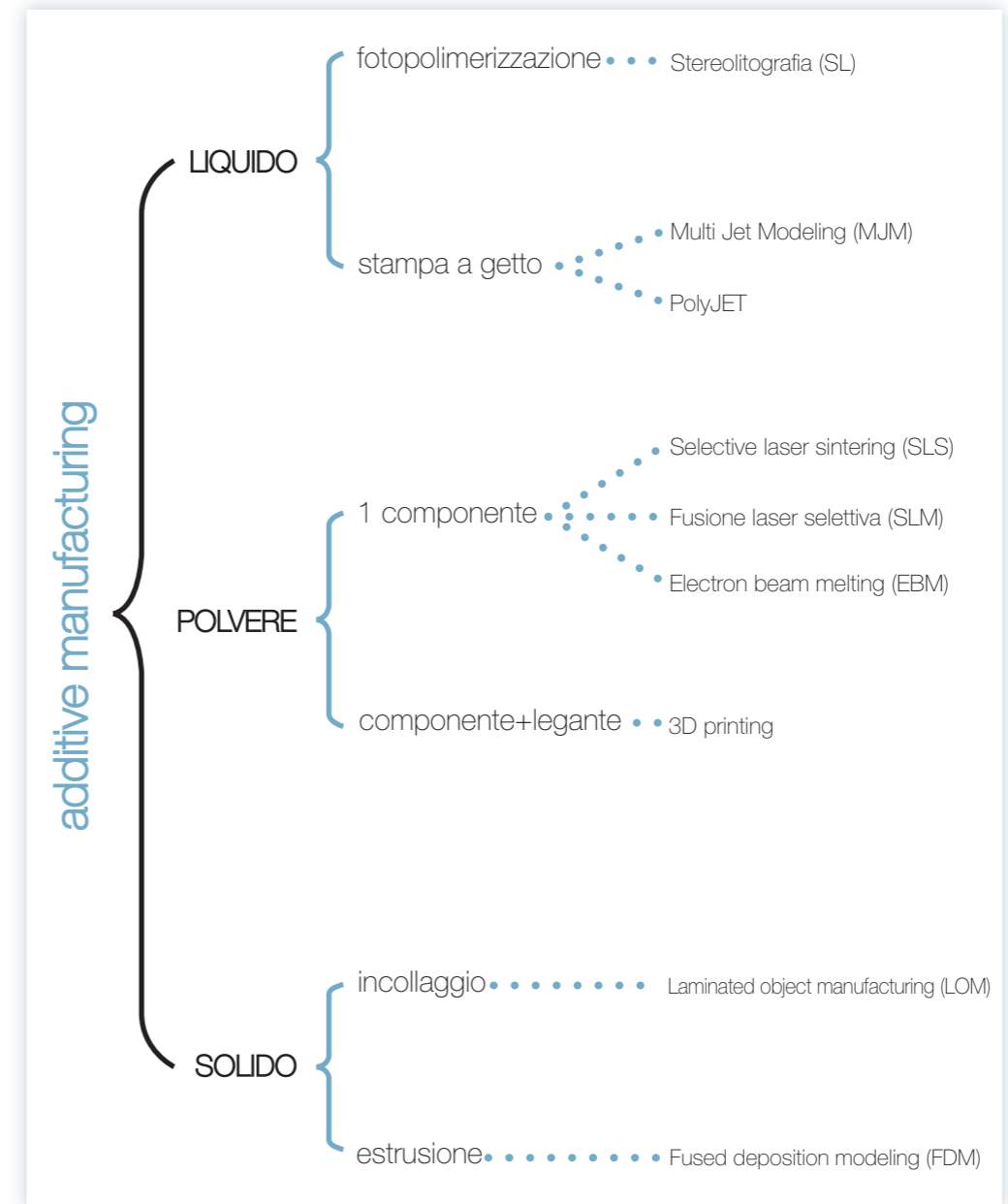
**Selective laser sintering (SLS):** sfrutta la radiazione emessa da una sorgente laser a CO2 per 'sinterizzare' polveri (termoplastici, metalli, sabbia) precomprese su di una struttura di supporto, con densità tipicamente del 50-60%.

Si possono utilizzare diverse tipologie di polveri e non c'è bisogno di prevedere dei supporti dato che è la polvere non sinterizzata che provvede a sostenere i piani superiori. Alla fine del processo il pezzo deve essere liberato dalla polvere in eccesso e, nel caso di polveri metalliche e ceramiche, subisce anche un trattamento termico per migliorarne le caratteristiche. Per tutti gli altri materiali si possono prevedere altri tipi di trattamento a seconda delle esigenze.

Materiali:

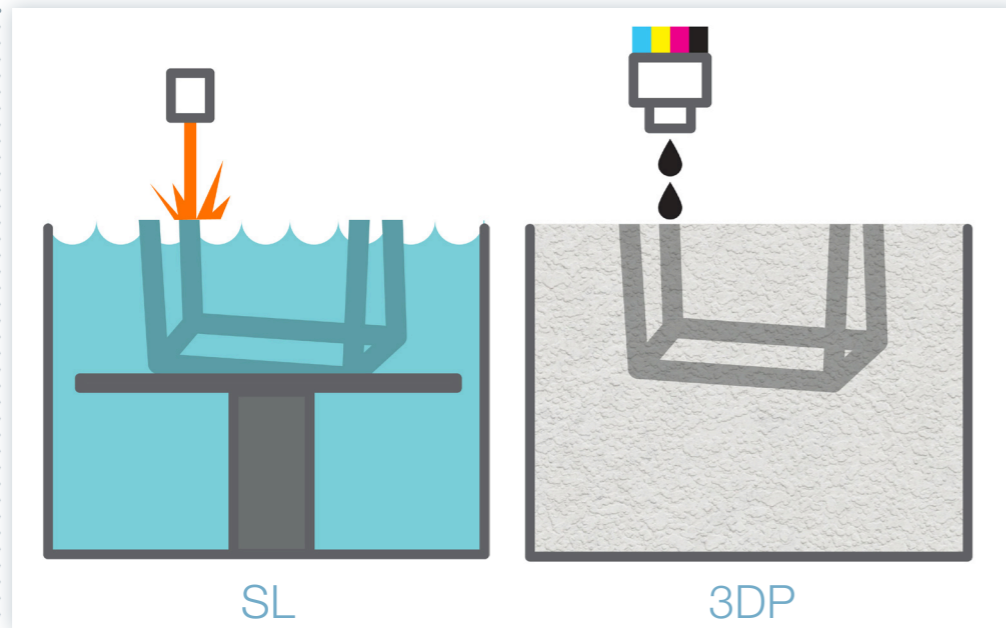
- Polimeri: poliammide (anche rinforzata con fibra di vetro), elastomeri termoplastici, policarbonato, nylon.
- Metalli: particelle legate da polimero e poi infiltrate con materiale bassofondente (acciaio inossidabile e bronzo).
- Ceramica: zirconio e silice rivestiti con resina fenolica.

**Fusione laser selettiva (SLM):** del tutto simile alla SLS, ma se ne differenzia per l'impiego di polveri metalliche integrali, ossia senza l'ausilio di bassi fondenti. Ne deriva che anche il laser è più potente e alla fine si ha un oggetto del tutto simile alla produzione di serie, che non richiede particolari finiture superficiali e che può essere sottoposto tranquillamente a lavorazioni tradizionali.



Graf.1 Schema delle principali tecnologie di Additive Manufacturing organizzate secondo il materiale utilizzato.

Fig.3 Funzionamento della tecnica di Stereolitografia e del 3D printing. Fonte: +LAB



**Electron beam melting (EBM):** fusione da fascio elettronico. È del tutto simile alla precedente solo che il fascio elettronico, potendo concentrare una potenza di spot superiore rispetto al laser, può fondere polveri metalliche alto fondenti quali il titanio. Una particolare applicazione fattibile con questa tecnica è la produzione di protesi biomediche in leghe di titanio, mediante l'utilizzo di polveri di titanio ad alta compatibilità biomedica.

**Stampa 3D (3D printing o 3DP):** questa lavorazione è simile alla SLS, ma le polveri anziché essere sinterizzate vengono mantenute insieme da un collante spruzzato con una testina simile a quelle presenti nelle stampanti a getto d'inchiostro. Il collante viene rapidamente asciugato e il prototipo ottenuto va delicatamente estratto per evitare sfaldamenti e sottoposto a un trattamento termico per migliorarne le caratteristiche.

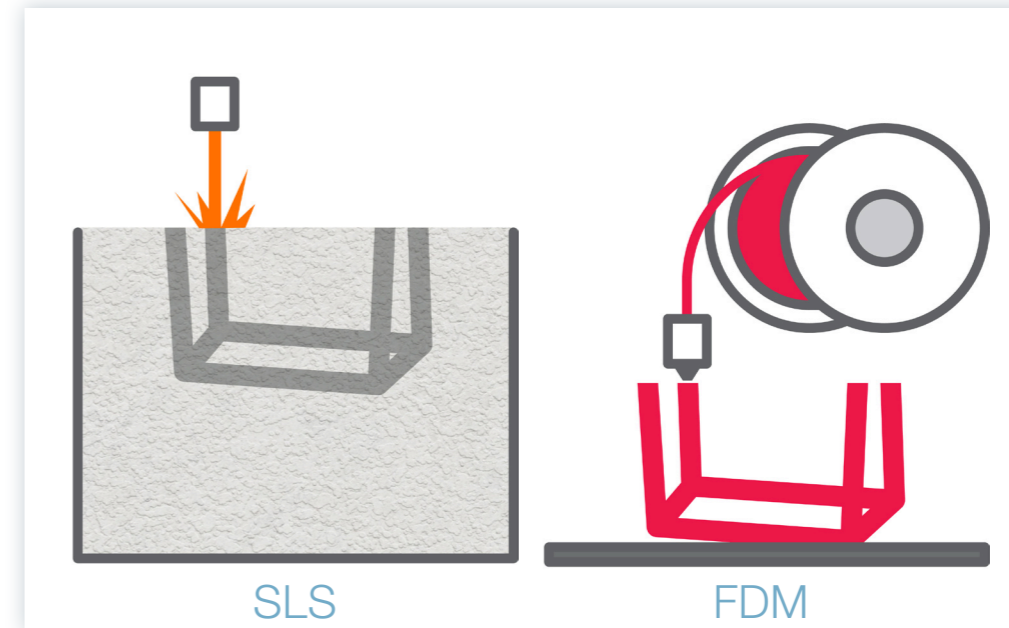
Materiali: vari materiali atossici (amido, gesso o polvere ceramica) e resine.

**Solido**

**Modellazione a deposizione fusa (Fused deposition modeling, FDM)<sup>10</sup>:** Le sezioni del

<sup>10</sup> Alla stampa FDM verrà dedicato il paragrafo successivo in quanto costituisce il processo scelto per questa tesi.

Fig.4 Funzionamento della tecnica di Selective Laser Sintering e di Fused Deposition Modeling. Fonte: +LAB



prototipo/pezzo sono realizzate mediante deposizione di un polimero termoplastico utilizzando un ugello di estrusione. Alla fine della lavorazione il prototipo non richiede ulteriori trattamenti fuorché l'eliminazione dei supporti ove non necessari.

Materiali termoplastici in forma di fili avvolti su bobine.

**Produzione di oggetti laminati (Laminated object manufacturing, LOM):** Basato sull'incollaggio di fogli di carta rivestiti nella parte inferiore con polietilene, sui quali viene ricavata la sezione del pezzo mediante taglio laser.

Il suo vantaggio è quello di poter avere dimensioni relativamente elevate per il volume di lavoro. Il supporto è costituito dalla carta in eccesso e il post trattamento è molto delicato in quanto bisogna estrarre il materiale in eccesso con attrezzi tipici della lavorazione del legno. Avendo il prototipo un aspetto simile al compensato, bisogna fare una finitura con carta abrasiva per evitare rischi di distacco degli strati e un trattamento di impermeabilizzazione per prevenire l'assorbimento di umidità.



## 1.1 Fused Deposition Modeling (FDM)

La Modellazione a deposizione fusa (in inglese: Fused deposition modeling, in breve FDM), tecnologia di produzione additiva che lavora su un principio "additivo" rilasciando il materiale su strati grazie ad una movimentazione a tre assi, fu sviluppata e brevettata da S. Scott Crump nel 1989 e commercializzata nei primi anni Novanta dalla Stratasys, compagnia di cui lo stesso Crump possiede il marchio commerciale.

### Il processo

Un filamento plastico viene convogliato in un ugello riscaldato grazie ad un estrusore che, sfruttando l'attrito sul filo, può avviare e fermare il flusso di plastica.

La testa dell'estrusore costruisce strato per strato il modello verso l'alto, partendo da un piatto di stampa.

Mentre si depositano i vari strati, il piano di lavoro si abbassa a seconda della dimensione dello strato (layer) che si vuole ottenere. La temperatura di estrusione è tale che il materiale depositato si salda stabilmente alla sezione inferiore.

Le traiettorie per la creazione dell'oggetto, gestite da un meccanismo di controllo numerico controllato da un software CAM (computer-aided manufacturing), seguono i piani XYZ creati dai movimenti del piatto di stampa e della testina di estrusione.

### Dai bit agli atomi: le fasi di stampa

Le varie fasi che permettono il passaggio dalla matematica dell'oggetto al prodotto stampato sono le seguenti:

#### Sistema CAD

0. **Modello digitale.** Modello 3D dell'oggetto che si desidera realizzare. E' possibile:

- creare il modello attraverso un software CAD (Computer Aided Design<sup>11</sup>);
- scaricare un modello 3D da una libreria online<sup>12</sup>;
- effettuare una scansione 3D di un oggetto reale (Reverse Engineering).

<sup>11</sup> Per l'elenco dei principali software utilizzati nell'ambito del 3DP si rimanda al paragrafo dedicato.

<sup>12</sup> Per l'elenco delle principali librerie online si rimanda al paragrafo dedicato.

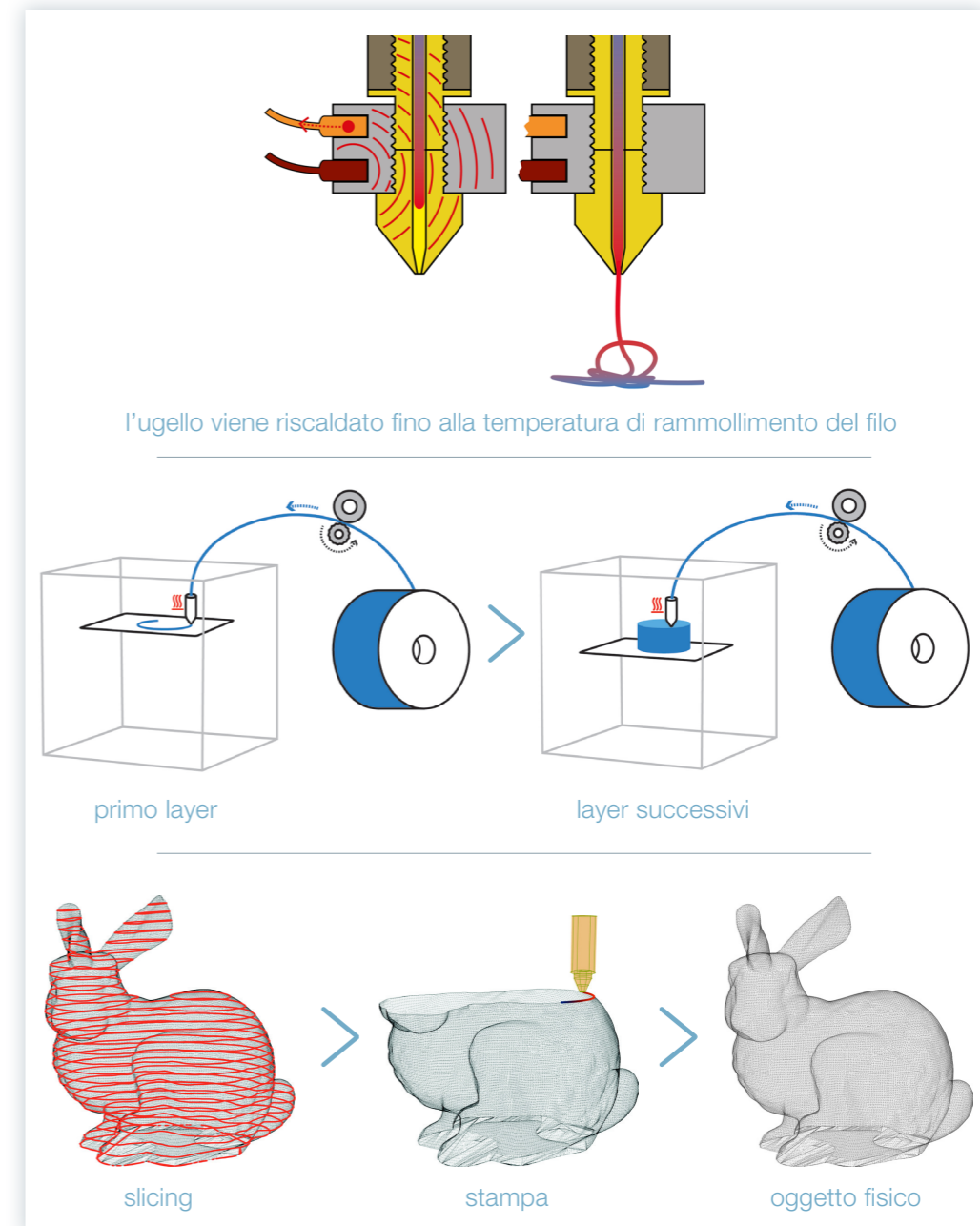
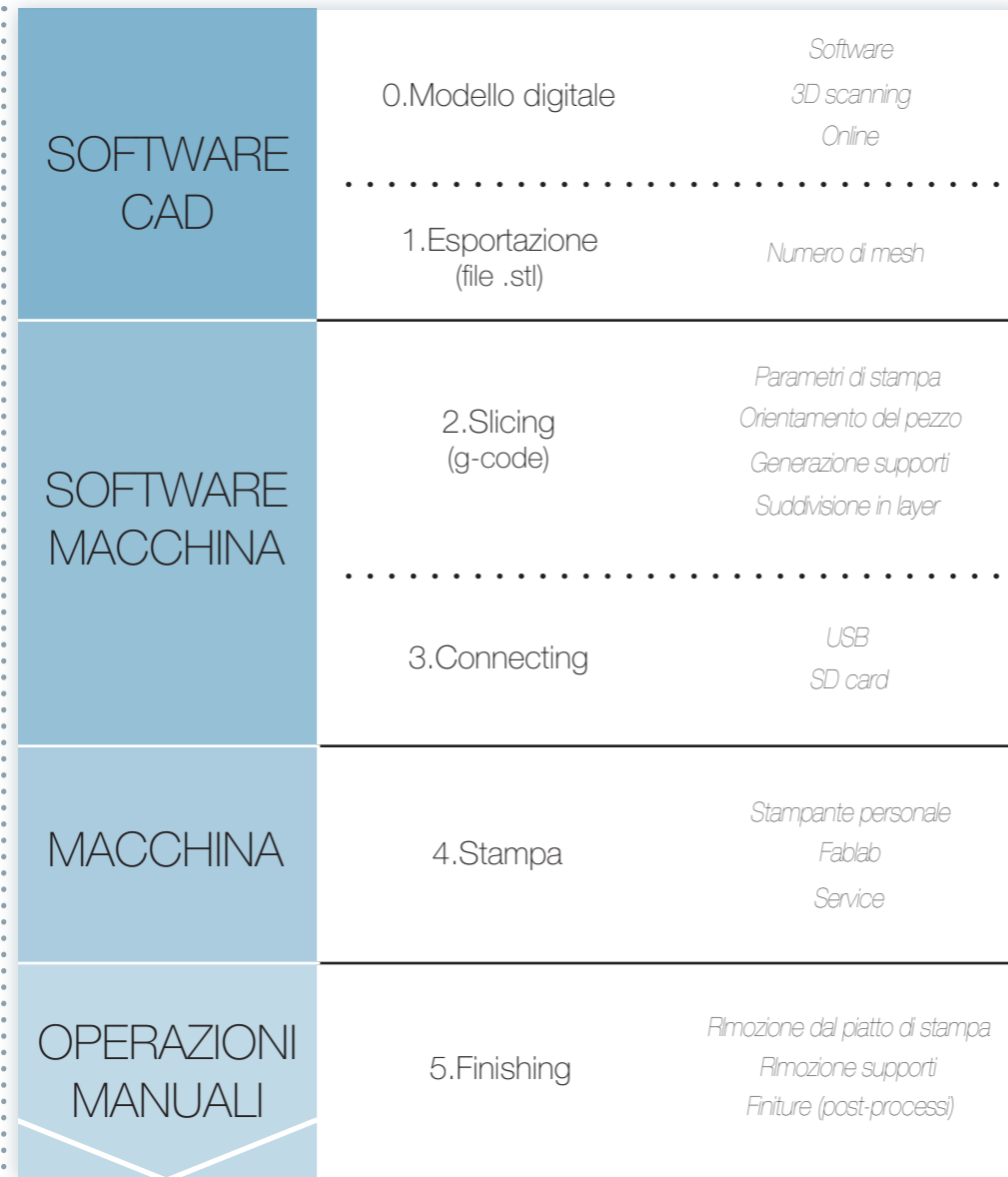


Fig.5 Funzionamento della tecnica FDM. Fonte: +LAB

Graf.2 Le fasi del processo di stampa.



### Software

Letture del file da parte del software della macchina per l'esecuzione di:

**1. Esportazione.** Trasformazione dell'oggetto progettato a CAD in un formato compatibile con il software di gestione della stampante. Lo standard grafico attualmente impiegato è l'.STL<sup>13</sup> (solid to layer) che suddivide le superfici in una rete (mesh) di elementi triangolari così da ottenere una rappresentazione semplificata delle superfici interne ed esterne del pezzo tramite faccette triangolari.

**2. Slicing.** Suddivisione dell'oggetto digitale in layers che consiste nell'intersezione del modello con una serie di piani la cui normale è parallela alla direzione della stampa. Il verbo inglese to slice significa letteralmente affettare. Esso rappresenta un passaggio di estrema importanza per tutte le tecniche additive, le quali vengono infatti chiamate anche tecniche di Layered Manufacturing. In questa fase è possibile impostare anche:

- i parametri di stampa<sup>14</sup>;
- l'orientamento del pezzo per una costruzione ottimale<sup>15</sup>;
- la generazione dei supporti per sostenere le eventuali parti a sbalzo o i sottosquadri eccessivi del pezzo. Nelle macchine con un solo estrusore vengono costruiti con lo stesso materiale che comporrà il pezzo e rimossi manualmente; nelle macchine con due estrusori è possibile realizzarli con un materiale differente che sia facilmente eliminabile (i.e. con un solvente) senza lasciare difetti sul pezzo.

### Macchina

**3. Connecting.** Creazione del G-code: definizione del file dati da inviare al computer di gestione della macchina. La connessione con la macchina può avvenire:

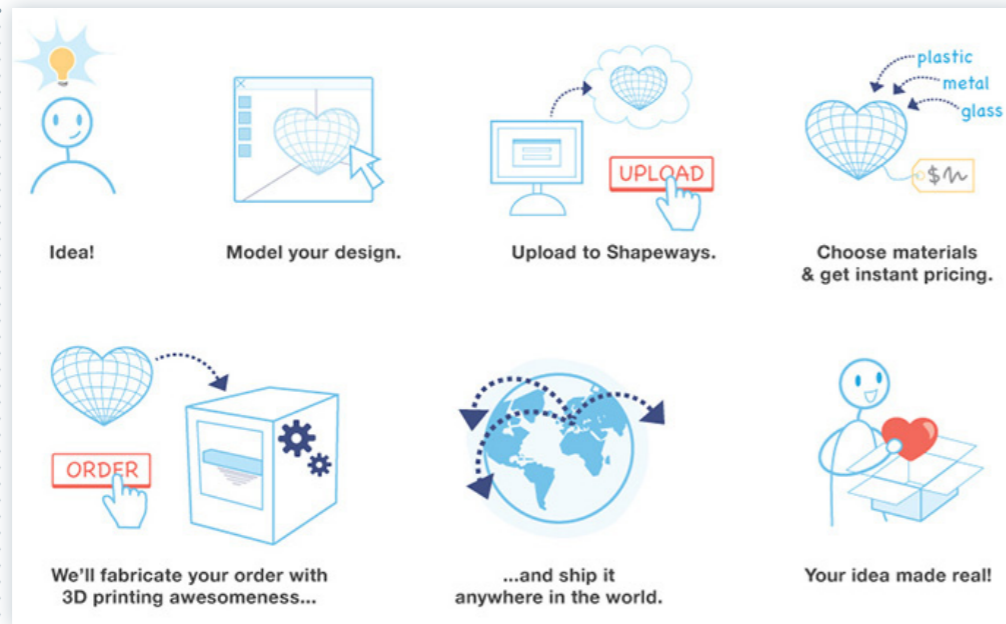
- direttamente con il computer tramite cavo USB;

<sup>13</sup> L'STL (STereo Lithography interface format oppure Standard Triangulation Language) è un formato di file, binario o ASCII, nato per i software di stereolitografia, sviluppato da 3D Systems a metà degli anni '80. Oggi rappresenta ancora lo standard di dialogo tra i modelli 3D e le tecniche di additive.

<sup>14</sup> I principali parametri di stampa e quelli utilizzati nell'ambito di questa tesi saranno descritti in seguito.

<sup>15</sup> Per approfondimenti si rimanda al paragrafo sulle criticità della stampa.

Fig.6 Funzionamento del service di stampa online. Fonte: www.Shapeways.com



- inserendo nella stampante, se ha la predisposizione, una scheda SD contenente i dati e avviando la stampa direttamente dalla macchina senza dover impegnare un computer durante la stampa; la scheda SD è molto comoda quando si hanno più stampanti che lavorano in parallelo.

**4. Stampa.** Costruzione fisica delle varie sezioni dell'oggetto. Se non si possiede una stampante è possibile recarsi presso un Fablab e utilizzare le macchine messe a disposizione<sup>16</sup>. Se invece si ritiene di non avere le competenze necessarie per gestire la macchina e/o ci sia necessità di ottenere un oggetto con migliori qualità, ci si può rivolgere ad un service fisico oppure online (che provvederà ad inviare il pezzo stampato a domicilio). I servizi di stampa 3D sono un'ottima opzione per tutti i consumatori sia che si tratti di singoli privati che di aziende. Se non si prevede di stampare costantemente, è molto più conveniente affidare il lavoro di stampa a terzi. I servizi stampa 3D esterni generalmente possiedono diverse macchine professionali; si ha quindi l'opportunità di avere accesso a tecnologie che altrimenti non ci si potrebbe permettere. Inoltre, terzalizzare permette di scoprire e sperimentare mantenendo i livelli di rischio molto bassi non essendoci investimento sull'acquisto dei macchinari. Si ha modo così di testare le diverse tecnologie e i diversi materiali che si possono

<sup>16</sup> Per approfondimenti si rimanda al paragrafo dedicato ai laboratori di stampa 3D.

usare.

### Operazioni manuali

**5. Finishing.** Rimozione del pezzo dal piatto di stampa ed esecuzione di eventuali post-trattamenti al fine di migliorare le caratteristiche meccaniche e/o estetiche dell'oggetto.

# 2

## Personal fabrication technology

*"- Vorresti dirmi per favore che strada devo prendere? - Dipende moltissimo da dove vuoi andare!"*

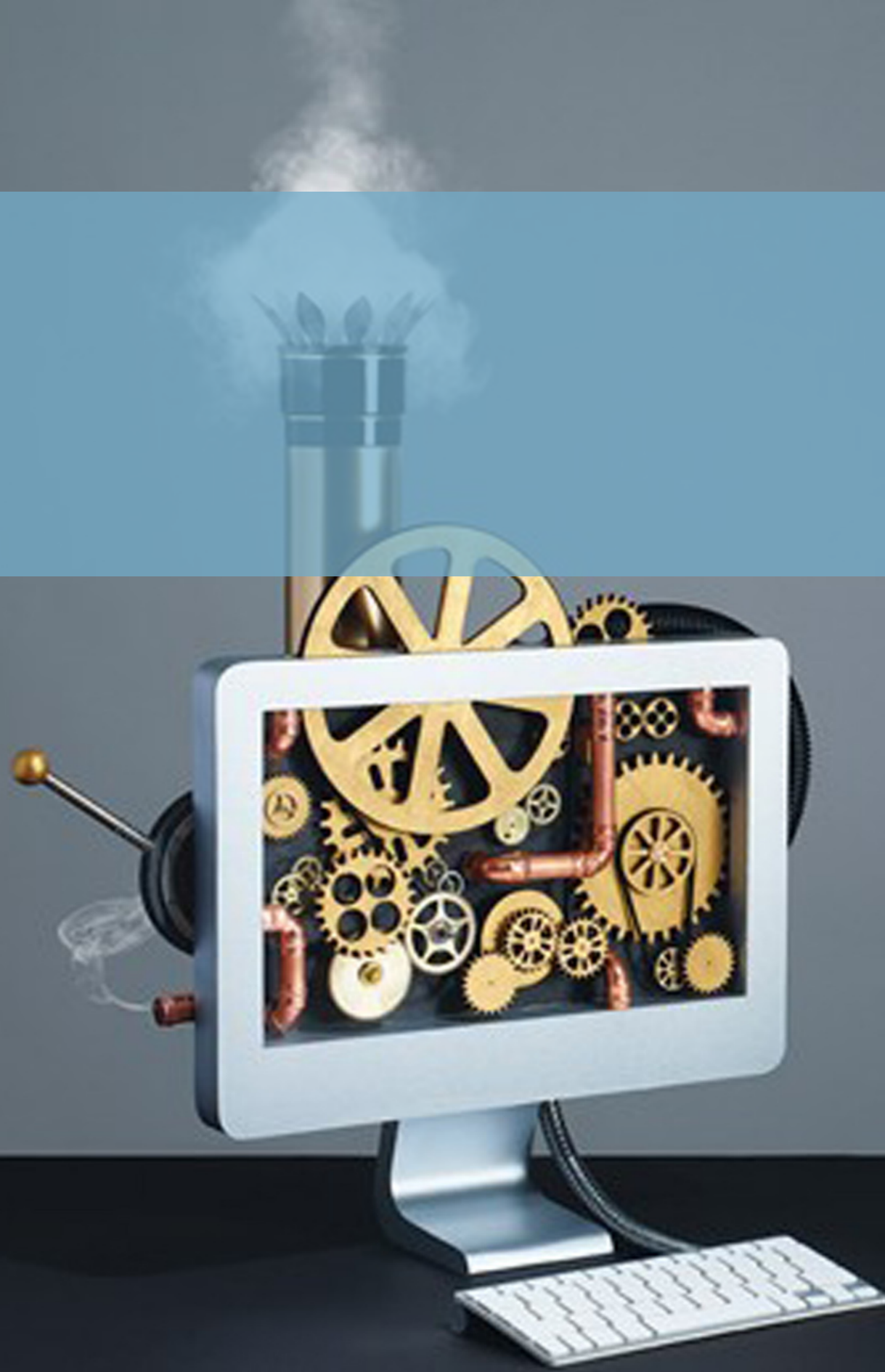
*Lewis Carroll*

La tecnologia di stampa 3D è stata introdotta all'inizio degli anni novanta, ma è soltanto dal 2010 che le stampanti 3D sono diventate ampiamente disponibili in commercio.

Dall'inizio del 21° secolo vi è stata una forte crescita nelle vendite delle stampanti e il costo delle stampanti 3D si è considerevolmente contratto favorendone l'ingresso in case e uffici.

Secondo la società di consulenza Wohlers Associates<sup>1</sup>, nel 2012 il mercato delle stampanti e dei servizi 3D valeva 2,2 miliardi dollari in tutto il mondo, in crescita del 29% rispetto al 2011. Anche nel mercato delle stampanti ad uso domestico il 2012 e 2013 sono stati i primi anni

<sup>1</sup> <http://wohlersassociates.com>





della crescita: si stimano 35/40 mila macchine vendute nel 2012<sup>2</sup>.

Com'è possibile intuire la diffusione del 3DP non è da collegare esclusivamente all'abbassamento dei prezzi di vendita delle stampanti.

**Un primo passo verso la diffusione è stato la scadenza nel 2009 dei brevetti sulla tecnica FDM** depositati dalla Stratasys. Ciò ha tolto l'esclusiva all'utilizzo della tecnologia e vedremo successivamente come il mercato fosse già da tempo pronto per questa data con stampanti DIY tramite il Progetto RepRap e non solo.

La nascita delle nuove community della Digital Revolution e del DIY uniti ai vantaggi, la flessibilità e le infinite possibilità di questa tecnologia in un contesto domestico (personal fabrication technology) hanno fatto il resto.

## 2.1 I Maker e la Terza Rivoluzione Industriale

*“Non c'è bisogno del permesso di nessuno per fare grandi cose.”*

Massimo Banzi

L'arte del costruire è sempre stata una caratteristica propria dell'uomo, fin dagli albori della nostra storia.

Con il passare del tempo e con il crescere della ricchezza e della disponibilità di tempo e risorse, il fai da te è lentamente diventato un hobby più che una necessità, e gradualmente è stato messo da parte. Oggi stiamo assistendo a un ritorno di quello che viene chiamato **Do It Yourself (DIY)**.

Il fai da te, così come lo conoscevamo, è stato completamente trasformato dalla rapida evoluzione che ha avuto la tecnologia: una volta gli strumenti erano pialle, scalpelli da intaglio, pinze e tenaglie; oggi la tecnologia a disposizione di tutti è ampissima.

### Oltre il fai da te: il trionfo della tecnologia

In questo contesto, come già era successo nel 1975 con l'Homebrew Computer Club che favoriva l'incontro di appassionati di personal computer (tra i quali Steve Jobs e

<sup>2</sup> Sherman, Manolis L. (2004), 3D Printers Lead Growth of Rapid Prototyping, in *Plastics Technology*; Jump up “3D printing: 3D printing scales up”. *The Economist*. 2013-09-07.

Steve Wozniak), negli anni Novanta cominciarono a nascere una serie di spazi nei quali gli appassionati di tecnologia, meccanica, interazione, arte e tanto altro potevano incontrarsi, condividere le proprie conoscenze e soprattutto collaborare per costruire gli oggetti più disparati.

Questi luoghi, prendendo a prestito dalla cultura informatica il termine hacker, che per definizione altri non è che un appassionato competente, erano detti hackerspace, o anche makerspace per mettere l'accento sull'aspetto della costruzione di oggetti.

Oggi gli hackerspace sono più di mille, e anche se tipicamente si trovano nelle università o in altre istituzioni, lentamente cominciano anche a nascere i primi hackerspace commerciali, i più famosi dei quali sono quelli della catena TechShop.

In questi spazi si potevano trovare, e usare, macchinari solitamente non disponibili ai singoli a causa dell'elevato costo: abbonamenti permettevano a tutti di accedere agli strumenti ad un costo accettabile, favorendo così la democratizzazione della produzione. Proprio l'elevato costo iniziale necessario per l'allestimento di un hackerspace ha limitato nei primi tempi l'espansione del fenomeno, perché solo alcune grandi istituzioni erano in grado di finanziare questi laboratori.

Tuttavia continuavano a sorgere diverse realtà in cui praticamente tutto era portato e condiviso di volta in volta dagli appassionati che frequentavano i laboratori.

**La semplicità di accesso alle tecnologie digitali ha favorito la diffusione di una nuova cultura della fabbricazione: la condivisione delle informazioni grazie alla rete e la possibilità di partire da progetti già esistenti hanno notevolmente abbassato le barriere all'ingresso nel mondo della manifattura.** Oggi abbiamo la possibilità di trasformare le nostre idee in oggetti con un semplice clic del mouse: possiamo accedere alla potenza di una fabbrica dalla nostra camera.

La cultura dei maker comincia a nascere insieme a questa tendenza, quando gli appassionati iniziano a interessarsi di robotica, elettronica, taglio laser, fresatura, stampa 3D e alle tecnologie manifatturiere digitali in genere, senza comunque dimenticare le tecniche di lavorazione più tradizionali.

### Il mondo dei Maker

*“Think with your hands, build something or try something, then talk about it, NOT the reverse.”*

Perry Kleban

Potrebbero essere definiti gli hobbisti tecnologici del XXI secolo, **costituiscono un movimento culturale contemporaneo che rappresenta un'estensione su base tecnologica del tradizionale mondo del fai-da-te** (DIY spirit).

Si interessano di tecnologia, design, arte, sostenibilità e modelli di business alternativi. La cultura maker è fortemente legata al movimento dell'Open Source. Vivono di comunità online, software e hardware open source, ma anche del sogno di inventare qualcosa da produrre autonomamente, per vivere delle proprie invenzioni.

Hanno creato un vero e proprio Manifesto<sup>3</sup> in cui sono descritte le regole del movimento riassumibili in dieci parole chiave: **Make** (fai), **Share** (condividi), **Give** (dona), **Learn** (impara), **Tool up** (attrezzati), **Play** (gioca), **Partecipate** (partecipa), **Support** (supporta) e **Change** (cambia).

In una fase di crisi si affidano alla creatività facendo della propria passione un lavoro.

Il movimento dei Maker si basa sul riutilizzo e condivisione dei risultati, sulla creatività e sull'innovazione. Sul medio e lungo periodo potrebbe permettere di innescare importanti effetti virtuosi sull'economia, in cui comunità crescenti di makers sperimentino nuovi approcci alla produzione basati su tecnologie a basso costo.

La possibilità di costruire oggetti basati su tecnologie a basso costo, attraverso strumenti come la piattaforma hardware Arduino e le stampanti 3D, ha innescato la nascita di veri e propri modelli culturali in grado di dare vita a nuovi processi di innovazione tecnologica e produttiva 'dal basso'.

I 'digital makers' sono curiosi e appassionati di tecnologia che, su ridottissima scala o per unico esemplare, realizzano e modificano apparecchiature in base alle proprie esigenze.

La riutilizzazione dei risultati, grazie all'adozione di licenze libere, potrebbe permettere di innescare importanti effetti virtuosi fino a prefigurare una nuova rivoluzione industriale.

Lo aveva detto Chris Anderson, direttore di Wired Us, che nel 2010 intitolò un suo saggio, "Gli atomi sono i nuovi bits": prendeva spunto dal nome di un laboratorio aperto al Mit di Boston qualche anno prima da Neil Gershenfeld, 'Center for bits and atoms'<sup>4</sup>, luogo dove produrre 'quasi-qualsiasi-cosa'.

3 Harch M. (2014), The maker movement manifesto. Rules for innovation in the new world of crafters, hackers and tinkerers, Mc Graw Hill Education

4 <http://cba.mit.edu/>

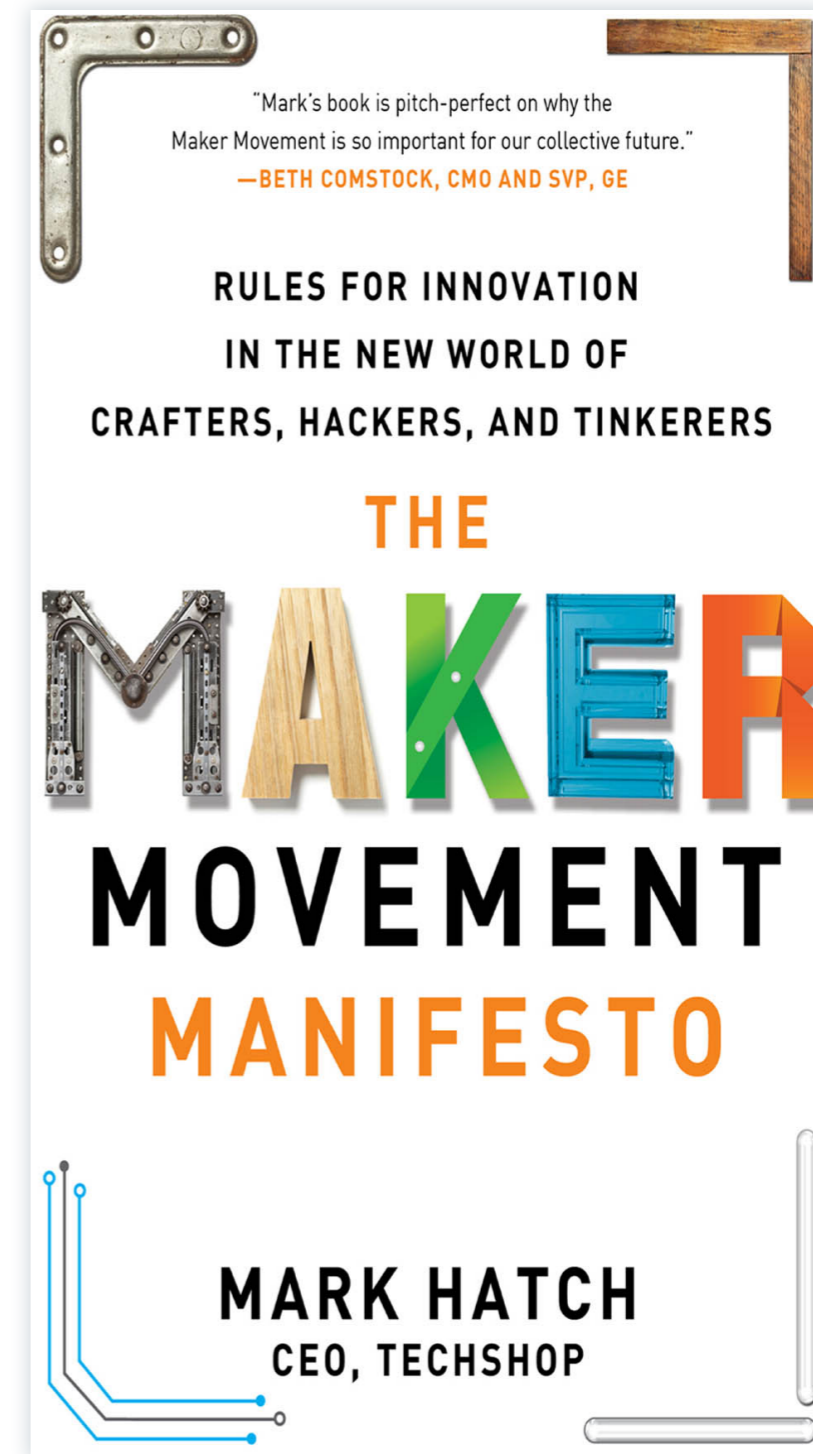


Fig.7 Copertina del libro The maker movement manifesto.

*“La cultura digitale dopo aver rivoluzionato il mondo dei bit e quindi l’editoria, la musica e i video attraverso Internet, ora sta per trasformare il mondo degli atomi, quindi degli oggetti fisici. [...] Una generazione di ‘makers’ che usa i modelli innovativi del Web aiuterà la prossima grande ondata di cambiamento nell’economia globale perché le nuove tecnologie del digital design e della prototipazione stanno dando a tutti il potere d’inventare e creare ‘la coda lunga’ delle cose”<sup>5</sup>.*

Lo dice anche l’Economist: siamo nel pieno della Terza Rivoluzione Industriale, e i suoi protagonisti sono i makers, quelli che se hanno un’idea, la realizzano direttamente. La trasformazione è già in atto perché è cominciata con la digitalizzazione dell’industria.

*“La stampa tridimensionale rende economico creare singoli oggetti tanto quanto crearne migliaia e quindi mina le economie di scala. Essa potrebbe avere sul mondo un impatto così profondo come lo ebbe l’avvento della fabbrica [...]. Proprio come nessuno avrebbe potuto predire l’impatto del motore a vapore nel 1750 — o della macchina da stampa nel 1450, o del transistor nel 1950 — è impossibile prevedere l’impatto a lungo termine della stampa 3D. Ma la tecnologia sta arrivando, ed è probabile che sovverta ogni campo che tocchi”<sup>6</sup>.*

### Una nuova rivoluzione?

**Come nella prima rivoluzione industriale fu una macchina, la macchina a vapore, a innescare un cambiamento epocale, anche in questo caso c’è di mezzo una macchina: è la stampante 3D.**

Verso la fine del 1700 siamo passati dalle singole persone chine sui telai alle fabbriche tessili che contavano centinaia di lavoratori; verso l’inizio del 1900 è arrivato Henry Ford ed è cominciata la produzione di massa; ora che le tecnologie stanno convergendo e che molto è a portata di un clic, si chiuderà il cerchio, in un certo senso. Ovvero:

*“le industrie del futuro si focalizzeranno sulla personalizzazione di massa, e potrebbero assomigliare più alle piccole case con i telai che non alle catene di montaggio della Ford”.*

La rivoluzione industriale inventò la produzione di massa e l’economia di scala; ora le

<sup>5</sup> Chris Anderson, (2012).

<sup>6</sup> The Economist, in un editoriale del 10 febbraio 2011; <http://www.economist.com/node/21553017>



Fig.8 Motto del mondo Maker

stampanti 3D consentono a chiunque di produrre un singolo oggetto a costi bassissimi.

Non si tratta di una novità in assoluto, sono molti anni che strumenti di prototipazione rapida si usano in fabbrica. Tutto è cambiato quando nel 2009, in una ex birreria di Brooklyn, Bre Pettis, 38 anni, hacker con la passione dei robot, ne ha realizzata una da circa mille dollari, invece di oltre cento mila.

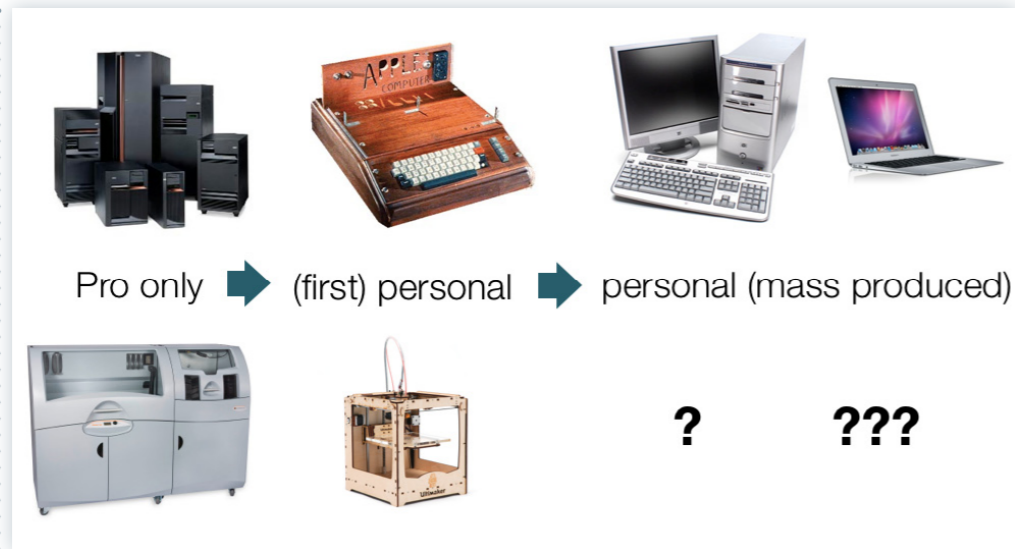
La nascita della Maker-Bot è stata come il passaggio, negli anni Settanta, dai computer che occupavano una intera stanza (e costavano tantissimo), al pc da tavolo e per tutti: l’inizio di una rivoluzione, appunto. Quella della fabbrica personale.

Cosa comporta questo per il futuro lo ha spiegato meglio di tutti lo scrittore canadese Cory Doctorow in un profetico romanzo del 2009 che lui definisce come *“un libro su gente che modifica meccanismi e hardware, modelli di business, e soluzioni abitative, per scoprire modi per tirare avanti e vivere felici anche quando l’economia va a finire nel cesso”*, intitolato appunto Makers:

*“I giorni di società chiamate General Electric, General Mills, General Motors sono contati. Ci sono miliardi di opportunità imprenditoriali a disposizione delle persone*



Fig.9 Confronto fra l'evoluzione del computer e quello delle stampanti 3D. Fonte: Low-cost 3D printing. For science, education & sustainable development di Fonda C. et alii.



creative e brillanti<sup>7</sup>.

Ad un designer digitale presto potrebbero bastare pochi gesti per dare forma alle sue idee, che si trovi in un piccolo villaggio in Africa o nel suo garage in qualche grande città. Con il vantaggio che Internet offre: collaborare a distanza con altri progettisti in qualsiasi momento.

Interessante non è solo come le cose verranno costruite, ma anche (se non soprattutto) dove. Perché nei nuovi sistemi il costo della manodopera incide sempre meno.

### Il cuore del digitale: Arduino

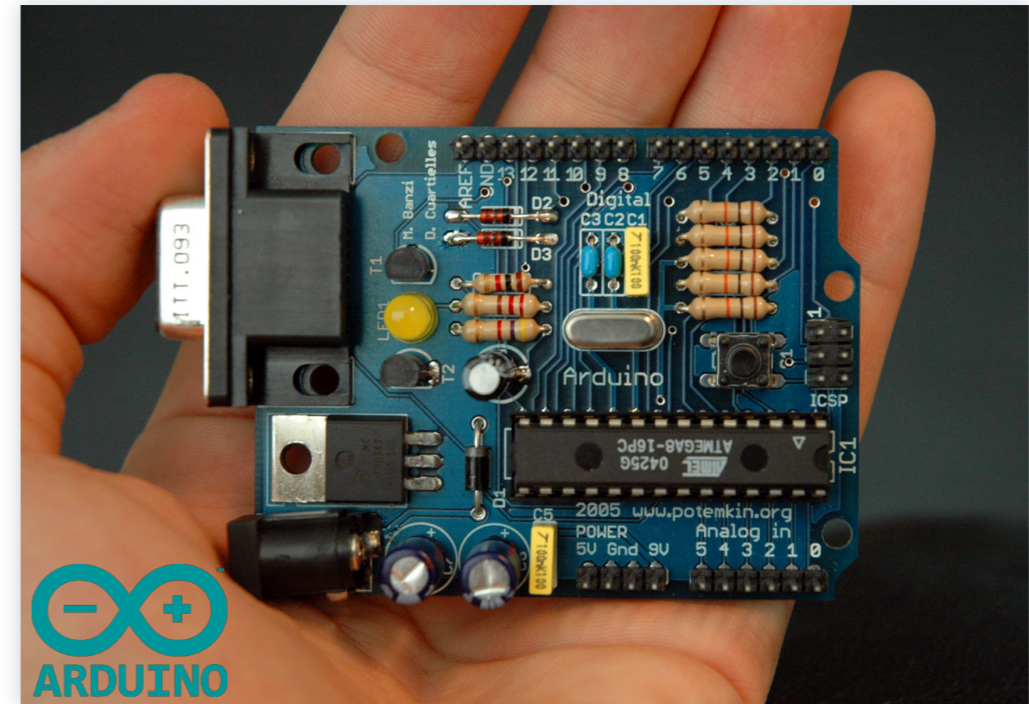
Questa rivoluzione industriale ha molto della cultura fai-da-te degli americani ma con un cuore, anzi un cervello, italiano. Non si tratta soltanto di stampare o tagliare oggetti, ma di renderli intelligenti. E interconnessi. Per fargli fare delle cose. A questo pensa Arduino<sup>8</sup>.

Si tratta di un microcomputer low cost che ha conquistato il mondo. Lo ha creato nel 2005 un giovane ingegnere ribelle, Massimo Banzi mentre faceva un corso di interaction design agli studenti della scuola di Ivrea (all'Interaction Design Institute, un istituto

7 Doctorow C., (2009) Makers, St Martins Pr

8 <http://arduino.cc>

Fig.10 La scheda elettronica Arduino



fondato da Olivetti e da Telecom Italia).

A cosa serve Arduino? Banalizzando, a far compiere un'azione ad un oggetto: per esempio a farti ricevere un sms quando la tua pianta ha bisogno di acqua. E a moltissime altre cose più importanti. Tutte quelle che puoi immaginare.

"Arduino è una piattaforma per il futuro", sintetizza Banzi che all'estero è una vera star, uno dei leader della rivoluzione in corso. Arduino è un progetto aperto; vuol dire che è stato progettato collettivamente, usando la rete, e non ha copyright.

Il nome della scheda deriva da quello di Arduino d'Ivrea, formalmente il primo re d'Italia nell'anno 1002.

Arduino<sup>9</sup> si basa su un microcontrollore in una sola e semplicissima scheda di I/O e su un ambiente di sviluppo integrato multiplatforma (Linux, Apple Macintosh e Windows), liberamente scaricabile, che usa una libreria Wiring per semplificare la scrittura di programmi in C e C++ da far girare sulla scheda.

9 Per approfondimenti si consiglia di consultare: Banzi M. (2012), Arduino:la guida ufficiale, Tecniche nuove, Milano; Margolis M. (2013), Arduino: progetti e soluzioni, Tecniche nuove, Milano; Majocchi S. (2012), Arduino uno: programmazione avanzata e libreria di sistema, Vispa, Gallarate.

La piattaforma hardware Arduino è distribuita agli hobbisti in versione generalmente pre-assemblata, acquistabile in internet o in negozi specializzati alla modica cifra di 25 euro, ma le informazioni sul progetto hardware sono rese disponibili a tutti in quanto open source, nei termini della licenza Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5.

In questo modo, chiunque lo desideri può legalmente auto-costruirsi un clone di Arduino o derivarne una versione modificata, scaricando gratuitamente lo schema elettrico e l'elenco dei componenti elettronici necessari.

Il codice sorgente per l'ambiente di sviluppo integrato e la libreria residente sono disponibili, e concessi in uso, secondo i termini legali della licenza GPLv2.

Il team di Arduino è composto da Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino e David Mellis.

I progettisti sono riusciti nell'intento di creare una piattaforma di semplice utilizzo ma che, al tempo stesso, permettesse una significativa riduzione dei costi rispetto a molti prodotti disponibili sul mercato. A ottobre 2008 erano già stati venduti più di 50.000 esemplari di Arduino in tutto il mondo.

Paolo Antonelli sostiene che:

*"le due più importanti innovazioni nel mondo dell'arte negli ultimi vent'anni sono state Processing e Arduino"*<sup>10</sup>.

### La diffusione sui media

Nel 2005 la O'Reilly ha pubblicato il primo numero di MAKE<sup>11</sup>, rivista che oggi è un punto di riferimento per tutta la comunità dei maker. Ogni numero contiene articoli e spiegazioni, recensioni di libri e attrezzi, ma soprattutto tantissimi progetti, dai più semplici ai più complessi.

Uno dei punti di forza della rivista è il suo aspetto sociale: ci sono moltissimi articoli che descrivono progetti padre-figlio realizzati nei garage e altri che raccontano di progetti costruiti in squadra.

Ed è proprio per dare ancora maggiore rilevanza a questo aspetto sociale che alla fine del 2005, dopo la pubblicazione dei primi quattro numeri di MAKE, Dale Dougherty, uno dei fondatori della rivista, ha domandato:

*"Non sarebbe grandioso se potessimo mettere insieme tutti questi maker in un posto*

<sup>10</sup> Paola Antonelli è senior curator al Museum of Modern Art di New York.

<sup>11</sup> <http://makezine.com>



Fig.11 Copertina del numero di Wired dedicato alla stampa 3D.



Fig. 12 Logo di Maker Faire e locandina del Maker Faire tenutosi a Roma nel 2013.



*solo e far loro condividere quello che fanno?”.*

Nel 2006 si è svolta a San Mateo la prima **Maker Faire**, in cui più di cento maker hanno esposto le proprie creazioni.

Negli anni ci sono state diverse Maker Faire negli Stati Uniti e nel 2013 è arrivata a Roma la prima Maker Faire europea. E se sembra una cultura di nicchia, ad ora sta dilagando. Alle Maker Faire cinque anni fa andavano poche migliaia di persone: ora sono centinaia di migliaia, gli sponsor sono Microsoft, Pepsi Cola e Ford, e da tre anni una edizione molto spettacolare si svolge in Africa.

Un grande cambiamento nella percezione pubblica della stampa 3D lowcost è avvenuta proprio grazie ad una copertura mediatica molto ampia: un buon esempio è la copertina del numero di ottobre 2012 di Wired Magazine<sup>12</sup> dal titolo 'Questa macchina cambierà il mondo' con una foto di Bre Pettis, CEO e co-fondatore Makerbot, con una Replicator 2.

Moltissimi i blog sull'argomento, uno dei più seguiti è Boing Boing<sup>13</sup>.

12 <http://www.wired.it/>

13 <http://boingboing.net>

## Il progetto RepRap

*“Never doubt that a small group of committed citizens can change the world.”*

Margaret Mead

Il 13 settembre 2006 in Inghilterra Adrian Bowyer, con l'aiuto di una stampante 3D commerciale, stampa i primi pezzi per il prototipo RepRap 0.2. Quello fu l'inizio del progetto.

Il Progetto RepRap (in inglese: RepRap Project, abbreviazione di Replicating Rapid Prototyper, “creatore di prototipi a replicazione rapida”), fondato nel 2005 dal dottor Adrian Bowyer, un insegnante di ingegneria meccanica alla Università di Bath, nel Regno Unito, è un'iniziativa finalizzata a sviluppare una stampante 3D che produca da sé la maggior parte dei suoi stessi componenti. Tutti i lavori creati nell'ambito di questo progetto sono pubblicati con licenze open source<sup>14</sup>.

Nel 2009 sono state rilasciate due stampanti 3D: Darwin e Mendel. Gli sviluppatori le hanno chiamate così in onore dei biologi che hanno contribuito a teorizzare l'evoluzione delle specie. Il 31 agosto 2010 viene ufficializzato il nome della terza generazione di stampante 3D in sviluppo: Huxley.

L'idea che fosse possibile passare da stampante 3D professionale a qualcosa di nuovo, più piccolo e più accessibile, fu espressa per la prima volta da Adrian Bowyer già nel 2004. In un articolo immaginava il concetto di macchine auto-replicanti, in grado di stampare i propri componenti, e così semplici e facili che chiunque sarebbe stato in grado di costruirle.

A partire da questa idea nacque il Progetto RepRap.

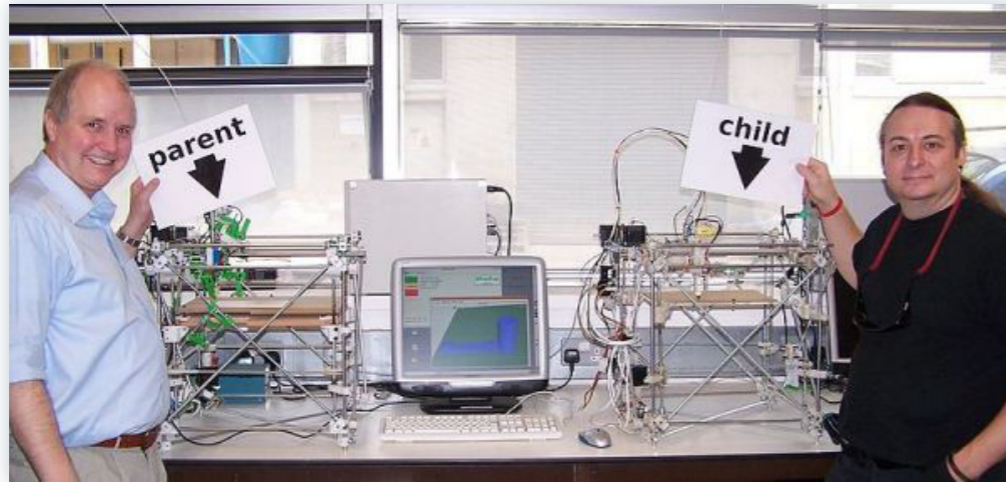
Com'è facile intuire, il progetto fu accolto con entusiasmo nella comunità dei Maker. Permeato di questa cultura, il Progetto RepRap mirava a produrre una stampante sorgente 3D gratuita, le cui specifiche dovevano essere rilasciate sotto licenza open<sup>15</sup> (venne scelta la GNU General Public License<sup>16</sup>), e che doveva essere in grado di replicare se stessa (almeno parzialmente) stampando molte delle sue parti in plastica, per creare più macchine.

14 [http://it.wikipedia.org/wiki/Progetto\\_RepRap](http://it.wikipedia.org/wiki/Progetto_RepRap)

15 Le licenze Open Source definiscono i privilegi e le restrizioni per poter utilizzare, modificare o ridistribuire il software e/o hardware open source. Il concetto di Open Source verrà approfondito in seguito.

16 <http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>

Fig.13 Adrian Bowyer e Vik Olliver con una stampante RepRap ed un clone prodotto dall'originale.



Poiché il termine Fused Deposition Modeling e la sua abbreviazione in FDM è un marchio registrato da Stratasys Inc., i membri del progetto RepRap coniarono il termine equivalente, Fused Filament Fabrication (FFF), il cui utilizzo era giuridicamente svincolato.

Da un punto di vista teorico, il progetto tenta di dimostrare la seguente ipotesi: la Prototipazione rapida e le tecnologie di scrittura diretta sono sufficientemente versatili da permettere di essere usate per fare un Costruttore universale di Von Neumann<sup>17</sup>.

**L'obiettivo dichiarato del progetto RepRap è di produrre un dispositivo autoreplicante che dia la possibilità, a chiunque disponga di una modesta somma di denaro (il costo di tutti i materiali necessari per creare una RepRap di circa € 400), di avere a disposizione un piccolo sistema produttivo, tramite il quale poter creare da sé gli oggetti di cui si necessita per la vita di tutti i giorni.**

Le stampanti RepRap hanno prestazioni inferiori rispetto alle macchine commerciali ma costano circa l'1% delle stesse.

La natura autoreplicativa di RepRap facilita la sua diffusione virale e potrebbe condurre a un cambiamento di paradigma nella progettazione e produzione di prodotti di

<sup>17</sup> Il Costruttore universale di John Von Neumann è una macchina auto-replicante in un ambiente di automi cellulari. I dettagli fondamentali della macchina furono pubblicati nel libro di Von Neumann Teoria dell'auto-riproduzione automatica, completato nel 1966 da Arthur W. Burks dopo la morte di Von Neumann; [http://it.wikipedia.org/wiki/Costruttore\\_universale\\_di\\_Von\\_Neumann](http://it.wikipedia.org/wiki/Costruttore_universale_di_Von_Neumann)

consumo: da un'unica fabbrica di produzione di prodotti brevettati ad una produzione personale di prodotti senza brevetto e con specifiche 'aperte', di libero accesso.

Grazie all'apertura di queste nuove possibilità per le persone, si potrebbe ridurre di molto il tempo necessario per la fase di miglioramento dei prodotti e permetterne una maggiore diversità, aprendosi alla produzione di nicchia.

Come per un qualsiasi progetto open source destinato a favorire l'evoluzione, esistono molte varianti e il progettista è libero di apportare proprie modifiche e sostituzioni. Qualsiasi sviluppo o il miglioramento della progettazione RepRap, su software o elettronica, nasce su iniziativa dei suoi utenti.

Non vi è nessuna istruzione a riguardo: sono gli utenti stessi a investire tempo, risorse e idee nel processo evolutivo della progettazione RepRap. Ispirandosi a vicenda, gli utenti uniscono i loro sforzi condividendo i propri progressi diventando a tutti gli effetti un team di lavoro.

A causa della mancanza di scadenze degli obiettivi di sviluppo, il progresso è molto di ampio respiro ma più lento rispetto a quello ottenibile nei reparti di Ricerca e Sviluppo. Per favorire questo sviluppo spontaneo e il coinvolgimento si sta puntando su kit di utensili da fornire agli utenti<sup>18</sup>.

## 2.2 La cultura della condivisione

*"C'è vero progresso solo quando i vantaggi di una nuova tecnologia diventano per tutti"*

Henry Ford

La motivazione che spinge questa nuova generazione di Maker a collaborare a progetti open come quello di RepRap, è strettamente legata alla nuova, o ritrovata, cultura della condivisione.

Su questa linea possiamo trovare la Peer production, un altro trend nato in rete, che ben si affianca alla cultura Maker.

Produzione paritaria o produzione sociale o produzione orizzontale (dall'inglese Com-

<sup>18</sup> <http://reprap.org/wiki/RepRap>

mons-based peer production o social production) è un termine coniato dal professore Yochai Benkler della Scuola di Legge di Harvard per descrivere un nuovo modello economico di produzione nel quale l'energia creativa di un grande numero di persone è coordinata (di solito con l'aiuto di Internet) in grandi e significativi progetti per lo più senza la tradizionale organizzazione gerarchica (e spesso, ma non sempre, senza una compensazione finanziaria decentralizzata).

Il libro *The Wealth of Networks* Benkler descrive in dettaglio l'idea e il contenuto della Peer production. Esempi noti di comunità peer production based sono Wikipedia, Linux e PirateBay. Una delle ultime aggiunte alla lista è RepRap con la comunità e i progetti ad esso correlati<sup>19</sup>.

Le persone partecipano per divertimento, scelgono autonomamente i progetti a cui partecipare e in quale modo contribuire. In altre parole, i partecipanti sono auto-selezionati e le loro motivazioni sono 'interne'. Gli sfondi motivazionali di questa 'generazione di hacker open source' sono stati analizzati in diverse pubblicazioni e progetti di ricerca. In un sondaggio<sup>20</sup> condotto nel 2011 si evince come altruismo, impegno della comunità, incontrare altri hacker nel mondo reale e divertirsi sembrano essere i più importanti fattori di motivazione.

Nel libro *'Design Open Source'*<sup>21</sup>, Paolo Ciuccarelli<sup>22</sup> esplora le opportunità e i limiti della possibile convergenza di due fenomeni che stanno cambiando e ampliando sensibilmente i modi, gli strumenti e le problematiche del progetto.

Il primo fenomeno è quello della graduale apertura del processo progettuale dalle imprese verso l'utente finale, coinvolto in modo sempre più diretto in reti di collaborazione che determinano le caratteristiche dell'offerta. Un cambiamento spinto dall'evoluzione dei mercati, sostenuto dalle innovazioni tecnologiche, ancora da valutare appieno però negli esiti.

19 Bauwens M., "The Political Economy of Peer Production", CTheory 12/1/2005 ; <http://www.ctheory.net/articles.aspx?id=499>

20 Moilanen, Jarkko (2011), Peer production communities survey; <http://surveys.peerproduction.net/2012/02/peer-production-communities-survey-2011/>

21 Ciuccarelli P. (2008), *Design open source. Dalla partecipazione alla progettazione in rete*, Pitagora, Bologna

22 Paolo Ciuccarelli è professore associato al Politecnico di Milano e insegna nel Corso di Laurea in Design della Comunicazione, Facoltà del Design.

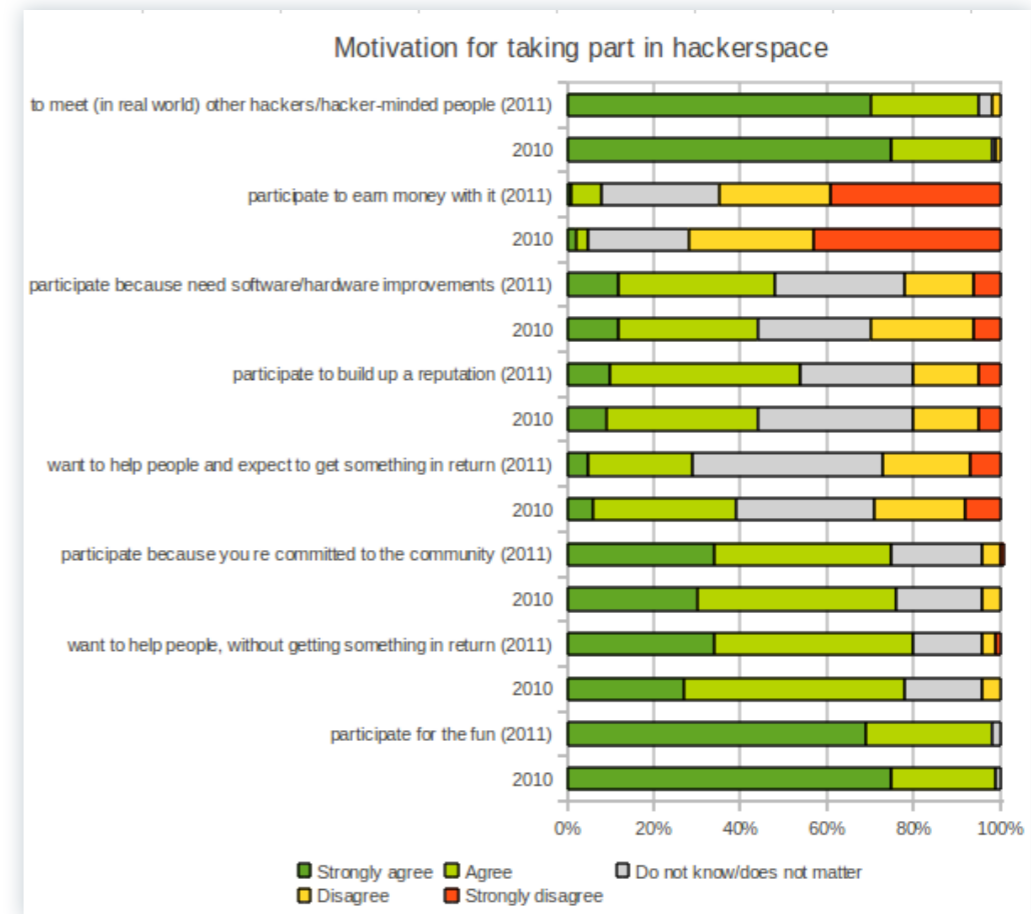


Fig.14 Grafico che riporta le principali motivazioni della partecipazione agli hackerspace. Fonte: Peer production communities survey

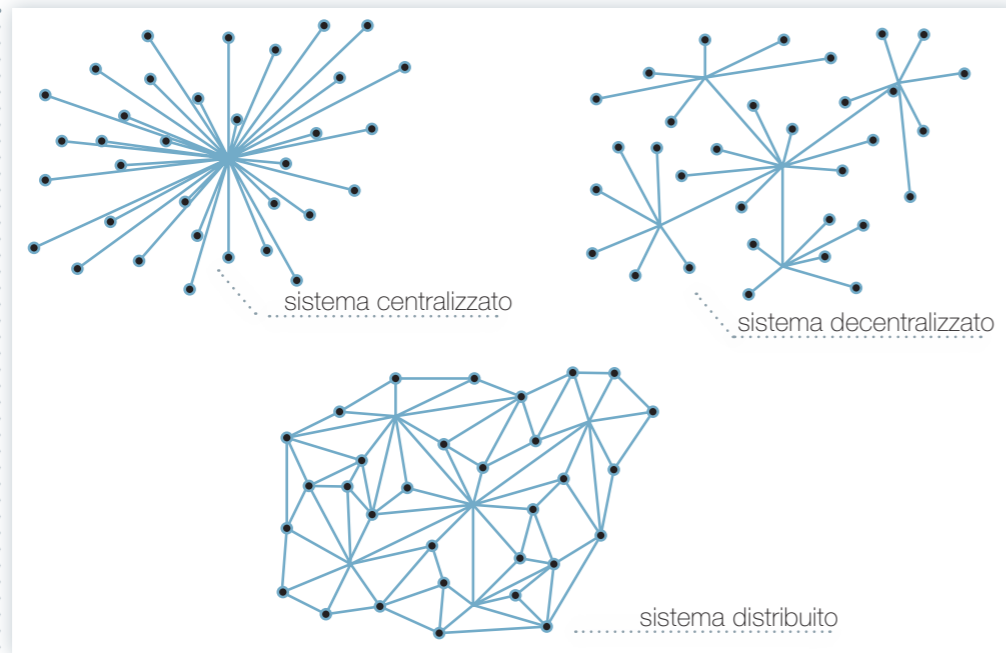
Il secondo fenomeno è l'emergenza di iniziative di creatività (progettazione) diffusa, che si organizzano dal basso, non solo nella produzione e progettazione di prodotti immateriali e servizi digitali.

A partire dal mondo del freeware, gli utenti condividono e praticano un approccio alla conoscenza radicalmente nuovo, che apre la strada ad una nuova etica del progetto: **la conoscenza, e con essa l'innovazione che ne deriva, sono beni pubblici, che traggono vantaggio più dalla condivisione e dalla diffusione che dalla protezione.**

La possibilità di una convergenza di questi due fenomeni pone il design di fronte a nuove opportunità, nuove sfide e nuove problematiche con la consapevolezza che gli esiti possibili sono ancora in larga parte da immaginare e, ovviamente, da co-progettare.



Fig.15 Paragone fra sistema centralizzato, decentralizzato e quello distribuito tipico della comunità open source.



### Il Copyleft e l'Open Source

I cosiddetti *'hacker'* nel senso però neutrale del termine, cioè di appassionati della libera programmazione, quelli per cui il software doveva rimanere uno strumento di sviluppo tecnologico più che un oggetto di marketing, opposero resistenza alle imprese di software che, sfruttando i diritti esclusivi del regime di copyright, distribuivano il software solo in linguaggio macchina (codice binario), criptando il codice sorgente e rendendo così ogni operazione di modifica, aggiornamento e adattamento impossibile o quantomeno difficile.

A questo scopo era fondamentale poter disporre del codice sorgente, ovvero il codice in linguaggio di programmazione grazie al quale è possibile capire la struttura del software ed eventualmente modificarlo e correggerlo<sup>23</sup>.

Essendo il software ormai sottoposto a copyright, gli sviluppatori che avessero voluto distribuire le loro opere liberamente avevano solo due scelte: rilasciarle in un regime di public domain (chiunque avrebbe potuto appropriarsi dell'opera e sfruttarla anche a fini commerciali, per di più criptando successivamente il codice sorgente); oppure rilasciarle sotto un particolare regime giuridico in una licenza nella quale l'autore, sempre

<sup>23</sup> Per approfondimenti sul concetto di Opensource si rimanda a: Aliprandi s. (a cura di) (2006), Compendio di libertà informatica e cultura open, ed. Primaora.

Fig.16 Logo utilizzato per identificare le produzioni open source.



fondandosi sui principi del copyright, disciplinava le modalità di utilizzo e distribuzione dell'opera.

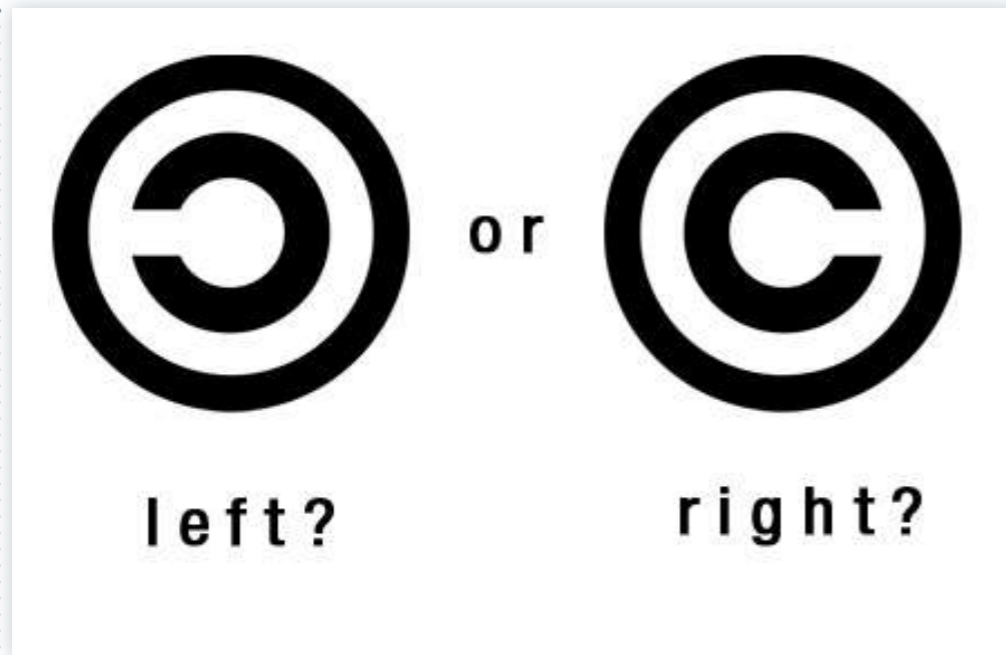
Tale particolare regime, nato nell'ambito del progetto GNU, prese il nome emblematico di copyleft e i suoi principi cardine furono condensati in un'apposita licenza chiamata GNU General public license (GPL): essa garantiva che il software fosse liberamente eseguibile, copiabile e modificabile, e soprattutto che chiunque ridistribuisse copie di quel software o creasse altro software derivato da quel codice mantenesse il medesimo regime di licenza. La GNU General Public License è la licenza più diffusa di Open Source. E' molto nota anche perché è stata applicata al software kernel Linux.

L'espressione *'copyleft'* nasce dalla prassi goliardica di alcuni sviluppatori di software che distribuivano copie dei loro lavori riportanti la dicitura *'copyleft - all rights reversed'* (con una © rovesciata).

In effetti il termine è molto significativo poichè racchiude un duplice gioco di parole: *'left'* è appunto il participio passato di *'leave'* (lasciare, permettere) e comunica l'idea di un regime più libero; ma è anche l'opposto di *'right'* (destra) e comunica un'idea di ribaltamento dei principi.

Questo nuovo modello di gestione dei diritti d'autore ha avuto fin da subito grande rile-

Fig.17 La 'c' cerchiata rovesciata del copyleft si contrappone alla classica 'c' cerchiata del copyright.



vanza socio-culturale e col tempo l'espressione 'copy-left', forse per la sua particolare efficacia semantica, è stata usata per indicare più ampiamente tutto questo fenomeno giuridico di rivisitazione del modello tradizionale di gestione dei diritti d'autore.

I software nati in questo ambito vennero spesso chiamati con l'aggettivo inglese 'free' che significa sia 'libero' che 'gratuito' e a volte fu mal interpretato: non è connesso al prezzo del software; si tratta di libertà. La diffusione di questo messaggio ambiguo affiancava erroneamente i nuovi 'free software', protetti da copyleft, alle 'trial-version' oppure ai 'freeware', distribuiti a scopi commerciali e comunque senza disponibilità del codice sorgente.

Fu così che nel 1998 venne coniato il termine 'Open Source' (cioè 'codice sorgente aperto') e creato l'Open Source Initiative, progetto guidato da Eric Raymond, che si sarebbe occupato di vigilare sul corretto uso di questo termine e dunque di verificare che le varie licenze emerse in quegli anni mantenessero alcuni parametri di base. L'idea era quella di puntare non più tanto su aspetti etici di libertà e condivisione quanto piuttosto sulle caratteristiche e i vantaggi tecnici di questo tipo di software.

### Diffusione

La stampa 3D è in uso già da un paio di decenni. In questo senso, la tecnologia non

è una novità. Ciò che è diverso ora è il metodo con cui le stampanti 3D e i relativi software sono sviluppati e in alcuni casi anche realizzati: il modello Open Source/Peer production.

C'è chi pensa, come Jeremy Rifkin, presidente della Foundation of Economic Trend ed esperto delle transizioni energetiche, che la terza rivoluzione industriale sia pronta per incominciare. Lo scrive in un articolo del 28 marzo 2012 sul blog statunitense Huffington Post. Secondo la sua teoria, la futura rivoluzione industriale poggia le fondamenta su tre pilastri:

- energie rinnovabili;
- internet;
- stampanti 3D.

Nella sua visione Rifkin vede un futuro in cui le persone produrranno autonomamente energia dalle fonti rinnovabili per i propri consumi e saranno tutte connesse tra loro grazie ad internet. Le famiglie produrranno e scambieranno quindi energia grazie all'unione di rinnovabili e internet.

Nell'articolo di [qualenergia.it](http://qualenergia.it) Rifkin dice:

*"Mentre l'economia della terza rivoluzione industriale permette a milioni di persone di produrre la propria energia e la propria informazione, la nuova rivoluzione digitale della manifattura apre la possibilità che questo accada anche per la produzione di beni."*

In un articolo sul World Financial Review Rifkin prosegue affermando:

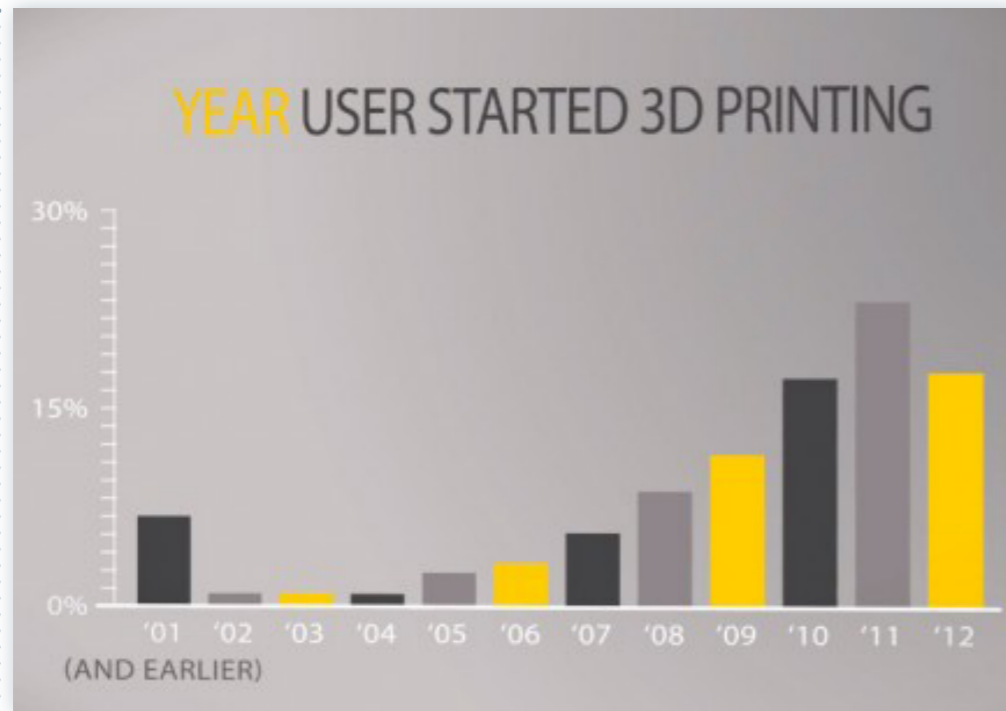
*"Nella nuova era, chiunque potrà potenzialmente essere egli stesso creatore, proprio come per i siti internet e la produzione di energia. Questo processo è chiamato stampa 3D."*

La dipendenza dalle grandi industrie inizierà a diminuire, grazie alla capillare diffusione delle stampanti 3D, con quali ognuno potrà produrre gli oggetti che desidera direttamente a casa propria.

Molte aziende hanno iniziato a comprare i derivati RepRap e a crearli loro stessi, ma ancora la grande maggioranza dei proprietari e degli utenti sono privati.

Molte persone che fanno pochi elementi in casa, invece di poche persone che fanno molti articoli nelle fabbriche, è contro l'idea di economia di scala. Ma le economie di scala non sono universali: in passato le persone portavano i vestiti nelle grandi lavanderie per poterli lavare a macchina e non più manualmente, ora la lavatrice è un elettrodomestico presente in tutte le case. Oggi l'elettricità è generata nelle centrali elettriche,

Fig.18 La grande diffusione della stampa 3D è coincisa con la nascita delle stampanti opensource nel 2009. Fonte: Peer production communities survey



domani potrebbe essere generata dai singoli pannelli fotovoltaici sui tetti di tutti.

E se un giorno ognuno di noi fosse in grado di creare qualsiasi tipo di oggetto in casa propria, magari su misura secondo le proprie preferenze? E se invece volessimo riprodurre altri già esistenti? Inutile farsi troppe domande, perché oramai è realtà! Non è fantascienza.

Ne è un esempio Cubify<sup>24</sup> che vuole portare uno strumento potente come la personalizzazione e la produzione degli oggetti, con cui interagiamo quotidianamente, direttamente nelle nostre case e facilitare scambio e distribuzione delle nostre creazioni grazie al ruolo della sua community.

Si apriranno così scenari inediti, come quello di un bambino, ad esempio, in grado di creare i propri giocattoli.

Questa tecnologia innovativa ha la potenzialità di trasformare la qualità della nostra vita in quanto saremo in grado di poter scegliere tra un prodotto standard a basso costo, perché fabbricato industrialmente, e un prodotto totalmente personalizzato secondo le

24 <http://cubify.com>

nostre esigenze, fabbricato attraverso la stampa 3D.

Il processo di diffusione è in costante crescita. L'arrivo di nuovi e più economici modelli di stampanti 3D e la grande attenzione dei media stanno cambiando marcia al fenomeno.

L'*Internet of things*, neologismo utilizzato per descrivere l'estensione di Internet al mondo delle cose, presto apparterrà anche alle persone e non solo alle grandi aziende.

"*Gli atomi sono i nuovi bit*" disse Chris Anderson nel 2010, allora direttore della rivista WIRED.

La rivoluzione del digitale si sta spostando verso il mondo fisico, quello degli atomi. Sicuramente vivremo presto uno dei momenti storici più emozionanti di questa 'Terza Rivoluzione Industriale' che segnerà molto probabilmente un ritorno al passato: la rivincita degli artigiani.



# 3

## La stampa 3D desk

Nei capitoli precedenti si è analizzato il contesto in cui le stampanti 3D desk (definite anche opensource, lowcost o personal) si sono sviluppate. Questo capitolo è dedicato invece agli aspetti più prettamente tecnici e di utilizzo delle stampanti.

Si è scelto di organizzare le informazioni in:

- hardware (descrizione delle stampanti, materiali utilizzati e modelli in commercio);
- software (programmi di modellazione, siti dedicati e gestione della stampa);
- parametri di stampa (panoramica sui principali parametri e possibili elementi di criticità).





### 3.1 Hardware

#### Parti che compongono le stampanti

Nella Fig.10 sono riportati i numeri corrispondenti alle parti descritte.

#### Filamento plastico [1]

E' il materiale che alimenta la stampante, sotto forma di bobine. Può avere un diametro di 3 mm o di 1,75 mm.

#### Estrusore [2]

E' la parte che spinge il filamento di plastica nella testina di estrusione (chiamato anche tirafilo). L'estrusore può essere integrato nella testina di stampa o può essere remoto. In questo secondo caso il filamento è spinto attraverso un tubo di guida (cavo bowden [3]).

#### Testina di estrusione [4]

E' composta da una resistenza, un sensore di temperatura (tipicamente una termocoppia) e un ugello attraverso cui il filamento plastico viene spinto depositando materiale fuso. Il foro dell'ugello è tipicamente tra 0,2 e 0,8 mm.

#### Piatto (o letto) di stampa [5]

E' la base su cui poggia la parte stampata durante il processo. Può essere a temperatura ambiente oppure riscaldato ad una temperatura che varia da 40° C a 110 °C.

#### Movimentazione meccanica

Può essere di tre tipi:

- Gantry: la testina di estrusione si muove sugli assi x ed y, mentre il piano di stampa lungo l'asse z;
- Moving Bed: il piano di stampa si muove su uno degli assi orizzontali (x o y), la testina di stampa segue l'altro asse orizzontale e l'asse z;
- Deltabot: un Deltabot è una tipologia di robot industriale costituito da tre bracci collegati alla base con dei giunti universali. Questi bracci sono collegate al portautensile e possono essere spostati per controllare la posizione della testa di stampa.

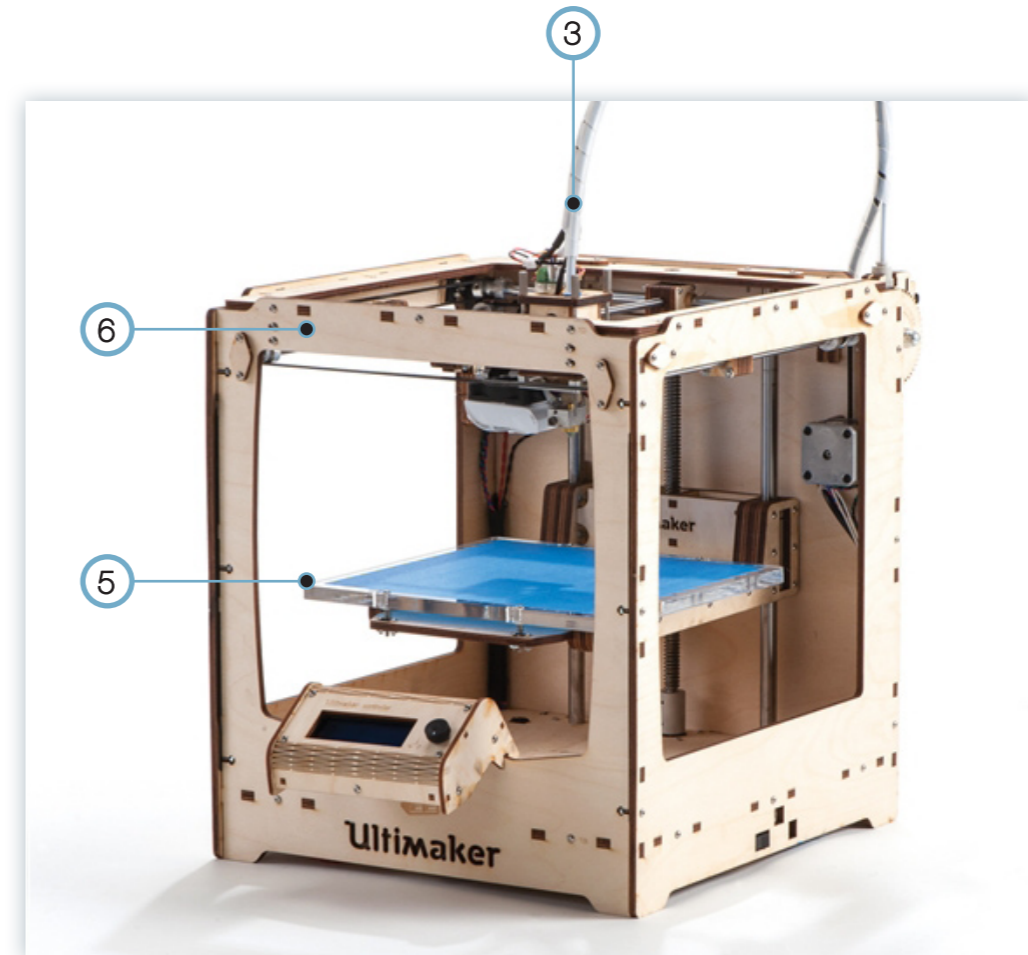


Fig.19 I componenti delle stampanti.

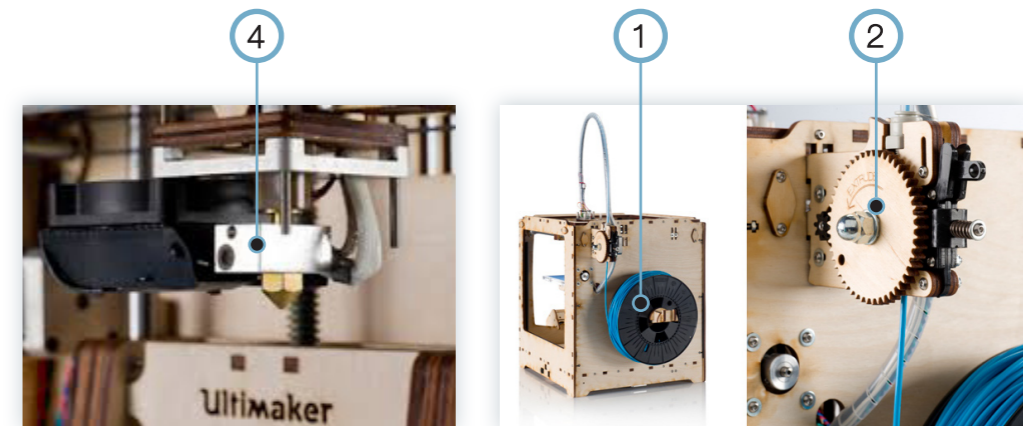
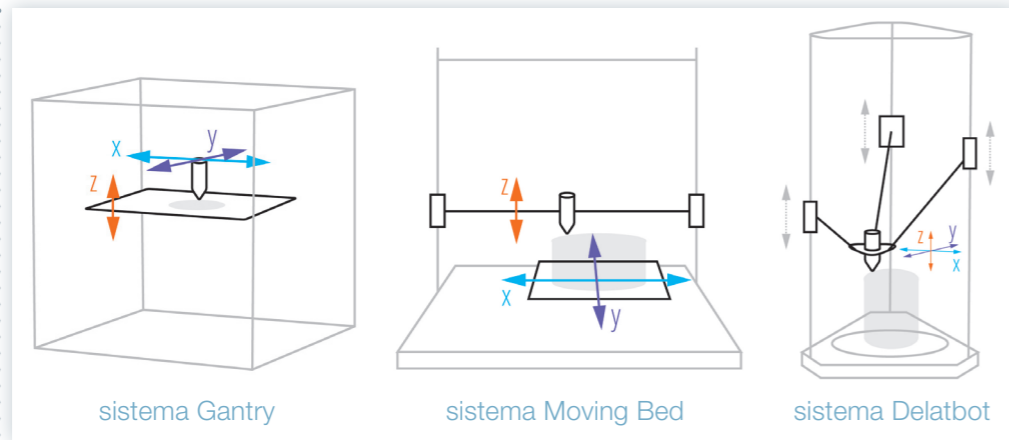


Fig.20 Possibili configurazioni degli assi.  
Fonte: +LAB.



Solitamente vengono utilizzati motori stepper sia per le movimentazioni XYZ che per l'estrusione.

**Struttura [6]**

La struttura è spesso 'naked' ovvero senza scocca. Questo da un aspetto molto robotico alle stampanti e ne sottolinea l'implementabilità. I materiali più usati sono profilati estrusi metallici o pannelli di legno.

**Materiali**

Attualmente le stampanti FDM domestiche possono stampare materiali polimerici termoplastici sotto forma di filamenti. Questi sono reperibili in diverse colorazioni sotto forma di bobine.

Nella scelta del materiale da utilizzare per la stampa bisogna fare un trade-off fra proprietà meccaniche, estetiche e temperatura di stampa.

Essendo un mondo in continua evoluzione, è possibile trovare materiali sempre nuovi e con proprietà specifiche studiate per la stampa FDM. I materiali citati di seguito sono una panoramica di quelli maggiormente utilizzati nel mondo Opensource.

**PLA (Acido Polilattico)**<sup>1</sup>: biopolimero derivante dall'amido di mais e' il filamento maggiormente utilizzato. È abbastanza fragile e fonde ad una temperatura abbastanza bas-

1 Le proprietà del PLA verranno approfondite nel capitolo dedicato al metodo adottato in quanto è il materiale scelto per la fase di sperimentazione.

sa (180-220°C).

Il filamento è sensibile all'umidità (in caso di umidità maggiore del 90% e temperature superiori ai 60°C inizia il processo di biodegradazione); se conservato male può diventare inutilizzabile per la stampa perché il materiale degraderebbe nell'ugello tappandolo.

Tra i vantaggi che il PLA presenta c'è la possibilità di avere molti colori e una buona gestione dei ritiri.

**ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)**<sup>2</sup>: polimero termoplastico che si usa molto negli stampi a iniezione. E' utilizzato per molte applicazioni; la più nota è quella per i mattoncini LEGO™. E' il secondo tipo di filamento più utilizzato nella stampa 3D.

Fonde già a 105°, ma nelle stampanti 3D si estrude tra i 215 e i 250°C. Anche se quando si riscalda ha odore di plastica bruciata, non è tossico.

Ha qualche problema di ritiri superficiali; per eliminarli si dovrebbe usare una camera a temperatura costante ma questa tecnologia è ancora coperta da brevetto.

È più resistente del PLA e in generale è appropriato per realizzare prodotti resistenti agli urti e all'usura.

**PA (Poliammide o Nylon)**<sup>3</sup>: viene utilizzato per la stampa di parti meccaniche che richiedono elevata resistenza alla rottura e un basso attrito superficiale. L'azienda Taulman produce un filamento di Nylon che ha alcune caratteristiche interessanti quali flessibilità, leggerezza e resistenza chimica.

Un altro uso potenziale è quello per la stampa di protesi personalizzate e parti mediche.

Viene estruso ad una temperatura superiore rispetto al PLA o all'ABS (circa 245 °C).

Il costo dei filamenti di Nylon è più del doppio rispetto al costo di PLA o ABS.

**PC (Policarbonato)**<sup>4</sup>: è un materiale plastico molto resistente e durevole con alta trasparenza. Benché sia utilizzato in molte produzioni industriali (per esempio CD e DVD) le prime prove con le stampanti 3D a basso costo sono iniziate solo nel 2012 e sono pochi i produttori di filamenti in PC.

E' abbastanza costoso.

2 <http://reprap.org/wiki/ABS>

3 <http://www.taulman3d.com/618-specifications.html>

4 <http://reprap.org/wiki/Polycarbonate>; <http://www.3ders.org/articles/20120101-experiment-polycarbonate-with-diy-3dprinter>

Fig.21 Bicchiere in TPU stampato con la macchina 3DRAG presso il laboratorio +LAB.

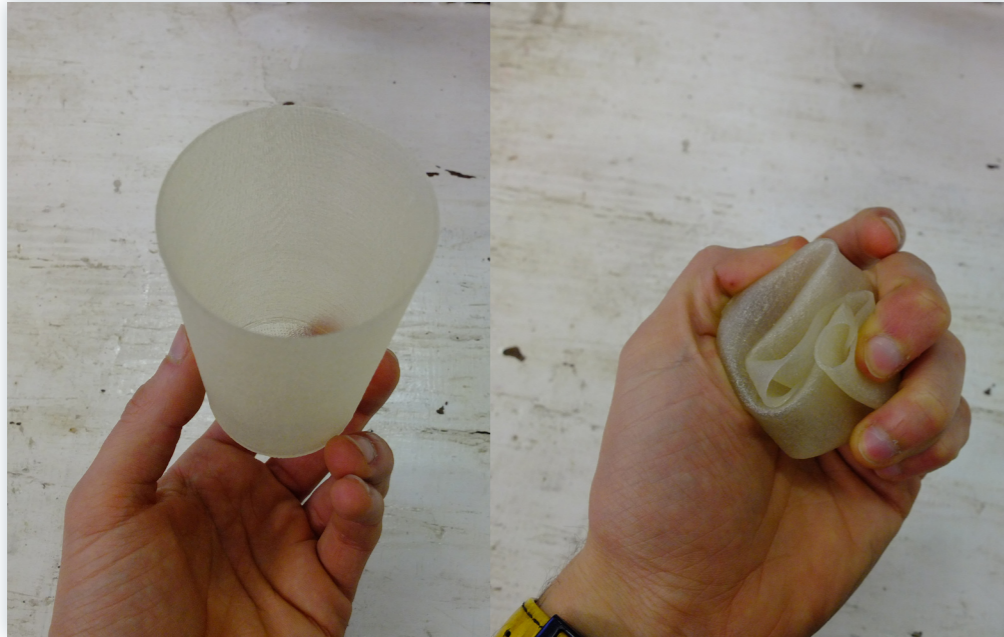


Fig.22 Esempio di oggetto stampato in Laywood.



**PET** (Polietilireftalato): è un materiale con elevata trasparenza incolore e cristallina.

E' abbastanza rigido e resistente agli urti. Queste caratteristiche rendono il materiale particolarmente adatto per prodotti leggeri. Temperatura di stampa elevata (210°C).

Non molto utilizzato poiché difficile da stampare e costoso.

**TPU** (Poliuretano termoplastico): è il comune elastomero utilizzato per produrre elastici di vario genere, guarnizioni, parti morbide di giocattoli ecc.

E' possibile utilizzarlo solo con stampanti con l'estrusore integrato alla testina di stampa.

**PVA** (Polivinile Alcoho): è un polimero plastico idrosolubile che può essere utilizzato per la stampa di supporti.

Si scioglie facilmente in acqua tiepida lasciando la superficie dell'oggetto perfetta. Questo semplifica il processo di rimozione del supporto. La temperatura di stampa è di circa 170° C. Il filamento di PVA è piuttosto costoso.

**HIPS** (High-impact Polystyrene<sup>5</sup>): è un filamento di plastica solubile in limonene<sup>6</sup>, talvolta utilizzato per costruire strutture di supporto (specialmente per ABS). Richiede una temperatura di stampa di circa 230° C.

Si sta cercando di ampliare le tipologie di materiali stampabili e ne sono stati creati ad hoc con proprietà particolari. Alcuni di essi sono ancora in fase di sperimentazione. Eccone alcuni:

**LAYWOOD-D3<sup>7</sup>**: filamento a base di legno (un composito legno-polimero) creato dall'ingegnere tedesco Kai Parthy. Può essere utilizzato per stampare oggetti che assomigliano a oggetti in legno. Tutte le altre caratteristiche sono paragonabili a quelle del PLA, ma il suo prezzo è ancora molto elevato.

**LAYBRICK**: simile al Laywood ma costituito da polvere minerale invece che da legno. Crea un effetto pietra/sabbia.

5 <http://www.filaco.com/product-info/>

6 Il limonene è un solvente naturale estratto dalla scorza dei limoni e di altri agrumi.

7 <http://www.3ders.org/articles/20130204-wood-filament-laywoo-d3-suppliers-and-pricecompare.html>



Fig.23 Argilla stampata presso il laboratorio +LAB con estrusore a siringa progettato da WASP.

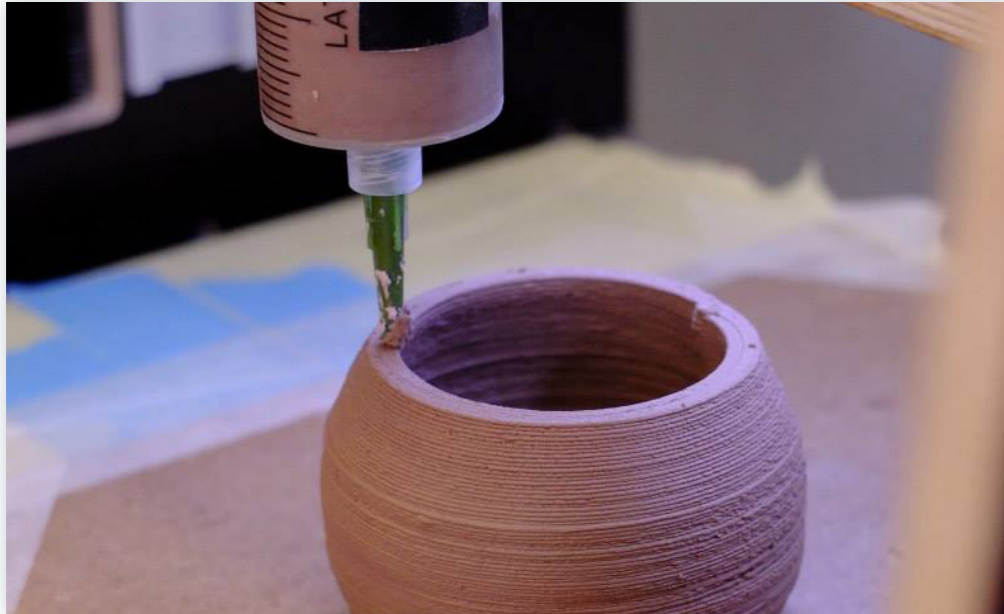


Fig.24 Cioccolato stampato con tecnologia FDM.



**PORO-LAY<sup>8</sup>**: linea di filamenti, ancora in sperimentazione, con una struttura porosa. Anch'essi creati da Kai Parthy.

Sono composti da due differenti materiali: un materiale A, componente strutturale (i.e. un elastomero) e un materiale B, componente solubile (i.e. PVA, zucchero, sale o una resina solubile). Gli oggetti stampati possono acquisire, dopo essere stati immersi in acqua, caratteristiche particolari a seconda del filamento usato:

- Lay-Felt: contiene fibre di feltro morbide o rigide. Può essere usato per creare membrane, filtri, elementi semipermeabili, tessuti, abiti tecnici, carta artificiale, ecc.
- Lay-Teks: struttura simile al Lay-Felt ma con fibre più sottili.
- Lay-Fomm: struttura molto porosa. Al tatto è simile a una gomma molto soffice. Può essere usato per creare spugne, cellule bio, strutture elastiche, tessuti morbidi, etc.
- Gel-Lay: è molto poroso e difficile da stampare. Può essere usato per applicazioni in acqua ( i.e. simulazioni del movimento di organismi marini), biomeccanica, ecc.

**ARGILLA**: l'azienda italiana WASP sta portando avanti una sperimentazione sulla stampa di un composto di argilla<sup>9</sup> con lo scopo finale di poter stampare delle case a basso costo nei paesi del Terzo Mondo.

Apprezzabili i primi risultati su oggetti piccoli.

**CIOCCOLATO**: ricerca iniziata dall'Università di Exeter<sup>10</sup>.

### Modelli in commercio

E' corretto stimare che in questo momento ci siano più di un centinaio di diversi modelli di stampanti 3D a basso costo<sup>11</sup> disponibili sia come prodotti commerciali che come disegni liberi messi a disposizione su Internet (sotto una licenza open hardware). La maggior parte di essi si ispira al Progetto RepRap. Di seguito sono state create delle schede con le principali caratteristiche dei modelli presenti in commercio<sup>12</sup>.

8 <http://www.3ders.org/articles/20131222-printing-porous-and-fibrous-3d-objects-with-new-filament-line-poro-lay.html>

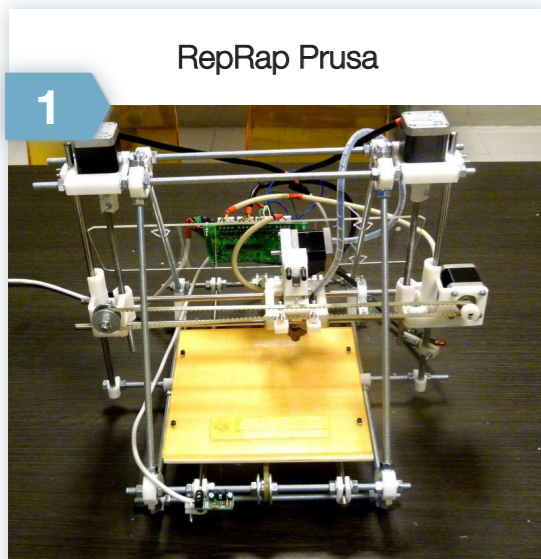
9 <http://www.wasproject.it/w/category/stampa-argilla/>

10 <https://chocedge.com/>

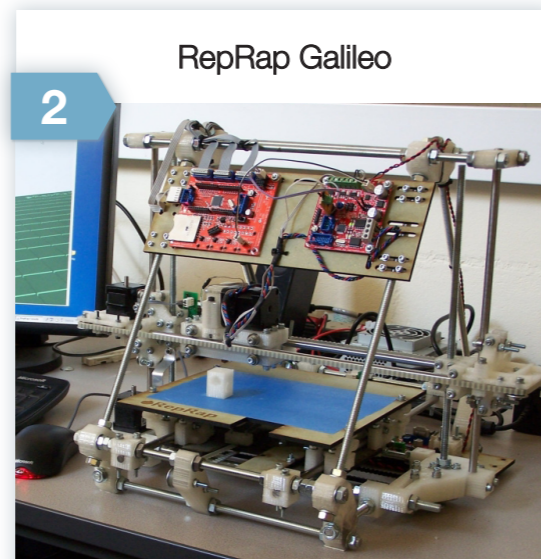
11 Sito dove è possibile trovare una lista completa dei modelli sul mercato, dal più economico a quello da 25.000 €): <http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>

12 Aggiornato a novembre 2013.





- » **Marca:** 3D Systems
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://reprap.org/wiki/RepRap>
- » **Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 684 x 370 x 294 mm
- » **Area di stampa:** 200 x 160 mm



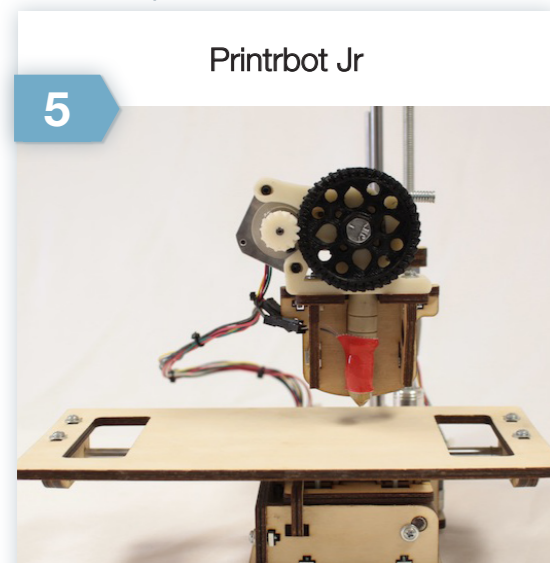
- » **Marca:** Kent Strapper
- » **Nazionalità:** Italia
- » **Sito internet:** [www.kentstrapper.com](http://www.kentstrapper.com)
- » **Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 460 x 460 x 420 mm
- » **Area di stampa:** 200 x 240 x 150 mm
- » **Velocità:** 80 mm/sec
- » **Qualità:** da 0,1 mm a 0,5 mm
- » **Costo:** €660



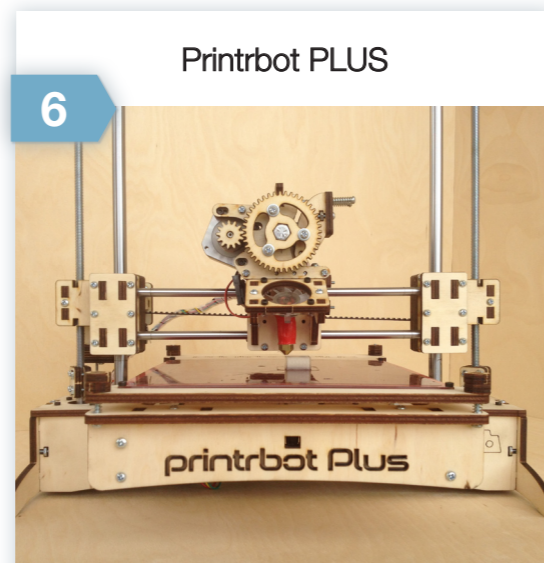
- » **Marca:** Ultimaker
- » **Nazionalità:** Olanda
- » **Sito internet:** [www.ultimaker.com](http://www.ultimaker.com)
- » **Kit e preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 358 x 338 x 389 mm
- » **Area di stampa:** 210 x 210 x 205 mm
- » **Velocità:** 30 - 300 mm/sec
- » **Qualità:** z\_axis 0.02 mm
- » **Costo:** A partire da €1.194
- » **Software:** Cura
- » **Slicing software:** Cura
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Sì
- » **Stampa senza PC?** Opzionale: SD card e UltiController
- » **Costo:** €1.000



- » **Marca:** Ultimaker
- » **Nazionalità:** Olanda
- » **Sito internet:** [www.ultimaker.com](http://www.ultimaker.com)
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 338 x 358 x 389 mm
- » **Area di stampa:** 230 x 225 x 205 mm
- » **Velocità:** 30 - 300 mm/sec
- » **Qualità:** 0.02 mm
- » **Costo:** €1.895



- » **Marca:** Printrbot
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://printrbot.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 266 x 355 x 305 mm
- » **Area di stampa:** 150 x 150 x 150 mm
- » **Velocità:** 80-100 mm/min
- » **Qualità:** (z-axis) 0.1 mm
- » **Costo:** da \$599
- » **Materiali stampabili:** PLA
- » **Software:** Printron/Pronterface
- » **Slicing software:** Slic3r
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** No



- » **Marca:** Printrbot
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://printrbot.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 482 x 380 x 380 mm
- » **Area di stampa:** 203 x 203 x 203 mm
- » **Velocità:** 80-100 mm/min
- » **Qualità:** (z-axis) 0.1 mm
- » **Costo:** da \$899
- » **Materiali stampabili:** ABS, PLA
- » **Software:** Printron/Pronterface
- » **Slicing software:** Slic3r, Skeinforge
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** SD card



- » **Marca:** Makerbot
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.makerbot.com](http://www.makerbot.com)
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 490 x 320 x 380 mm
- » **Area di stampa:** 285 x 153 x 155 mm
- » **Velocità:** 80-100 mm/sec
- » **Qualità:** (z-axis) 0.10-0.34 mm
- » **Costo:** a partire da €2.199
- » **Materiali stampabili:** PLA
- » **Software:** MakerWare
- » **Slicing software:** MakerWare
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** No
- » **Stampa senza PC?** SD card



- » **Marca:** Makerbot
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.makerbot.com](http://www.makerbot.com)
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 490 x 320 x 531 mm
- » **Area di stampa:** 250 x 160 x 150 mm
- » **Qualità:** 0.1 mm
- » **Costo:** a partire da €2.799
- » **Doppio estrusore**



Solidoodle

**9**



» **Marca:** Solidoodle  
 » **Nazionalità:** USA  
 » **Sito internet:** [www.solidoodle.com](http://www.solidoodle.com)  
 » **Preassemblata**  
 » **Dimensioni macchina:** 343 x 355 x 381 mm  
 » **Area di stampa:** 203 x 203 x 203 mm  
 » **Velocità:** 50 mm/sec  
 » **Qualità:** (z-axis) 0.1–0.3 mm  
 » **Costo:** €999  
 » **Materiali stampabili:** ABS, PLA  
 » **Software:** Printrun/Pronterface  
 » **Slicing software:** Slic3r  
 » **OS:** Windows, Mac, Linux  
 » **Open source?** Sì  
 » **Stampa senza PC?** No

H-Series

**10**



» **Marca:** Afinia  
 » **Nazionalità:** USA  
 » **Sito internet:** [www.afinia.com](http://www.afinia.com)  
 » **Preassemblata**  
 » **Dimensioni macchina:** 245 x 260 x 350 mm  
 » **Area di stampa:** 140 x 140 x 135 mm  
 » **Velocità:** 3–30 mm/sec  
 » **Qualità:** (z-axis) 0.15 mm  
 » **Costo:** \$1.599  
 » **Materiali stampabili:** ABS, PLA  
 » **Software:** Afinia 3D  
 » **Slicing software:** Afinia 3D  
 » **OS:** Windows, Mac  
 » **Open source?** No  
 » **Stampa senza PC?** No

PowerWASP EVO

**11**



» **Marca:** WASProject  
 » **Nazionalità:** Italia  
 » **Sito internet:** [www.personalfab.it](http://www.personalfab.it)  
 » **Preassemblata**  
 » **Dimensioni macchina:** 550 x 300 x 500 mm  
 » **Area di stampa:** 260 x 195 x 210 mm  
 » **Velocità:** max 200 mm/sec  
 » **Qualità:** (x-y-axis) 0.012 mm; (z-axis) 0.004 mm  
 » **Stampa senza PC?** SD card e controller (opzionale)  
 » **Costo:** a partire da €1.440

3Drag

**12**

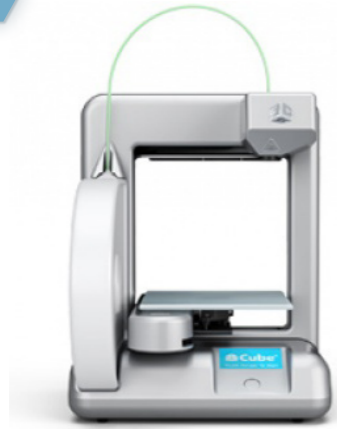


» **Marca:** Futura Elettronica  
 » **Nazionalità:** Italia  
 » **Sito internet:** [www.futurashop.it](http://www.futurashop.it)  
 » **Preassemblata e Kit**  
 » **Dimensioni macchina:** 500 x 420 x 620 mm  
 » **Area di stampa:** 200 x 200 x 200 mm  
 » **Velocità:** 150 - 300 mm/sec  
 » **Qualità:** (x-y-axis) 0.015 mm; (z-axis) 0.039 mm  
 » **Stampa senza PC?** SD card e controller (opzionale)  
 » **Costo:** da €680



13

Cube



- » **Marca:** 3D Systems
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 260 x 260 x 340 mm
- » **Area di stampa:** 140 x 140 x 140 mm
- » **Velocità:** max 200 mm/sec
- » **Qualità:** 0.2 mm
- » **Costo:** a partire da €1199
- » **Materiali stampabili:** ABS
- » **Software:** Cubify Client Software
- » **Slicing software:** Cubify Client Software
- » **OS:** Windows (XP/SP3, Vista, 7)
- » **Open source?** No
- » **Stampa senza PC?** wi-fi, USB stick

14

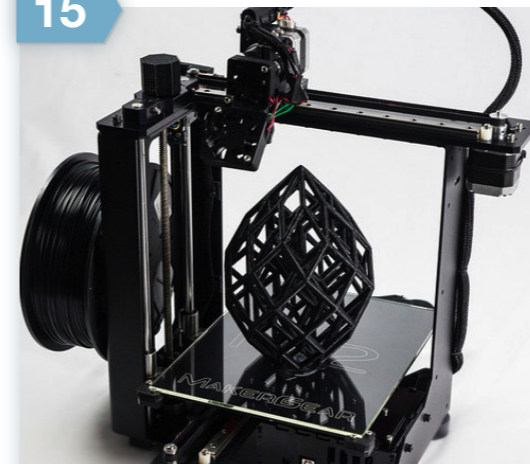
Cube X



- » **Marca:** 3D Systems
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.3dsystems.com](http://www.3dsystems.com)
- » **Preassemblata**

15

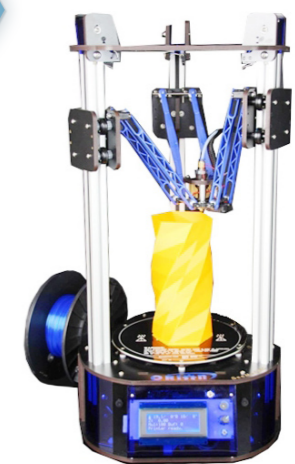
M Series



- » **Marca:** MakerGear
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.makergear.com](http://www.makergear.com)
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Area di stampa:** 203 x 254 x 203 mm
- » **Velocità:** 80 – 200 mm/sec
- » **Qualità:** (z-axis) 0.2 mm
- » **Costo:** \$1.775
- » **Materiali stampabili:** ABS, PLA
- » **Software:** Printrun
- » **Slicing software:** Slic3r
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** SD card

16

Orion



- » **Marca:** SeeMe CNC
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://seemecnc.com>
- » **Preassemblata**
- » **Area di stampa:**  $\phi 152 \times 228$  mm
- » **Velocità:** 80 mm/s
- » **Qualità:** (z-axis) 0.1–0.3 mm
- » **Costo:** \$1.499
- » **Materiali stampabili:** ABS, PLA, PVA
- » **Software:** Printrun/Pronterface, Repetier, ReplicatorG
- » **Slicing software:** Slic3r, Skeinforge
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** No

17

Rostock MAX BYOE



- » **Marca:** SeeMe CNC
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://seemecnc.com>
- » **Kit**
- » **Area di stampa:**  $\phi 279 \times 350$  mm
- » **Velocità:** 300 mm/sec
- » **Qualità:** 0.02 mm
- » **Costo:** da \$749

18

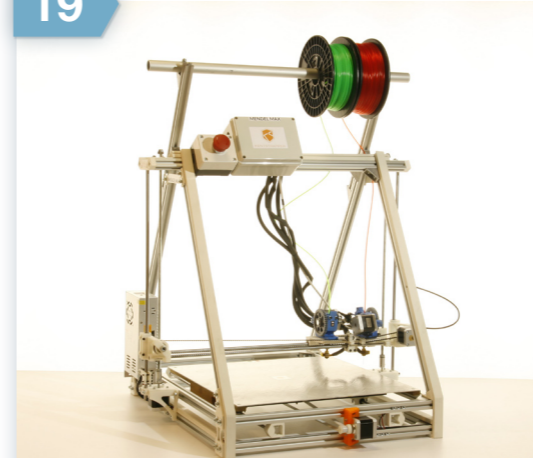
Volta Beta



- » **Marca:** Kent Strapper
- » **Nazionalità:** Italia
- » **Sito internet:** [www.kentstrapper.com](http://www.kentstrapper.com)
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 580 x 480 x 480 mm
- » **Area di stampa:** 260 x 280 x 190mm
- » **Velocità:** 100 mm/sec
- » **Qualità:** 0.06-0.5 mm
- » **Costo:** €1.440

19

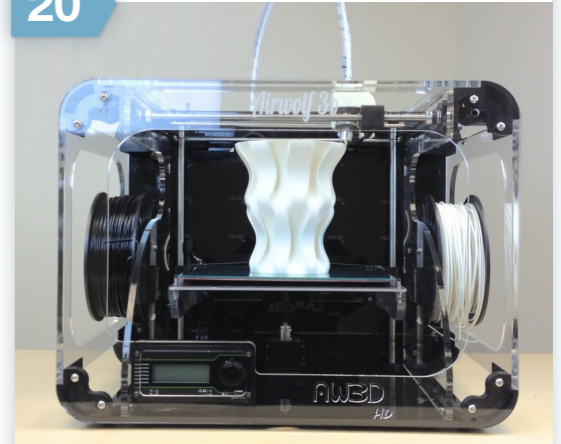
Medel Max



- » **Marca:** Kent Strapper
- » **Nazionalità:** Italia
- » **Sito internet:** [www.kentstrapper.com](http://www.kentstrapper.com)
- » **Preassemblata**
- » **Area di stampa:** 400 x 400 x 300 mm
- » **Velocità:** 150 mm/sec
- » **Qualità:** (z-axis) 0.32-0.3mm
- » **Costo:** €2.500
- » **Materiali stampabili:** PLA, ABS, PVA
- » **Software:** Pronterface
- » **Slicing software:** Slic3r
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Yes
- » **Stampa senza PC?** Opzionale, SD card

20

AW3D HD



- » **Marca:** Airwolf 3D
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://airwolf3d.com>
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 600 x 440 x 450 mm
- » **Area di stampa:** 300 x 200 x 300 mm
- » **Velocità:** 400 mm/sec
- » **Qualità:** 0.05 mm
- » **Costo:** \$2.995

21

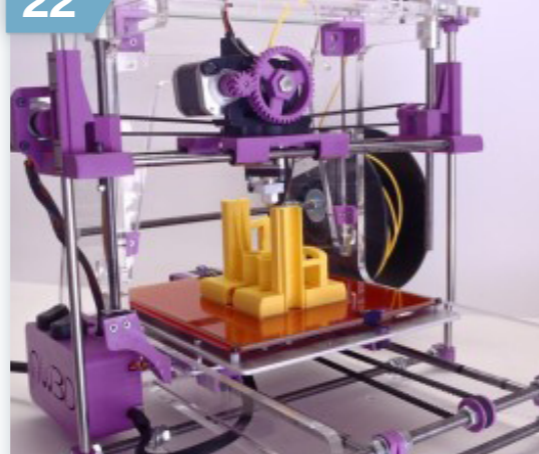
AW3D XL



- » **Marca:** Airwolf 3D
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://airwolf3d.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 450 x 457 x 533 mm
- » **Area di stampa:** 300 x 200 x 178 mm
- » **Velocità:** 400 mm/sec
- » **Qualità:** 0.05 mm
- » **Costo:** da \$1.895

22

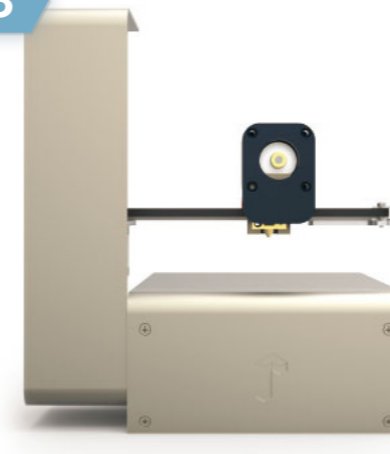
AW3D V5



- » **Marca:** Airwolf 3D
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://airwolf3d.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 460 x 485 x 410 mm
- » **Area di stampa:** 195 x 212 x 112mm
- » **Velocità:** 400 mm/sec
- » **Qualità:** 0.05 mm
- » **Costo:** da \$1.295

23

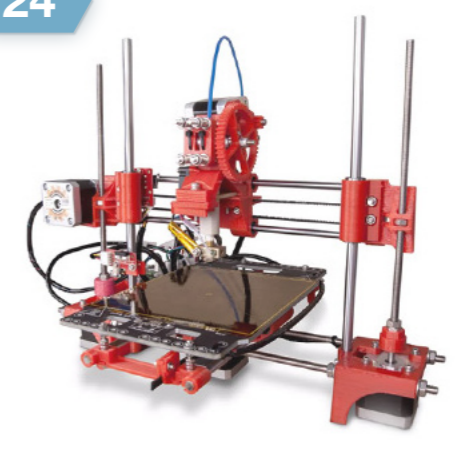
Portabee GO



- » **Marca:** Portabee
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://portabee3dprinter.com>
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 208 x 225 x 277 mm
- » **Area di stampa:** 120 x 168 x 135 mm
- » **Costo:** \$395

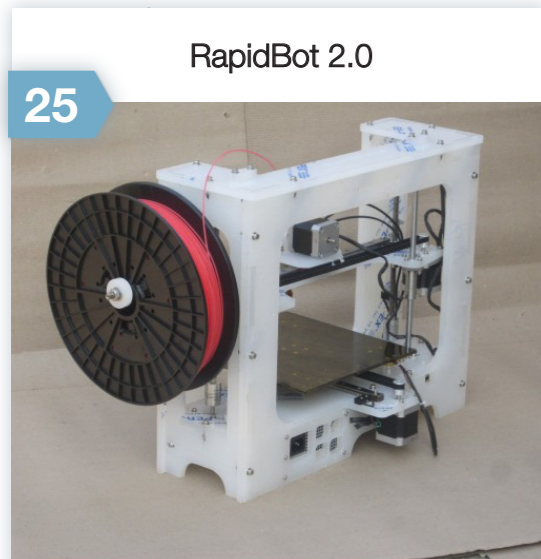
24

Portabee

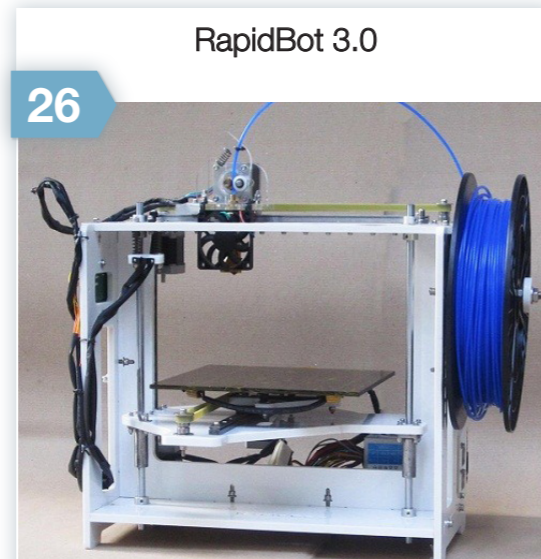


- » **Marca:** Portabee
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** <http://portabee3dprinter.com>
- » **Kit**
- » **Area di stampa:** 120 x 120 x 120mm
- » **Costo:** \$495





- » **Marca:** MakeMendel
- » **Nazionalità:** India
- » **Sito internet:** <http://makemendel.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 400 x 200 x 320 mm
- » **Area di stampa:** 220 x 220 x 165 mm
- » **Velocità:** 60 mm/sec
- » **Qualità:** 0.2 mm
- » **Costo:** da \$649



- » **Marca:** MakeMendel
- » **Nazionalità:** India
- » **Sito internet:** <http://makemendel.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 450 x 350 x 370 mm
- » **Area di stampa:** 220 x 220 x 165 mm
- » **Velocità:** 60 mm/sec
- » **Qualità:** 0.1 mm
- » **Costo:** da \$699



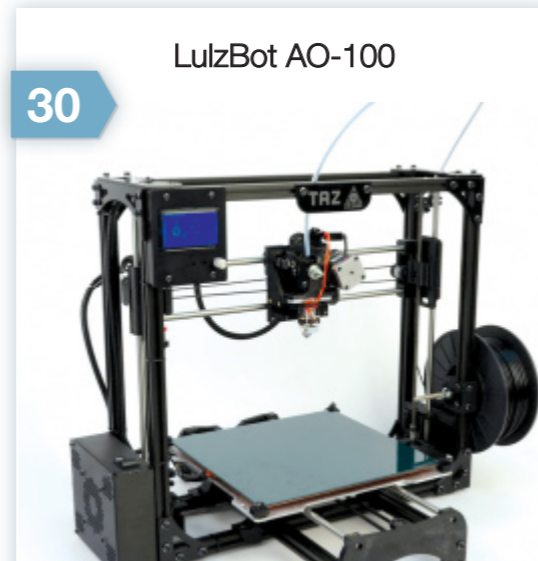
- » **Marca:** CB-printer
- » **Nazionalità:** Polonia
- » **Sito internet:** <http://cb-printer.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 440 x 495 x 465 mm
- » **Area di stampa:** 200 x 200 x 180 mm
- » **Qualità:** 0.1 mm
- » **Costo:** da €1.750



- » **Marca:** Felix Printers
- » **Nazionalità:** Paesi Bassi
- » **Sito internet:** <http://shop.felixprinters.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 450 x 500 x 530 mm
- » **Area di stampa:** 255 x 205 x 235 mm
- » **Velocità:** 150 mm/sec
- » **Qualità:** (z-axis) 0.05 mm
- » **Costo:** da €999 a €1.458
- » **Materiali stampabili:** PLA
- » **Software:** Repetier
- » **Slicing software:** Repetier
- » **OS:** Windows only
- » **Open source?** No
- » **Stampa senza PC?** No



- » **Marca:** Deezmaker
- » **Sito internet:** <http://deezmaker.com>
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Area di stampa:** 200 x 200 x 200 mm
- » **Velocità:** 120 mm/sec
- » **Qualità:** (z-axis) 0.1–0.3mm
- » **Costo:** da \$1.299
- » **Materiali stampabili:** PLA, ABS, PVA
- » **Software:** Repetier-Host
- » **Slicing software:** Slic3r
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** Opzionale, SD card



- » **Marca:** LulzBot
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.lulzbot.com](http://www.lulzbot.com)
- » **Preassemblata e Kit**
- » **Dimensioni macchina:** 680 x 520 x 515 mm
- » **Area di stampa:** 298 x 275 x 250 mm
- » **Velocità:** 200 mm/sec
- » **Qualità:** (z-axis) 0.1-0.75 mm
- » **Costo:** da \$2.395
- » **Materiali stampabili:** ABS, PLA
- » **Software:** Printrun
- » **Slicing software:** Slic3r
- » **OS:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** SD card



- » **Marca:** Type A Machines
- » **Nazionalità:** USA
- » **Sito internet:** [www.typeamachines.com](http://www.typeamachines.com)
- » **Preassemblata**
- » **Dimensioni macchina:** 463 x 470 x 582 mm
- » **Area di stampa:** 305 x 305 x 320 mm
- » **Velocità:** 95 mm/s
- » **Qualità:** (z-axis) 0.1 mm
- » **Costo:** da \$2.295
- » **Materiali stampabili:** PLA, ABS, PVA
- » **Software:** Repetier or Printrun
- » **Slicing software:** Slic3r or KISSlicer
- » **OS supported:** Windows, Mac, Linux
- » **Open source?** Si
- » **Stampa senza PC?** No

## 3.2 Software

### Modellatori 3D

Come già anticipato, per stampare un oggetto in 3D è necessario avere un modello virtuale dell'oggetto stesso creato tramite un software di modellazione. Se non si ha a disposizione uno dei tanti software parametrici del mondo professionale come:

- Solidworks (*Dessault Systems*);
- CATIA (*Dessault Systems*);
- Pro Engineer o Creo (*PTC*);
- NX (*Siemens*);
- Solid Edge (*Siemens*);
- Inventor (*Autodesk*);
- 3d Studio Max (*Autodesk*);

è possibile scaricare uno dei programmi di modellazione open source:

- **SketchUp**<sup>13</sup>: facile da usare, con una comunità mondiale di utenti e video tutorial, ma con qualche limitazione. E' ottimizzato per la creazione di semplici modelli architettonici.
- **FreeCAD**<sup>14</sup>: modellatore parametrico per Windows, Mac e Linux. Open Source 2D e 3D con una buona documentazione e comunità di utenti.
- **Blender**<sup>15</sup>: potente software open source per Windows, Mac e Linux ottimizzato per animazioni complesse e rendering. Poco intuitivo e difficile da padroneggiare.
- **Autodesk Inventor Fusion**<sup>16</sup>: applicazione CAD professionale ma gratuita (per un uso non commerciale). Per Windows e Mac.
- **OpenSCAD**<sup>17</sup>: non è un'applicazione ma un linguaggio di programmazione algoritmico per la generazione di modelli 3D, molto potenti e versatili. Abbastanza difficile da utilizzare ma si possono ottenere ottimi risultati.

13 <http://www.sketchup.com>

14 <http://www.freecadweb.org>

15 [www.blender.org](http://www.blender.org)

16 <http://www.autodesk.it/products/autodesk-inventor-family>

17 <http://www.openscad.org>

Software utili per una modellazione di forme organiche e di tipo artistico sono:

- **Sculptris**<sup>18</sup>: per Windows e Mac. Applicazione di scultura virtuale, replicato la modellazione manuale della plastilina.
- **Autodesk 123D Design**<sup>19</sup>: applicazione per Windows, Mac e iPad. Ha un'interfaccia semplice con numerose funzioni.

Sono anche in arrivo delle web-apps (applicazioni usabili direttamente dal browser):

- **TinkerCAD**;
- **3Dtin**;
- **ShapeSmith**;
- **Cubify**;
- **Autodesk 123D** (i.e. Sculpt, Creator, Design, Make);
- **Nervous System**;

e applicazioni per i device touch-screen per la visualizzazione, e alcuni anche la modellazione, di modelli 3D:

- **Netfabb**;
- **3Dskope**;
- **KiwiViewer** (visualizzatore);
- **VueCAD** (visualizzatore);
- **MeshLab** (visualizzatore);
- **Autodesk 123D** (i.e. Sculpt, Creator, Design, Make).

### Librerie online di modelli 3D

Le piattaforme che vedremo in seguito offrono il download gratuito dei modelli 3D. Questo permette non solo di poter stampare l'oggetto così com'è, nel caso non si abbia il tempo e/o la conoscenza per modellarne uno, ma permette anche di partire da un oggetto già realizzato per poi modificarlo secondo le proprie esigenze.

18 <http://pixologic.com/sculptris>

19 <https://www.123dapp.com/design>



- **Thingiverse**<sup>20</sup>: una libreria utilizzata dalla maggior parte degli appassionati di stampa 3D low cost (a metà 2013 si contavano 21.1 milioni di download e più di 120.000 membri) per condividere le proprie creazioni. Offre più di 100.000 modelli 3D (è possibile scaricare tutti i contenuti gratuitamente) generati dagli utenti.  
*"This is a place to share digital designs that can be made into real, physical objects. Let's create a better universe, together!"* Bre Pettis
- **Autodesk 123D**<sup>21</sup>: sito web con molti oggetti 3D scaricabili gratuitamente dopo essersi registrati. I file sono già in formato STL.
- **3D CAD browser**<sup>22</sup>: risorsa per lo scambio on-line di modelli 3D (CGI, CAD, CAM, CAE). E' possibile scaricare gratuitamente in diversi formati a seguito dell'iscrizione.
- **GrabCAD**<sup>23</sup>: non è necessario iscriversi, ma solo pochi modelli sono adatti alla stampa 3D.
- **3D warehouse**<sup>24</sup>: libreria di SketchUp, con centinaia di modelli di tutti i tipi di oggetti ma si deve cercare con attenzione quelli stampabili.
- **3D via**<sup>25</sup>: una piccola libreria di modelli 3D scaricabili gratuitamente dopo l'iscrizione.
- **Shapeways**<sup>26</sup>: sito web che offre molti disegni caricati dagli utenti, ma poco materiale è gratuito. È possibile scaricare a pagamento i modelli o chiedere direttamente a Shapeways di stamparli con un'ampia scelta di materiali, un prezzo ragionevole e con la garanzia di un risultato perfetto.

### Programmi di gestione stampa

Per effettuare lo slicing e gestire i parametri di stampa è necessario avere un software dedicato. Vediamo i più utilizzati nel mondo Open:

- **Skeinforge**<sup>27</sup>: è in grado di convertire modelli digitali in istruzioni G-Code per la stampa.

20 <http://www.thingiverse.com>  
 21 <http://www.123dapp.com>  
 22 <http://www.3dcadbrowser.com>  
 23 <http://grabcad.com/library>  
 24 <http://sketchup.google.com/3dwarehouse/>  
 25 <http://www.3dvia.com/users/models>  
 26 <http://www.shapeways.com>  
 27 <http://fabmetheus.crsndoo.com/wiki/index.php/Skeinforge>

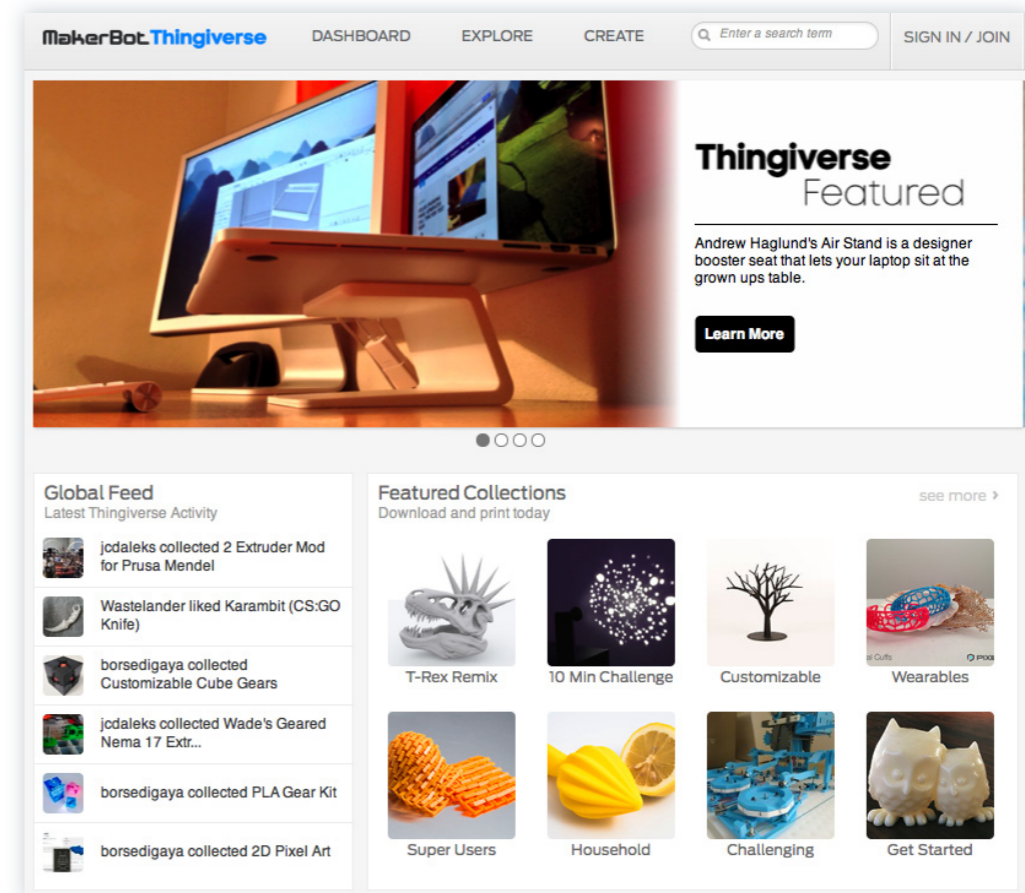


Fig.25 Home-page del sito di Thingiverse.

pante. Funzionante sulle distribuzioni Linux.

- **Slic3r**<sup>28</sup>: software che converte un modello digitale in istruzioni G-Code. Consente di gestire molti parametri di stampa. Esiste un forum di supporto sul sito di RepRap.
- **KISSlicer**<sup>29</sup>;
- **Cura**<sup>30</sup>: software simile a Slic3r, converte i file da formati di modellazione (come .stl) a G-Code. Disponibile per Windows, Linux e Mac OS X.

28 <http://slic3r.org>  
 29 <http://kisslicer.com>  
 30 <http://wiki.ultimaker.com/Cura>

- **MakerWare**<sup>31</sup>;
- **Repetier-Host**<sup>32</sup>: è un software facile da usare e compatibile con la maggior parte dei firmware. Consente di aggiungere e posizionare i files .stl sul piatto di stampa e controllare la stampante. Disponibile per Windows (XP e successivi), Linux e Mac OS X.
- **Replicator G**<sup>33</sup>: software usato dai principali produttori di stampanti 3D, può stampare files in formato .stl e creare G-Code. Disponibile per Windows, Linux e Mac OS X.
- **Printrun**<sup>34</sup>: è un set di applicazioni capace di inviare le istruzioni G-Code alla stampante; è composto da una linea di comando, un'interfaccia grafica e alcuni scripts. È possibile installarlo, oltre che sulle distribuzioni Linux, anche su Windows e Mac OS X.

### 3.3 Parametri di stampa

Con questo paragrafo si vuole fare una panoramica dei principali parametri di stampa, la cui corretta impostazione influisce sulla riuscita del pezzo stampato.

Così come detto per i materiali, anche i software di slicing sono in continua evoluzione. Spesso sono disponibili versioni aggiornate in cui si trovano nuovi parametri di controllo e plug-in che permettono un maggior controllo della fase di slicing.

Per una più facile comprensione i parametri sono stati organizzati in intrinseci, dimensionali e deposizione del filamento, termici, velocità e ausili alla stampa.

Per indicare i nomi dei parametri si fa riferimento al software di slicing Cura (Fig.26 e Fig.27 con i riferimenti numerici dei parametri di stampa descritti di seguito), sviluppato dall'azienda Ultimaker.

31 <http://www.makerbot.com/makerware/>

32 <http://www.repetier.com>

33 <http://replicat.org/>

34 <http://reprap.org/wiki/Printrun>

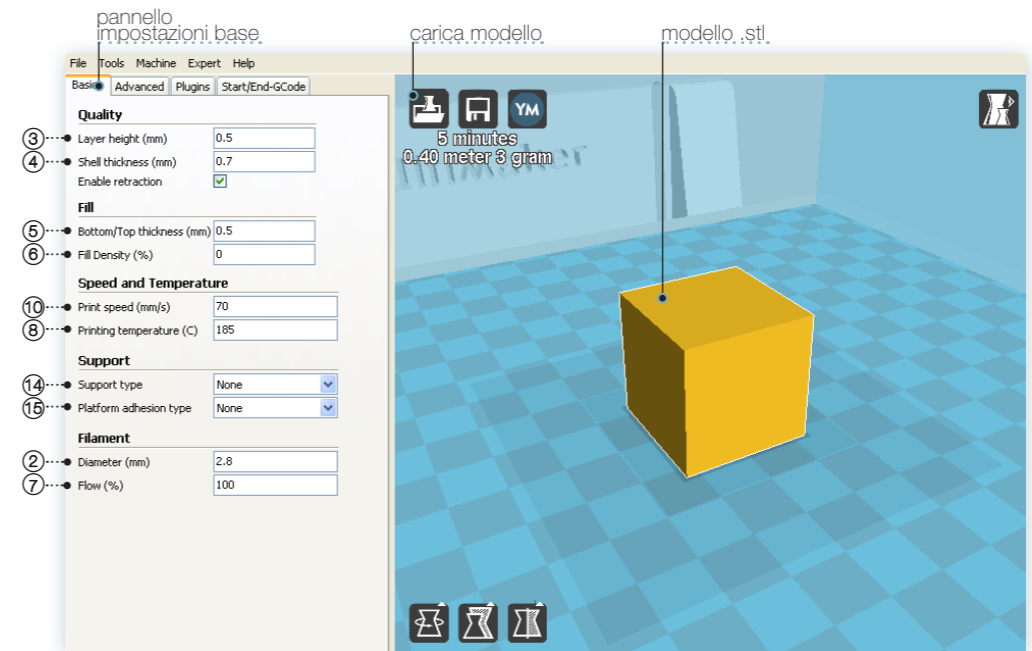


Fig.26 Schermata di Cura con il pannello delle impostazioni di base.

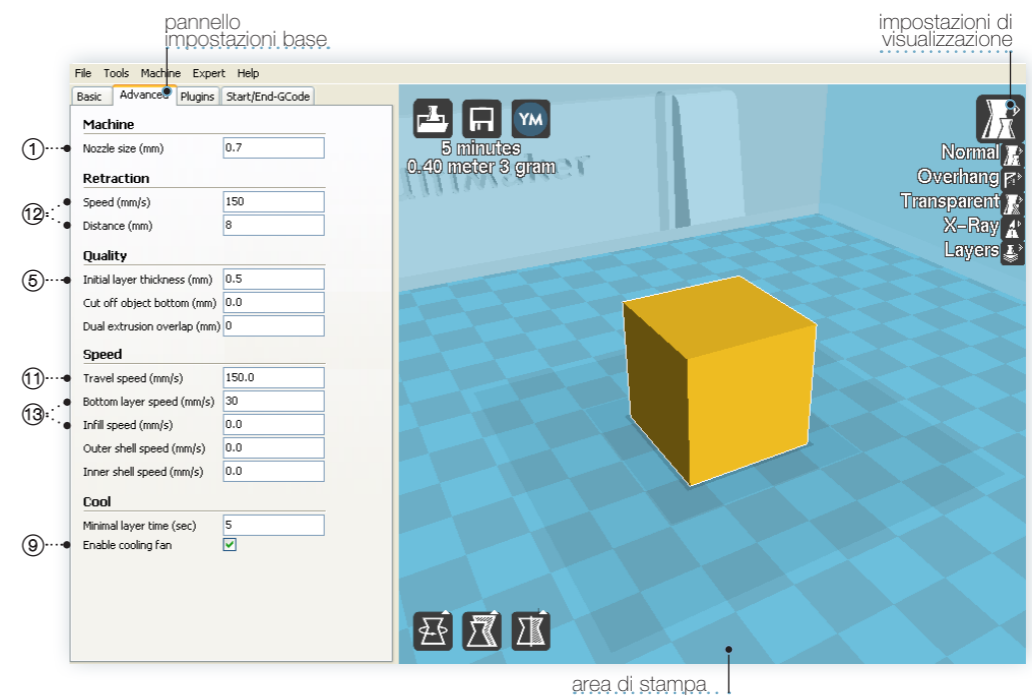


Fig.27 Schermata di Cura con il pannello delle impostazioni avanzate.

**Intrisechi**

**Nozzle size\_dimensione ugello (mm) [1]**

La dimensione dell'ugello è un parametro molto importante dato che influisce sull'intera generazione del pezzo.

Ogni modello di macchina FDM monta un ugello differente per forma, dimensioni e diametro del foro da cui esce il materiale fuso. Le dimensioni tipiche del foro dell'ugello sono 0.35mm, 0.4mm, 0.5mm, 0.7mm o 0.8mm.

Nonostante ogni macchina abbia un ugello specifico, in molti casi può essere sostituito con altri di diverse dimensioni.

Non è possibile controllare questa caratteristica durante il processo come succede invece per altri parametri (i.e. la velocità o il flusso).

Un diametro dell'ugello più grande è meglio per:

- stampa veloce: il numero di strati necessari per la stampa è minore poiché deposita corde più spesse. Si riduce quindi il tempo di stampa;
- miglior deposizione dei layer iniziali: il filamento estruso da un ugello più grande raffredda in modo più uniforme e permette al pezzo di saldarsi meglio sul piatto di stampa;
- strutture più solide e con meno supporti.

Un diametro dell'ugello più piccolo è meglio per una finitura più dettagliata: si riescono ad ottenere dettagli di dimensioni più piccole e superfici più lisce.

Fattori che non influiscono sulla dimensione dell'ugello:

- dimensione del filamento;
- struttura della macchina: le stampanti possono montare ugelli di diversi diametri, basterà impostare la dimensione tramite il software macchina.

**Filament diameter\_diametro del filamento (mm) [2]**

I filamenti disponibili in commercio hanno due diametri standard (1.75 mm e 3.0 mm) solitamente venduti in bobine da 1 o 2 kg.

La maggior parte delle stampanti lavora con un solo diametro.



Fig.28 Esempio di ugelli di forme e dimensioni diverse.

È importante impostare un corretto diametro del filo in quanto ciò permette alla macchina di gestire la quantità di materiale estruso.

Il software che controlla la stampante calcola il volume di estrusione in base al diametro del filamento, al diametro dell'ugello e alla velocità di estrusione (comunemente indicato come portata, in mm/s).

In sostanza, la stampante controlla il volume di plastica che viene spinto fuori dall'ugello facendo girare la ruota dell'estrusore e spingendo una certa lunghezza del filamento verso l'ugello riscaldato.

Idealmente, il filamento mantiene un diametro assolutamente costante su tutta la bobina. Tuttavia, nella realtà, a causa del processo di produzione, vi è sempre una tolleranza entro il quale sarà mantenuto il diametro.

Se si ha un diametro irregolare, il volume di materiale plastico estruso varia e il software non può regolare la lunghezza di estrusione per compensare la variazione.

Per ovviare a questo problema si applica all'estrusore un meccanismo di tensionamento a molla che mantiene la tensione dinamicamente sul filamento.

Il filamento da 3.0 mm è lo standard più vecchio e le nuove generazioni di stampanti hanno iniziato ad utilizzare un filamento da 1.75 mm. Vediamo perché:

- il filamento è più leggero per unità di lunghezza quindi il motore estrusore sposta



- meno massa;
- il filamento può essere riscaldato velocemente (il calore richiede meno tempo per raggiungere il centro) in modo da poter stampare velocemente;
- la forza richiesta dall'estrusore per spingere la plastica è minore in quanto si accumula meno pressione nell'ugello;
- si possono avere ugelli di dimensioni minori che permettono un più preciso controllo del flusso plastico e riducono il rischio di gocciolamenti.

### Dimensionali e deposizione del filamento

#### Layer height\_altezza dello strato (mm) [3]

L'altezza del layer determina direttamente il numero di sezioni con cui viene tagliato il modello 3D.

E' sostanzialmente la risoluzione verticale; rappresenta quindi uno dei parametri più importanti per gestire la qualità superficiale. Esiste un range di valori ammissibili: Layer height 0,25 mm per una stampa molto veloce e Layer height 0,05 mm per una stampa di precisione. E' un parametro che influisce molto sul tempo di stampa.

A questo parametro è collegato l'effetto staircase che verrà approfondito in seguito.

#### Shell thickness\_spessore di parete (mm) [4]

Ogni sezione dell'oggetto che stiamo stampando è racchiusa da un perimetro chiamato Shell.

E' possibile modificare lo spessore specificando il numero di perimetri interni desiderati: i perimetri sono concentrici e vengono aggiunti verso l'interno, in modo da rispettare le dimensioni esterne dell'oggetto.

Il parametro Shell thickness definisce quindi lo spessore delle pareti dell'oggetto.

Nel software lo spessore di parete viene definito dal numero di linee perimetrali per ogni sezione orizzontale. Si definisce impostando un multiplo (corrispondente al numero di perimetri) del diametro dell'ugello.

Solitamente il range di valori utilizzato per il numero di perimetri va da 1 (monoshell) a 5.

Considerando di avere una macchina con l'ugello di diametro 0,35mm e di volere avere due linee di perimetro si dovrà impostare un valore di shell thickness pari a 0,7mm



Fig.29 Oggetto stampato con diverse altezze layer. L'altezza layer è un parametro molto importante che influisce sia sulla resa qualitativa dell'oggetto stampato sia sul tempo di stampa.



Fig.31 Fusione tra gli strati.

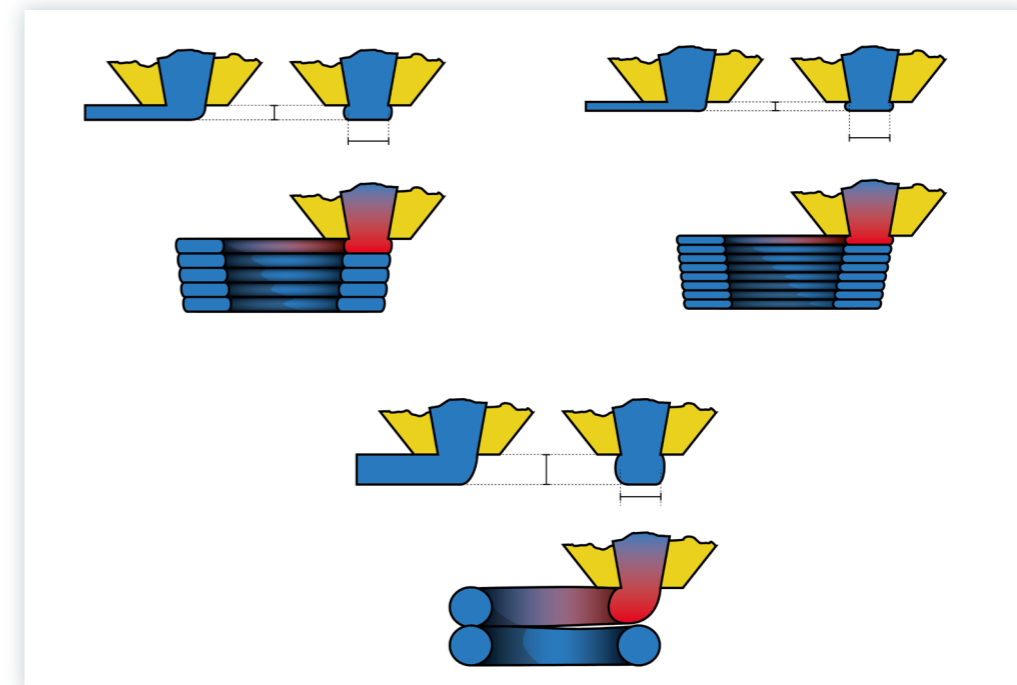
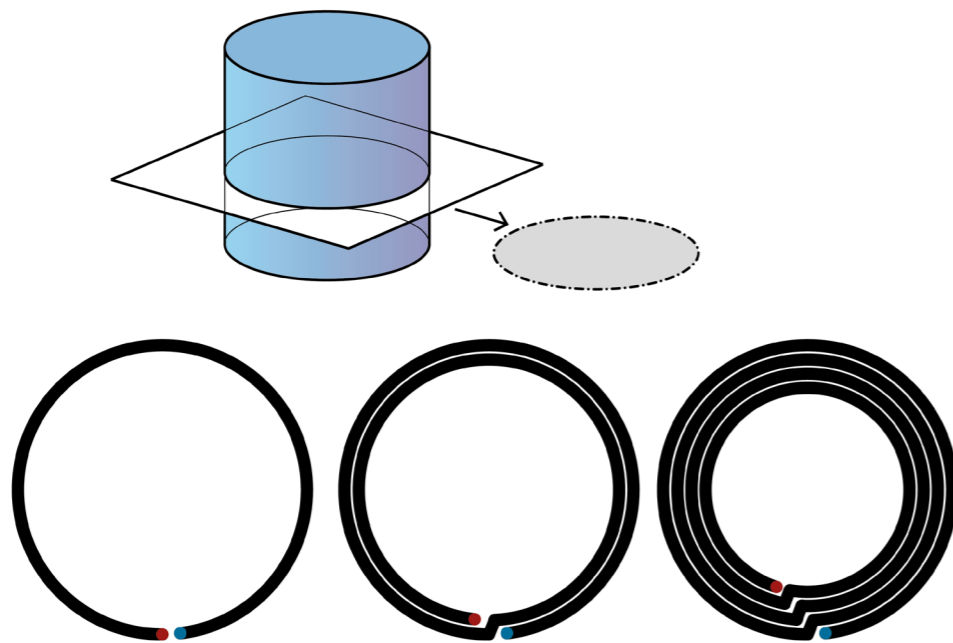


Fig.30 Effetto dell'altezza layer rispetto alla dimensione dell'ugello. Fonte: +LAB.

Fig.32 Cilindro con diversi perimetri di parete. Fonte: +LAB.



( $0,7=0,35 \times 2$ ).

Una shell più spessa conferisce rigidità e resistenza all'oggetto.

#### Bottom/Top thickness\_spessore della parete inferiore/superiore (mm) [5]

Corrisponde allo spessore delle pareti inferiore e superiore del modello.

Questo valore è un multiplo (corrispondente al numero di strati che si vuole ottenere) dell'altezza di layer impostata (per questo parametro è possibile impostare un'altezza layer indipendente dal resto della stampa ovvero il parametro Initial layer thickness).

Se si desidera avere un Bottom/Top thickness di 0,45mm si dovrà impostare l'altezza layer a 0,15mm, ciò implica che le superfici inferiore e superiore del pezzo saranno costituite da 3 strati ( $0,45=0,15 \times 3$ ).

E' possibile decidere di stampare solo il Top o solo il Bottom oppure non stamparli affatto.

Solitamente si imposta un'altezza layer Bottom/Top leggermente più alta rispetto a quella impostata per la stampa poichè consente di far aggrappare maggiormente il pezzo al piano di stampa. Un'altezza layer troppo elevata rispetto al resto della stampa

potrebbe però portare ad avere differenze estetiche superficiali eccessive.

#### Fill Density\_densità del riempimento (%) [6]

L'Infill è il riempimento dell'oggetto. Costruire degli oggetti pieni sarebbe un processo troppo lungo e costoso. Stampare il riempimento con un pattern controllato consente di gestire al meglio rigidità, tempo e leggerezza del pezzo.

E' un parametro influente perchè serve ad aumentare la solidità strutturale e permette di avere una base d'appoggio al materiale per chiudere le superfici superiori del modello.

L'Infill Density è la densità del riempimento; si esprime in percentuale ed è pari al quantitativo di materiale nel riempimento rispetto all'aria. Esempio: un infill al 20% significa che ogni strato sarà costituito al 20% da materiale e all'80% da aria.

La percentuale di riempimento è molto importante al fine di ottenere una stampa corretta; se impostata troppo alta il pezzo tenderà a ritirare, a deformarsi, richiederà maggiori quantitativi di materiali e tempi di stampa molto più lunghi, se troppo bassa sarà difficile chiudere le superfici superiori orizzontali.

Un valore entro il 24% di infill (per un ugello da 0,35mm) è solitamente corretto.

#### Fill pattern\_disegno del riempimento

Tramite Cura è disponibile solo un tipo di riempimento, quello rettilineo.

Utilizzando il software di slicing Slic3r si può scegliere tra:

- rectilinear;
- line;
- concentric;
- honeycomb;

che sono le geometrie maggiormente usate.

E' possibili impostare anche hilbertcurve, archimedeanchords o ocagramspiral che sono meno comuni e necessitano di tempi di stampa più elevati.

#### Flow\_flusso (%) [7]

Flow rappresenta il flusso di materiale che viene estruso dall'ugello ed è determinato da quanto il motore dell'estrusore spinge il filo all'interno dell'hot end.

Il flow si misura in Estep/mm, cioè il numero di giri compiuti dal motore per estrarre 1 mm di filamento.

Fig.33 Cilindro stampato con diverse percentuali di riempimento.

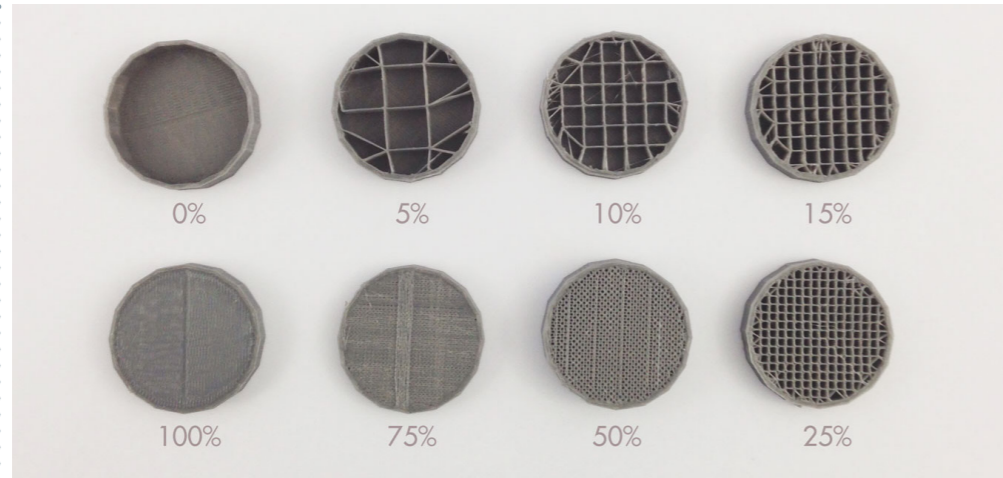


Fig.34 Alcuni pattern di riempimento di Slic3r al 20%, 40%, 60% e 80%.

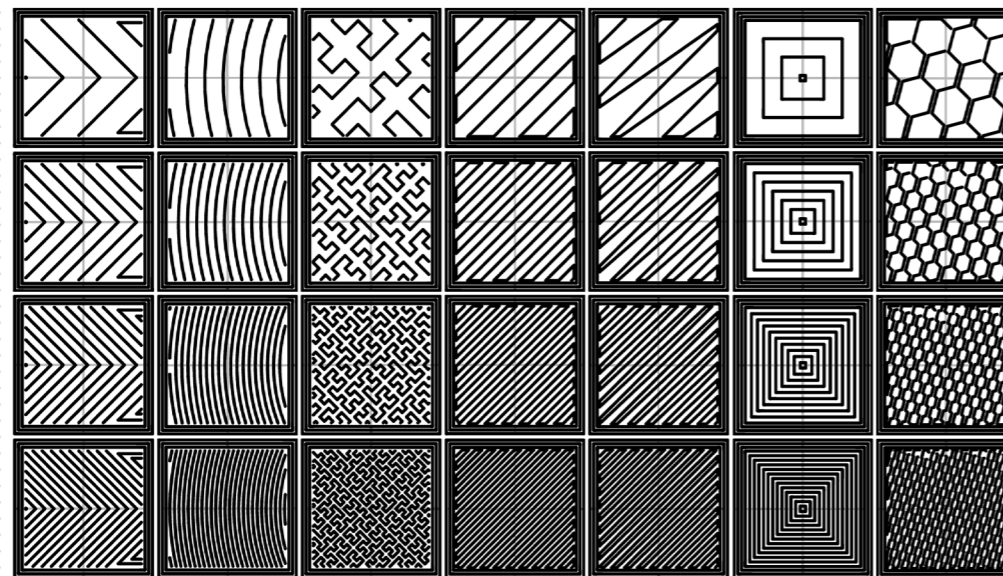
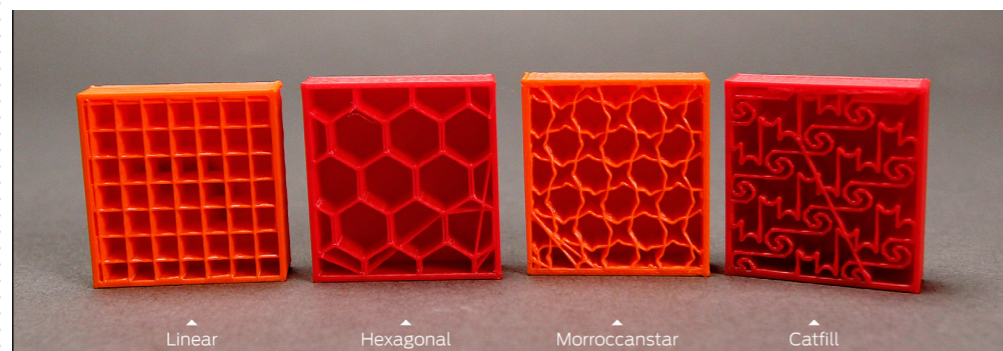


Fig.35 Esempio di pattern personalizzati.



E' possibile controllare il flusso di materiale anche durante la stampa. In gergo si parla di stampa 'magra' o stampa 'grassa' a seconda del flusso impostato.

Una stampa con un flusso corretto si presenta come compatta con i layer ben saldati tra loro.

### Termici

#### Printing temperature *temperatura di stampa* (°C) [8]

È la temperatura che raggiunge l'*hot end* (ugello riscaldato) per portare il materiale a punto di fusione.

La temperatura agisce sulla viscosità del materiale: se la temperatura impostata è troppo bassa il materiale non riesce a fluire bene all'interno dell'ugello e i layer non si fonderanno correttamente causando possibili delaminazioni, se troppo alta il materiale non è in grado di raffreddare adeguatamente tra uno strato e l'altro, rovinando la stampa.

Le variabili da considerare sono principalmente due:

- filamento: ogni materiale ha un proprio range di temperatura di stampa: il PLA si stampa tra 175 e 210°C, l'ABS tra 210 e 230°C, il Nylon tra 230 e 245°C e il TPU tra 220 e 245°C.
- velocità di stampa: velocità elevate richiedono temperature di estrusione più elevate; il materiale richiede tempo per sciogliersi e più velocemente la plastica viene estrusa, maggiore è la temperatura necessaria per fondere la plastica abbastanza rapidamente.

#### Bed temperature *temperatura del letto di stampa* (°C)

Alcuni materiali risultano difficoltosi da stampare a causa dei forti ritiri che spesso causano il distacco del pezzo dal piano di stampa.

Più il grado di cristallinità del materiale è elevato, maggiori sono i problemi dovuti ai ritiri e alle distorsioni che avvengono nella fase di raffreddamento (si passa da  $T > 200^{\circ}\text{C}$  a  $T$  ambiente).

Una delle soluzioni per ovviare, almeno in parte, a questo problema è quella del piatto di stampa riscaldato. Esso permette alla zona dell'oggetto a contatto con il piano di raffreddare in modo più costante. Non tutti i modelli di stampante hanno questa possibilità.



**Cooling fan\_ventola [9]**

La ventola permette di raffreddare il materiale stampato più rapidamente. Nei layer con aree piccole e dettagli fini è necessario aumentare la velocità della ventola altrimenti il layer verrà depositato sul layer precedente senza che la zona abbia avuto il tempo di raffreddarsi correttamente diminuendone la definizione.

**Velocità**

**Print speed\_velocità di stampa (mm/s) [10]**

È la velocità con cui si muove l'hot end (o il piatto di stampa a seconda della struttura della stampante). E' espressa in mm/s. Come nella maggior parte dei processi, la velocità di stampa influisce sulla qualità dei risultati.

Ad alte velocità si ottengono delle stampa qualitativamente basse ma in tempi rapidi. Abbassando la velocità di stampa si aumenta la qualità e il tempo di stampa.

Il range di valori tipico va dai 30 ai 120 mm/s.

Su macchine a piatto di stampa mobile (moving bed) e per geometrie sproporzionate in altezza devono essere utilizzate velocità basse poiché velocità elevate causano oscillazioni del pezzo stesso creando imprecisioni.

La velocità di stampa va adeguatamente gestita insieme al Flow (flusso di materiale). Se si stampa troppo velocemente senza un adeguato flusso di materiale si ha l'effetto di stampa 'magra' dovuta allo stiramento del filo (che quindi diminuisce di sezione).

La velocità è uno dei parametri che produce più effetti benefici sui tempi di stampa.

**Travel speed\_velocità spostamenti (mm/s) [11]**

Travel speed è la velocità con cui l'ugello si muove da un punto A a un punto B nel momento in cui non deve essere depositato del materiale. I valori raccomandati per evitare difetti (tracce di filamenti che devono essere rimossi manualmente o meccanicamente) sul pezzo finale, dovuti alla deposizione non voluta di filamento sono tra 110 e 160 mm/s.

Questo parametro deve essere gestito insieme alla Retraction speed e la Retraction distance.

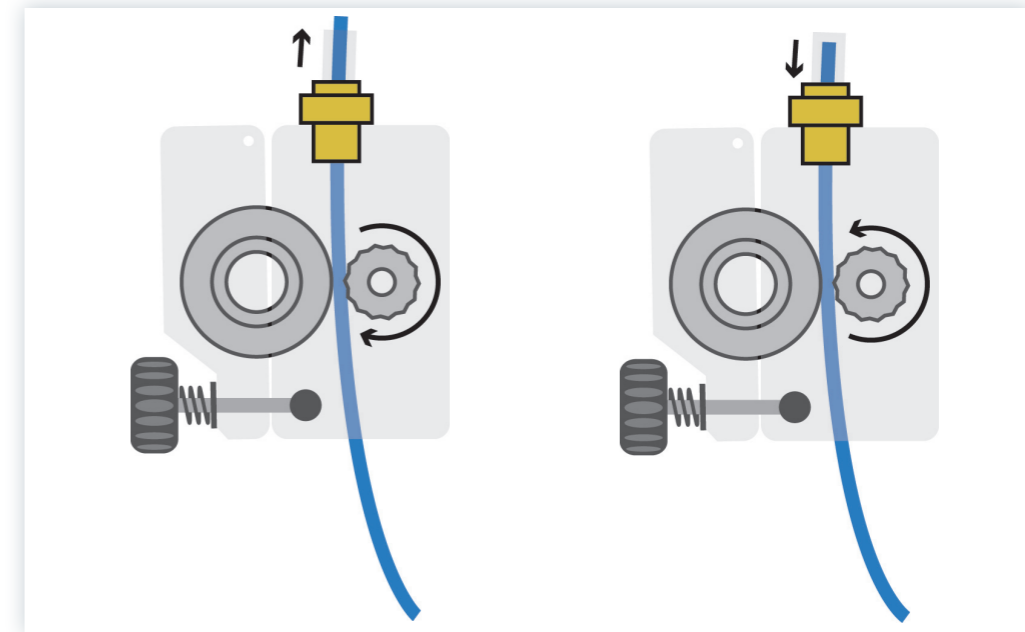


Fig.36 La retraction viene attuata in automatico dalla stampante tramite l'inversione del senso di rotazione dell'albero del motorino estrusore. Fonte: +LAB.

**Retraction speed\_velocità ritrazione (mm/s), Retraction distance\_quantità di ritrazione (mm) [12]**

La retraction consiste nella ritrazione del filo nel momento in cui l'ugello deve effettuare i movimenti di travel.

Viene attuata in automatico dalla stampante tramite l'inversione del senso di rotazione dell'albero del motorino estrusore.

La ritraction è costituita da due componenti: la velocità di ritrazione (espresso in mm/s) e quanto filamento torna indietro (espresso in mm).

È corretto tenere un valore di velocità di retraction in un range di valori tra 110 e 150 mm/s e una quantità di ritrazione tra 4,5 e 8 mm.

**Bottom layer speed\_velocità primo strato (mm/s), Infill speed\_velocità riempimento (mm/s) [13]**

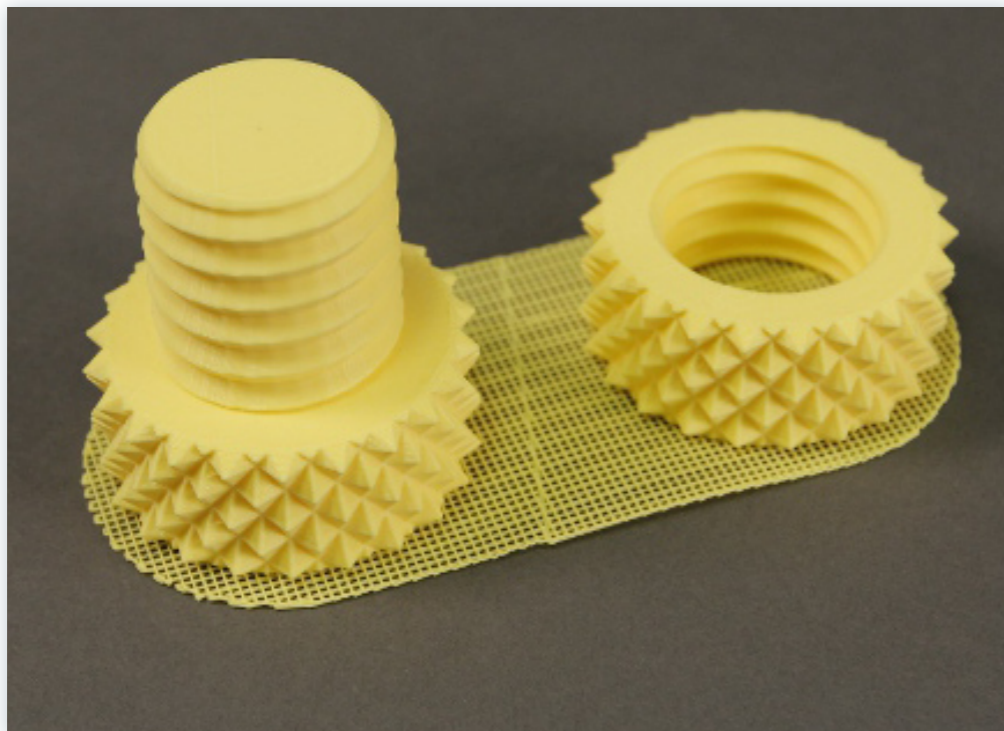
Bottom layer speed è la velocità di stampa del primo layer. Per consentire una deposizione continua e omogenea del primo strato di materiale si consiglia una velocità bassa (tra 10 e 25 mm/s).

Depositare correttamente il primo strato di materiale garantisce in molti casi la buona riuscita della stampa.

Fig.37 Esempio di oggetto stampato con il brim.



Fig.38 Esempio di oggetto stampato con il raft.



L'Infill speed è la velocità di stampa del riempimento. Spesso coincide con la velocità di stampa del pezzo.

### Ausili alla stampa

#### Support type\_ *tipologia supporto* [14]

I supporti consistono in basi di appoggio utili a ottenere parti a sbalzo (dette *overhang*), o sottosquadri superiori a 45° che altrimenti collasserebbero.

Sono generati in automatico dal software. Il materiale del supporto viene depositato strato dopo strato a partire dal piano fino a ricongiungersi nel punto di sbalzo con il modello.

I supporti permettono di realizzare forme complesse, tuttavia lasciano imperfezioni e bave sul pezzo, da rimuovere manualmente a posteriori.

#### Platform adhesion type\_ *piattaforma di supporto* [15]

Questo parametro consente di migliorare l'adesione del pezzo al piatto di stampa tramite due modalità (il Brim e il Raft), da rimuovere a posteriori.

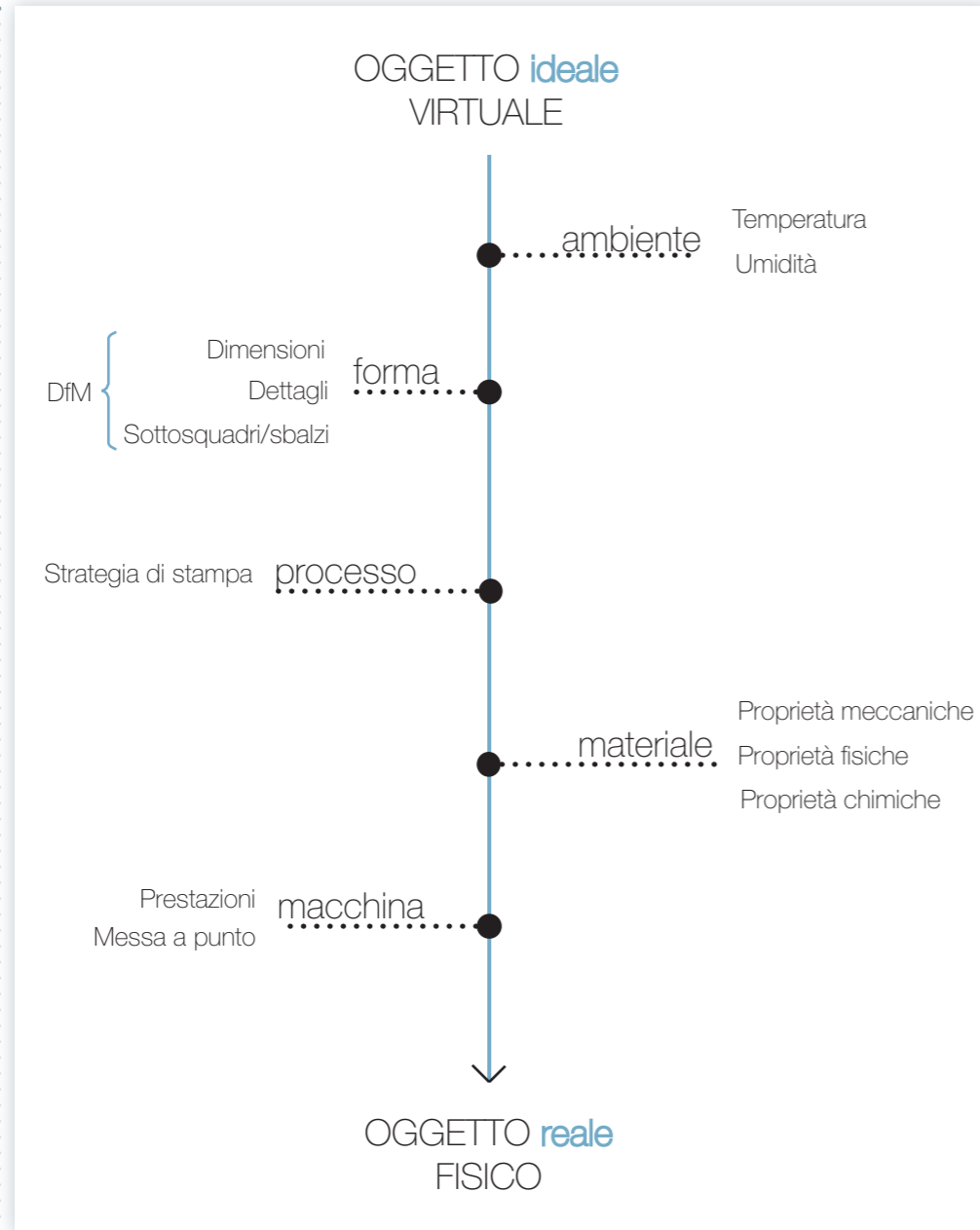
- **Brim.** Il Brim permette di creare uno strato di larghezza definibile a partire dal perimetro della base del modello. Il Brim è costituito da perimetri concentrici, di quantità definibile, a partire dal profilo esterno dell'oggetto, stampati nel primo layer. Il Brim aumenta la stabilità del pezzo sul piano di stampa e diminuisce gli effetti di distorsione. E' necessaria una rimozione meccanica o di altra natura, che lascia tracce non molto evidenti sul bordo.
- **Raft.** Il Raft crea due strati ortogonali di materiale sotto la base dell'oggetto prima di partire con la stampa vera e propria del primo layer dell'oggetto.

Rispetto al Brim, il Raft non è altrettanto semplice da rimuovere.

### Criticità

Imparare ad utilizzare le stampanti così dette 'domestiche' è piuttosto semplice ma riuscire ad ottenere buoni risultati è invece più impegnativo e richiede molta esperienza sia nella messa a punto della meccanica della stampante che nella gestione dei numerosi

Graf.3 Schema degli influenzatori della qualità durante il processo di stampa.



parametri di stampa.

Nel Graf. 3 sono stati riassunti i principali influenzatori che determinano possibili differenze tra l'oggetto virtuale ideale e l'oggetto reale una volta stampato.

Alcuni elementi sono determinanti per la qualità della stampa e possono anche arrivare a causarne il fallimento:

- modellazione del file 3D (e geometria del pezzo);
- faceting;
- stair-case;
- orientamento del pezzo sul piano di stampa;
- gestione dei supporti;
- ritiri e distaccamenti del pezzo.

**Modellazione**

Modellare e progettare forme corrette per le tecniche additive costituisce il primo passo verso un uso efficiente di esse. Ci sono infatti alcune regole di Design for Manufacturing (DfM) da tenere in considerazione quando si progetta un oggetto che dovrà essere stampato con tecnologia FDM.

Un limite molto diffuso è la mancata conoscenza dei programmi di modellazione tridimensionale da parte di utenti domestici che hanno difficoltà a creare dei modelli corretti ai fini della stampa. Questi utenti devono quindi limitarsi a scaricare dei modelli 3D presenti sul web senza poter creare il proprio oggetto.

Una possibile soluzione potrebbe essere l'introduzione già in giovane età di esperienze con il disegno virtuale in 3D.

Chris Anderson scrive:

*“Oggi i bambini a scuola imparano ad utilizzare PowerPoint ed Excel come parte del loro corso di informatica, e ancora imparano a disegnare e a scolpire nel corso di arte. Ma pensate quali vantaggi se potessero scegliere una terza opzione: il corso di design. Immaginate un corso dove i bambini possano imparare a usare i programmi di CAD 3D gratuiti come SketchUp o Autodesk123D. Alcuni potrebbero progettare edifici e strutture fantastiche, così come li abbozzano nei loro quaderni. [...]Ancora meglio, immaginate se in ogni aula di progettazione ci fossero un paio di stampanti 3D o un laser cutter”<sup>35</sup>.*

35 Anderson C. (2012), Makers. The New Industrial Revolution, Crown Business.



Fig.39 Principali regole di DfM per la stampa 3D FDM. Fonte: +LAB.

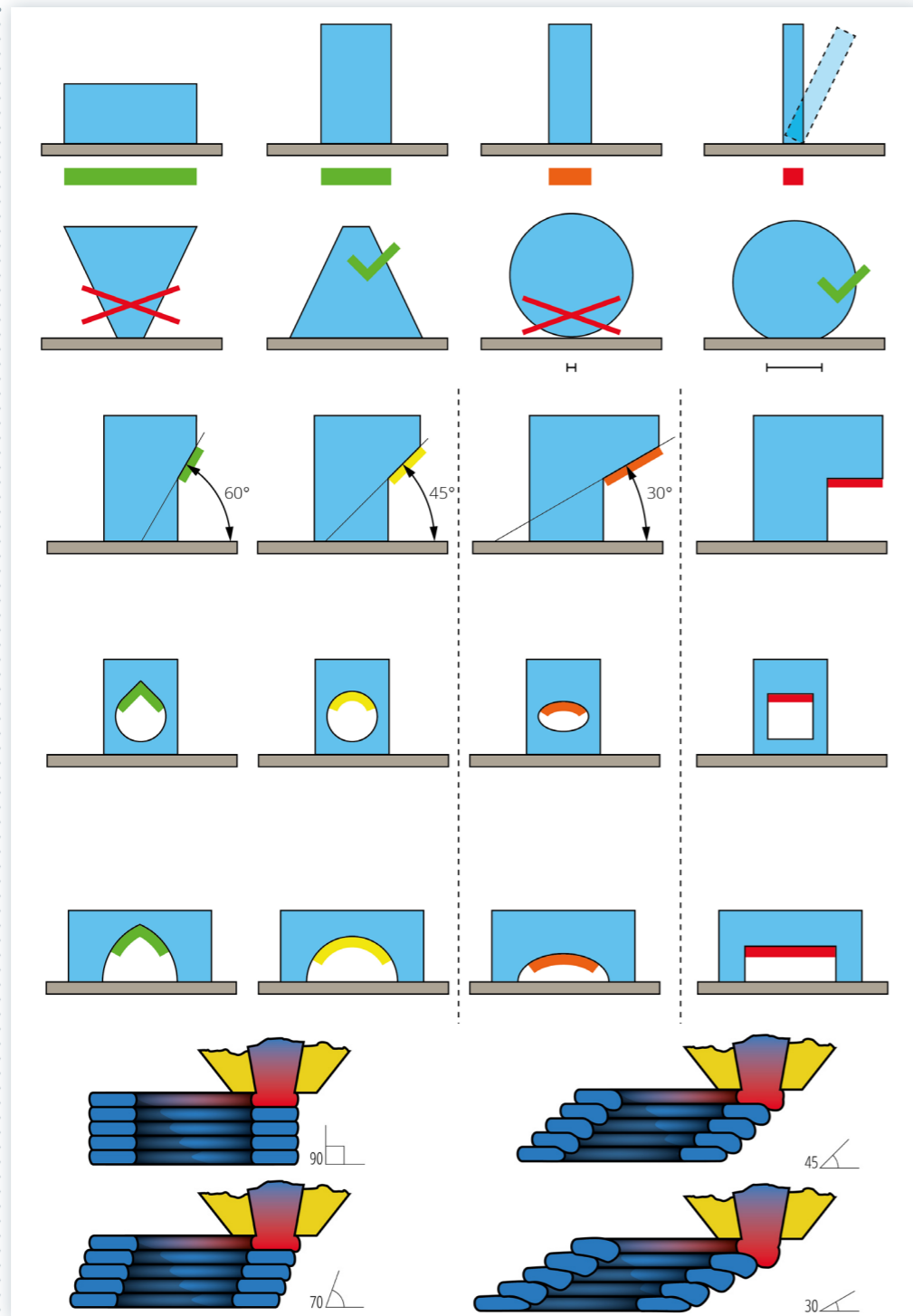
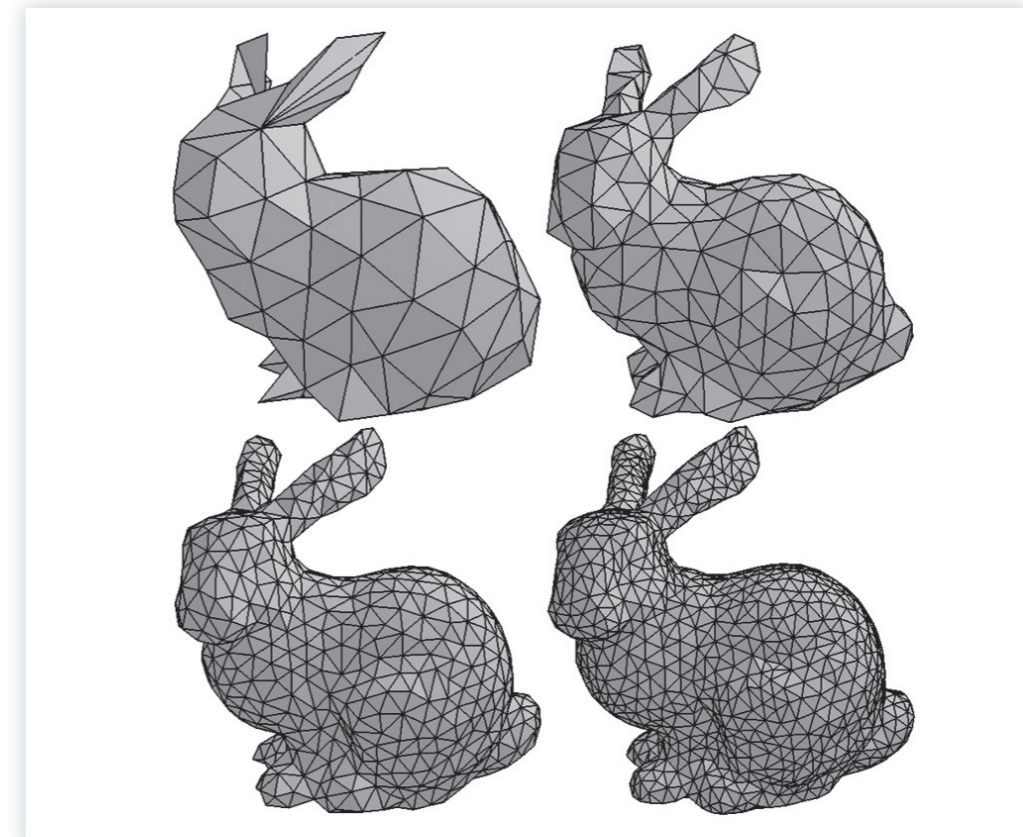


Fig.40 Il numero di mesh influenza in modo significativo la percezione dei dettagli.



**Facetting**

Come detto in precedenza, il file .stl descrive un solido la cui superficie è stata suddivisa in pezzi (quasi sempre triangolari) che per definizione sono piane: le mesh. Esse vengono definite dalle coordinate X, Y e Z ripetute per ciascuno dei tre vertici dei triangoli, con un vettore che descrive l'orientamento della normale alla superficie<sup>36</sup>.

Essendo la triangolazione un'approssimazione di una superficie definita da matematiche più complesse si potrebbe generare il difetto di stampa che viene chiamato facetting.

Per ottenere buoni risultati i triangoli dovrebbero essere fortemente più piccoli rispetto ai dettagli del modello. Un numero corretto di triangoli evita di perdere informazioni di dettaglio già nella fase di pre-stampa<sup>37</sup>.

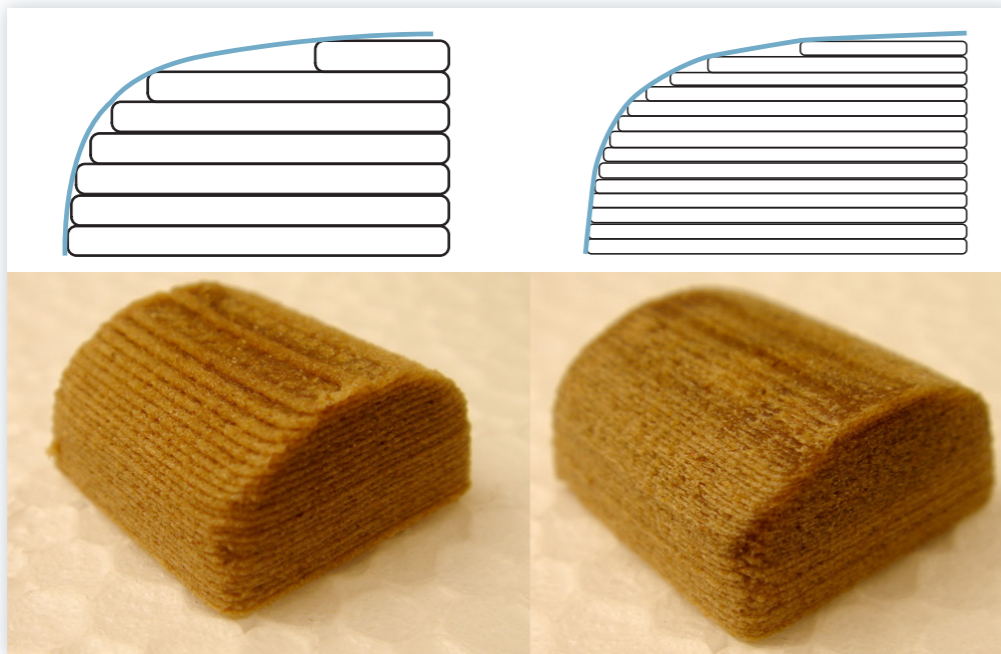
36 [http://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_\(file\\_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))

37 Amillotta A. (2004), "Procedural texturing of triangle meshes for rapid prototyping", SME

Fig.42 Esempio di oggetto in cui il Facetting è voluto e diventa elemento estetico. Si nota inoltre l'effetto Steir-case.



Fig.41 Influenza dell'altezza layer sull'effetto Stair-case.



Nella generazione del file .stl bisogna fare un trade off tra la qualità dei dettagli e la dimensione del file in quanto un numero troppo elevato di mesh creerebbe file troppo pesanti da gestire.

### Stair-case

Le sezioni sovrapposte durante la fase di slicing, a seconda del parametro di altezza layer impostato, generano delle superfici a scalini.

Questo porta all'effetto stair-case che deriva dal rapporto tra l'altezza layer e l'inclinazione della superficie.

Agendo sul parametro di altezza layer si può modificare lo spessore delle cross-sections e determinare così la precisione dei dettagli.

In presenza di altezze layer troppo elevate, l'aspetto dei dettagli che presentano dimensioni dell'ordine di grandezza di qualche layer viene significativamente alterato. È necessario però confrontarsi con il tempo di processo per ottenere un buon compromesso.

L'effetto staircase viene evidenziato ulteriormente quando si è in presenza di superfici che tendono a essere quasi parallele al piano di stampa.

Incide principalmente sulle proprietà ottiche dell'oggetto, nonché sulle sue qualità superficiali<sup>38</sup>.

### Orientamento del pezzo

Un aspetto molto importante è la scelta dell'orientamento di stampa che influisce sia sulla finitura dell'oggetto che sulle prestazioni meccaniche e a volte è elemento discriminatore per la riuscita o meno della stampa.

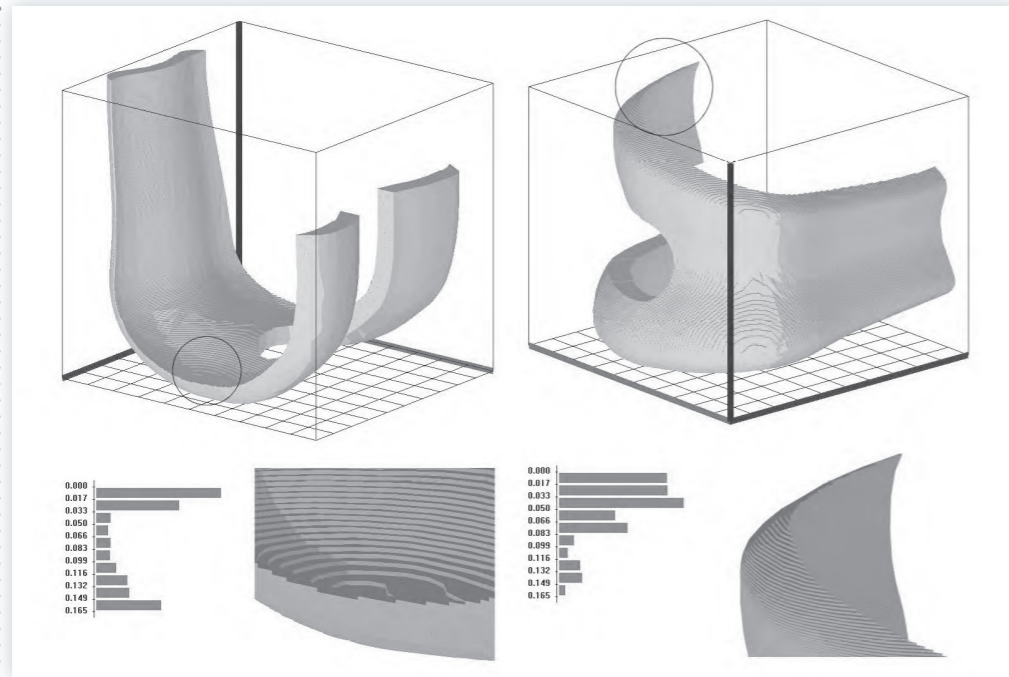
Il modello può essere orientato sul piatto di stampa principalmente in 3 modi:

- X parallelo al piano di stampa;
- Y parallelo al piano di stampa;
- Z parallelo al piano di stampa.

In realtà le posizioni che può assumere nello spazio sono infinite.

<sup>38</sup> Boschetto A. et alii (2013), "3D roughness profile model in fused deposition modelling", in Rapid Prototyping Journal.

Fig.43 Influenza dell'orientamento di stampa. Fonte: slide del corso di Design for MAnufacturing di Marco Cavallo alla Facoltà del Design.



Uno dei criteri principali per individuare l'orientamento ottimale riguarda la minimizzazione dei supporti: ogni supporto infatti determina un tempo di stampa maggiore, spreco di materiale, difficoltà o impossibilità di rimozione e possibili tracce sulla superficie.

Esiste anche una forte correlazione tra la direzione di costruzione dell'oggetto e le caratteristiche meccaniche.

Nella maggior parte dei casi i pezzi stampati presentano una maggior resistenza a rottura (per sforzi di trazione e flessione) se il carico viene applicato in direzione ortogonale alla piattaforma di costruzione. Nel caso di sforzi di compressione si verifica il fenomeno inverso<sup>39</sup>.

Nel caso in cui l'oggetto sia concentrato lungo un asse, è consigliabile che la dimensione maggiore sia parallela al piano di stampa: geometrie alte e strette, se costruite in verticale, tendono a deformarsi e a risentire delle vibrazioni.

L'orientamento influisce inoltre sulla qualità della finitura. Orientare il modello in modo corretto può aiutare a ridurre l'effetto Stair-case e la rugosità superficiale.

<sup>39</sup> Bellini, Gucerì (2003), "Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling", in Rapid Prototyping Journal.

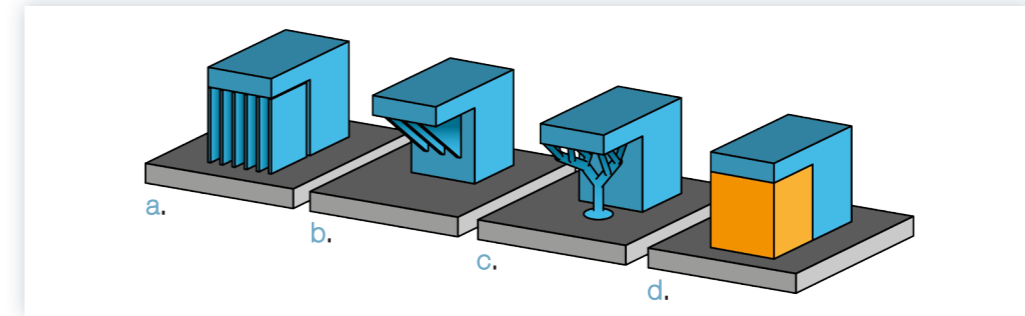


Fig.44 I supporti possono essere creati: in automatico dal software di slicing [a]; modellandoli in CAD [b] o con un software di generazione supporti [c]. E' possibile stamparli in un altro materiale con doppio estrusore [d]. Fonte: +LAB.

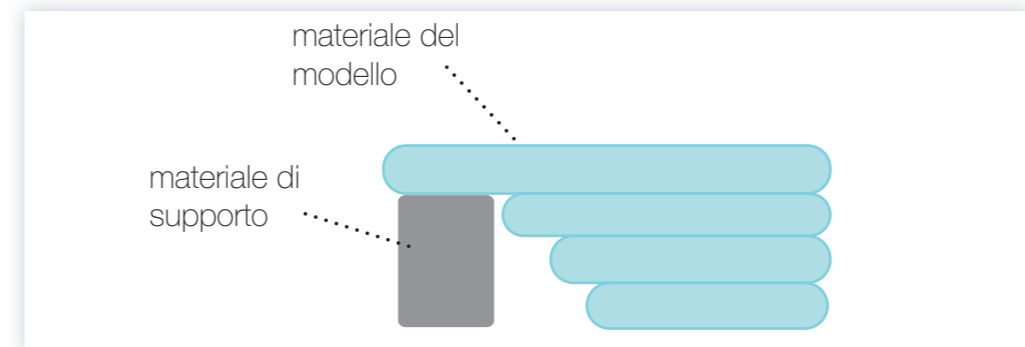


Fig.45 Il materiale di supporto sostiene i sottosquadri che altrimenti potrebbero cadere in quanto non ancora solidificati.

### Supporti

Nella fase di post-processo è necessario prestare molta cura nelle operazioni di rimozione dei supporti. Questi possono lasciare evidenti imperfezioni sul pezzo stampato e possono essere di difficile rimozione se inseriti in geometrie complesse.

I supporti possono essere generati:

- in automatico dal programma di slicing: sono spesso sovrastimati quindi lasciano evidenti impronte sul modello;
- tramite modellazione personale da parte dell'utente (inseriti nel file .stl): si possono prevedere punti di contatto minimi che permettano un facile distaccamento dal pezzo;
- con un programma apposito di generazione supporti (i.e Meshmixer): hanno una geometria 'ad albero';
- depositandoli con un doppio estrusore in un altro materiale (potenzialmente solubile



Fig.46 Esempi di oggetti stampati con supporti. La volpe è stata stampata con doppio estrusore. E' possibile notare anche l'effetto stericase in entrambi gli oggetti.

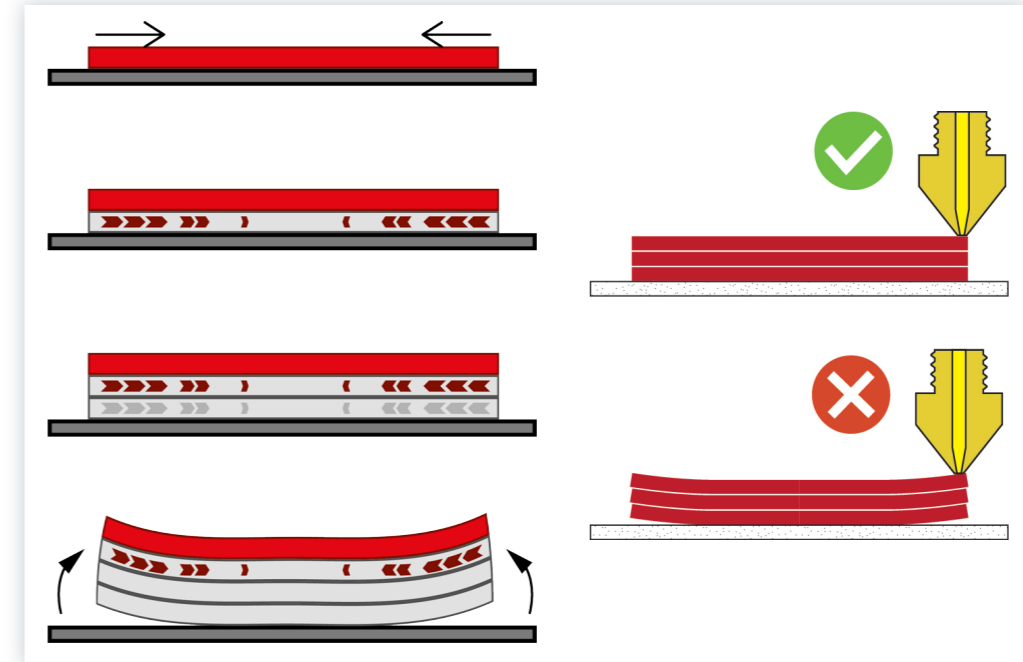
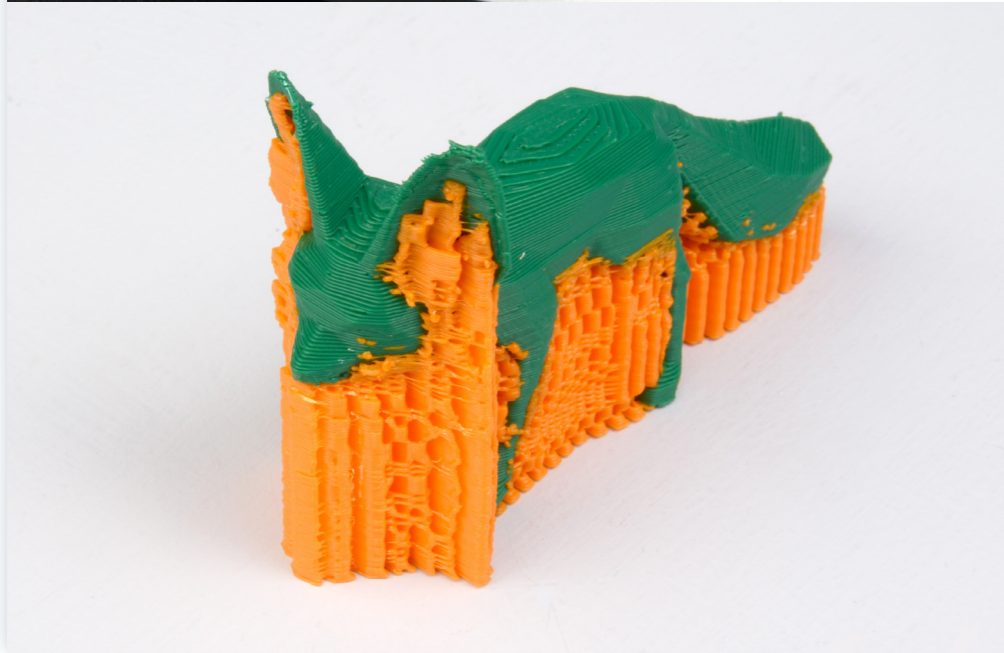
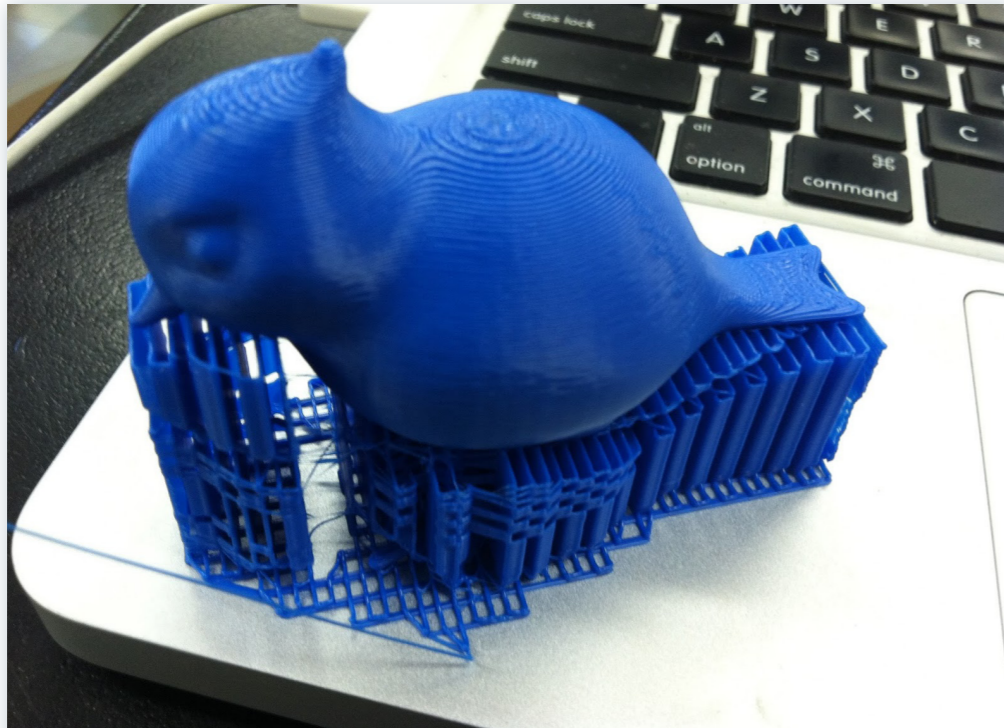


Fig.47 Effetti delle tensioni interne durante il raffreddamento. Depositare correttamente a basse velocità il primo strato di materiale garantisce in molti casi la buona riuscita della stampa. Fonte: +LAB.

in acqua).

Si consiglia di utilizzarli il meno possibile seguendo le indicazioni del Design for Manufacturing per la tecnologia FDM.

#### Ritiri e distaccamenti

Le prestazioni della macchina e le condizioni di stampa possono essere fattori incisivi sulla buona riuscita di una stampa, che a volte è condizionata dalle condizioni termiche che causano il warping (imbarcatura) e il curling (arricciatura).

Alcuni materiali risultano difficoltosi da stampare. Più il loro grado di cristallinità è alto, maggiori sono i problemi dovuti al ritiro lineare e alla distorsione che avvengono nella fase di brusco raffreddamento (da  $T > 200^{\circ}\text{C}$  a  $T_{amb}$ ).

Ci sono diverse soluzioni con cui si affronta il problema: la più efficace è di certo il piatto di stampa riscaldato, che purtroppo non tutta la gamma di macchine consumer offre. Esso raggiunge temperature massime di circa  $120^{\circ}\text{C}$ ; ne beneficia soprattutto la zona dell'oggetto a contatto con il piano, la quale raffredda molto più lentamente.

# 4

## Laboratori di stampa 3D

*"E' tutto in fase di sperimentazione. Non c'è altra via"*

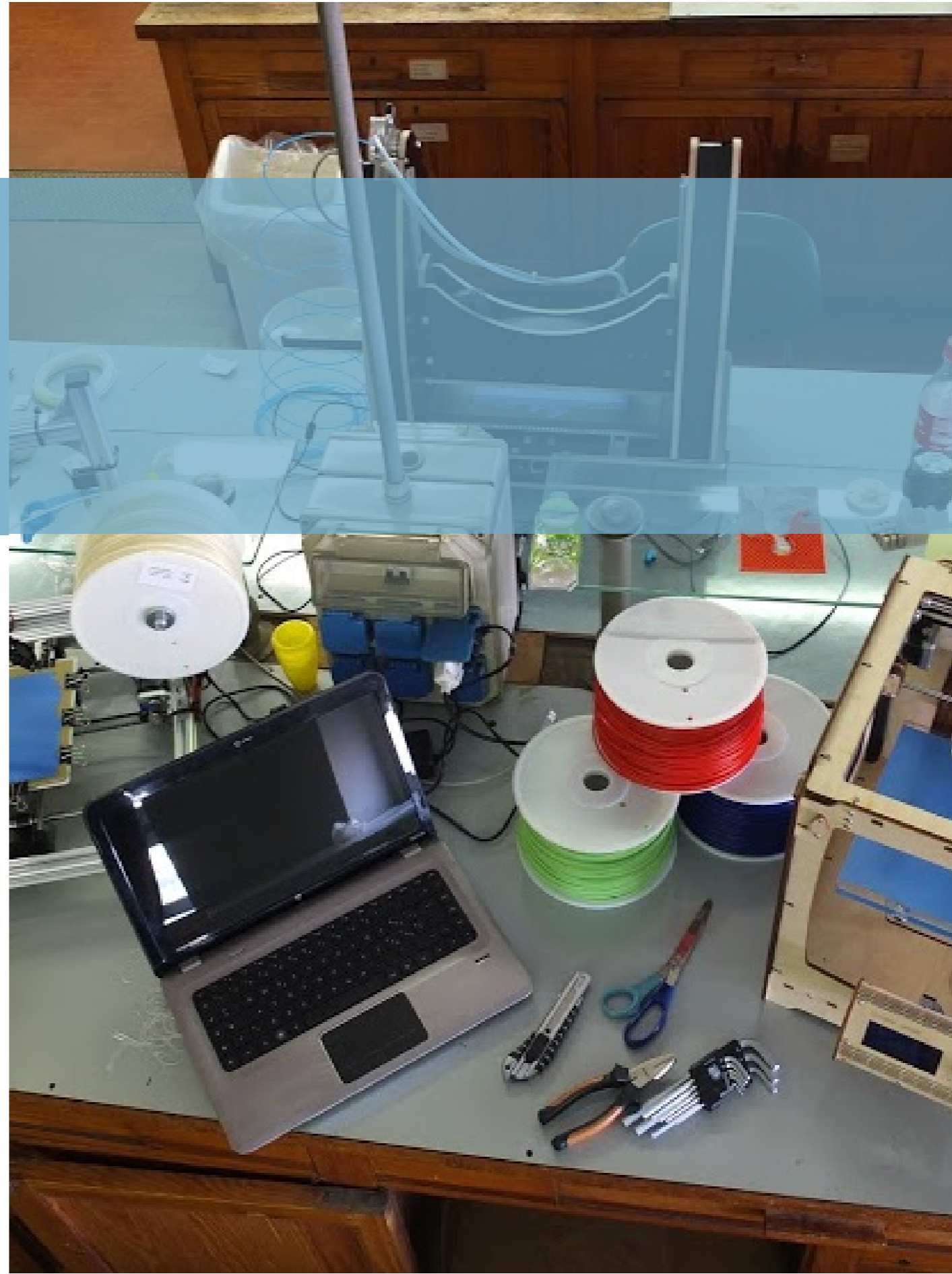
Bre Prettis

Il futuro è realtà. E lo si può vedere nei laboratori di stampa 3D.

Pioneristici e sperimentali, sono un punto di riferimento per designer, architetti, maker e bricoleur e chiunque sia interessato alla nuova rivoluzione.

I laboratori di stampa 3D hanno lo scopo di approfondire e sperimentare le nuove tecnologie di fabbricazione digitale nel contesto dell'Open-source.

Sono luoghi dove produttività, creatività, conoscenze e strumenti meccanici e digitali si incontrano. Ne stanno nascendo moltissimi e molti altri ne nasceranno!





## 4.1 +LAB

Questa tesi si sviluppa grazie alla collaborazione di +LAB.

+LA, è un laboratorio di stampa 3D che si pone come un nuovo punto di riferimento per districarsi nel mondo della stampa 3D.

Nasce nel 2013 dall'inventiva della Prof. Marinella Levi nel Dipartimento di Chimica, Materiali e Ingegneria Chimica "Giulio Natta" (CMIC) del Politecnico di Milano.

La Prof.ssa Levi afferma:

*"Con questa iniziativa desideriamo divulgare e valorizzare la stampa 3D all'interno del Politecnico di Milano e tutto questo nasce dal Dipartimento CMIC perché soprattutto in questo periodo, in cui le stampanti stanno vivendo un momento di particolare dinamismo grazie all'open source e all'open hardware, l'ingegneria dei materiali è l'aspetto a nostro avviso più rilevante."*

Il laboratorio si appoggia a un gruppo per estrazione e cultura multidisciplinare che soddisfa al meglio le esigenze di ricerca e di sviluppo che il laboratorio si è posto.

Un elemento qualificante di +LAB è la sua scelta di utilizzare stampanti open source per la ricerca nell'ambito dei materiali e del design per il 3DP.

+LAB nasce come iniziativa del Dipartimento ma si apre agli sviluppi di partnership e cofinanziamento sia con altre realtà accademiche sia con il mondo dell'industria.

Il sito web ([www.piulab.it](http://www.piulab.it)) di +LAB è parte integrante della presenza all'interno della vasta community degli utenti di stampanti 3D.

Il laboratorio partecipa alle numerose manifestazioni che ospitano il mondo della digital fabrication per far conoscere la propria attività a maker, utenti e professionisti del settore, promuovendosi come ente di divulgazione e supporto.

Il lavoro del laboratorio spazia in diversi ambiti<sup>1</sup>:

- design: *"Il nostro intento è quello di diffondere la cultura della stampa 3D a livello accademico e sociale, intervenendo su quegli ambiti in cui questa tecnologia può veramente rappresentare un modo rivoluzionario di pensare e realizzare gli oggetti che utilizziamo tutti i giorni";*

<sup>1</sup> [www.piulab.it](http://www.piulab.it)

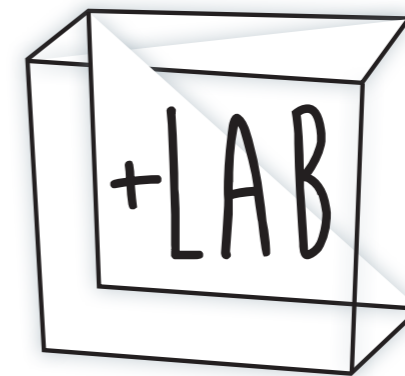


Fig.48 Logo del laboratorio +LAB.



Fig.49 Immagini evocative del laboratorio +LAB.



- materiali: *“Data l’importanza della sede in cui operiamo, uno dei focus essenziali della nostra ricerca sono i materiali. Il nostro lavoro si focalizza sulla caratterizzazione e sullo sviluppo di nuovi materiali relativi alla stampa 3D”*;
- tecnologia: *“Basate sulla filosofia open source, queste macchine offrono una versatilità e una possibilità di intervento come mai prima d’ora. Uno dei nostri obiettivi è quello di scoprire tecniche e metodi innovativi per ottenere delle stampe qualitativamente e tecnicamente sempre migliori”*;
- corsi e workshop: *“Uno degli aspetti più importanti per diffondere la cultura della stampa 3D è quello di entrare in contatto con le persone in modo da introdurre a questa splendida tecnologia. Organizziamo corsi di formazione rivolti a studenti, professionisti e appassionati per dimostrarne le innumerevoli potenzialità realizzative ed espressive”*.

## 4.2 Le fabbriche del futuro (in 3D): i Fablab

*“Ci sono momenti nei quali l’arte raggiunge quasi la dignità del lavoro manuale”*

Oscar Wilde

La cultura dei makers si realizza all’interno di nuovi spazi, i cosiddetti Fablab.

Fablab (dall’inglese Fabrication Laboratory) è uno spazio in cui tutti posso (co)progettare e realizzare i propri oggetti, esattamente come li vogliono.

**FabLabs sono luoghi in cui la cultura digitale e la produzione materiali si fondono: sono delle vere e proprie officine per la fabbricazione digitale** (creazione di oggetti dal virtuale al reale); laboratori al cui interno è possibile trovare diverse tecnologie per realizzare oggetti personalizzati.

Dotati di strumenti e macchinari flessibili, generalmente controllati da computer, i FabLab possono lavorare su diverse scale di grandezza e differenti materiali e possono produrre anche oggetti tecnologici, generalmente concepiti come prerogativa della produzione di massa.

In un paese dove le piccole e medie imprese non investono in ricerca e sviluppo per mancanza di fondi, i FabLab sono centri dove fare sperimentazione e realizzare proto-

tipi a basso costo.

Un’economia a chilometro zero, perché i centri di stampa stanno piano piano aprendo in tutte le grandi città. L’obiettivo finale è riportare l’industria manifatturiera in casa.

L’idea è americana: il primo a porre le basi di questa attività è stato nel 2003 il Media-Lab del Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Neil Gershenfeld, direttore del Center for Bits and Atoms (CBA) al MIT e professore dal 1998 del corso How to Make (Almost) Anything<sup>2</sup> è stato infatti il fondatore del primo FabLab, che lui stesso definisce:

*“a seconda di come lo si voglia interpretare, laboratorio per la fabbricazione o semplicemente un laboratorio favoloso<sup>3</sup> [...], un FabLab è un insieme di macchine e componenti disponibili in commercio tenute insieme da procedure e software che noi abbiamo sviluppato per costruire. [...] l’intenzione è quella di rimpiazzare nel tempo parti del FabLab con parti costruite nel FabLab, fino a quando infine il laboratorio stesso diventi in grado di autoriprodursi”<sup>4</sup>.*

Nel suo libro ‘Fab. Dal personal computer al personal fabricator’ Gershenfeld racconta com’è nato il progetto:

*“Mi sono reso conto per la prima volta dell’effettiva possibilità della fabbricazione personale a seguito del responso entusiastico e inaspettato degli studenti ad un corso che tengo al MIT, modestamente intitolato ‘How to Make (Almost) Anything’. [...] Per sviluppare personal fabricator realmente funzionanti che possano operare su una scala più ampia, io e i miei colleghi al MIT abbiamo assemblato una serie di strumenti in grado di costruire macchine che costruiscano altre macchine. [...] Il problema che abbiamo presto riscontrato è che agli studenti sarebbero serviti corsi lunghi una vita per padroneggiare tutti gli strumenti necessari, e anche allora avrebbero avuto molta poca esperienza utile a creare sistemi completi e funzionanti. Così abbiamo pensato: ‘Perché non offriamo un corso di un singolo semestre che provveda a una rapida introduzione a tutte le macchine?’. Nel 1998 abbiamo inaugurato How to Make (Almost) Anything. Il corso era rivolto a un piccolo gruppo di studenti che frequentavano gli ultimi anni, e che avrebbero usato questi strumenti per le loro ricerche. Immaginate la nostra sorpresa,*

2 Il corso è disponibile online sul sito web del CBA. Il seminario web è una parte essenziale di molti FabLabs in tutto il mondo, dove le lezioni sono in streaming via Internet su base settimanale. Il corso How To Make (almost) Anything offre istruzioni per gli studenti e le persone interessate circa la fabbricazione digitale e l’uso di strumenti di produzione ad alta tecnologia. Il seminario fa parte del Fab Academy, un programma di assistenza on-line del CBA che può essere visitata qui <http://www.fabacademy.org/> (ultimo accesso Marzo 2014).

3 L’abbreviazione fab può riferirsi a fabrication o a fabulous.

4 Gershenfeld N. (2005), Fab. Dal personal computer al personal fabricator, Codice Edizioni.

allora, quando circa un centinaio di studenti si sono presentati per seguire un corso pensato per una decina di persone. Non solo; non erano nemmeno il tipo di studenti che ci aspettavamo. Erano tanto artisti e architetti quanto ingegneri, e dicevano cose del tipo: «Tutta la vita ho aspettato di partecipare ad un corso come questo», oppure «Farei qualsiasi cosa per far parte di questo corso». Quindi chiedevano discretamente: «Sembra essere troppo utile per un posto come il MIT; ha veramente il permesso di insegnarlo qui?». L'irresistibile interesse da parte di studenti relativamente poco esperti in campo tecnologico (per il MIT) è stata solo la prima delle sorprese. La successiva è stata la ragione per cui volevano partecipare al corso. Nessuno lo stava facendo per le proprie ricerche. Erano, invece, motivati dal desiderio di costruire le cose che da sempre avrebbero voluto, ma che non esistevano nella realtà. Queste andavano dal pratico (una sveglia con cui bisogna lottare per spegnerla) al fantasioso (un browser internet per pappagalli) al profondamente eccentrico (uno spazio personale portatile per urlare). La loro ispirazione non era professionale: era personale. Lo scopo non era di pubblicare un articolo, richiedere un brevetto o mettere un prodotto sul mercato. La loro motivazione era il puro piacere personale di creare e utilizzare le proprie invenzioni. La terza sorpresa è che questi studenti riuscivano a finire il corso con successo. Partendo con abilità molto più adatte alle arti e ai mestieri che non all'ingegneria avanzata, riuscivano da soli a progettare sistemi funzionanti completi. Il che implica sia una competenza sulla parte fisica (padronanza di strumenti, collegati e controllati da un computer, che producono strutture tridimensionali aggiungendo o togliendo materiale) sia la funzione logica (progettando e costruendo circuiti contenenti chip di computer che si interfacciano con dispositivi di input-output). In un contesto industriale questi compiti sono distribuiti su interi team di persone che concepiscono, progettano e costruiscono un oggetto. Nessun membro di un tale team potrebbe fare tutto questo, e se potesse, comunque non lo farebbe: è difficile che la 'tecnologia personale per gridare' emerga come un piano di prodotto da una riunione di marketing (anche se i partecipanti potrebbero segretamente desiderarla)<sup>5</sup>.

Di seguito sono riportati dei passaggi della trascrizione di un video di un intervento di Neil Gershenfeld al TED nel febbraio 2006, in cui esprime esaurientemente il suo pensiero sulla rivoluzione digitale e sulla nascita dei FabLab.

*«Anno dopo anno ho finalmente capito che gli studenti hanno dimostrato che le applicazioni vincenti della 'personal fabrication' sono i prodotti per un mercato di una persona sola.*

5 Gershenfeld N. (2005).

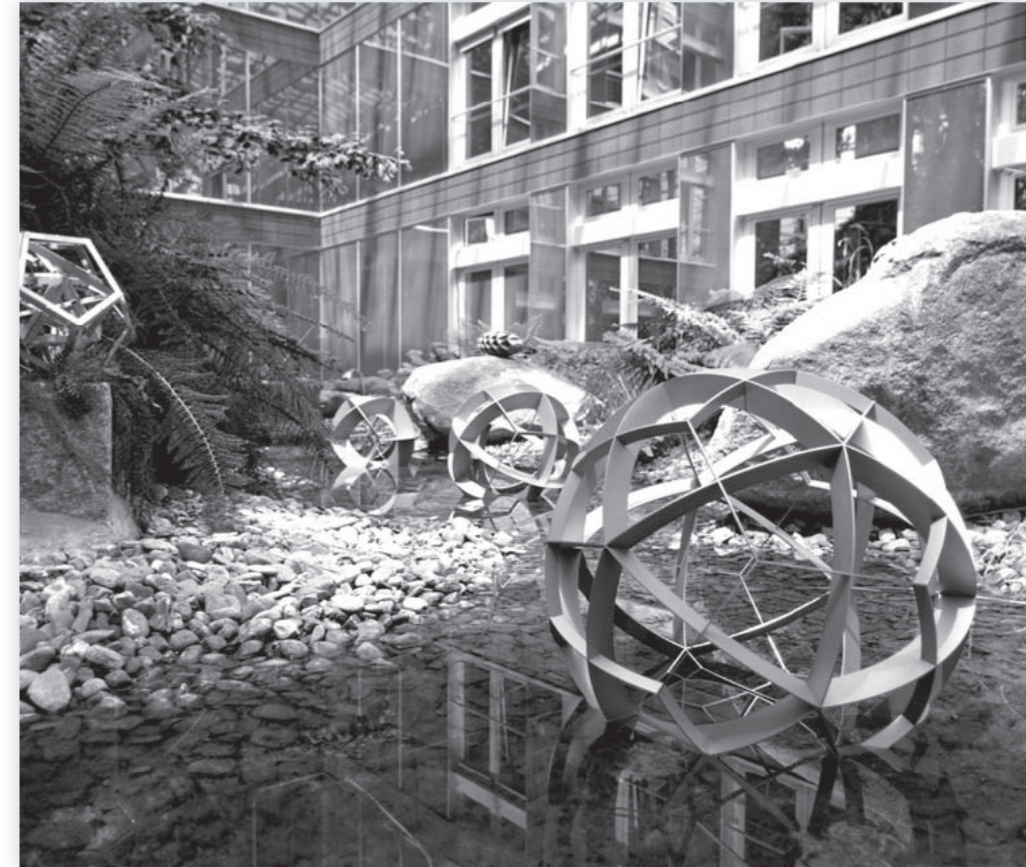


Fig.50 Oggetti tagliati laser e stampati 3D da Oliver Niewiadomski al Fab Digitalgardens in Bremen, Germania. Fonte: fotografia di Justus Holzberger).

*Non c'è bisogno di tutto questo per quel che si può comprare al Wal-Mart; ne avete bisogno per quel che vi rende unici. Non c'è bisogno della "personal fabrication" a casa per comprare quel che si può comprare solo perché lo si può comprare. Ce n'è bisogno per quel che ti rende unico, come la personalizzazione. Il messaggio che arriva dai Fab Labs è che gli altri 5 miliardi di persone sul pianeta non sono solo ricettori di tecnologia; sono sorgenti. La vera opportunità è imbrigliare il potenziale inventivo del mondo per progettare e produrre soluzioni a problemi locali<sup>6</sup>.*

Dieci anni dopo l'apertura al Mit del primo FabLab esistono più di 120 FabLab in tutto il mondo.

6 Il TED-Ideas worth spreading è un'organizzazione fondata nel 1996 da Chris Anderson per la valorizzazione e la diffusione di idee innovative; il video è visibile e liberamente scaricabile al link [http://www.ted.com/talks/lang/it/neil\\_gershenfeld\\_on\\_fab\\_labs.html](http://www.ted.com/talks/lang/it/neil_gershenfeld_on_fab_labs.html); la trascrizione è a cura di Giuseppe Cima e Massimo Granzotto.

In Italia il capofila del progetto è Massimo Banzi, ma è stato sostenuto fin dall'inizio da numerosi esponenti della comunità scientifica ed anche dai media.

Nel marzo del 2011 viene aperto uno laboratorio provvisorio a Torino in una delle mostre celebrative dei 150 anni dell'Unità d'Italia, Stazione Futuro, e questa installazione, con una piccola stampante 3D e una tagliatrice laser, divenne meta di un pellegrinaggio quotidiano di curiosi. Nel febbraio del 2012, sempre a Torino, apre, grazie al co-working Toolbox, il primo FabLab, Officine Arduino, un omaggio al mini computer inventato ad Ivrea e diventato uno strumento indispensabile dei makers di tutto il mondo. Banzi evidenzia che il modello di business delle Officine Arduino è *"incentrato sul fare ricerca e sviluppo a livello locale in maniera 'aperta', così da dare voce alle realtà diffuse sul territorio."*

La comunità italiana dei cosiddetti 'fabbers' (o makers) cresce a vista d'occhio grazie ai FabLab esistenti e quelli in procinto di apertura.

La rivista Wired ha recensito e stilato un elenco dei FabLab presenti in Italia.

Oltre ai luoghi dove stampare fisicamente gli oggetti, vengono promosse iniziative per sostenere questo movimento rivoluzionario dell'artigianato manifatturiero. Workshop e convegni sono ormai all'ordine del giorno e servono a promuovere la cultura dei FabLab in tutta Italia.

La particolarità di queste officine è che non sono solo botteghe artigianali 2.0, ma spazi open source dove condividere le conoscenze e fare rete tra professionisti.

In tal senso si è già creata una vasta rete in tutto il mondo: i FabLabs sono collegati a livello globale, sono laboratori aperti, dove le persone possono incontrarsi, collaborare, interagire e scambiare idee, macchine, utensili, materiali e software con lo scopo comune di creare oggetti personalizzati e progettati in digitale (da zero) facilmente e in modo economico.

Questo sta avvenendo grazie anche ai social media come Facebook, dove gruppi come *'Fabber in Italia'* raccolgono idee, testimonianze e suggerimenti di moltissimi makers (italiani e non solo) sui temi della produzione p2p alternativa, il DIY, la Maker culture, il Fabbing, gli Hackerspace, i Fablabs, l'openHW, l'openWear e molto altro.

C'è anche chi, lanciando una provocazione, afferma che *"l'Italia sarà una Repubblica fondata sui FabLab"*: Andrea Dainelli definisce questi come spazi in cui tutti possono (co)progettare e realizzare i loro oggetti, esattamente come li vogliono; il calo dei prezzi degli strumenti che permettono la personal fabrication rende possibile la diffusione della filosofia DIY e lo sviluppo di questi spazi.

Dainelli considera il movimento della personal fabrication 'figlio dell'industria', da cui

ha preso la precisione e la riproducibilità dei prodotti, 'nipote dell'artigianato', da cui ha preso la progettazione su misura e 'fratello dell'Open Source' con cui condivide la filosofia di scambiarsi progetti liberamente. La parola d'ordine è condivisione e il conseguente scambio di conoscenze permetterà un nuovo slancio occupazionale al settore manifatturiero tramite la nuova offerta di prodotti hi-tech low-cost garantita da nuove piccole unità produttive; inoltre, oltre all'aspetto produttivo, il capitale umano a contatto con tali conoscenze ne può risultare arricchito e stimolato in termini di innovazione e competenze scientifiche, capacità da abbinare a quelle storicamente riconosciute agli italiani: artigianato di elevatissima qualità, design, gusto e passione per le nuove tecnologie. Il luogo, il sistema che sarà protagonista di questo futuro è stato individuato nel Fab Lab, definito dal suo ideatore come insieme di macchine.



# Seconda Parte

## FDM Design Tool Kit





# 5

## Perché un Tool Kit

• Nella produzione industriale vengono utilizzati molti processi o metodi di produzione diversi. Per essere in grado di selezionare la sequenza di fabbricazione di un prodotto tecnicamente ed economicamente migliore, è necessario avere un'ampia conoscenza delle possibilità e limitazioni dei vari processi di fabbricazione ivi compresi materiali di lavoro utilizzati, geometrie, finiture superficiali, tolleranze richieste, ecc.

• La scienza mette in luce nuove possibilità tecnologiche che consentono lo sviluppo di nuovi materiali e processi. Questi, a loro volta, stimolano l'ideazione di nuovi concept per il design di



prodotto<sup>1</sup>.  
 La maggior parte dei progettisti e degli artigiani si è sempre posta con atteggiamento sperimentale nei confronti delle tecnologie di trasformazione dei materiali, sempre alla ricerca di qualcosa di nuovo e di quella soluzione che potesse soddisfare le richieste del progetto. **La sperimentazione con i materiali e le tecnologie è insita nella natura stessa dell'uomo, che da sempre ha cercato idee nuove per piegare la materia alle sue necessità, sia fisiche che estetiche<sup>2</sup>.**

L'arrivo di una nuova tecnologia può implicare il cambiamento di alcuni paradigmi. Questo è il caso della stampa 3D low cost: nella Prima parte della tesi si è parlato appunto di Terza Rivoluzione Industriale.

Che cosa questo implica nella pratica del design?

Non lo si può ancora dire con chiarezza; il fenomeno è troppo recente e in continua evoluzione per dare delle definizioni certe.

E' però impossibile non notare che si sono create nuove relazioni nel sistema di progettazione e creazione dei prodotti.

**Il carattere 'personal' di queste stampanti permette un rapporto diretto con il designer,** rapporto che diventa simile a quello dell'artigianato che con le classiche tecnologie industriali avviene in modo più difficoltoso: nel sistema tradizionale le informazioni relative all'utente e alle tecnologie sono veicolate dall'azienda.

Consapevoli che si sta proponendo una semplificazione che meriterebbe un adeguato approfondimento, si possono ipotizzare due realtà (nel Graf.4 è possibile vedere i due nuovi modelli a confronto):

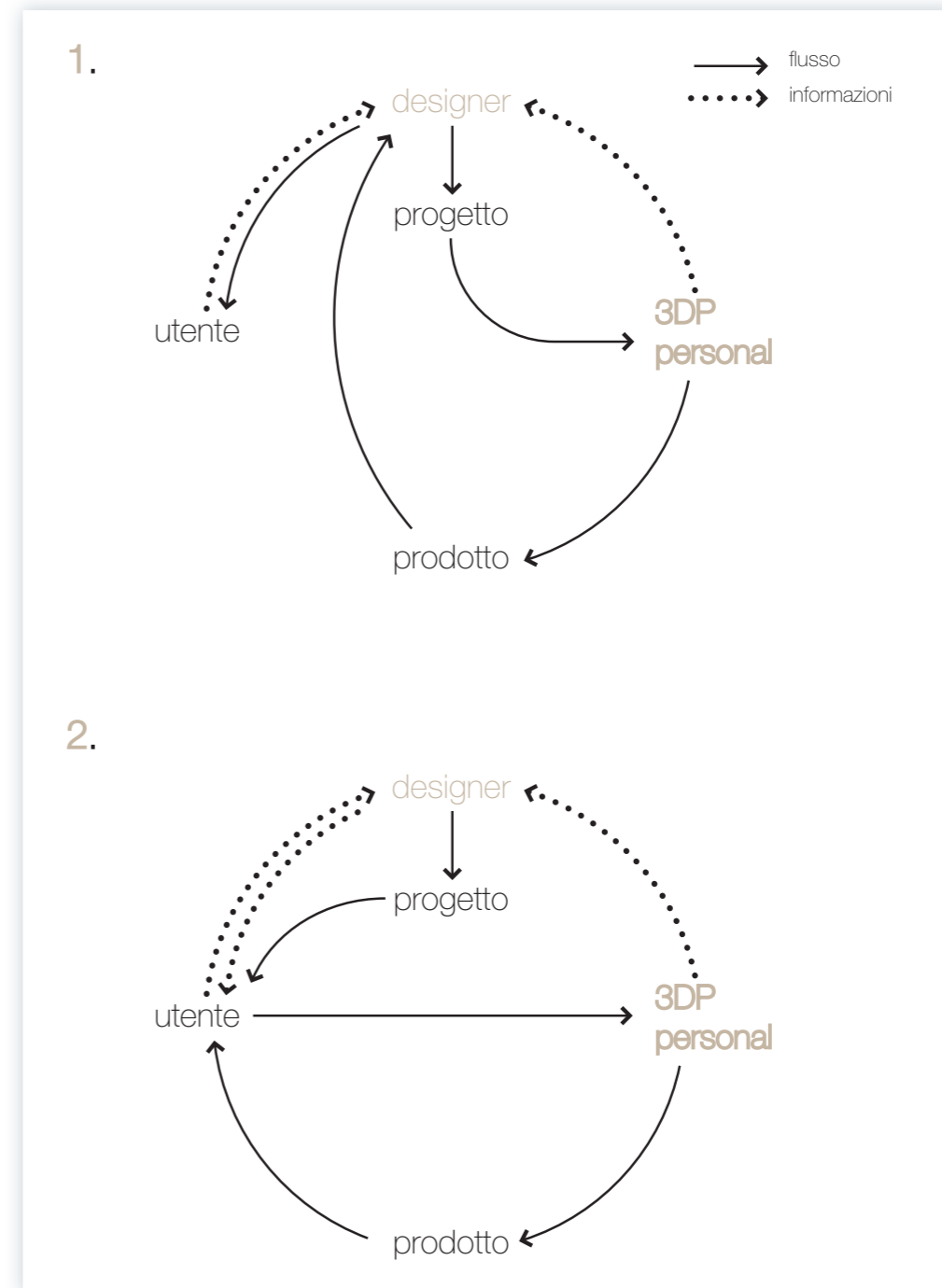
1. il designer realizza in prima persona l'oggetto che può essere personalizzato per ogni singolo utente o realizzato in piccola serie (modello artigianale);
2. il designer progetta l'oggetto e fornisce le specifiche necessarie all'utente che provvederà alla stampa.

Nello schema la stampa viene eseguita in ambito 'personal'; è però possibile che questa avvenga tramite un service.

Si sottolinea come, in questi nuovi paradigmi, il designer e l'utente possano, a volte, coincidere nella figura del Maker.

1 Ashby M., Johnson K. (2005), Materiali e Design. L'arte e la scienza della selezione dei materiali per il progetto, Casa Editrice Ambrosiana.

2 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano



Graf. 4 I  
 nuovi modelli  
 designer-uten-  
 te-tecnologia.



**Ora più che mai il designer non può limitarsi a essere progettista ma deve anche essere un tecnico e saper padroneggiare a pieno il processo produttivo.**

Risulta fondamentale quindi creare dei parametri che orientino i progettisti nell'utilizzo di questa tecnologia.

Lo scopo di questa tesi è quello di fornire le basi, tramite la tassonomia, per la creazione di un Tool Kit che possa fare luce sulle possibilità, sia tecnologiche che progettuali, della tecnologia FDM low cost.

Si può avere una doppia lettura di questo strumento:

1. **COSA** è possibile fare con la tecnologia (spunti progettuali);
2. **COME** ottenere gli elementi progettati.

### L'impronta dei processi

Nel contesto della realizzazione di uno strumento di questo tipo è importante sottolineare il ruolo delle tecnologie nella caratterizzazione delle superfici degli oggetti.

Per dare forma a un materiale è necessario un processo di trasformazione mediante il quale è possibile realizzare forme e giunzioni, ottenere texture, finiture o rivestimenti sia protettivi che decorativi.

Come un materiale è stato lavorato e quali tecnologie di lavorazione sono state usate, ha un ruolo importante nell'attribuzione di significato. Infatti, **i processi di trasformazione agiscono direttamente sulle qualità percepite del materiale come la sua superficie, il suo peso e via dicendo.**

La tecnologia definisce l'artefatto poiché da essa dipende non solo la forma ma anche l'apparenza del materiale stesso. Questo è particolarmente vero nella stampa FDM in cui l'estetica dell'oggetto è strettamente legata alla costruzione "a strati" tipica della tecnologia.

I processi di trasformazione influenzano l'ergonomia, l'estetica e la percezione sia dei prodotti che dei materiali con cui i prodotti sono realizzati. Essi determinano le forme, diverse a seconda del tipo di processo<sup>3</sup>.

Come risultato di questo, un materiale è *"come un attore, può assumere molte personalità diverse a seconda del ruolo che è chiamato a svolgere"*<sup>4</sup>.

*"Oggi, il processo della manipolazione tecnologica consente [...] di mutare anche le*

3 Ashby M., Johnson K. (2005).

4 Ashby M., Johnson K. (2005).

*proprietà intrinseche e le qualità sensibili che identificano la natura di un materiale a livello della nostra esperienza percettiva. [...] Su uno stesso supporto possono ormai originarsi molteplicità di dimensioni materiche e percettive che rendono vano ogni sforzo di stabilire univoche correlazioni fra le caratteristiche della struttura fisico-chimica e l'insieme delle qualità sensibili in cui essa si manifesta. [...] La materia cessa, in altri termini, di configurarsi come un complesso stabile di prestazioni e di dati fenomenici. Le accresciute potenzialità di manipolazione tecnologica la pongono nello stato di un continuum di possibilità, di un insieme virtuale di proprietà e qualità percettibili, che non sono i vincoli di natura tecnica e produttiva a definire, ma le scelte estetiche e culturali che il progettista compie"*<sup>5</sup>.

Se l'evoluzione tecnologica da una parte ha portato ad uno smarrimento della natura percepita della materia, dall'altra però permette al progettista di modellare e trasmettere le qualità materiche, di re-impadronirsi della dimensione culturale, sensoriale e comunicativa della materia attraverso il controllo dei processi di lavorazione.

Elvin Karana sottolinea che in letteratura le proprietà sensoriali dei materiali e i processi di produzione sono riconosciuti come i fattori più importanti che influenzano i designer nella selezione dei materiali<sup>6</sup>.

Gli utenti percepiscono l'effetto della tecnologia sulla materia con l'aiuto delle caratteristiche sensoriali (ad esempio spessori di parete, linee di stampo, texture, ecc). I processi di fabbricazione possono essere quindi utilizzati per creare esperienze sensoriali e cambiare l'impressione globale dei prodotti<sup>7</sup>.

**Una corretta progettazione avviene prendendo in considerazione le caratteristiche espressivo-sensoriali che si vogliono attribuire al manufatto e progettandole grazie alla conoscenza e il controllo degli strumenti tecnologici<sup>8</sup>.**

5 Petrillo A. (1989), Il progetto della materia, in Otagono, n.89, p.62.

6 Karana E. (2010), How do materials obtain their meanings?, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 271-285.

7 Karana E., Hekkert P., Kandachar P., (2008), "Meaning of materials through sensorial properties and manufacturing processes", in Materials and Design, vol. 90, n. 7, pp. 2778-2784.

8 Rognoli V., Levi M. (2004), Materiali per il design: espressività e sensorialità, Polipress, Milano.

# 6

## Tassonomia

La tassonomia (dal greco  $\tau\alpha\acute{\xi}\iota\varsigma$ , taxis, 'ordinamento', e  $\nu\omicron\mu\omicron\varsigma$ , nomos, 'norma' o 'regola') è, nel suo significato più generale, la disciplina della classificazione<sup>1</sup>.

L'intento di questo capitolo è quello di inquadrare la tecnologia FDM all'interno del mondo dei processi produttivi, definendone gli elementi e il ruolo nella disciplina del design. Come vedremo, fare ciò non è semplice. Esistono diversi approcci e gli elementi da considerare sono numerosi. Approfondire ogni aspetto sarebbe, in questa sede, impossibile. Si evidenziano quindi gli aspetti chiave e se ne propone una possibile organizzazione per una futura analisi.

<sup>1</sup> <http://it.wikipedia.org/wiki/Tassonomia>



## 6.1 Tassonomia del processo

Nell'ingegneria, per processo di produzione industriale (o processo produttivo) si intende una delle fasi della produzione di un prodotto, generalmente composto da più stadi, attraverso i quali questo prende forma<sup>2</sup>.

Il termine processo può in generale essere definito come un cambiamento nelle proprietà di un oggetto, compresi geometria, durezza, stato e così via.

Per comprendere a fondo le caratteristiche di una tecnologia è indispensabile conoscerne gli elementi in gioco e come questi intervengono all'interno del processo.

### Il modello morfologico

Per produrre qualsiasi cambiamento nelle proprietà, tre agenti essenziali devono essere disponibili: materiale, energia ed informazioni. A questi devono essere aggiunti tempo e capitale.

Tra tutte le attività aziendali, quelle che riguardano direttamente o indirettamente la trasformazione delle risorse, che entrano (*input*), in prodotti finiti, che escono (*output*), vengono definite come attività di produzione.

Grazie alla combinazione di questi elementi si ottiene il modello morfologico<sup>3</sup> da cui si possono dedurre tutti i processi produttivi.

**Tutti i processi di produzione possono essere infatti descritti da un modello morfologico generale costituito dai tre elementi fondamentali (materia, energia e informazioni) che creano i sistemi di flusso.**

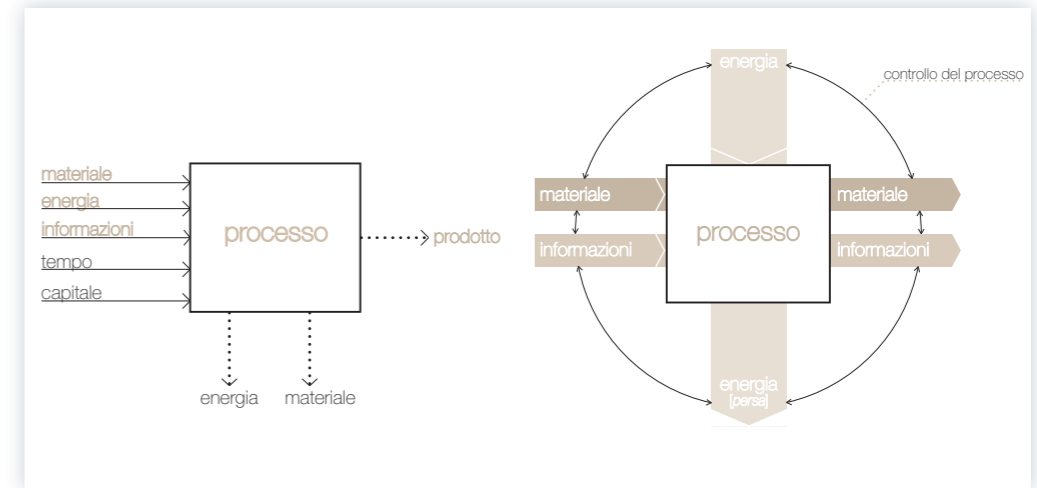
I sistemi di flusso sono:

- flusso di materiale: stato del materiale (e tipologia), processo base e tipo di processo;
- flusso di energia: approvvigionamento energetico e mezzo di trasferimento dell'utensile/stampo; caratteristiche energetiche e tipo di energia delle attrezzature.
- flusso di informazioni: criteri di creazione della superficie e schema della movimentazione del materiale e dell'utensile/stampo.

Ognuno di questi elementi può avere 'valori' diversi, come mostrato nella Fig.51. Sce-

<sup>2</sup> [http://it.wikipedia.org/wiki/Processo\\_di\\_produzione\\_industriale](http://it.wikipedia.org/wiki/Processo_di_produzione_industriale)

<sup>3</sup> Altling L. (1993), Manufacturing engineering process, Marcel Dekker.



Graf.5 Il modello generale e i sistemi di flusso che interagiscono nel processo.

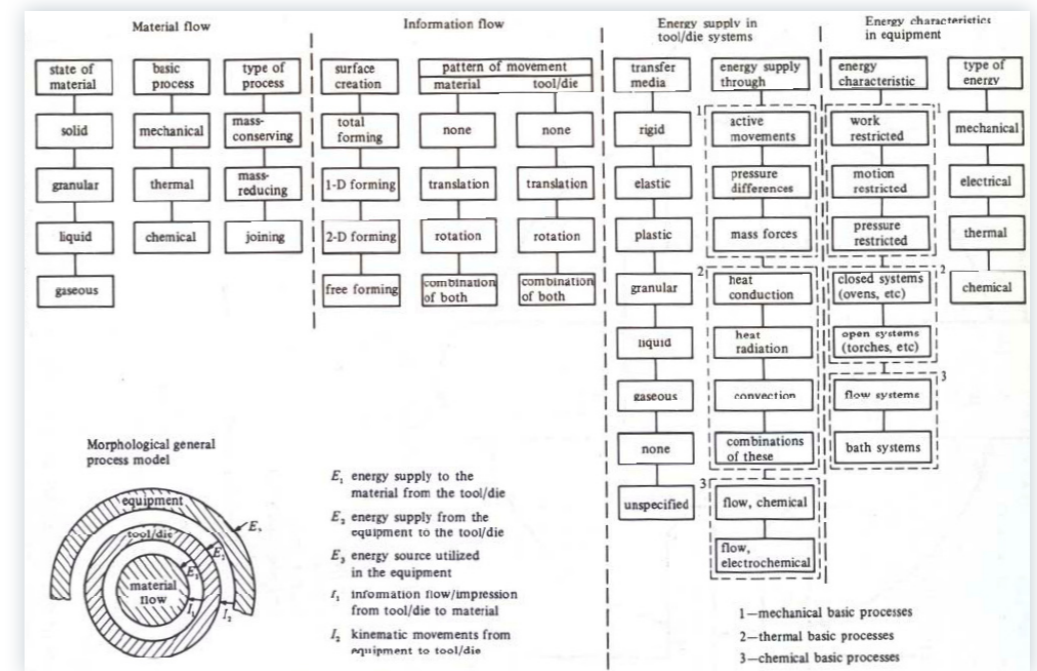
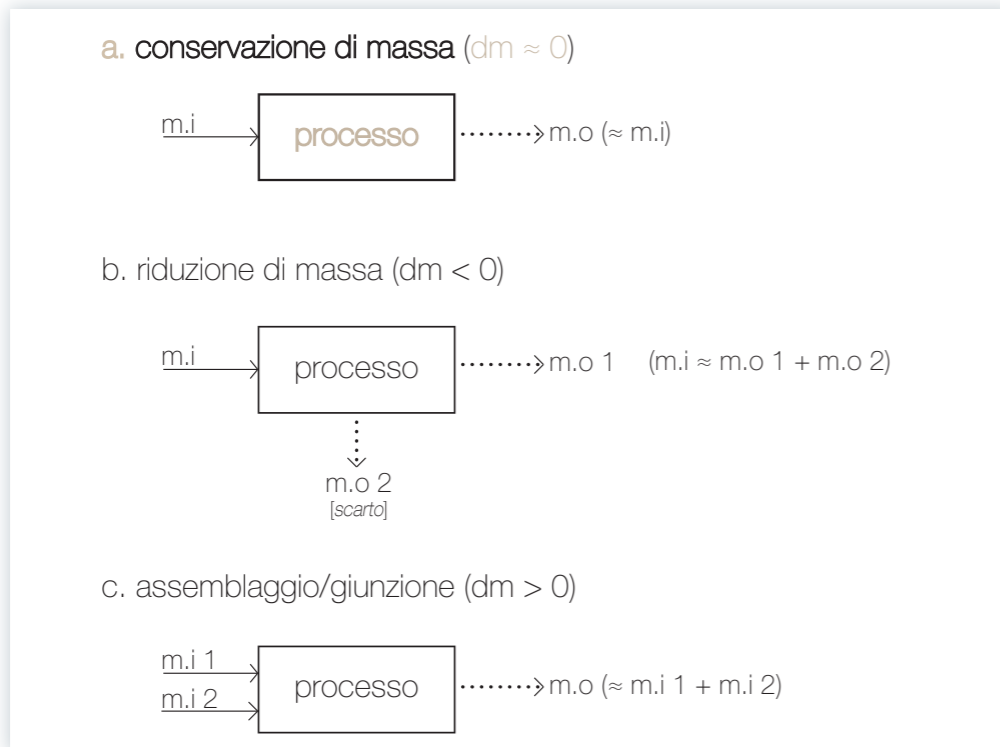


Fig.51 Modello morfologico dei processi. Fonte: 'Manufacturing engineering processes' di Altling L.



Graf.6 I tre principali tipi di flusso di materiale. 'm' indica il materiale, 'i' input e 'o' output. I numeri 1 e 2 indicano i diversi materiali coinvolti.



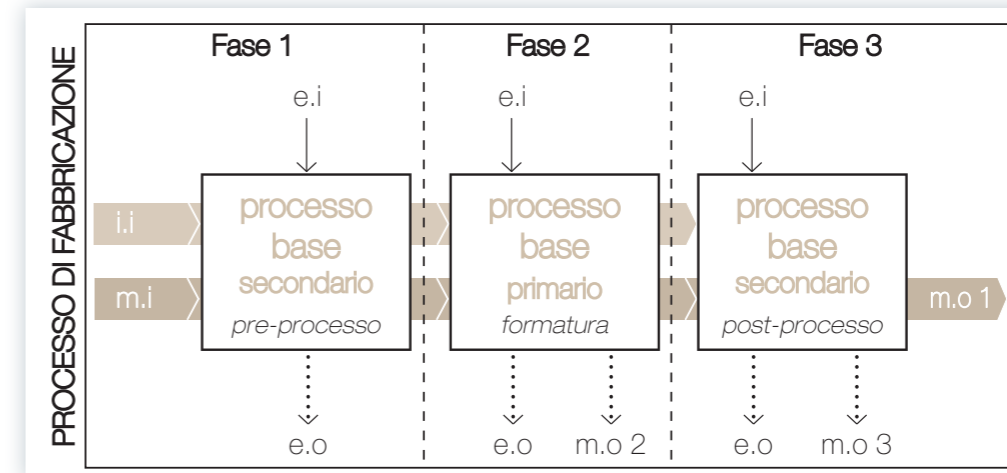
gliando un valore di ogni colonna si ottiene la base fondamentale di un processo. Alcune combinazioni sono fisicamente impossibili ma, in generale, il modello contiene tutti gli ingredienti di base necessari per stabilire un processo.

Le tipologie principali di processo, come nel Graf.6, sono tre:

- Through flow, corrispondente ai processi di conservazione di massa (il peso del componente è uguale o strettamente uguale alla massa del materiale originario);
- Diverging flow, corrispondente a processi di riduzione di massa (il peso del componente è minore della massa del materiale originario);
- Converging flow, corrispondente al montaggio o ai processi di giunzione (la geometria finale si ottiene unendo i diversi componenti).

**Le tecnologie di stampa 3D sono classificate come processi di conservazione di massa.**

Graf.7 Processi base che costituiscono un processo di fabbricazione.



Per processi base si intendono quei processi che creano variazioni della geometria e/o delle proprietà dei materiali. I processi base sono caratterizzati dalla natura della loro interazione con il materiale.

Un processo di fabbricazione è normalmente costituito da una serie di processi base, che costituiscono la struttura del flusso di materiale.

Possono essere di tre tipologie principali: meccanico, termico o chimico. Ciascuna di queste categorie è caratterizzata dalla natura dell'interazione con il materiale di lavoro.

Ogni serie di processi base può essere suddivisa in tre fasi tipiche:

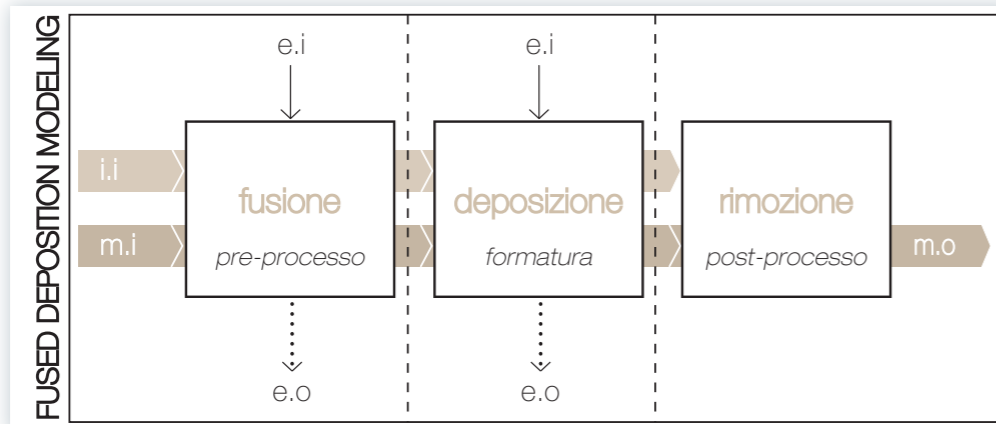
- Fase 1: processi base che portano il materiale in un stato adatto di geometria e/o proprietà (riscaldamento, fusione, taglio, ecc);
- Fase 2: cambiamento primario di geometria e/o proprietà (creano la geometria e/o la variazione di proprietà desiderata);
- Fase 3: porta il componente nello stato finale specificato (solidificazione, raffreddamento, sbavatura, ecc).

I processi base della Fase 2 sono definiti come primari mentre quelli della Fase 1 e della Fase 3 vengono detti secondari.

Nel caso della tecnologia FDM queste fasi sono identificate come mostrato nel Graf.7.

Formare dal materiale allo stato liquido include le seguenti fasi che corrispondono ai

Graf.8 Processi base della tecnologia FDM.



diversi processi base:

1. fusione;
2. formatura (creazione della forma);
3. solidificazione (stabilizzazione della forma) e lavorazioni finali.

Formare dallo stato liquido richiede innanzitutto una proprietà fondamentale del materiale: che possa essere fuso. Questo dipende dalla temperatura di fusione (legata principalmente alla composizione chimica del materiale) e dai requisiti degli apparecchi di riscaldamento (il punto di fusione del materiale non deve essere superiore alla temperatura raggiungibile dall'elemento riscaldante).

### 6.1.1 Classificazione

La classificazione dei processi è più complessa rispetto a quella dei materiali. I materiali possono infatti essere classificati sulla base delle conoscenze scientifiche della natura del legame chimico e del comportamento di atomi e molecole, mentre i processi sono stati progettati dall'uomo.

L'approccio migliore, anche se non privo di ambiguità, è **classificare i processi a seconda dello scopo per il quale vengono utilizzati**<sup>4</sup>.

Nel Graf.9 viene riportata una schematizzazione dei processi in base al loro utilizzo nella tecnica del design. Si presenta come un diagramma di flusso: una progressione attraverso il processo di produzione. Va specificato che l'ordine delle varie fasi può essere

4 Ashby M., Johnson K. (2005), Materiali e Design. L'arte e la scienza della selezione dei materiali per il progetto, Casa Editrice Ambrosiana.

Graf.9 Le famiglie dei processi di fabbricazione.



cambiato per assecondare le esigenze del progetto. Essa puntualizza che una prima suddivisione è basata sulle famiglie forma, giunzione e superficie.

Le famiglie si suddividono poi in classi e tipologie.

I criteri utilizzati per raggruppare i diversi processi sono di tipo ingegneristico. Questa classificazione maggiormente tecnica, risulta utile ai fini descrittivi.

Le tecnologie di Additive Manufacturing rientrano nella famiglia della formatura.

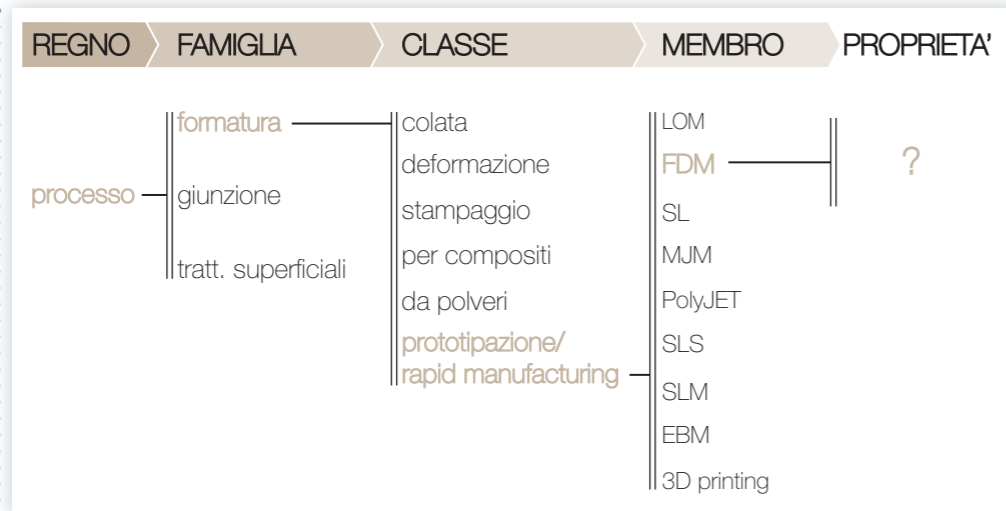
Considerando i processi di formatura, la prima domanda da porsi è: *“Come posso dare forma a questo materiale?”*<sup>5</sup>.

Le tecnologie che permettono di conferire una forma sono suddivise in classi, ognuna delle quali presenta più tipologie organizzate, per quanto possibile, in funzione delle famiglie di materiali alle quali possono essere applicate e considerando le similitudini tra i diversi processi.

Ogni processo è individuato da un insieme di caratteristiche che definisce le peculiarità di ogni tipologia: i materiali che può trattare, i dettagli della forma che si può realizzare, i vincoli imposti dalle dimensioni, la precisione dimensionale, la complessità, la finitura

5 Ashby M., Johnson K. (2005).

Graf.10 Tassonomia della tecnologia FDM.



superficiale, il costo associato e così via dicendo.

Ad oggi è possibile trovare solo parzialmente le proprietà della stampa FDM low cost e le informazioni non sono sufficientemente organizzate. Nel capitolo successivo se ne propone una classificazione.

### 6.1.2 Proposta per una definizione delle proprietà

Le informazioni e i dati necessari a definire le proprietà di questa tecnologia sono numerosi e di diversa natura.

In questa tesi si suggerisce un approccio che si basa sulla gestione degli elementi che definiscono le proprietà secondo due gruppi:

1. proprietà prettamente tecniche (definite **engineering**);
2. proprietà legate alla progettazione (definite di **design**).

Il Graf.11 riporta le connessioni che intercorrono tra gli elementi dei due gruppi e tra elementi appartenenti allo stesso gruppo.

L'elevato numero di collegamenti rende complessa la lettura dello schema. Si è consapevoli di questo e lo scopo è proprio quello di esprimere, anche graficamente, la complessità delle relazioni.

Si noti che, nonostante la già evidente complessità, lo schema non può essere con-

siderato come concluso. Le connessioni presentate sono infatti frutto dell'esperienza personale; durante un futuro completamento del Tool Kit qui presentato, si potranno scoprire non solo nuove connessioni ma anche nuovi elementi che compongono i due gruppi delle proprietà. Ciò sarà possibile sia grazie all'approfondimento della ricerca che per lo sviluppo della tecnologia.

E' necessario sviluppare:

- l'analisi del ruolo dei singoli elementi;
- le interazioni tra le proprietà per capire come queste avvengono e poterle controllare.

Nella Terza parte della tesi, dedicata alla sperimentazione, si è scelto di analizzare uno degli aspetti dello schema: quello delle connessioni tra le qualità sensoestetiche dei materiali con gli altri elementi del processo.

Di seguito gli elementi che compongono i due gruppi. Quelli prettamente legati alla stampante sono già stati analizzati nella Prima parte.

### Engineering

#### Materiali

Non è possibile considerare separatamente i materiali e i processi produttivi. Negli ultimi due decenni ha avuto luogo un rapido sviluppo di materiali per l'ingegneria creando un gran numero di materiali disponibili in commercio con un ampio spettro di proprietà.

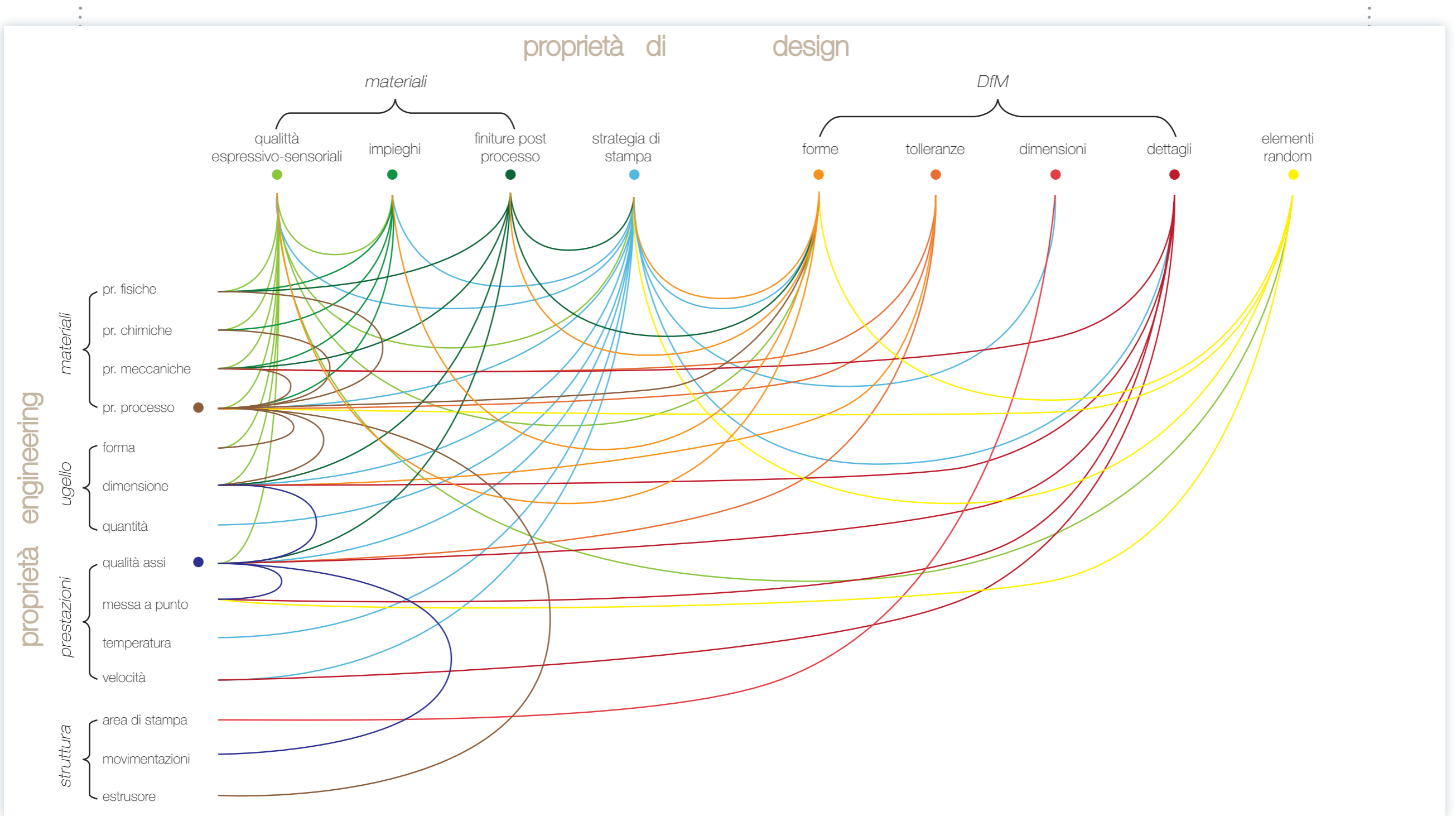
La scelta del materiale non si può basare solo sulle proprietà fisiche, chimiche, e proprietà meccaniche ma anche sulle proprietà tecnologiche, che descrivono l'idoneità di un materiale per un particolare processo di fabbricazione.

E' molto difficile stabilire esattamente quali proprietà o, più correttamente, quale combinazione di proprietà un materiale deve possedere per essere destinato ad un dato processo. E' possibile però individuare alcune proprietà o caratteristiche dominanti che qualsiasi materiale deve avere per essere elaborato da un gruppo di processi o da un processo specifico.

E' necessario considerare non solo l'idoneità del materiale ma anche gli effetti dei processi sulle proprietà del materiale e l'economia delle varie combinazioni di materiali con il processo. Una selezione soddisfacente può essere fatta solo considerando questi rapporti. Ciò significa che non è sufficiente scegliere il materiale più economico che

Graf.11 Nella pagina successiva: mappa delle relazioni tra le proprietà.





soddisfi le funzioni desiderate perché può risultare molto costoso da elaborare<sup>6</sup>.

Riassumendo le proprietà di un materiale possono essere divise in:

1. proprietà fisiche: colore, densità, temperature caratteristiche, conduttività termica, espansione termica, conduttività elettrica, proprietà magnetiche, proprietà ottiche;
2. proprietà chimiche: ossidazione, corrosione e degrado che definiscono la durabilità del materiale;
3. proprietà meccaniche: comportamento meccanico ossia rigidità, resistenza, tenacità e deformabilità;
4. proprietà tecnologiche o di processo.

Si noti che i processi normalmente modificano alcune proprietà, generalmente meccaniche e fisiche, con risultati che possono essere sia vantaggiosi che dannosi. Queste proprietà devono essere considerate sia pre che post processo per averne una corretta panoramica.

Come detto, le proprietà tecnologiche, che descrivono l'idoneità del materiale per un particolare processo, sono molto complesse e non possono essere generalmente valutate da un numero unico. Per la stampa FDM se ne suggeriscono alcuni parametri:

- temperatura di estrusione;
- struttura estrusore;
- ritiri;
- cristallizzazione dopo estrusione;
- adesione tra layer;
- adesione al piatto di stampa;
- velocità;
- possibili finiture superficiali post-processo.

### **Ugello**

Si deve considerare:

1. la forma;

<sup>6</sup> Alting L. (1993).

2. la dimensione del foro di uscita del materiale;
3. la quantità (nel caso in cui la stampante abbia più estrusori).

### **Prestazioni**

Le prestazioni delle stampanti variano a seconda del modello della stampante. Diversi sono i fattori che influiscono sulle prestazioni:

1. qualità degli assi: passo minimo dell'altezza layer e precisione degli spostamenti lungo gli assi x e y;
2. messa a punto: la gestione delle componenti meccaniche può influire molto sulla qualità di stampa.
3. temperatura massima che la testa di estrusione può raggiungere: con temperature elevate è possibile stampare materiali con un punto di fusione maggiore.
4. velocità: più correttamente velocità massima che la stampante riesce a raggiungere senza essere soggetta a vibrazioni tali da influire sulla stampa.

### **Struttura**

Nonostante il principio di funzionamento sia sempre lo stesso, i diversi modelli di stampanti possono essere molto diversi per:

1. area di stampa;
2. movimentazioni: gestione degli spostamenti degli assi;
3. tipo di estrusore: con cavo bowden o diretto. Definisce la possibilità di stampare materiali elastomerici.

### **Design**

#### **Materiali**

Come visto nelle proprietà engineering, i materiali sono un elemento fondamentale quando si considera una tecnologia. Acquisiscono ancora più importanza se si prende in considerazione l'aspetto progettuale.

I principali aspetti materici da considerare sono:

1. le proprietà espressivo-sensoriali: a questo aspetto verrà dedicata la Terza parte di questa tesi;
2. i possibili impieghi (i.e. strutturali, elementi flessibili, ecc.);

- 3. la possibilità di effettuare finiture post-processo: Federico Riva ha sviluppato una tesi su questo argomento<sup>7</sup> all'interno del laboratorio +LAB.

**Strategia di stampa**

La gestione dei parametri di stampa è un elemento che influenza in modo significativo il risultato della stampa.

**Design for Manufacturing**

Questo aspetto è quello attualmente studiato in modo più approfondito: in letteratura è possibile trovare diverse linee guida. Nella Prima parte della tesi è possibile trovare le principali regole. Gli aspetti primari sono:

1. forme ottenibili;
2. tolleranze;
3. dimensioni minime e massime stampabili;
4. qualità dei dettagli.

**Elementi random**

Questa tecnologia presenta alcuni aspetti che possono essere considerati random: è possibile prevederli ma non controllarli.

Nel prossimo paragrafo si vedrà come questi possano essere sfruttati dal punto di vista progettuale.

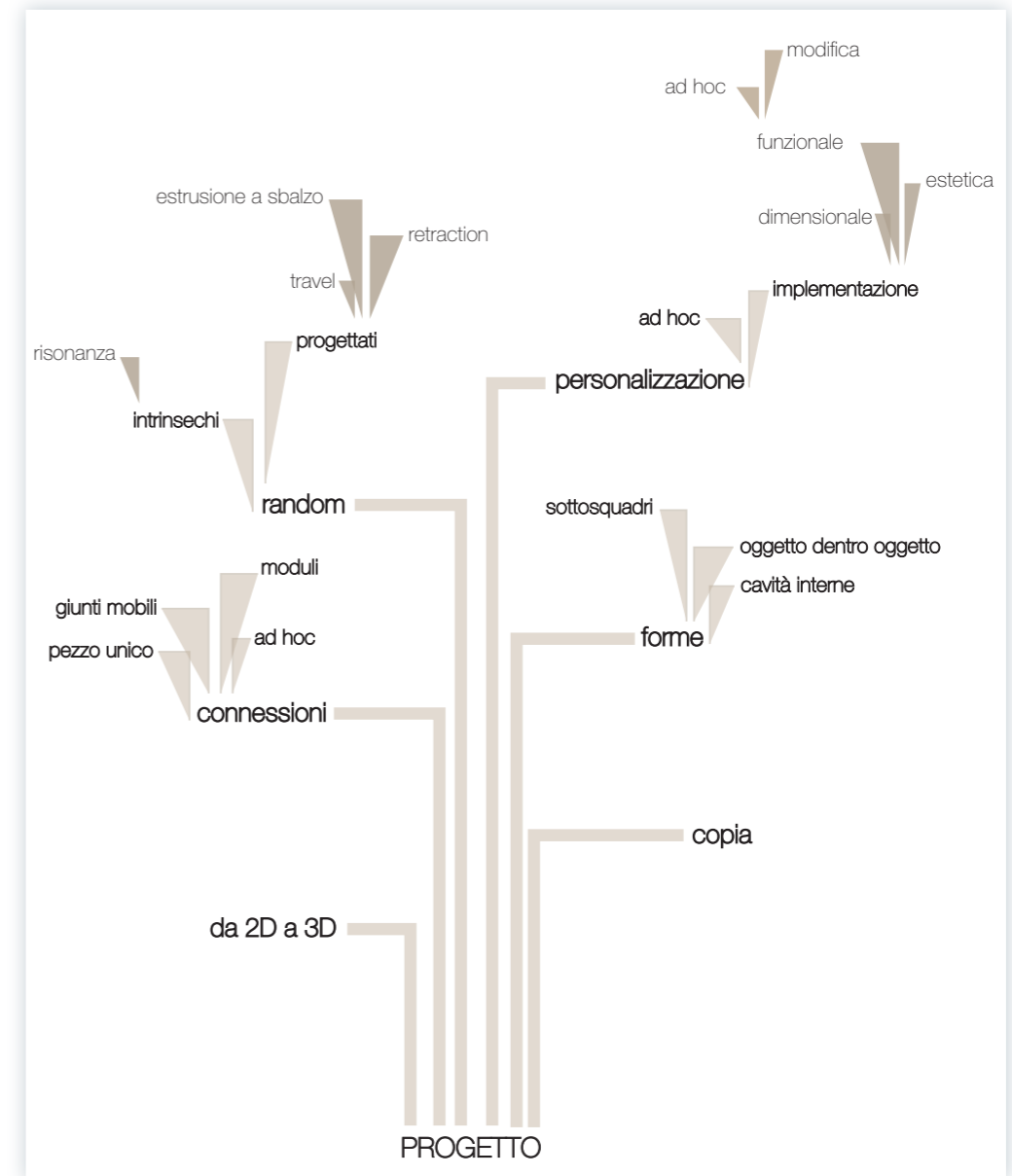
## 6.2 Tassonomia progettuale

Lo scopo di questa tassonomia progettuale è di evidenziare le possibilità della tecnologia nell'ambito del design.

Sono stati individuati sei aspetti principali:

- connessioni;
- elementi random;
- personalizzazione;

<sup>7</sup> Riva F. (2014), Superfici in attesa, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano.



Graf.12 Mappa progettuale.



- forme;
- da 2D a 3D.

La mappa (Graf.12 nella pagina precedente) ha una doppia chiave di lettura: la forma e la funzione.

Ognuno di questi elementi non esclude l'altro: nella progettazione è possibile concentrarsi su un solo aspetto oppure considerarli in parallelo.

Di seguito si analizzano gli aspetti progettuali separatamente.

### Conessioni

La stampa 3D si presta molto bene alla realizzazione di connessioni e giunti. Nelle fasi d'ingegnerizzazione dei prodotti si cerca solitamente di utilizzare giunti standard già presenti in commercio poichè personalizzarli inciderebbe molto sui costi. Con questa tecnologia invece sia la varietà che la complessità non sono criticità economiche.

E' possibile realizzare:

- **oggetti in pezzo unico:** si evitano gli scuretti e i problemi di aggancio;
- **giunti mobili:** con un'unica stampa si ottengono giunti con parti mobili interne;
- **moduli:** un limite della stampa 3D low cost riguarda le dimensioni di stampa. Per realizzare oggetti di dimensioni maggiori è possibile scomporre l'oggetto in diverse parti e creare dei moduli con un aggancio specifico.
- **elementi ad hoc:** giunti ottimizzati a seconda delle esigenze.

### Random

Ci sono degli effetti di cui è possibile prevedere la presenza senza però che siano controllabili pienamente.

Questi possono essere:

- **intrinseci:** ovvero effetti dati dalla stampante stessa. Si presentano come difetti superficiali ciclici causati dalle risonanze (e/o tolleranze) delle movimentazioni meccaniche. Con geometrie studiate appositamente possono essere enfatizzati per creare effetti particolari o 'nascosti'.
- **progettati:** è possibile superare i limiti evidenziati dal Design for Manufacturing e dalle indicazioni sui parametri di stampa; è possibile infatti sfruttare quelli che sono considerati come errori (estrusioni a sbalzo senza supporto, retraction e travel calibrati

in modo da lasciare dei filamenti) per creare degli effetti che rendono unici gli oggetti creati.

Il 'valore dell'imperfezione' sta prendendo sempre più piede nella pratica del design. Questo concetto è alla base della disciplina del Design for All<sup>8</sup>.

Francesca Ostuzzi nella sua tesi '*Gli oggetti in crisi*'<sup>9</sup> ha identificato, tra gli altri, l'approccio progettuale dell'unico industriale che considera la differenziazione del prodotto come possibile valore.

*"L'edizione di Illywords 'Rivalutare l'errore'<sup>10</sup> ci offre un esempio di come ci sia un'accresciuta attenzione nei confronti di tutte quelle tematiche [...] facenti riferimento alle imperfezioni, ai difetti, alle asimmetrie ed agli errori. Spesso infatti quelli che noi chiamiamo errori o difetti se visti in un'ottica diversa possono essere, accidentalmente, proprio alla base dello sviluppo di nuove idee; errori e imperfezioni possono rappresentare uno stimolo all'innovazione."*

Ostuzzi continua citando l'articolo '*Sapore di errore*' di Roberta Corradin:

*"L'errore porta a rinominare. E' attraverso il riconoscimento di un nuovo nome che l'errore si supera, si legittima. Rinominare, a ben vedere, ha a che fare con l'impiego ottimale di energie e risorse. Si rinomina perchè la volontà non si ostina ad attorcigliarsi su se stessa, si rinomina, banalmente, per non buttare [...] si rinomina come atto di apertura mentale al nuovo e al diverso."*

L'errore dunque può essere alla base dell'innovazione, una spinta alla creatività ed il difetto con esso: anzichè canalizzare i propri sforzi e le proprie capacità per nascondarli o eliminarli, può essere interessante e stimolante trovare la via tramite cui reinterpretarli, dando loro un nuovo valore.

### Personalizzazione

Come visto nella Prima parte della tesi, uno dei vantaggi del 3DP è la possibilità di creare prodotti a misura dell'utente (varietà e flessibilità sono gratuiti).

Le tecniche AM offrono infatti un vantaggio: non c'è un aumento di costo cambiando ogni singola unità o producendo solo alcuni pezzi per tipo.

8 Accolla A. et alii (2009), Design for All. Il progetto per l'individuo reale, FrancoAngeli, Milano; <http://www.dfaitalia.it>

9 Ostuzzi F. (2009). Gli oggetti in crisi, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano.

10 Ri-valutare l'errore, Illywords, Numero 26, Trieste, 2009.

La personalizzazione può essere effettuata secondo due modalità:

- **ad hoc:** oggetto interamente realizzato per uno specifico utente o una piccola serie;
- **implementazione:** è possibile apportare delle modifiche ad un oggetto già esistente. Queste modifiche possono essere dimensionali (è possibile realizzare l'oggetto intero in scala o modificare le dimensioni di una parte specifica), funzionali (modificando una componente dell'oggetto o realizzandola ad hoc) o estetiche.

### Forme

La grande forza della stampa 3D è la possibilità di creare oggetti che con altre tecnologie sarebbe molto costoso o addirittura impossibile realizzare.

Alcuni esempi di geometrie ottenibili sono:

- **sottosquadri;**
- **cavità interne;**
- **oggetto dentro un altro oggetto.**

### Da 2D a 3D

E' possibile trasformare immagini 2D in oggetti 3D. Con il programma di slicing si può associare un colore (tipicamente si utilizza la scala di grigi) ad un'altezza di estrusione in modo da trasformare i contrasti in differenze di altezze.





# Terza Parte

Per una 3Dteca



# 7

## In gioco i sensi

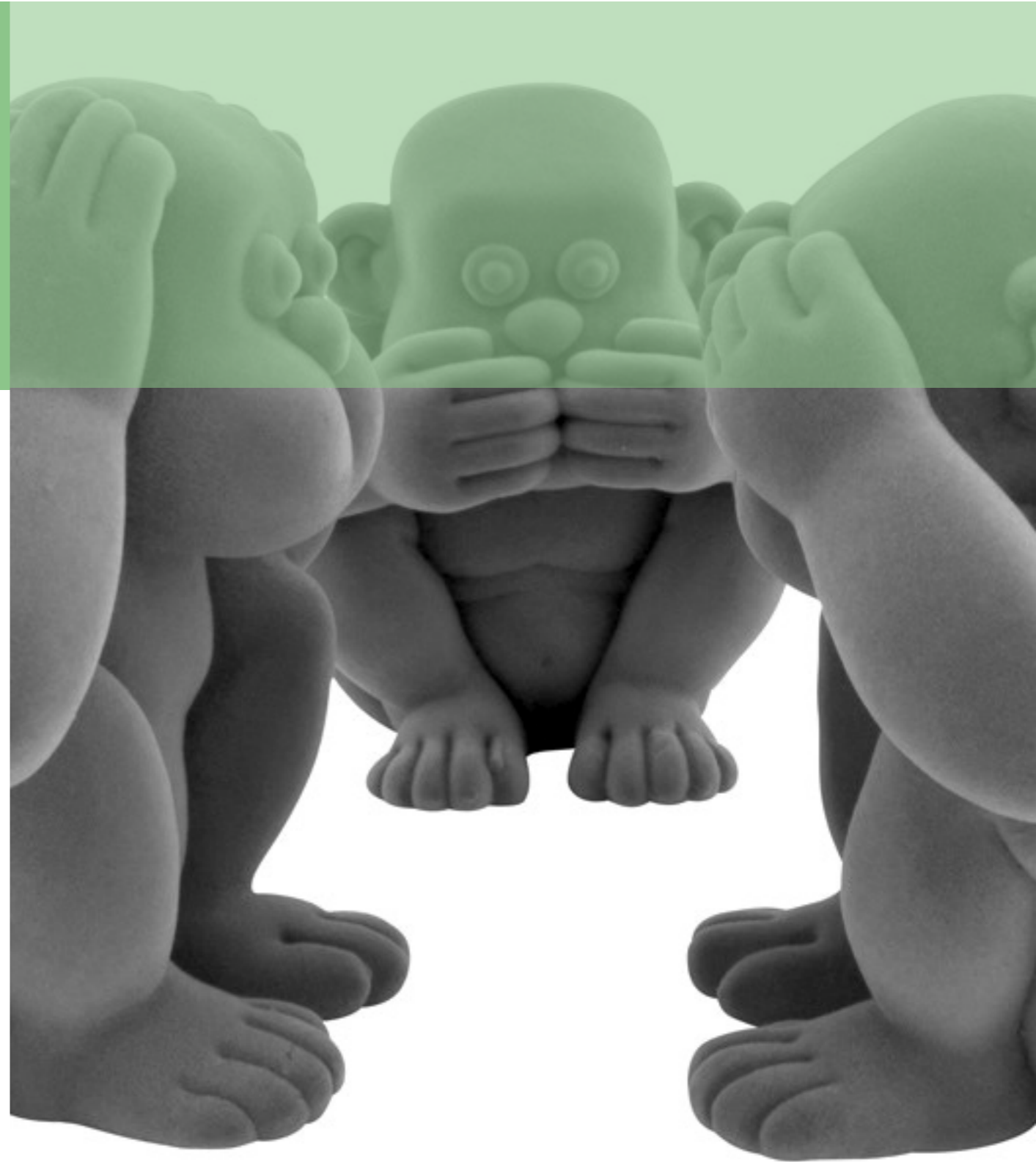
Noi percepiamo il mondo attraverso i sensi.

**Il modo in cui gli artefatti vengono compresi, usati e vissuti è relativo alle esperienze corporee che nascono dall'interazione con il mondo.**

Sono i sensi che consentono all'uomo di entrare in contatto e relazionarsi col mondo circostante; sono quindi i canali di accesso alla realtà stimolante.

Le informazioni sensoriali, dopo aver percorso le vie afferenti proprie, arrivano al cervello nelle aree corticali sensoriali primarie specifiche per ciascuna modalità. Nella corteccia i messaggi sono integrati e si trasformano in sensazioni.

Il termine sensoriale si riferisce alla sensazione come atto del sentire, cioè il primo risultato psi-



cologico a uno stimolo esterno. Sentire rivela la conoscenza del mondo esterno attraverso gli organi di senso di cui l'uomo è dotato.<sup>1</sup>

*"[...] Un'informazione sensoriale è rappresentata da un particolare insieme di attività nervose specifiche per il tipo di stimolo che determina, per il tipo di recettore periferico stimolato e per il sito in cui esso si trova, nonché per il decorso anatomico delle vie coinvolte. Questi attributi costituiscono il correlato fisiologico primario per la distinzione soggettiva qualitativa delle differenti sensazioni visive, uditive, tattili e così via"<sup>2</sup>.*

È emerso che **gli argomenti più incisivi per la progettazione degli oggetti, anche di più difficile trattazione, sono proprio gli aspetti soggettivi**. Infatti i dati oggettivi non sono efficaci per analizzare i comportamenti individuali<sup>3</sup>.

L'aumentato interesse per la dimensione espressiva e sensoriale degli oggetti e il desiderio del consumatore di manipolare, toccare e sentire sulla pelle i prodotti porta le industrie a cercare di arricchire i prodotti di una qualità sensoriale e sensuale.

Progettare artefatti significa sempre più insistentemente manipolare dati sensoriali<sup>4</sup>.

Lo scopo di questa Terza parte sperimentale della tesi è capire come controllare le qualità senso-estetiche all'interno del processo FDM. Questa ricerca porta alla creazione di una 3Dteca che mostra le possibilità della tecnologia.

Questo capitolo introduttivo vuole indagare la relazione che intercorre fra la sensorialità e il progetto e definirne i termini.

Inizialmente si trattano gli elementi che compongono il processo percettivo con particolare attenzione al ruolo dei sensi, che vede come protagonisti la vista e il tatto di cui si identificano le rispettive qualità senso-estetiche dei materiali correlate. Si propone poi un excursus sul ruolo della sensorialità nel progetto e gli strumenti che il designer ha a disposizione per orientarsi.

Nell'ultima parte del capitolo si sottolinea l'importanza dei sample e se ne propone una raccolta di casi significativi.

Per la stesura di questo capitolo ci si riferisce in particolar modo al lavoro effettuato da Valentina Rognoli ed Elvin Karana.

1 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

2 Negri Dellantonio F. (a cura di) (1994), Fisiologia e psicologia delle sensazioni, Carrocci, Roma

3 Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano

4 Riccò D. (1999), Sinestesie per il design, Etas, Milano

## 7.1 Elementi del processo percettivo

Possiamo considerare il mondo come un fornitore di stimoli che ci raggiungono attraverso i canali sensoriali e che innescano il meccanismo di stimolo e risposta.

**La percezione è l'attività che consente all'uomo di interpretare e conoscere.** Le sensazioni sono delle reazioni legate agli stimoli esterni, mentre le percezioni sono rappresentazioni più nette perché dipendenti dall'attività dell'intelletto, quindi appartenenti alla sfera cognitiva<sup>5</sup>.

Partendo dall'analisi sul processo percettivo condotta da Bandini Buti<sup>6</sup> (Graf.13 nella pagina successiva), si può dire che il meccanismo della percezione sensoriale dell'ambiente che ci circonda è scomponibile in tre fasi principali: l'input (i segnali in entrata), il processo (la determinazione del significato del segnale) e l'output (le azioni conseguenti all'informazione assunta).

### Input

E' il segnale di entrata.

Insieme delle informazioni relative al mondo sensibile che caratterizzano un ambiente e che ci pervengono attraverso i canali sensoriali. E' la realtà come si configura e com'è misurabile (ciò che è, come è). Noi possiamo misurare strumentalmente tutti i parametri che determinano l'input, registrare e potenzialmente riprodurli in un altro luogo e momento. I dati che configuravano l'input sono obiettivi (uguali per tutti) e misurabili. Gli stimoli che i sensi percepiscono derivano infatti dalle proprietà fisiche o chimiche dei materiali. Ad esempio, il metallo spesso è freddo al tatto, perché conduce il calore molto velocemente. Quindi possiamo dire che, in generale, materiali con elevata conducibilità termica vengono percepiti freddi al tatto.

Gli input sono gli unici aspetti che possono essere controllati nell'azione progettuale; il progettista può controllare completamente tutti questi fattori ma solo intuire la percezione da loro indotta negli individui.

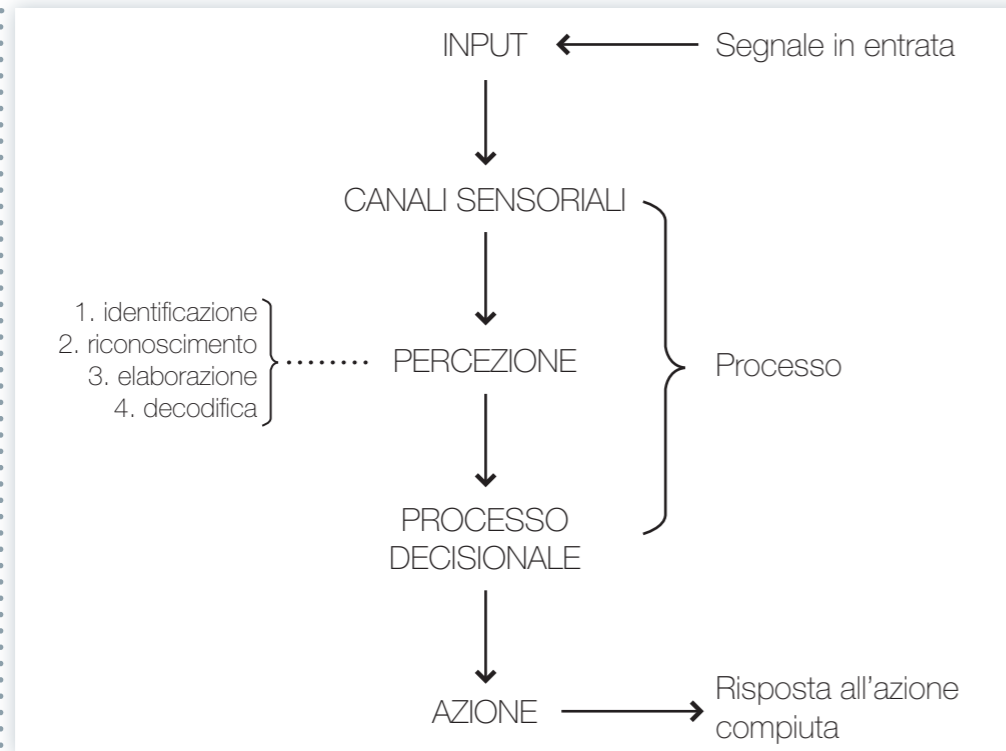
### Processo

Avviene in diverse fasi (analizzate singolarmente di seguito).

5 Rognoli V., Levi M. (2004), Materiali per il design: espressività e sensorialità, Polipress, Milano.

6 Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano.

Graf.13 Elementi del processo percettivo.



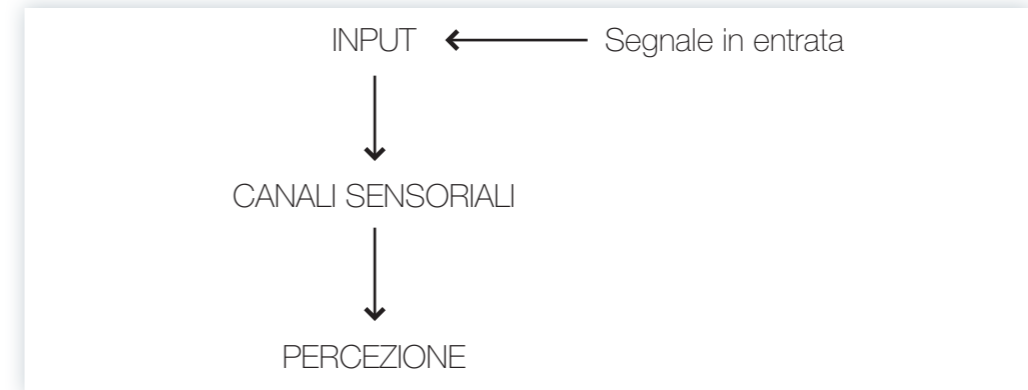
**Canali sensoriali**

Il corpo è il nostro primo materiale, il mezzo con cui costruiamo e modifichiamo il mondo: il corpo ci mette in relazione con il mondo. Gli stimoli sono catturati dagli organi di senso specifici:

- la vista ci fornisce la maggior parte delle informazioni, tanto da tendere a deprimere le altre;
- l'udito ci fornisce informazioni anche assai complesse tramite il linguaggio;
- il tatto ci fornisce informazioni solo tramite il contatto diretto o mediato, come nel caso del bastone dei ciechi;
- l'olfatto era molto sviluppato nei nostri progenitori, è andato via via riducendosi;
- il gusto ha assunto fondamentalmente un aspetto di salvaguardia, per cui cibi che ci possono danneggiare non ci piacciono.

Le informazioni sensoriali presenti nell'ambiente non vengono percepite nello stesso modo da tutti gli individui. Le caratteristiche degli organi sensoriali filtrano e deformano l'input (approfondiremo questo concetto in seguito).

Graf.14 Elementi del processo percettivo analizzati dalla tesi.



**Percezione**

Avviene attraverso una serie di livelli consecutivi:

- identificazione: distinguere un segnale da un altro;
- riconoscimento: riconoscere la natura del segnale;
- elaborazione: dare un significato al segnale. Attingendo alle cognizioni accumulate nella memoria a breve e a lungo termine si decide cosa rappresenta il segnale che ho percepito;
- decodifica del segnale: confronto con modelli della memoria e con le esperienze pregresse.

**Processo decisionale**

E' l'elaborazione dell'informazione percepita e la decisione conseguente. Consiste nel valutare le possibili soluzioni alternative.

**Azione**

E' l'atto che si compie in seguito al processo dell'informazione. Gli atti sono coerenti con la decisione presa.

**Output**

E' l'impatto sul mondo esterno dell'azione compiuta da parte dell'utente.

In questo contesto ci si concentrerà in modo specifico sulla prima parte del processo percettivo ovvero la relazione che intercorre tra l'input e la percezione passando attraverso i canali sensoriali (Graf.14).



### Soggettività

Come detto nel paragrafo precedente, gli stimoli che l'ambiente ci invia, sono uguali per tutti e possono essere valutati, misurati e riprodotti, mentre **la percezione, ovvero quanto l'individuo raccoglie effettivamente dopo che il segnale è passato dai suoi filtri psico-sensoriali e il significato che gli attribuisce, è un parametro soggettivo**<sup>7</sup> (un'impressione soggettiva, immediata e semplice che corrisponde a uno stimolo fisico).

Le modalità sensoriali non hanno dunque un valore univoco, ma sono soggettive. Le persone infatti possono utilizzare e fare affidamento sui loro sensi in modo diverso. Tali differenze potrebbero essere causate da una sensibilità percettiva diversa, ma anche da differenze nelle capacità cognitive di elaborare le informazioni ricevute attraverso uno specifico canale sensoriale. Si parla quindi di stile percettivo<sup>8</sup>, riferendosi al modo in cui la persona fa uso delle informazioni che vengono raccolte dai vari sensi.

Anche se il funzionamento dei meccanismi sensoriali, dal punto di vista fisiologico, è il medesimo per tutti gli esseri umani, alcuni individui possono presentare funzioni sensoriali compromessi e/o mancanti.

Si possono distinguere:

1. **limitazioni funzionali:** gli organi sensoriali di ciascun individuo hanno caratteristiche e capacità, congenite o acquisite, differenti. Ciò fa sì che il segnale venga percepito più o meno chiaramente da ogni individuo o venga percepito distorto o non venga percepito affatto;
2. **limitazioni ambientali:** le caratteristiche generali dell'ambiente possono rendere difficile la trasmissione o la comprensione delle informazioni;
3. **limitazioni cognitive:** il nostro organismo possiede dei sistemi che ci permettono di filtrare le informazioni che non riteniamo importanti.

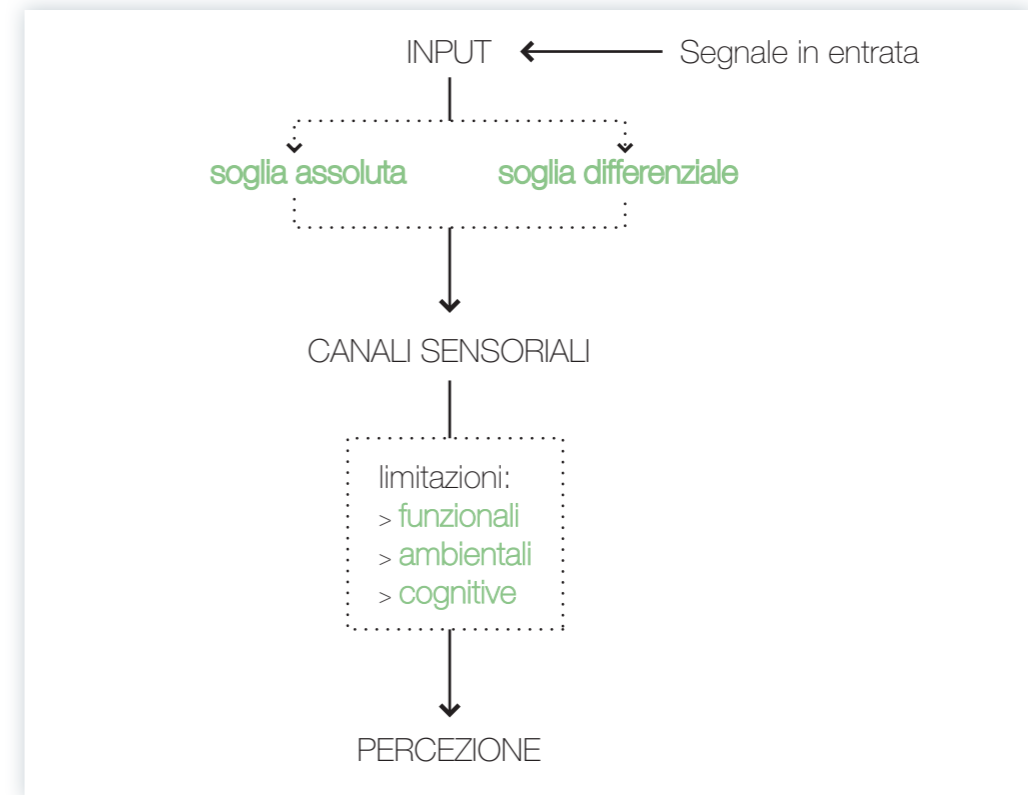
Le persone con ridotte capacità percettive analizzano l'ambiente accentuando le capacità dei sensi residui. I ciechi hanno una insospettata percezione dell'ambiente, legata alla sonorità ambientale, alla cattività, alle sensazioni termiche ecc, molto superiore a quella che un vedente potrebbe sopporre<sup>9</sup>.

I meccanismi percettivi presentano inoltre caratteristiche diverse in funzione dell'età,

7 Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano

8 Schifferstein H.N.J., Smeets M.A.M., (2006), "Towards the assessment of perceptual style", in Proceedings of 5th International Conference on Design & Emotion, Goteborg, Sweden.

9 Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano



Graf.15 Il ruolo della soggettività nella percezione.

genere e cultura e la percezione risulta ulteriormente mediata da fattori quali le esperienze passate e quelle del gruppo di appartenenza.

Ogni società elabora un modello sensoriale e ciascun individuo veste degli abiti percettivi. Si parla infatti di antropologia dei sensi, come l'analisi delle modalità secondo cui la sensorialità si articola in diversi contesti sociali, qualificando questa facoltà come culturalmente orientata. La percezione non è solo un atto fisiologico, ma è influenzata, e influenza, fattori sociali e culturali.

Questa relazione è complicata dal fatto che **non tutti gli stimoli fisici vengono percepiti dall'individuo, ma sono quelli che rispondono a determinati valori di soglia.** Infatti, uno stimolo deve raggiungere una certa grandezza per essere percepito da un organo di senso; si parla in questo caso di **soglia assoluta**. Inoltre, uno stimolo deve essere abbastanza diverso in intensità per poter essere discriminato da un altro simile in grandezza; si parla cioè di **soglia differenziale**.

Una volta catturato a livello di sensazione, lo stimolo fisico è pronto per essere elabo-

rato a livello cognitivo, attraverso il meccanismo della percezione<sup>10</sup>.

Anche la gradevolezza sensoriale degli oggetti riguarda le qualità percepite attraverso i sensi dell'uomo (tatto, vista, udito, olfatto e cinestesi) che sfuggono a misurazioni assolute, valide per tutti e per sempre<sup>11</sup>.

## 7.2 La dominanza sensoriale

Si deve considerare che l'uomo utilizza contemporaneamente e involontariamente tutti i sensi nella percezione. Il mondo che ci circonda viene percepito per l'80% con la vista, e il resto con l'udito, il tatto, in parte con l'olfatto e in certe situazioni col gusto. Come è già stato messo in evidenza, oggi si predilige intendere la percezione come sistema multisensoriale nel quale ogni senso è chiamato a contribuire con le sue modalità e tempi alla conoscenza e all'esperienza globale del vissuto.

L'esperienza dell'artefatto può essere però dominata da una modalità sensoriale specifica, in grado di ricevere la maggior parte dell'attenzione.

Nel corso dei secoli l'uomo ha dedicato tempo e studio alla comprensione del sensorio umano. La preoccupazione comune è sempre stata quella di identificare dei fattori chiave quali il numero degli organi sensoriali, il loro ruolo nell'acquisizione di conoscenza e i loro rapporti gerarchici<sup>12</sup>.

Quanti si sono interessati ai sensi sembrano essersi primariamente preoccupati di enumerare, classificare, collocare in ordine gerarchico e definire secondo criteri vari i canali attraverso i quali l'uomo entra in contatto più o meno ravvicinato con il mondo<sup>13</sup>.

**La dominanza sensoriale (sensory dominance) può essere definita come l'importanza relativa delle varie modalità sensoriali nell'esperienza globale dell'artefatto.**

I sistemi percettivi svolgono le loro funzioni individualmente ma cooperano tra loro in maniere diverse. Quando, attraverso canali sensoriali diversi, raccolgono informazioni sulle medesime proprietà ambientali, la loro cooperazione rende la percezione più ro-

10 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

11 Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano

12 Riccò D. (1999), Sinestesie per il design, Etas Libri, Milano.

13 Marazzi A. (2010), Antropologia dei sensi, Carocci, Roma.

busta e affidabile. Quando invece l'informazione riguarda aspetti diversi dello stesso oggetto, si ha un effetto di complementarità e la cooperazione rende la percezione più ricca e completa.

Tenendo conto che dieci sono le principali tipologie di interazioni sensoriali<sup>14</sup> e applicandole alla caratterizzazione espressivo-sensoriale dei materiali per il design, è facile osservare però che **alcune interazioni sensoriali sono più interessanti di altre: vista-tatto è indubbiamente la più frequente.**

La vista è sufficiente per percepire una superficie ottica, mentre il tatto è indispensabile per insegnare alla vista che ad ogni sporgenza o qualsiasi rientranza percepita tattilmente corrisponde per l'occhio a un'ombra. Il tatto manca di prospettiva, cosa che però appartiene alla vista<sup>15</sup>.

Si può parlare di una qualità tattile della vista e di proprietà visive del tatto.

*“La mano vede, la vista tocca. La mano vede ma non come la vista, la vista tocca, ma non come la mano. Tutti i sensi contribuiscono al vedere”<sup>16</sup>.*

La vista può essere indicata come la modalità sensoriale dominante poiché la maggior parte delle esperienze sensoriali coinvolgono in primo luogo la visione. Si tratta di una modalità di apprendimento passiva, a differenza del tatto che invece presuppone il coinvolgimento attivo dell'utente. L'esperienza tattile si caratterizza per il contatto, il tocco, passa dunque per una scelta consapevole da parte dell'utente, mentre la vista passa per il distacco e l'osservazione<sup>17</sup>.

Il tatto (insieme a olfatto e gusto) è considerato invece il senso dell'intimità, quello che permane più a lungo come ricordo e che instaura con maggior probabilità una relazione affettiva con l'oggetto.

Quando le persone interagiscono con i prodotti, i sensi entrano in contatto con il mate-

14 Riccò D. (1999), Sinestesie per il design, Etas Libri, Milano

15 Rognoli V., Levi M. (2004), Materiali per il design: espressività e sensorialità, Polipress, Milano

16 Fiorani E. (2000), Leggere i materiali: con l'antropologia, con la semiotica, Lupetti-Editori di comunicazione, Milano.

17 Miller, E. A., (1972), Interaction of vision and touch in conflict and nonconflict form perception tasks, Journal of Experimental Psychology, vol. 96, pp. 114-123

riale di cui il prodotto è fatto; il materiale fornisce principalmente stimoli tattili e visivi<sup>18</sup>. In letteratura<sup>19</sup> è noto che le informazioni visive e tattili sono di primaria importanza nell'interazione utente-prodotto. Le proprietà sensoriali dei materiali sono infatti riconosciute come l'aspetto più importante dei materiali nel determinare la risposta affettiva degli utenti<sup>20</sup>. La maggior parte delle ricerche concordano nel dire che un particolare elemento tattile o visivo suggerisce uno specifico significato del materiale stesso.

Nella ricerca di Elvin Karana<sup>21</sup> si può vedere come la lista di proprietà sensoriali sia dominata da informazioni visive e tattili.

Per questo motivo questa tesi sarà fortemente orientata dai parametri tattili e fotometrici che forniscono informazioni visive e tattili dei materiali, mentre saranno trascurati gli altri aspetti sensoriali legati al suono, all'odore e al gusto, non considerati di primaria rilevanza in questa sede.

### 7.3 Quantitativo e qualitativo: parametri e proprietà

Arisotele riteneva i sensi fonte di conoscenza. Secondo il filosofo, la realtà sensibile percepita attraverso il corpo rispecchiava la realtà fisica delle cose.

*"Poiché non c'è nessuna cosa, come sembra, che esista separata dalla grandezza dei*

18 Giboreau A., Navarro S., Faye P. and Dumortier J. (2001), "Sensory Evaluation of Automotive Fabrics – the Contribution of Categorization Tasks and Non Verbal Information to Set-up a Descriptive Method of Tactile Properties", Food Quality and Preference, vol. 12 (5), pp. 311-322; Guilabert C., Bueno M.A., Sahnoun M., Renner M. (2006), Sensory evaluation of the touch of a great number of fabrics, Food Quality and Preference, n 17, pp 482-488; Sonneveld M. (2004), "Dreamy Hands: Exploring Tactile Aesthetics in Design ", in McDonagh D., Hekkert P., Van Erp J., Gyi D. (eds.), Design and Emotion, the Experience of Everyday Things, Taylor & Francis, London.

19 Nefs H. (2008), On The Visual Appearance of Objects, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam, pp 11-36; Schifferstein H., Spence C. (2008), Multisensory Product Experience, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam, pp 133-54; Sonneveld M. (2007), Aesthetics of Tactile Experiences, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft.

20 Fenech O.C. and Borg J.C. (2006), "A Sensation Based Model of Product Elicited Emotions ", Design and Emotion, Gotoburg, Sweden; Mono R. (1997) Design for Product Understanding: The Aesthetics of Design from a Semiotic Approach, Skogs Boktryckeri AB, Sweden; Rognoli V. and Levi M. (2004), "Emotions in Design through Materials: An Expressive- Sensorial Atlas as a Project Tool for Design of Materials Turkey", 4th International Conference on Design and Emotion, Ankara, Turkey; Sonneveld M. (2007), Aesthetics of Tactile Experiences, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft; Zuo H., Hope T., Castle P., Jones M. (2005), Material Texture Perception in Product Design, Proceedings of International Conference on the Art of Plastics Design, Paper 5, Rapra Technology Ltd., Shrewsbury.

21 Karana E. (2010), How do materials obtain their meanings?, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 271-285.

*sensibili, gli intelleggibili si trovano nelle forme sensibili, sia quelli per cui si parla per astrazione sia le proprietà e affezione degli oggetti sensibili"*<sup>22</sup>.

Con l'avvento dei progressi scientifici, in particolare con l'arrivo degli strumenti di misura della scienza moderna introdotte da Galileo Galilei, viene messa in rilievo la differenza tra ciò che viene misurato e quello che viene esperito.

Le proprietà del materiale sono quelle caratteristiche che distinguono un materiale dagli altri e sono sia tecniche che sensoriali. **Gli utenti fanno esperienza delle proprietà tecniche dei materiali attraverso le loro qualità sensoriali che sembrano dunque avere il ruolo di moderatore nell'interazione materiale-utente**, aiutando e influenzando sulla valutazione dei materiali stessi e sull'attribuzione del significato.

La realtà può così essere da una parte descritta attraverso valutazioni qualitative, sintesi di stimoli fisici raccolti e elaborati dalla percezione, e dall'altra attraverso quantificazioni con strumenti sempre più sofisticati che permettono di rivelare qualità nascoste del mondo.

Le scienze della natura hanno sviluppato nei secoli molteplici modelli di descrizione e di qualificazione della realtà (intesa come l'insieme degli eventi che possono essere recepiti dall'uomo o da dispositivi strumentali). Alcuni degli elementi di tale universo di natura chimico-fisici sono stati riconosciuti come gli stimoli responsabili delle percezioni. I parametri per identificarli sono ormai di universale concordanza tra gli scienziati e sono spesso codificati nell'ambito di normative o di sistemi internazionali di misura<sup>23</sup>.

Si può quindi affermare che ogni oggetto usato dall'uomo può essere identificato da:

- **proprietà e parametri oggettivi**, cioè da elementi misurabili utilizzando strumenti del sapere scientifico;
- **percezioni di tipo soggettivo** strettamente legate alle caratteristiche e reazioni del soggetto che possono essere valutate con le tecniche messe a punto dalla psicologia cognitiva.

Diventa interessante allora da una parte capire quale evento fisico-chimico sia all'origine di un determinato effetto sensibile e dall'altra riuscire a riprodurre tale effetto agendo su parametri scientifici.

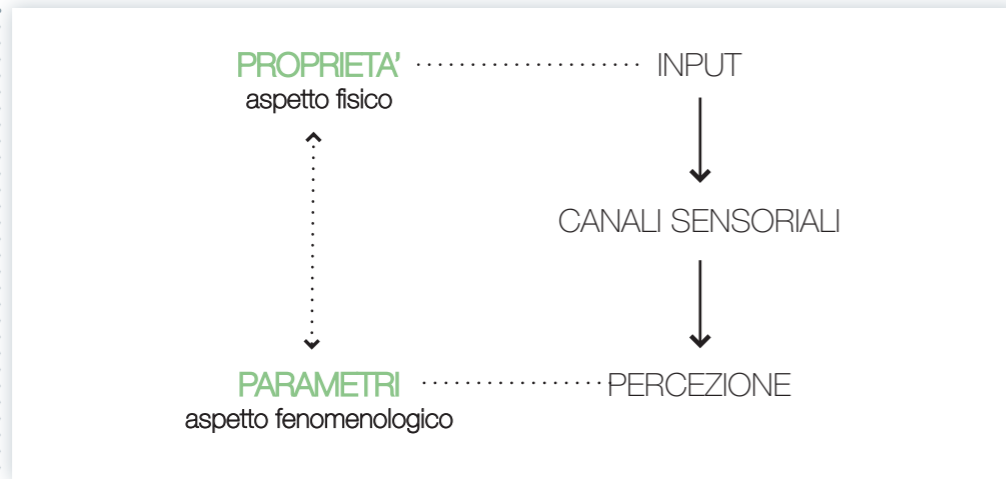
In questo senso sono le proprietà espressivo-sensoriali ad acquistare importanza fondamentale nel progetto.

22 Aristotele (2001), Dell'anima, 432a 4-9, Bompiani, Milano.

23 Petrillo A. (1991), I materiali del progetto, I linguaggi della sensorialità, in Area, n.6, p. 109.



Graf.16 Parametri e proprietà nel processo percettivo.



Come illustrato nel Graf.16, le sensazioni provate a contatto con gli artefatti (ovvero la percezione), legate ai canali sensoriali, possono essere definite da dei parametri e si riferiscono alle varie proprietà dell'oggetto.

**I parametri divengono strumenti essenziali per il progettista poiché misurabili entro un sistema che ne rivela la connessione con le proprietà evidenziate dall'ingegneria dei materiali.**

Per l'individuazione dei parametri e delle proprietà dei materiali e delle superfici si fa riferimento all'Atlante espressivo-sensoriale dei materiali sviluppato durante il dottorato in Design Industriale, XVI ciclo, da Valentina Rognoli<sup>24</sup>.

L'obiettivo dell'atlante è quello di mettere in relazione l'aspetto fenomenologico del materiale con la sua descrizione tecnica. La volontà seguita in questo studio è stata quella di creare un dizionario condivisibile di caratteristiche comuni e riconoscibili ai più, basandosi sulla complicità che può essere provata durante un'esperienza sensoriale della materia. La percezione di un materiale è una combinazione di percezioni di numerose proprietà diverse. La base teorica alla base dell'atlante è la costituzione di una **correlazione esplicita tra gli aspetti fenomenologici dei materiali e le loro proprietà chimiche, meccaniche e tecnologiche**. L'Atlante espressivo-sensoriale dei materiali costituisce quindi un punto di convergenza tra le discipline di progettazione e ingegneria. La creazione di una correlazione tra gli aspetti fenomenologici dei materiali e le loro

24 Rognoli V. (2004), I materiali per il design: un atlante espressivo sensoriale, Unpublished PhD Thesis, Facoltà del Design, Politecnico di Milano. Il lavoro svolto nella tesi ha permesso la stesura del libro: Rognoli V., Levi M. (2004), Materiali per il design: espressività e sensorialità, Polipress, Milano.



Fig.52 Alcune schede dell'Atlante espressivo sensoriale di Valentina Rognoli.

proprietà, ha aperto nuove opportunità nel campo del design e guidato nuovi approcci all'istruzione del design. Esso può essere utilizzato per ispirare e guidare un progetto, rendendo il designer più autonomo nella scelta dei materiali durante il processo di progettazione. L'atlante è strutturato sulla base del rapporto tra gli aspetti fenomenologici e le proprietà fisiche/tecniche dei materiali<sup>25</sup>.

All'Atlante espressivo sensoriale ha fatto seguito l'Atlante cromatico dei materiali per il design e l'Atlante delle lavorazioni superficiali laser.

I parametri e le proprietà che verranno utilizzati per la valutazione sensoriale, in questa tesi, sono riportate nel Graf.17 nella pagina successiva.

Così come avviene nell'Atlante espressivo-sensoriale, ogni parametro utilizzato viene espresso attraverso due aggettivi opposti, in modo da evitare fraintendimenti tra proprietà con definizioni simili. Si ragiona per opposizioni e contrasti poiché la veridicità e l'esistenza di una sensazione è data anche dal suo contrario<sup>26</sup>.

Rispetto all'Atlante è stato aggiunto nell'aspetto fotometrico, ai fini di una valutazione più esaustiva in questo contesto, il parametro 'texture ottica' ovvero la texture tridimensionale dell'oggetto percepita tramite la vista.

La texture infatti è un elemento di caratterizzazione sia tattile che visiva della superficie.

25 Rognoli V. (2010), A broad survey on expressive-sensorial characterization of materials for design education, METU JFA, vol 27, n 2, pp 287-300.

26 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

Graf. 17 Schema dei parametri e delle proprietà considerate.



Semplificando, si può dire che esistono texture bidimensionali realizzate con l'applicazione di un disegno, e texture incise e tridimensionali ottenute mediante incisioni più o meno profonde.

Il termine inglese texture significa tessitura, ma l'accezione italiana ha evidentemente un significato più ampio. Non limitandosi alla sola configurazione del disegno visivo della stoffa, della trama e dell'ordito, le texture rappresentano la progettazione della struttura visiva della superficie di qualsiasi materiale e, considerandone la valenza tattile-

le, definiscono percettivamente la risposta visiva alla grana<sup>27</sup>.

Rispetto agli altri parametri che sono riconducibili a proprietà del materiale, i parametri che identificano la texture, sia visiva che tattile, sono definiti della tecnologia stessa: la stratificazione. Questo concetto viene approfondito nei paragrafi dedicati alle singole proprietà.

Non vengono utilizzati invece i parametri durezza, scorrevolezza e termico poiché considerati di difficile trattazione, poco controllabili o non modificabili in oggetti prodotti con la tecnologia FDM lowcost e poiché non verrà fatto il confronto fra materiali diversi che possono far variare questi parametri..

## 7.4 Aspetto fotometrico

### 7.4.1 La vista

La vista è uno dei cinque sensi; precisamente, è quello mediante il quale è possibile percepire gli stimoli luminosi e, quindi, la figura, il colore, le misure e la posizione degli oggetti<sup>28</sup>.

Pur essendo solo frontale, sincronica e diurna, la vista è per l'uomo il modo più efficace e diretto per entrare in contatto con i suoi simili e con il mondo circostante: consente di cogliere i mutamenti di forme e di materiali che non sono mai uguali nel tempo, cambiando al variare dell'ora, del giorno, delle stagioni e delle condizioni atmosferiche.

Nella società moderna, l'uomo, per cui la vista ha una particolare importanza, ha deformato la sua esperienza sensoriale basandola prevalentemente su questo senso<sup>29</sup>.

**La vista ha un vero e proprio primato epistemologico.** Riferendosi al contemporaneo, si parla di 'civiltà dell'immagine', proprio perché si è concentrati sull'uso e, a volte, abuso

27 Calabi D. (2003), Texture. Un percorso basic, Libreria Clup, Milano.

28 [http://it.wikipedia.org/wiki/Vista\\_\(senso\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Vista_(senso))

29 Fiorani E. (2000), Leggere i materiali: con l'antropologia, con la semiotica, Lupetti-Editori di comunicazione, Milano.

di questa modalità sensoriale.

La diffusione della stampa nel '400, le scoperte ottiche della seconda metà del '500 e l'avvento delle moderne procedure dell'osservazione scientifica, favorirono la valorizzazione dello sguardo<sup>30</sup>.

È considerato il **senso della lontananza** e molte volte assume importanza a scapito dei sensi di prossimità come il tatto. Spesso infatti monopolizza la percezione sensoriale: più del 70% dei recettori sensoriali del corpo è concentrato nella vista. Il flusso ininterrotto di immagini mette in moto 120 milioni di fotorecettori che impiegano circa un terzo dell'energia del cervello per funzionare e ricavare informazioni e significati da ogni immagine scansionata e riconosciuta.

**Il suo primato è dato anche dal fatto che le qualità sensoriali proprie di altri sensi sono percepibili ugualmente dalla vista.** Ruvidità, levigatezza, sofficietà, durezza sono qualità che caratterizzano un oggetto anche da un punto di vista visivo.

**La percezione del colore è prerogativa della vista.** Infatti, il colore non esiste al di fuori dello sguardo che distingue gli oggetti tramite la luce.

Nonostante il senso della vista sia come detto il più sollecitato, è anche quello forse più ingannevole. È nota la differenza fra campo visivo (ciò che viene registrato dalla retina) e mondo percepito (quanto delle immagini registrate dalla retina viene elaborato dal cervello e fatto proprio dalla mente). Occhi e cervello insieme valutano, ricercano, associano e sintetizzano solo i segnali utili allo scopo che li muove, ma il loro giudizio non è mai da considerare oggettivo. Per lo più si vede ciò che ci si aspetta di trovare e ciò che l'esperienza e la memoria ci suggeriscono confrontando, anche contro il nostro volere cosciente, quello che vediamo con quello che abbiamo precedentemente interiorizzato<sup>31</sup>.

**Gli attributi visivi dei materiali influenzano l'immagine dell'intero artefatto, poiché contribuiscono a formarne l'apparenza visiva, favorendone associazioni specifiche.**

L'aspetto visivo dei prodotti è infatti un determinante cruciale per la risposta del consumatore e per il successo del prodotto. Spesso i giudizi sono espressi proprio sulla funzionalità, l'eleganza e il significato sociale dei prodotti, basandosi in gran parte sulle informazioni visive. I materiali utilizzati nei prodotti sono uno degli aspetti dell'apparenza

30 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

31 Bottoli, Bertagna (2009), Percezione e colore, Maggioli Editore

visiva che può essere associato a specifiche qualità. L'uso del legno potrebbe evocare immagini legate all'artigianato i metalli possono essere associati alla percezione e prodotti che utilizzano i polimeri vengono spesso considerati come cheap<sup>32</sup>.

### 7.4.2 Parametri e proprietà ottiche

L'aspetto fotometrico, ossia la superficie in relazione alla luce, si suddivide in qualità quali la lucentezza e la trasparenza.

I fenomeni di interazione della radiazione luminosa con la materia sono alla base del modo con cui i materiali si presentano ai nostri occhi. Per meglio comprendere questi fenomeni è ragionevole partire con il definire cosa sia la radiazione luminosa e introdurre i fenomeni di riflessione e rifrazione della luce.

La radiazione luminosa (radiazione visibile) è una radiazione elettromagnetica, caratterizzata da un particolare intervallo di lunghezze d'onda,  $\lambda$ , o di frequenze,  $\nu$ .

Quando un raggio di luce passa da un mezzo trasparente a un altro mezzo trasparente di proprietà ottiche diverse, esso sarà in parte riflesso e in parte rifatto.

Consideriamo un raggio di luce che incide su di una superficie liscia secondo un angolo di incidenza  $\theta_1$ .

La radiazione incidente può venire in parte riflessa (raggio riflesso) e in parte attraversare il materiale (raggio rifatto). Il raggio riflesso e il raggio rifatto giacciono sullo stesso piano individuato dal raggio incidente e dalla normale alla superficie.

L'angolo di riflessione  $\theta_2$  è sempre uguale all'angolo di incidenza  $\theta_1$  (legge della riflessione).

Il raggio rifratto forma con la normale alla superficie un angolo  $r$  diverso dall'angolo d'incidenza ma correlato ad adesso secondo una relazione<sup>33</sup>.

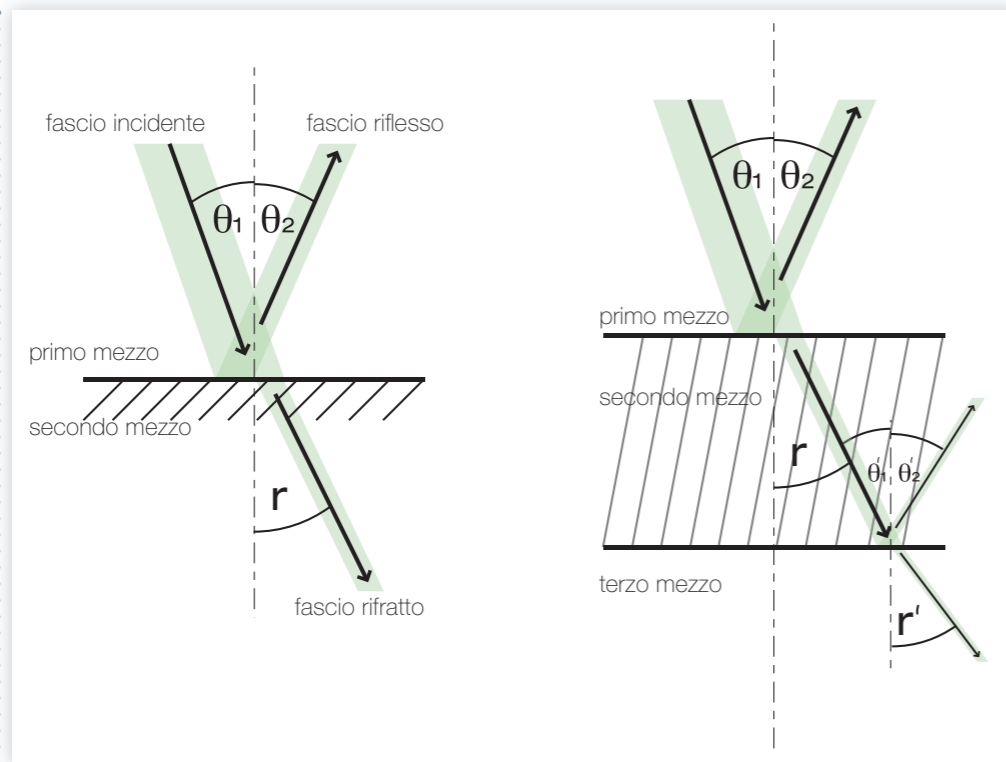
Si consideri inoltre che nel caso in cui la trasmissione della luce avvenga attraverso una lastra, il raggio di luce incidente subirà una riflessione e una rifrazione (angolo  $r'$ ) oltre che sull'interfaccia di entrata anche su quella di uscita.

32 Crilly N., Moultrie J., Clarkson J. (2004), Seeing things: consumer response to the visual domain in product design, in Design Studies n.25, pp.547-577.

33 Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà, Casa Editrice Ambrosiana



Fig.53 Fenomeni di interazione della radiazione luminosa con la materia.



### Lucentezza

La gestione della lucentezza può modificare in modo radicale la funzione espressiva degli oggetti e il contenuto del messaggio stesso: si pensi a cosa comunica una scarpa di vernice lucida rispetto ad una scarpa in cuoio grezzo, o anche a che significati vengono attribuiti ad un lucidalabbra molto intenso, riconducibile al termine sexy.

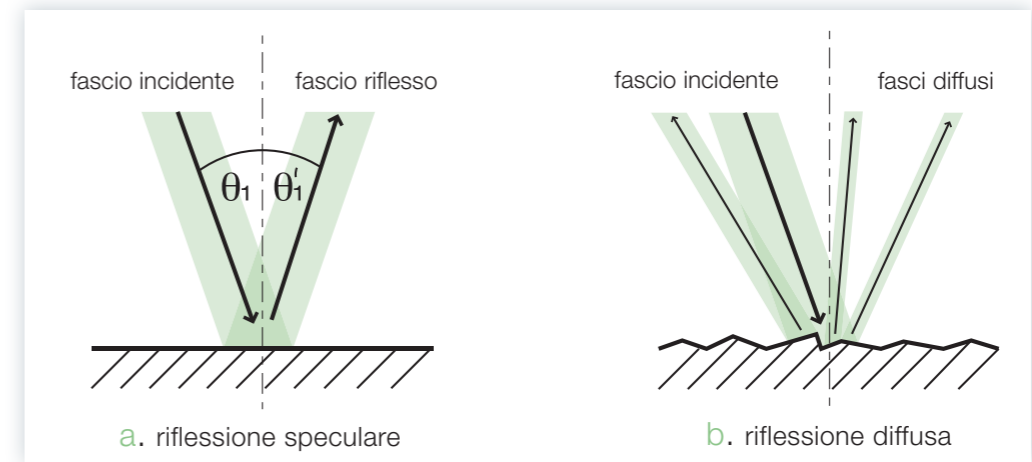
Una superficie poco lucente invece sottolinea la professionalità di un prodotto, solitamente associata a materiali naturali, spesso venduti come 'eco' (legno, sughero, pellami, cuoio, bakelite, ceramiche non smaltate), che provocano una sensazione nostalgica e sono caratterizzati da un aspetto più morbido, meno penetrante<sup>34</sup>.

Spesso una superficie lucida vuole aggiungere valore all'oggetto, nobilitandolo e cercando di legarsi al settore del lusso, dei gioielli, dei materiali preziosi.

Al contrario, oggetti che presentano una finitura non lucida, sembrano essere costituiti da una forma più morbida e meno penetrante. Infatti, in questo caso la superficie non

34 Riva F. (2014)

Fig.54 Gli effetti della rugosità superficiale sulla riflessione della luce.



restituisce le immagini dell'ambiente circostante all'osservatore e non consente cambiamenti e movimenti secondo la prospettiva. Gli oggetti posseggono così un'apparenza uniforme e statica che poco sembra influenzata da fattori ambientali<sup>35</sup>.

La **brillantezza** (*gloss*) è la proprietà associata al parametro della lucentezza.

La sensazione di lucentezza di una superficie è legata alla qualità dell'immagine che si forma per riflessione.

Per meglio comprendere il concetto di brillantezza è quindi necessario analizzare il fenomeno della riflessione.

Un fascio di luce che incide normalmente ( $\theta_1=0^\circ$ ) su una superficie di materiale riflettente, viene riflesso nella stessa direzione da cui proviene ( $\theta_1=\theta_2=0$ ), come già affermato in precedenza, ma solo nel caso in cui la superficie sia speculare ovvero microscopicamente lucida e piana. In questo caso si ha una **riflessione speculare** (comportamento di uno specchio perfetto).

In presenza di rugosità superficiale ciascuno dei raggi di luce che costituiscono il fascio incidente ha un differente valore dell'angolo d'incidenza a causa del diverso orientamento della normale alla superficie nel punto d'incidenza del singolo raggio. Questo fenomeno di **riflessione diffusa** viene comunemente indicato come diffusione di superficie e viene percepito da un osservatore come un'attenuazione dell'intensità luminosa

35 Karana E., Hekkert P., Kandachar P., (2008), "Meaning of materials through sensorial properties and manufacturing processes", in Materials and Design, vol. 90, n. 7, pp 2778-2784

Fig.55 Finitura lucida e opaca a confronto. Fonte: www.magisdesign.com



rispetto al caso precedente<sup>36</sup>.

La riflessione dipende quindi in parte dal materiale e in parte dalla superficie.

Possiamo ora dire che la brillantezza è la riflettenza misurata per angoli diversi da 0° (di solito 20°, 60° e 85°)<sup>37</sup> ovvero la quantità di luce riflessa specularmente dalla superficie.

Si può descrivere con una scala qualitativa di brillantezza crescente:

- **ultra matt:** superfici che non producono riflessi;
- **matt:** superficie opaca dove si osservano riflessioni parziali in funzione della geometria della superficie (si vedono disegni di luce e zone scure o di ombre);
- **semi matt:** superfici semi opache che producono riflessioni molto sfocate;
- **semi gloss:** superfici semi brillanti che producono effetto di sfocatura (l'immagine che si forma in questo caso appare confusa e nebbiosa);
- **gloss:** superfici brillanti dove si può osservare un'immagine riflessa ma non in modo perfetto;
- **high gloss:** superfici a specchio (superficie lucente) altamente brillanti che sono per-

36 Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), *Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà*, Casa Editrice Ambrosiana

37 Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), *Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà*, Casa Editrice Ambrosiana

fettamente lisce e dove si ha la formazione di un'immagine per riflessione perfettamente nitida.

La condizione di high gloss non è realizzabile con la tecnologia FDM in quanto la presenza degli strati impedisce la realizzazione di una superficie a specchio.

Si noti che la percezione della lucentezza è influenzata non solo dalla rugosità superficiale ma anche dalla forma (curvatura della superficie), dalla texture e dal punto di osservazione. Dipende molto anche dal colore, la cui intensità può far mutare la percezione della lucentezza<sup>38</sup>.

Spesso la proprietà di lucentezza è correlata al coefficiente di attrito, quindi alla scorrevolezza del materiale.

### Trasparenza

La traduzione greca dell'aggettivo trasparente è *διαφανος*, che nel suo significato attivo significa mostrare (nel duplice senso di far vedere e rendere noto), e nella sua forma passiva significa apparire, venire alla luce, essere visibile, manifesto<sup>39</sup>.

La trasparenza può addirittura smaterializzare un oggetto, non renderlo visibile, quindi ingannare l'osservatore nel più subdolo dei modi. Insieme alla traslucenza, essa viene associata al concetto di 'sexy', grazie soprattutto ad un effetto a volte di 'vedo non vedo', come dimostrano alcuni studi che hanno analizzato i significati attribuiti a materiali, finiture e processi<sup>40</sup>.

Gli effetti psicologici provocati da trasparenza e soprattutto dalla traslucenza sono molto sfruttati nel campo della moda, ma anche nella progettazione di accessori, packaging e profumi<sup>41</sup>.

Per capire i fattori che influenzano la trasparenza se ne analizza il fenomeno fisico.

La direzione del raggio rifatto e la sua intensità dipendono dall'indice di rifrazione  $\eta$  dei due mezzi coinvolti.

38 Rognoli V., Levi M. (2004), *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, Polipress, Milano

39 Bano V. (2009), *Trasparenze materiali polimerici in architettura*, PhD. Thesis, Uni Ferrara; citato in Riva F. (2014)

40 Karana E., Hekkert P., Kandachar P., (2008), "Meaning of materials through sensorial properties and manufacturing processes", in *Materials and Design*, vol. 90, n. 7, pp 2778-2784

41 Riva F. (2014)

Fig.56 Scacchi trasparenti.



L'indice di rifrazione è una proprietà del mezzo ed è definito come il rapporto tra la velocità della luce nel vuoto e la velocità della luce nel mezzo considerato.

La radiazione rifratta può a sua volta essere diffusa e trasmessa<sup>42</sup>.

La presenza di particelle in grado di assorbire la luce (pigmenti o cariche minerali) o di rifrangerla provocano la diffusione della luce che è dovuta al ripetersi di fenomeni di riflessione e rifrazione su ciascuna superficie di separazione tra le diverse fasi presenti all'interno del materiale e ha come effetto una deviazione dei raggi secondo diverse direzioni nello spazio. Si ha quindi un'attenuazione dell'intensità o il suo completo annullamento<sup>43</sup>.

Se il comportamento ottico dei materiali si considera solo qualitativamente in termini di trasparenza (capacità di trasmettere le radiazioni del campo del visibile) del materiale si possono distinguere quattro categorie qualitative:

42 Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà, Casa Editrice Ambrosiana

43 Ashby M., Shercliff H., Cebon D. (2009), Materiali. Dalla scienza alla progettazione ingegneristica, Casa Editrice Ambrosiana

- **qualità ottica:** la luce viene trasmessa in modo praticamente perfetto, adatta all'utilizzo per applicazioni come lenti e fibre ottiche;
- **trasparente:** la luce è trasmessa sufficientemente bene tanto che si possa vedere attraverso (anche in caso di materiali colorati);
- **traslucido:** la luce è trasmessa in modo diffuso attraverso il materiale e le immagini non possono essere distinte in modo chiaro;
- **opaco:** la luce è completamente riflessa o assorbita e non viene trasmessa.

Nel contesto della stampa FDM la qualità ottica non verrà considerata in quanto non raggiungibile con la tecnologia e i materiali utilizzati.

Sia il fenomeno della cristallizzazione, sia delle disomogeneità (particelle con indice di rifrazione diverso come pigmenti, tinte, coloranti o altri filler in generale) che la presenza di difetti strutturali (vuoti, incrinature, ecc.) peggiorano il comportamento ottico, poiché possono disperdere la luce.

Essi fungono da centri di diffusione della luce, impedendo quindi la trasmissione parziale o totale.

In linea generale si può affermare che i materiali cristallini sono opachi, mentre i materiali amorfi possono essere trasparenti.

I polimeri possono presentare nello stato solido una struttura amorfa o semicristallina. Nei polimeri amorfi la disposizione delle catene nello spazio è casuale, priva di un ordine tridimensionale a lungo raggio. Nei polimeri semi cristallini, oltre a zone amorphe, disordinate, vi sono zone in cui è presente un ordine nella disposizione delle catene nello spazio<sup>44</sup>.

Si può quindi dire che se il materiale polimerico è omogeneo (costituito da una sola fase) è trasparente, se è eterogeneo è generalmente opaco o traslucido: pertanto un polimero amorfo, se è omogeneo, come il policarbonato, è trasparente, mentre un polimero semicristallino, che è eterogeneo, è generalmente opaco o traslucido, come il polietilene<sup>45</sup>.

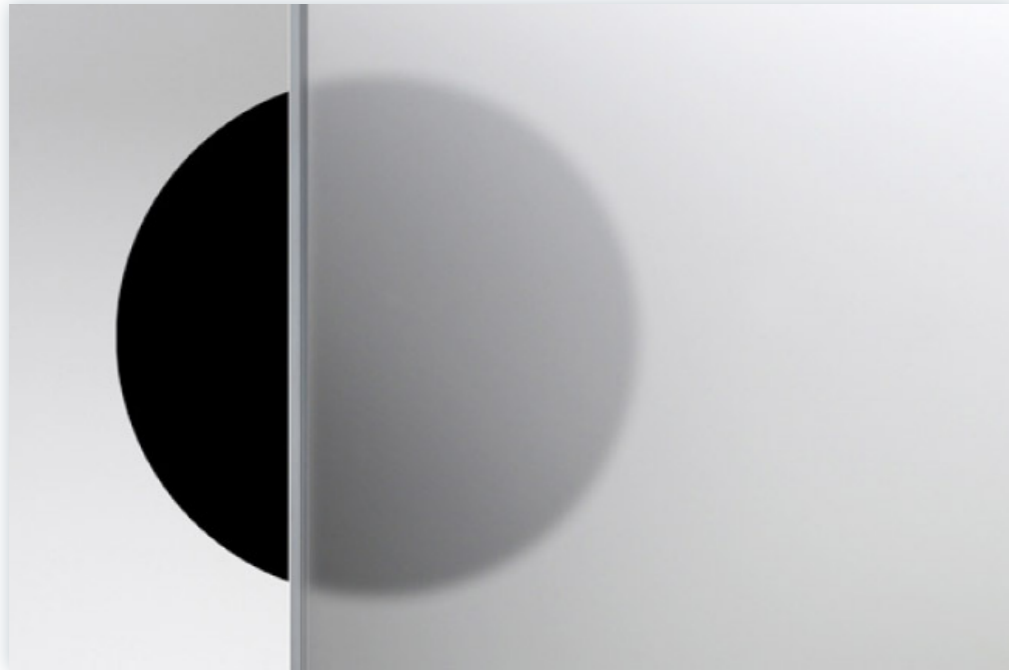
**La trasparenza è una proprietà caratteristica dei materiali. Questa può essere modifi-**

44 Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà, Casa Editrice Ambrosiana.

45 Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà, Casa Editrice Ambrosiana



Fig.57 Effetto della nitidezza nella percezione dei contorni.



**cata ma non indotta.** Un materiale può subire solo un peggioramento della proprietà di trasparenza, tendendo quindi verso l'opaco.

È utile sottolineare che un materiale trasparente può diventare traslucido con un trattamento superficiale che induca riflessione. I materiali con elevata riflettività sono infatti tendenzialmente opachi.

La trasparenza fenomenica è quindi definita proprio dal grado di trasparenza del corpo. La trasmittanza non fornisce però informazioni circa la qualità dell'immagine che viene percepita attraverso il materiale. Bisogna quindi considerare anche la nitidezza.

La **nitidezza** viene definita secondo la normativa ASTM come *“the characteristic of a transparency body where distinct high-contrast images or high-contrast object (separated by some distance from the body) are observable through the body”*<sup>46</sup>

Riguarda la chiarezza dell'immagine, ossia il grado di definizione dei particolari dell'oggetto, la capacità del corpo di trasmettere i piccoli dettagli di una figura.

L'impressione di nitidezza dipende in gran parte dal contrasto sui contorni.

46 Norma ASTM E 284 – 02b, Standard Terminology of Appearance.

Per definire la nitidezza si useranno gli aggettivi *molto nitido / poco nitido*.

Per la valutazione della trasparenza sarebbe corretto analizzare anche il fenomeno della nebulosità che però non verrà considerata in quanto non controllabile in questo contesto.

### Texture ottica

Le texture sono un insieme di punti, linee, e forme che danno complessivamente l'impressione di una superficie compatta, unitaria, tale da potersi ripetere all'infinito.

È una vera e propria interfaccia tra l'uomo e la materia, che caratterizza la parte esterna delle cose rendendole percepibili.

L'effetto di texture deriva dall'interazione di una moltitudine di elementi che definiscono il pattern visivo secondo cui la texture viene organizzata.

A questo proposito è importante definire la scala di osservazione, la rarefazione e l'addensamento degli elementi che poi la comporranno. Si può in effetti alterare l'uniformità della texture mediante processi di addensamento o rarefazione.

Ne risulta una forma riconoscibile che emerge dallo sfondo, gli elementi si raggruppano e si evidenziano formando un'immagine. Diventa così determinante sia la scala dell'osservazione che la distanza di visione.

Un eccesso di rarefazione, dovuta ad una scala troppo grande o a una distanza eccessivamente ravvicinata, porta alla mancanza di percezione della texture. Allo stesso modo, se la grana della texture è più sottile del mosaico di cellule retiniche, la capacità di risoluzione dell'occhio viene meno; la texture non viene allora percepita e al suo posto l'occhio sostituisce una superficie omogenea.

La luce è un fattore importante per la texture perché può influire sul modo in cui viene vista la superficie.

Da sottolineare che ogni materiale ha una sua texture visiva intrinseca (si pensi ad una tela rispetto ad un foglio di carta fotografica).

Come si vedrà anche per la texture tattile, nel caso della tecnologia FDM la texture che il processo lascia sugli oggetti è definita dalla stratificazione dei vari layer. Questa stratificazione viene percepita non solo al tatto ma anche alla vista.

Fig.58 Effetto dell'accostamento di texture differenti sulla sedia *Raviolo* di Magis. Fonte: www.madisdesign.com



Per definire una texture di norma si usa l'aggettivo 'liscia' o il suo contrario 'incisa'. In questo caso si utilizzeranno gli aggettivi *meno stratificata/più stratificata*.

## 7.5 Aspetto tattile

### 7.5.1 Il tatto

Il tatto è un sistema di percezione, mediata da due sottosistemi afferenti, cutaneo (cosa stiamo toccando) e cinestesico (dove si trova), che tipicamente coinvolge l'atto di esplorazione manuale<sup>47</sup>.

Contrariamente alla vista, il tatto è un senso di prossimità per il quale non è prevista alcuna distanza: l'oggetto esiste solo quando lo si tocca.

La sensibilità tattile rende l'uomo capace di rilevare, con una straordinaria precisione, la presenza di stimoli dovuti a contatto della superficie cutanea con oggetti esterni.

Il tatto è il senso della nostra presenza e della percezione del nostro corpo. L'esperienza tattile coinvolge quindi non solo il modo con cui siamo in rapporto con il mondo ma il fatto stesso dello stare nel mondo<sup>48</sup>.

Storicamente considerato un senso grossalano e rozzo, perché associato al fare animalesco e al lavoro manuale, il tatto è invece un senso molto preciso e fondamentale per la corretta percezione del mondo.

*"Unico tra i sensi, il tatto è indispensabile alla vita quanto matrice fondamentale del rapporto con il mondo"<sup>49</sup>.*

La pelle è l'organo preposto al tatto. Il tatto è da intendersi una prerogativa di tutto il corpo, non solo delle mani. Si avverte di camminare su un suolo duro o morbido, liscio o ruvido anche indossando robuste scarpe. Essendo l'uomo completamente ricoperto dall'epidermide, tutto il suo corpo è in grado di dare informazioni tattili, ma non con la stessa intensità in ogni sua parte, visto che i recettori sono molto specializzati e distribuiti in modo differente.

Ogni centimetro quadrato di pelle possiede circa 130 recettori tattili, suddivisi in cinque diverse tipologie, che danno le seguenti sensazioni: freddo, caldo, tatto (cellule di Merkel, corpuscoli di Ruffini e corpuscoli di Meissner), variazione di pressione (corpuscoli del Pacini) e dolore<sup>50</sup>.

47 Lederman S. J., & Klatzky R. L. (2009), Human haptics, in L. R. Squire (Ed. in Chief), Encyclopedia of neuroscience, vol. 5, pp. 11-18, Academic Press, San Diego.

48 Mazzeo M. (2003), Tatto e linguaggio, Editori riuniti, Roma.

49 Le Breton D. (2006)

50 <http://it.wikipedia.org/wiki/Tatto>

Il sistema aptico<sup>51</sup> utilizza le informazioni sensoriali provenienti dai meccanocettori e termorecettori incorporati nella pelle (input 'cutanei') insieme a meccanorecettori incorporati nei muscoli, tendini e articolazioni (input 'cinestetici').

La percezione tattile è particolarmente efficace nell'elaborazione delle caratteristiche del materiale di cui sono composte superfici e oggetti<sup>52</sup>.

Durante un'interazione aptica di una superficie se ne può infatti cogliere: consistenza, peso, temperatura e umidità (qualità non esperibili in altro modo quindi prerogative del tatto) e forma, dimensione, materiale, texture, quantità, orientamento e posizione spaziale.

Come detto inizialmente, il tatto, nonostante sia una prerogativa di tutto il corpo, viene tipicamente associato all'esplorazione manuale. Le mani sono la parte più funzionale del corpo per l'esplorazione tattile, dato che sono particolarmente adatte a compiere le operazioni di manipolazione e decodifica di ciò che toccano e, inoltre, possono lavorare sia in sincronia che indipendentemente l'una dall'altra. Nelle mani inoltre sono presenti un gran numero di recettori tattili che ne fanno uno strumento molto sensibile.

L'abilità nel manipolare e modificare oggetti è probabilmente la caratteristica che ha dato all'uomo, rispetto ad altri animali, un grande vantaggio nell'evoluzione. La mano ha permesso all'uomo di dominare la natura, trasformandolo in un fabbricante di strumenti: l'homo faber<sup>53</sup>, anzi l'homo maker.

Per percepire un oggetto al tatto è necessario un atto volontario, un movimento coordinato e metodico: afferrare, premere, accarezzare, riconoscere, confrontare.

Le procedure esplorative<sup>54</sup> tattili consistono in movimenti stereotipati della mano a contatto con oggetti utilizzati per percepire le loro caratteristiche. Tali procedure sono ottimizzate per ottenere precise informazioni circa una o due caratteristiche di un oggetto. Questi gesti di manipolazione aptica sono sistemati e finalizzati in base alla sensazione da rilevare.

51 Il termine "aptico" deriva dal gerco e significa "capace di afferrare". I contributi principali e fondativi sulla percezione aptica sono stati dati da Gèza Rèvész (1938) e Jeams Gibson (1961)

52 Lederman, S. J., Klatzky, R. L. (2009). Haptic perception: A tutorial. In Attention, Perception & Psychophysics, , vol. 71, n 7, pp. 1439-1459.

53 Pallasmaa J. (2009), The thinking hand, Wiley & Sons,UK.

54 Da più di 25 anni le ricercatrici Klatzky e Lederman studiano la percezione tattile. Il loro approccio alla percezione aptica ha contribuito a fare avanzare la ricerca scientifica in questo ambito e ha portato, tra le altre, alla definizione delle procedure esplorative ossia dei gesti che si compiono normalmente per riconoscere e valutare le proprietà degli oggetti.

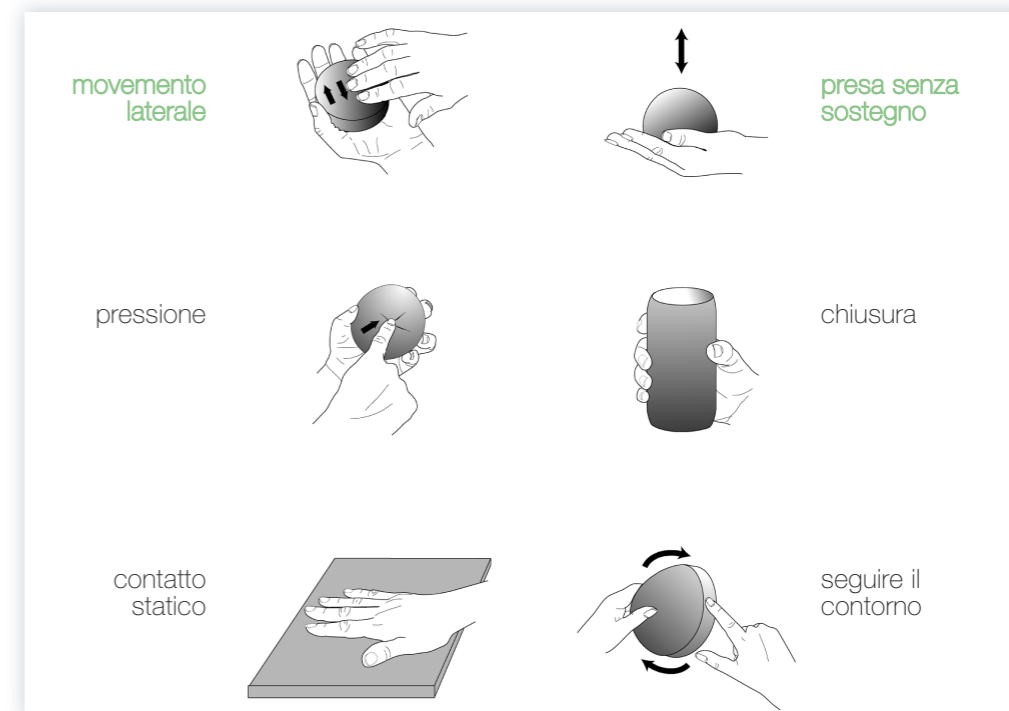


Fig.59 Le procedure esplorative tattili. Per le analisi sensoriali tattili di questa sperimentazione si considera il movimento laterale e la presa senza sostegno.

Le procedure esplorative individuate sono sei:

1. **movimento laterale** (*lateral motion*): questa procedura consiste in un movimento di sfregamento laterale e ripetuto. Le informazioni ottenibili riguardano la texture, quindi la rugosità e la scorrevolezza della superficie.
2. **pressione** (*pressure*): questa procedura consiste nell'applicare una pressione per verificare consistenza e durezza dell'oggetto.
3. **contatto statico** (*static contact*): questa procedura consiste nel contatto stazionario su una superficie senza movimenti, soprattutto per determinarne le proprietà termiche.
4. **presa senza sostegno** (*unsupported holding*): questa procedura consiste nel sollevamento di un oggetto da una superficie di supporto, per acquisirne informazioni sul peso.
5. **chiusura** (*enclosure*): questa procedura coinvolge un movimento dinamico del palmo della mano e/o delle dita/o sul contorno dell'oggetto, per ottenere informazioni volumetriche sulla forma di un oggetto.
6. **seguire il contorno** (*contour following*): questa procedura consiste nel seguire il con-



torno dinamicamente per ottenere dettagli di spazio più precisi sulla forma di un oggetto.

Il tatto, per la vicinanza che impone, è l'unico senso che unisce contemporaneamente l'azione con la sensazione inducendo una reazione che a sua volta aggiunge altra informazione e senso all'esperienza fatta. Mediante il tatto siamo coinvolti emozionalmente molto di più che con la sola vista.

**È stato infatti riconosciuto più volte come il tatto sia importante nell'interazione con gli artefatti che questo tipo di esperienza che l'utente fa dell'artefatto stesso suggerisce ai designer che le sensazioni tattili devono essere progettati in modo sistematico.**

Il tatto richiede una certa educazione ed esercizio per non rimanere irrigidito o insufficiente. Manipolando, da bambini, si impara a coordinare i movimenti della mano, si fa esperienza e si riconoscono consistenze e resistenze di materiali e oggetti per maneggiarli senza romperli.

Marieke Sonneveld<sup>55</sup> mette in evidenza come le procedure esplorative debbano essere apprese.

Sull'educazione alla tattilità nei bambini è utile ricordare il lavoro svolto da Bruno Munari nei suoi laboratori tattili portati avanti ancora oggi dall'Associazione Bruno Munari<sup>56</sup>.

Le peculiarità del tatto quindi sono potenziali, il tatto va educato, affinato e tenuto in allenamento.

Per quanto riguarda l'educazione sensoriali dei progettisti si sottolineano le metodologie didattiche del Bauhaus di cui si tratterà nel prossimo capitolo.

A livello artistico si trova un forte esempio nel Tatticismo lanciato nel 1921 da F.T. Marinetti con lo scopo di mettere a punto un'attività estetica basata sul tatto come mezzo di trasmissione di sensazioni. Egli stesso costruì la prima 'tavola tattile' mettendo assieme materiali molto diversi al tatto e stabilendo un percorso di lettura di questo oggetto da toccare.

### 7.5.2 Parametri e proprietà tattili

I materiali, dal punto di vista tattile, possono essere definiti in modi diversi, utilizzando termini e aggettivi che descrivono le proprietà della superficie e il loro comportamento

<sup>55</sup> <http://studiolab.io.tudelf.nl/id4250/shopkeeper/mariekesonneveld>

<sup>56</sup> Munari B. (1985), I laboratori tattili, Edizioni Corradini, Mantova; <http://www.brunomunari.it>

fisico e meccanico. La percezione tattile è quindi spesso associata a più di una proprietà fisica: si definisce come l'insieme di sensazioni veicolate dal materiale al soggetto nelle modalità dell'esperire tattile. Il tatto comprende sensazioni dovute sia al contatto che allo spostamento sulla superficie e ai diversi modi d'interazione ai quali corrispondono sensazioni specifiche<sup>57</sup>.

### Peso

Il peso di un materiale dipende direttamente dalla densità.

La **densità** è definita come la massa per unità di volume. Il valore della densità corrisponde anche al rapporto tra la massa del materiale considerato e la massa di un pari volume di acqua. La densità dei materiali è strettamente legata al numero atomico degli elementi che li costituiscono e al modo in cui gli atomi o le molecole si dispongono nello spazio. I materiali polimerici hanno in genere bassa densità (circa 1kg/dm<sup>3</sup>) in quanto costituiti principalmente da elementi a basso numero atomico (carbonio, idrogeno, ossigeno) con una struttura solo parzialmente ordinata (semi cristallini amorfi)<sup>58</sup>.

Dal punto di vista del design il peso è un parametro da non sottovalutare, può infatti incidere sulla percezione della qualità di un oggetto.

Pensiamo a che valore ha il peso elevato in un fermacarte d'argento, in una piccola statua, in una forchetta o in una macchina fotografica professionale; pensiamo invece a quando la pesantezza costituisce un grosso limite per altri prodotti come un'automobile, una scarpa, un cellulare. Che effetto fa sollevare un attrezzo da lavoro leggerissimo? Diremmo: ma dentro è vuoto, si romperà molto presto, sembra un giocattolo! O ancora, che effetto fa indossare un paio di occhiali molto pesanti<sup>59</sup>?

Per percepire il peso di un oggetto è necessario eseguire un'interazione di presa senza sostegno (*unsupported holding*).

Per definire empiricamente il peso si utilizzano gli aggettivi opposti **leggero/pesante**.

La pesantezza è un parametro in realtà poco modificabile in questo caso. I cambia-

<sup>57</sup> Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

<sup>58</sup> Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà, Casa Editrice Ambrosiana.

<sup>59</sup> Riva F. (2014)

menti di peso risultano percepibili ma non sono alterabili in modo molto significativo. Tuttavia la possibilità di modificare il peso degli oggetti stampati in 3D non può venire trascurata.

### Texture tattile

L'applicazione di una texture, la texturizzazione, comporta un'alterazione della superficie del materiale tramite la sovrapposizione di rilievi e/o incisioni.

L'uso specifico di una texture può influenzare la levigatezza superficiale dell'oggetto<sup>60</sup>.

La texture è un elemento importante dell'espressività di un materiale e che, durante la produzione, deve essere progettata e controllata basandosi anche sulle proprietà ingegneristiche.

Alcuni studi, focalizzati sull'esplorazione della percezione tattile delle texture e sull'identificazione delle relazioni con le proprietà fisiche della superficie<sup>61</sup>, hanno evidenziato che la principale proprietà fisica per valutare la texture è la rugosità superficiale (roughness).

La **rugosità**, o scabrosità, è definita come l'insieme delle irregolarità (righe, creste, solchi, ecc.) che una superficie presenta in modo intrinseco o risultanti da lavorazioni meccaniche; tali imperfezioni si presentano generalmente in forma di solchi o scalfiture, di forma, profondità e direzione variabili.

Può avere un orientamento se le irregolarità presentano una direzione predominante e un passo se la distanza tra le varie irregolarità ha un andamento periodico.

È possibile percepire la rugosità tramite l'interazione tattile definita come movimento laterale (*lateral motion*).

Come visto per la texture ottica, per definire una texture in letteratura si usa l'aggettivo 'liscia' o il suo contrario 'incisa'.

Nel caso della tecnologia FDM la texture che il processo lascia sugli oggetti è definita dalla stratificazione dei vari layer. Questi generano infatti un disegno tipico "a righe".

60 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano.

61 Karlsson M., Velasco A.V. (2007), Designing for the tactile sense: investigating the relation between surface properties, perception and preferences, in Codesign, n. 3, pp 123-133.

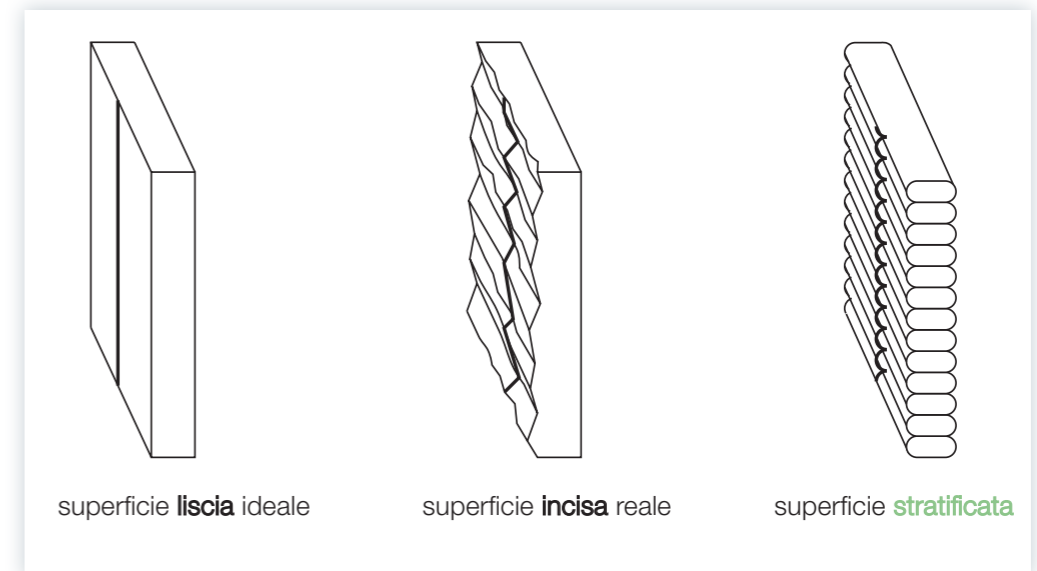


Fig.60 Superficie liscia, incisa e stratificata a confronto.

Come evidenziato dagli studi di Lederman e Klatzky<sup>62</sup>, uno dei principali fattori che influiscono sulla percezione della rugosità è la distanza tra le creste che costituiscono la superficie. Sotto una certa soglia di distanza, non è più possibile percepire la presenza di una texture.

Questo implica che quando l'altezza degli strati è sufficientemente elevata è possibile distinguere l'uno dal successivo; quando l'altezza degli strati è minima (con la stampa FDM low cost è possibile raggiungere una definizione di 5 micron) non è più possibile distinguere ogni singolo strato e la superficie verrà percepita come più omogenea, anche se fisicamente non è possibile annullare la presenza degli strati.

Per questo motivo sarebbe più corretto dire che la superficie è '**meno stratificata**' oppure è '**più stratificata**'.

62 Lederman S. J., Klatzky R. L. (2009), Human haptics, in L. R. Squire (Ed. in Chief), Encyclopedia of neuroscience, vol. 5, pp. 11-18, Academic Press, San Diego.

# 8

## Sensorialita' e progetto

La percezione sensoriale è parte dell'esperienza totale dell'artefatto e comporta una serie di effetti, comprese le risposte estetiche, emotive e di piacevolezza. Per i designer è importante capire che i sensi sono il punto di partenza per l'interazione esperienziale con gli artefatti.

*"La sensorialità è un tema sempre più importante nel dibattito e nella pratica del progetto. Periodicamente, il design 'riscopre' i sensi"<sup>1</sup>.*

Nel campo della **Product experience** sono stati

<sup>1</sup> Power N. (2007), "Sensing things: Merlau-Ponty, Synaesthesia & Human-Centredness", in International Association of Societies of Design Research, Hong Kong, pp. 1-12.





condotti molti studi per esplorare come le varie modalità sensoriali plasmino le nostre esperienze (come Cardello e Wise sul gusto e l'olfatto<sup>2</sup>, Sonneveld sull'esperienza tattile<sup>3</sup>, van Egmond sul suono<sup>4</sup>).

Anche se questi studi sono incentrati principalmente su una particolare modalità sensoriale, si sottolinea nuovamente che le esperienze sensorialmente più ricche possono essere raggiunte con la stimolazione di un maggior numero di modalità sensoriali in una sola volta<sup>5</sup>.

Gli artefatti possono essere percepiti in modi differenti, ma sempre stimolano i sensi, gli si attribuisce un significato e generano varie forme di risposte emotive. Il designer progetta gli artefatti con la volontà di esibire certe caratteristiche e con queste intende produrre determinate interpretazioni.

L'interpretazione che l'utente darà dell'artefatto potrà essere coerente con l'intenzione del designer oppure no; infatti, il processo interpretativo non può essere controllato correttamente, visto che persone diverse costruiranno significati differenti in dipendenza di fattori quali il contesto, la motivazione e i valori.

Il carattere soggettivo della percezione sensoriale dà luogo a esperienze differenti e individuali.

Gli artefatti significano cose differenti, in situazioni differenti e a persone diverse. Gli artefatti significano quello che il loro contesto permette<sup>6</sup>.

La valutazione delle qualità dei prodotti e dei loro materiali, nonché l'attribuzione di significati agli stessi, derivano da esperienze passate personali dell'utente, dipendono da gusti personali o, ad esempio, dall'appartenenza ad una determinata cultura rispetto ad un'altra<sup>7</sup>.

**La sfida è quella di progettare in maniera cosciente e in modo strategico la funzione**

2 Cardello A., Wise P. (2008) Taste, Smell and Chemethesis in Product Experience, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam; pp. 91-121.

3 Sonneveld M. (2007), Aesthetics of Tactile Experiences, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft.

4 Egmond R. van (2008), The Experience of Product Sound, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam; pp. 69-86.

5 Schifferstein H., Spence C. (2008), Multisensory Product Experience, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam; pp 133-54.

6 Krippendorff K. (2006), Meanings in the lives of artifacts, in The Semantic Turn: A New Foundation for Design, Taylor & Francis Group, cap.5, pp. 177-191.

7 Crilly N., Maier A., Clarkson P.J. (2008), "Representing artefacts as media: modeling the relationship between designer intent and customer experience", in International Journal of Design, vol. 2, n. 3, pp. 15-27.

**soggettiva ed estetica degli artefatti, attraverso le caratteristiche sensoriali, cioè porre attenzione alla loro dimensione espressivo-sensoriale.**

Chi progetta in genere si preoccupa di ciò che sarà visto. Egli invece dovrebbe tener conto del fatto che tutte le sensazioni sono comunque presenti in tutti. Per i non vedenti rappresentano il mezzo per il riconoscimento dei luoghi, per i vedenti il mezzo per la loro caratterizzazione. Non a caso si stanno sempre più sviluppando progetti multisensoriali che stimolino l'intera gamma delle percezioni<sup>8</sup>.

## 8.1 Il ruolo dei materiali

Come visto nei paragrafi precedenti, le proprietà sensoriali di un materiale hanno i seguenti attributi:

- sono obiettive in quanto derivano dalle proprietà fisiche o chimiche dei materiali;
- sono soggettive in quanto descritte e valutate da percezioni sensoriali;
- vengono percepite all'interno di soglie sensoriali;
- possono evocare risposte fisiologiche o psicologiche (emozioni).

I progettisti utilizzano i materiali per creare esperienze sensoriali nell'interazione con i prodotti. La superficie è l'interfaccia attraverso la quale l'artefatto entra in relazione con l'utente che percepirà in primo luogo la qualità iscritte nella superficie dei materiali di cui l'artefatto è costituito.

Le proprietà sensoriali dei materiali giocano un ruolo così importante nella percezione dell'immagine complessiva di un prodotto che in realtà vengono utilizzate da progettisti sia consciamente che inconsciamente<sup>9</sup>.

Partendo dall'assunto che l'oggetto è quello che si presenta nel contesto di un'esperienza percettiva, si può dire che un materiale è tale se resiste al tatto, ostacola la vista, o anche si fa notare per il suo dolore. **La materia sembra dunque poter ricevere una sua prima definizione come esistenza percettiva, ossia una presenza che si propone sottoforma di dati sensoriali e percepibili<sup>10</sup>.**

8 Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano .

9 Zuo H. (2010), The selection of materials to match human sensory adaptation and aesthetic expectation in industrial design, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 301-319.

10 Macè A. (eds.) (1998), La matière, Flammarion, Paris.

Riassumendo i materiali si differenziano per alcune caratteristiche specifiche che sono esperibili in primo luogo attraverso i sensi, le caratteristiche sensoriali appunto. Queste sono percepite attraverso gli organi sensoriali e gli è riconosciuta la capacità di evocare risposte fisiologiche e psicologiche. Diversamente dalle proprietà ingegneristiche e fisiche dei materiali che sono completamente oggettive, le caratteristiche sensoriali hanno attributi soprattutto soggettivi. Il loro lato oggettivo si riferisce a ciò che esiste fisicamente ed è riconducibile a proprietà ingegneristiche e quindi misurabili. Il loro lato soggettivo invece si riferisce all'interpretazione di questi attributi, come risultato della percezione. Per questa ragione, non solo le caratteristiche sensoriali percepite dei materiali cambiano da individuo a individuo, ma anche molto in base al contesto ambientale e culturale. Le caratteristiche sensoriali dei materiali sono perciò costituite da una combinazione di proprietà fisiche e di risposte soggettive.

Dal punto di vista progettuale possiamo dire che la materia di un oggetto o di un'opera d'arte esercita il suo potere non solo su chi ne viene in contatto, in quanto utente o spettatore, ma soprattutto sul modo in cui oggetti o opere d'arte sono plasmati, pensati e progettati. Il designer si trova nella posizione di poter progettare l'effetto di senso che scaturisce dalla scelta di un determinato materiale, di una specifica tecnologia di lavorazione, di una particolare finitura, o Texture, e via dicendo. Il progettista si trova a gestire il potenziale significativo della materia<sup>11</sup>.

Ognuno ha avuto esperienza di una grande quantità di materiali. Questi ricordi vengono usati durante tutte le interazioni con il mondo fisico che ci circonda. La mente è come un database di esperienze sensoriali, e quando si entra in contatto con qualcosa, il cervello collega tutte le informazioni pertinenti e capisce cosa sta succedendo. Attraverso il senso del tatto, olfatto, gusto, udito e vista si può accumulare una quantità enorme di informazioni accurate sul mondo esterno.

Parallelamente alla *Product experience* si parla quindi di **Material experience**, ossia quel momento definito dai parametri che descrivono l'esperienza che un utente può fare con il materiale che funge da interfaccia dell'artefatto con cui è entrato in relazione<sup>12</sup>.

I materiali influenzano vari aspetti di progettazione del prodotto come forma, funzione, tecnologie di produzione, ecc.. e sono utilizzati per creare esperienze sensoriali tramite

11 Rognoli V., Levi M. (2011), *Il senso dei materiali per il design*, Franco Angeli, Milano.

12 Karana E. (2010), *Meanings of materials*, LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany.

cui trasmettere significati e suscitare emozioni<sup>13</sup>. Le proprietà sensoriali dei materiali come il colore, la consistenza ecc e le risposte percettive degli utenti agli stimoli sono informazioni molto importanti per i progettisti da considerare nella scelta di un materiale<sup>14</sup>. Infatti i progettisti si concentrano su alcune proprietà sensoriali dei materiali al fine di creare esperienze uniche.

E' importante sottolineare che tutti gli artefatti possiedono delle pelli, ossia delle superfici, dei gusci. Il mondo è pieno di superfici e guardandole possiamo giudicare la qualità dei materiali. La superficie di un oggetto è il luogo dei punti in cui finisce il materiale di cui l'oggetto è fatto e comincia l'ambiente esterno; la superficie diviene quindi un'interfaccia tra due ambienti, il cui ruolo è quello della gestione delle informazioni<sup>15</sup>.

Sulla superficie avviene il passaggio di informazioni sensoriali tra l'oggetto e l'utente:

*"[...]La superficie si riferisce generalmente al tipo di materiale, al colore, alla struttura e alla grafica visibili sulla pelle degli oggetti"*<sup>16</sup>.

I designer lavorano con le caratteristiche superficiali della forma, contorni, materiali, colori e texture per creare le esperienze estetiche che l'utente cerca e desidera.

Accanto alla *Product experience* e alla *Material experience*, si può quindi introdurre la **Surface experience**.

### L'esperienza del Bauhaus

L'importanza del lato espressivo-sensoriale dei materiali nel design non era un mistero per la prima scuola di design, il Bauhaus<sup>17</sup>. Intorno al 1920 i vari docenti/artisti avevano già teorizzato soluzioni educative basate sulla valutazione della dimensione sensoriale dei materiali.

13 Karana E. (2010), How do materials obtain their meanings?, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 271-285.

14 Zuo H., Jones M., Hope T. (2004), "A matrix of material representation", in Proceeding of International Conference Futureground, Melbourne, AUS.

15 Manzini E. (1989), "La pelle degli oggetti", in Ottagono, n.87, pp. 62-70.

16 Boradkar P. (2010), *Designing Things. A critical introduction to the culture of objects*, Berg, New York.

17 Wick R.K., (2000) *Teaching at the Bauhaus*, Hatje Cantz, Ostfildern-Ruit. Il Bauhaus, che letteralmente significa "casa di costruzione" è stata fondata a Weimar nel 1919 a seguito della fusione della scuola di belle arti (Großherzoglich Sächsische Kunstgewerbeschule) con la scuola d'arte applicata (Kunstgewerbeschule), per volontà dell'architetto Walter Gropius.

Le prime riflessioni in termini pedagogici sulle necessità della formazione del progettista portarono a considerare i materiali e il loro aspetto come elemento cardine del processo progettuale.

Fondamentale fu lo sviluppo di una personale sensibilità sulla materia.

La Teoria del contrasto di Itten<sup>18</sup> e gli esercizi con materiali di Moholy-Nagy e Albers sono i primi esempi di didattica orientata allo sviluppo delle competenze sulle qualità espressive-sensoriali dei materiali<sup>19</sup>.

L'approccio del Bauhaus al tema dei materiali è qui considerato come il primo esempio di una efficace e contemporanea metodologia di insegnamento.

La prima fase del Bauhaus fu influenzata dal coraggio espressionista di Johannes Itten, che rimase presso la scuola fino al 1923 e animata da forte spirito comunitario.

Il Vorkurs, idealizzato proprio da Itten, era un corso di preparazione di sei mesi con un ruolo centrale nel sistema pedagogico per l'intera esistenza del Bauhaus e base strutturale del progetto didattico. Itten lo considerava come "[...] una piattaforma per un'educazione integrale per completare gli esseri umani"<sup>20</sup>.

Nel Vorkurs sono stati avviati gli studi sulla capacità espressiva dei materiali quali la consistenza, la finitura e l'aspetto fenomenologico. Anche prima della descrizione tecnica, la caratterizzazione espressiva e sensoriale del materiale venne considerata fondamentale nella formazione. Lo studio della natura dei materiali ha avuto lo scopo di dimostrare che in ogni materiale è diverso ed è quindi essenziale che il progettista affini la propria sensibilità per la materia.

Itten strutturava le esercitazioni in laboratorio anche in base alla formulazione di proprie teorie:

*"Nel Corso Base presso Bauhaus gli esercizi con i materiali e le texture sono stati trovati particolarmente stimolanti. Come introduzione ho compilato lunghe liste con i diversi materiali, come legno, vetro, tessuti, corteccia, pellicce, metalli e pietre. Ho poi compilato ulteriori colonne con le proprietà visive e tattili di questi materiali. Ma la conoscenza delle parole che descrivono le proprietà non era sufficiente, era necessario sperimentare personalmente per dimostrare la natura dei materiali.*

*Contrasti come il liscio-ruvido, duro-morbido, leggero-pesante non andavano solo letti*

18 Itten J. (2002), Design and Form, John Wiley & Sons, New York.

19 Rognoli V., Levi M. (2004b), How, What and Where is it Possible to learn Design Materials?, Proceedings of The Changing Face of Design Education, University of Technology, Delft, pp. 647-654.

20 Wick R.K. (2000), Teaching at the Bauhaus, Hatje Cantz, Ostfildern-Ruit.

*ma anche percepiti . [...] Al Bauhaus, ho avuto una lunga serie di campioni di materiali realizzati per la valutazione tattile delle varie strutture. Gli studenti dovevano sentire queste sequenze di texture con la punta delle dita e gli occhi chiusi. Dopo un po' il loro senso del tatto è migliorato notevolmente. Ho quindi chiesto loro di accostare materiali con texture contrastanti in dei collage. Vennero prodotte strutture fantastiche e i loro effetti avevano un carattere romanzesco"<sup>21</sup>.*

Quando nel 1923 Itten si dimise dal Bauhaus la strada presa fu portata avanti e sviluppata da Lazlo Moholy-Nagy insieme a Josef Albers, ex allievo del Bauhaus promosso nello stesso anno.

Il fondamentale contributo di Albers, il cui Vorkurs rimase in vigore fino al 1933, fu quello di considerare i materiali come fattori che contribuiscono alla problematica del progetto.

Mentre il principio della Vorkurs di Itten era incentrato sulle vibrazioni sensibili e percettive e sull'impatto emotivo, generato dall'osservazione e dall'esplorazione sensoriale dei materiali, cercando di agire contemporaneamente sui singoli atteggiamenti, Moholy-Nagy, pur conservando le basi intuitive e sensuali, trovò un modo per sviluppare metodi sperimentali nell'utilizzo di nuovi materiali e di nuove tecnologie, utili e interessanti per la dimensione emergente della mentalità 'produttivista'.

Lo stesso Moholy scrisse:

*"... Ognuno è dotato dalla natura della capacità di ricevere e assimilare esperienze sensoriali. Tutti sono sensibili a toni e colori, ognuno ha una sensazione di sicurezza e una realizzazione di spazio, e così via. Questo significa che per natura tutti sono in grado di prendere parte a tutti i piaceri dell'esperienza sensoriale. [...] Obiettivo (dei Vorkurs) è la spontaneità e inventiva per dare agli studenti una visione universale e per renderli consapevoli delle loro forze creative. Qui gli studenti sperimentano legno, metallo, gomma, vetro, tessuti, carta e plastica con gli strumenti e le macchine; [...] lavorando con materiali diversi si scopre a poco a poco la loro vera potenzialità e si acquisisce una piena consapevolezza della loro struttura, tessitura e del trattamento superficiale[...]. L'idea fondamentale di questa educazione è che ogni uomo è dotato di talento, e una volta che il corso elementare ha attivato i suoi punti di forza emotivi e intellettuali, sarà in grado di produrre lavoro creativo"<sup>22</sup>.*

21 Itten J. (1963)(2002), Design and Form, John Wiley & Sons, New York.

22 Moholy-Nagy L. (1963), Dal materiale all'architettura, Sergio Los (Eds.), Istituto Universitario di Architettura, Istituto di Tecnologia, Venezia.



## 8.2 Strumenti per il designer

I progettisti tendono a inventare proprie modalità (o semplicemente ad usare le loro intuizioni) per inserire gli aspetti sensoriali nella selezione dei materiali.

**La progettazione di uno strumento che possa aiutare nell'interpretazione in chiave progettuale del mondo reale deve basarsi sulla costruzione di una descrizione fenomenologica di differenze qualitative, seguita da una misurazione fisico-chimica basata sul linguaggio matematico di misure quantitative<sup>23</sup>.**

La pubblicazione da parte di Manzini di 'The Material of Invention'<sup>24</sup> ha cambiato il modo di guardare i materiali per il design. L'obiettivo principale della ricerca di Manzini è stato quello di trovare una forma per trasmettere le qualità e le potenzialità dei materiali. Per la prima volta, è stato fatto uno sforzo per tradurre la terminologia tecnica in concetti chiari che sono più vicini al modo di pensare del progettista.

Come la necessità di modificare i classici strumenti ingegneristici al fine di renderli utili per i progettisti è diventata evidente prima con Cornish<sup>25</sup> e poi con Ashby e Johnson<sup>26</sup> che hanno creato banche dati e mappe per la scelta dei materiali.

Esistono anche altri database sviluppati per la selezione dei materiali su base informatica. Ne sono un esempio *MatWeb*<sup>27</sup>, il portale web *Design InSite*<sup>28</sup> e l'olandese *IDEMAT*<sup>29</sup>.

C'è una quantità enorme di informazioni tecniche sui materiali disponibili per gli scienziati, tecnologi e industriali da utilizzare nel loro campo. Anche se queste informazioni dicono molto circa la fisicità dei materiali, gettano poca luce sulle loro proprietà senso-

23 Rognoli V., Levi M. (2004), *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, Polipress, Milano

24 Manzini E. (1986), *La Materia Dell'Invenzione: Materiali e Progetto*, Arcadia, Milano

25 Cornish H. (1987), *Materials and the Designer*, Cambridge University Press, Cambridge

26 Ashby M., Johnson K. (2003), *The Art of Materials Selection*, *Material Today* 6(12), 24-36 Le mappe di Ashby sono un perfetto esempio di visualizzazione delle caratteristiche tecniche dei materiali. Accoppiando le proprietà dei materiali (i.e. modulo di Young e densità) è possibile generare una mappa che distribuisca tutte le classi di materiali secondo i loro valori. La mappa è un'immagine leggibile che riassume una grande quantità di informazioni. Il Cambridge Engineering Selector (CES) è uno strumento software basato sulle mappe di Ashby.

27 <http://www.matweb.com>

28 <http://designinsite.dk>

29 <http://www.idemat.nl>

estetiche. Infatti, vi è stato poco lavoro che ha esaminato come le proprietà fisiche dei materiali si riferiscono alle loro proprietà sensoriali ed estetiche. All'interno del mondo dei materiali, esiste una grossa spaccatura tra la comunità scientifica, come scienziati, tecnologi e industriali che sono interessati alla fisicità dei materiali, e quelli della comunità che possiamo chiamare delle arti che sono interessati alle proprietà sensoriali dei materiali. Le due parti non parlano una lingua comune.

Molti hanno provato a semplificare e a delineare un quadro definito delle caratteristiche che possono essere comprese nella descrizione sensoriale dei materiali.

Recentemente diversi studi si sono concentrati sullo sviluppo di strumenti per sostenere studenti e professionisti nella selezione dei materiali, tenendo in considerazione la dimensione espressiva-sensoriale dei materiali.

Il database *Material Explorer* di Aart van Bezooyen<sup>30</sup>, in cui le qualità sensoriali sono considerate criteri di ricerca più importanti di caratteristiche tecniche, ne è un esempio.

Uno dei primi studi è stato quello che ha portato alla realizzazione della Matrice per la rappresentazione dei materiali, relativamente alla quale è stato sviluppato anche un database<sup>31</sup> contenenti informazioni circa l'estetica e la percezione dei materiali<sup>32</sup>.

Gli aspetti interessanti di questa ricerca risiedono nell'aver evidenziato la necessità di mettere in relazione l'aspetto sensoriale dei materiali con quello fisico, ossia il soggettivo con l'oggettivo.

*"Le proprietà sensoriali dei materiali e le risposte percettive umani sono importanti tanto quanto le proprietà ingegneristiche, e pertanto dovrebbero essere entrambe considerate nel corso di un processo di selezione del materiale"<sup>33</sup>.*

La matrice è un modello di narrazione visiva che contiene in modo sistematico le informazioni olistiche sui fattori coinvolti nella percezione e illustra la relazione tra i fattori che influenzano la percezione dei materiali presentando un'immagine del dialogo soggettivo-oggettivo tra i materiali e la risposta dell'utente. I fattori che sono coinvolti

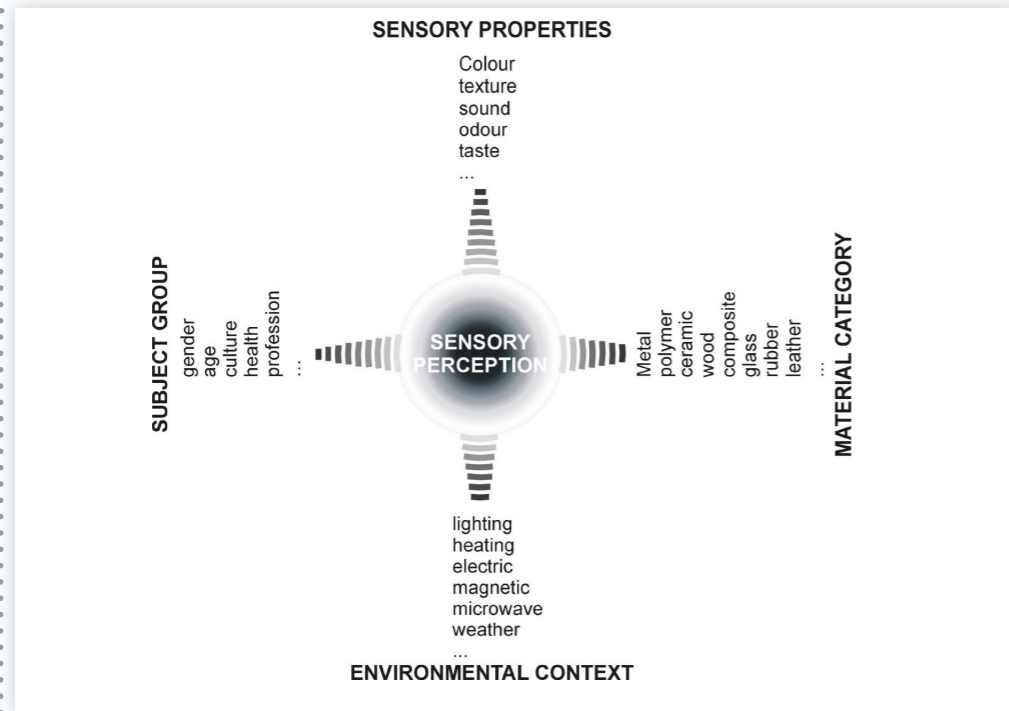
30 La carriera di Aart con materiali iniziata con l'assegnazione di un Master in Industrial Design presso la Delft University of Technology per la *Material Explorer*, uno strumento di supporto di selezione dei materiali per i progettisti. Vedere <http://materialstories.com>

31 [www.material.aesthetics.com](http://www.material.aesthetics.com)

32 Zuo H., Jones M., Hope T. (2004), "A matrix of material representation", in *Proceeding of International Conference Futureground*, Melbourne

33 Zuo H. (2010), "The selection of materials to match human sensory adaptation and aesthetic expectation in industrial design", in *METU Journal of the Faculty of Architecture*, vol.27 n.2, pp. 301-319

Fig.61 La mappa preliminare che ha portato alla creazione della Matrice per la rappresentazione dei materiali di Zuo H.



nella loro percezioni sono: attività percettiva dell'uomo, le classi dei materiali, le proprietà sensoriali dei materiali, le qualità delle persone come il sesso, l'età e via dicendo e infine il contesto ambientale. La matrice inoltre è un punto di riferimento per coloro che vogliono selezionare i materiali con il fine di mettere in relazione le esigenze sensoriali umani con le aspettative percettive ed estetiche.

Ilse Van Kesteren<sup>34</sup> propone un nuovo modello di selezione dei materiali, il *Materials Selection Activities (MSA)*<sup>35</sup>, con lo scopo di comprendere il contesto in cui vengono selezionati i materiali. E' un modello che vuole descrivere le attività dei progettisti. Ha sviluppato quattro strumenti per supportare il processo, vale a dire:

- *question tool* che passa attraverso gli aspetti sensoriali dei materiali durante le varie fasi della interazione con l'utente e il prodotto;

<sup>34</sup> Laureato in Design Engineer prodotto, ha lavorato presso la Facoltà di Industrial Design Engineering del Politecnico di Delft. Ha ottenuto il dottorato di ricerca nel 2008 sul tema della selezione dei materiali nella progettazione dei prodotti

<sup>35</sup> Van Kesteren I. (2010), A user-centred materials selection approach for product designers, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27, n°2, pp 321-338

- *picture tool* che porta nella discussione le immagini di esempio dei prodotti e dei materiali di cui i prodotti sono realizzati;
- *sample tool* che offre campioni tangibili dei materiali;
- *relation tool* che orienta gli specialisti di materiali orientati alla tecnologia ad includere i requisiti sensoriali nelle loro considerazioni e valutazioni sui materiali.

Gli strumenti sono di aiuto non solo sugli aspetti della *User experience* dei materiali, ma sostengono anche la traduzione di questi in proprietà sensoriali dei materiali.

Si sottolinea il carattere interattivo del processo di selezione dei materiali, l'importanza di creare un profilo delle caratteristiche del materiale chiaro e il ruolo delle informazioni ivi contenute.

Presso l'*Institute of Making* si sta conducendo attivamente la ricerca nello sviluppo di una teoria senso-estetica dei materiali.

*"La scienza dei materiali si occupa della caratterizzazione fisica dei materiali, mentre artisti e designer sono generalmente molto più interessati al lato estetico dei materiali. Applicando una metodologia scientifica per lo studio del lato estetico, sensuale ed emozionale dei materiali (ossia le proprietà senso-estetiche) si può migliorare la nostra comprensione di come le persone interagiscono con i materiali, e può portare al design più innovativo e multisensoriale. Nello sviluppo di una teoria senso-estetica dei materiali puntiamo a creare legami tra questi due domini materiali.*

*Le proprietà senso-estetiche sono fortemente dipendenti dalla percezione, e lo studio della percezione rientra nel campo della psicologia. La Psicofisica, la 'scienza dei sensi', è una branca della psicologia che utilizza tecniche di misurazione quantitative per studiare le sensazioni e la percezione. La nostra ricerca unisce direttamente la psicofisica con la scienza dei materiali. In un primo momento, può sembrare che una disciplina scientifica difficile non possa far troppa luce sul lato più sensoriale dei materiali. Tuttavia, ad un esame più approfondito, risulta evidente che il nostro modo di interagire con i materiali e le sensazioni e le emozioni che percepiamo, è radicata nella loro proprietà fisiche fondamentali. Il nostro avanzato senso di materialità è qualcosa che diamo per scontato<sup>36</sup>.*

Sul loro blog vengono pubblicati molti paper di studi effettuati in questo campo. In evidenza uno studio approfondito sulla percezione tattile. Lo scopo di questo esperimento era indagare la percezione tattile di una varietà di materiali con superfici preparate utilizzando la stessa procedura, con l'intenzione di rivelare quanto la percezione umana sia

<sup>36</sup> <http://www.instituteofmaking.org.uk/blog/2012/07/materials-and-touch>

collegata ai relativi dati di proprietà fisiche<sup>37</sup>.

### 8.3 Le analisi sensoriali

L'analisi sensoriale è stata definita come un metodo scientifico usato per risvegliare, misurare, analizzare e interpretare quelle risposte ai prodotti che sono esito della percezione tramite i sensi della vista, dell'olfatto, del tatto, del gusto e dell'udito<sup>38</sup>.

#### Sensazioni e percezioni, momenti soggettivi, possono essere misurati e valutati? L'uomo può diventare uno strumento di misura?

Il modo in cui l'uomo attua il suo rilievo sensoriale differisce dai meccanismi usati dai dispositivi strumentali. Per di più non esiste una necessaria corrispondenza fra ciò che è numerabile e quanto può essere discretizzato.

Elvin Karana osserva come nel campo della *Product experience*, al fine di orientare i progettisti, sono stati condotti una serie di studi<sup>39</sup> per esplorare come le varie modalità sensoriali plasmano le nostre esperienze e che non esiste alcun approccio sistematico comune a disposizione dei progettisti in relazione a questo tema.

37 Wongsriuksa S., Howes, P., Conreen M., and Miodownik M. (2012), The use of physical property data to predict the touch perception of materials, *Materials & Design* Vol 42, Pages 238-244.

38 Definizione accettata e fatta propria da American Society for Testing and Materials Institute of Food Technologists.

39 Arabe K. (2004), *Materials' Central Role in Product Personality*, Industrial Market Trends; Cardello, A.V., Wise, P.M. (2008), "Taste, Smell and Chemethesis in Product Experience", in Schifferstein H.N.J., Hekkert P., *Product Experience*, Elsevier, Amsterdam; Hodgson S., Harper J. (2004), *Effective Use of Materials in The Design Process - More Than a Selection Problem*, Proceedings of International Conference on Engineering and Product Design Education, The Design Society, Stockholm; 593-601; Karana E., Kesteren I. van (2008), *Materials Affect - The Role of Materials in Product Experience*, Design and Emotion Moves, P. Desmet, J. van Erp, M. Karlsson, eds., Cambridge Scholars Publishing, Newcastle; 221-246; Kesteren I. van (2008), *Selecting Materials in Product Design*, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft; Ljungberg L., Edwards K. (2003), *Design, Materials Selection and Marketing of Successful Products*, *Materials and Design*, 24 (7) 519-29; MacDonald A. (2001), *Aesthetic Intelligence: Optimizing User-Centered Design*, *Journal of Engineering Design*, 12 (1) 37-45; Sapuan S. (2001), *A Knowledge-Based System for Materials Selection in Mechanical Engineering Design*, *Materials and Design*, 22 (8) 687-95. Sonneveld M. (2007), *Aesthetics of Tactile Experiences*, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft; Van Egmond R. (2008) "The Experience of Product Sound", in Schifferstein, H.N.J., Hekkert, P. (Eds.), *Product Experience*, Elsevier, Amsterdam; Zuo H., Hope T., Castle P., Jones M. (2005), *Material Texture Perception in Product Design*, Proceedings of International Conference on the Art of Plastics Design, Paper 5, Rapra Technology Ltd., Shrewsbury.

Nella maggior parte di questi studi, un numero di partecipanti valuta le specifiche proprietà dei prodotti (o materiali), sulla base di scale sensoriali. Al fine di fornire una valutazione accurata delle proprietà sensoriali sono state sviluppate diverse tecniche come la *Quantitative Descriptive Analysis* (analisi descrittiva quantitativa) in cui i partecipanti vengono istruiti per comprendere i significati esatti dei descrittori sensoriali che vengono forniti con campioni di riferimento per definire il vari punti sulle scale sensoriali<sup>40</sup>.

*Quantitative Descriptive Analysis* (QDA®) è una delle principali tecniche di analisi descrittiva per la valutazione sensoriale. QDA è stato sviluppato dalla *Tragon Corporation* in collaborazione con il *Dipartimento di Scienze degli Alimenti* presso l'Università della California.

Nella metodologia QDA, molteplici valutazioni dei prodotti vengono suggerite per sfruttare l'abilità degli utenti di dare giudizi relativi con un alto grado di precisione.

Per la raccolta dei dati sono utilizzate scale in linea di valori la cui direzione va da sinistra a destra con l'aumento intensità, ad esempio, da debole a forte, da poco a tanto<sup>41</sup>.

Nel paper *'The selection of materials to match human sensory adaptation and aesthetic expectation in industrial design'*<sup>42</sup>, Hengfeng Zuo analizza le criticità presenti nella valutazione sensoriale<sup>43</sup> dei materiali.

Zuo scrive che le informazioni necessarie per affrontare la percezione sensoriale dei materiali provengono da tre aspetti. In primo luogo le informazioni sui materiali: dati oggettivi (proprietà fisiche, o parametri fisici, che sono alla base del materiale indagato, per esempio, rugosità o trasparenza). In secondo luogo, informazioni sulle persone: il dato personale (risposte sensoriali dei partecipanti ai materiali, i loro sentimenti affettivi e tutte le altre associazioni che vengono evocate quando si interagisce con i materiali). In terzo luogo, le relazioni tra risposte soggettive delle persone e i dati oggettivi del materiale.

Per ottenere i tre aspetti dell'informazione, possono essere utilizzati metodi qualitativi e quantitativi separatamente o in combinazione, a seconda degli scopi e in diverse fasi.

I dati soggettivi hanno alcune complessità rispetto ai dati oggettivi. La sfida principale

40 Schifferstein, H.N.J. (2009), "The Drinking Experience: Cup or Content?", *Food Quality and Preference*, Vol. 20, pp. 268-276.

41 [http://www.sensorsociety.org/ssp/wiki/Quantitative\\_Descriptive\\_Analysis/](http://www.sensorsociety.org/ssp/wiki/Quantitative_Descriptive_Analysis/)

42 Zuo H. (2010), *The selection of materials to match human sensory adaptation and aesthetic expectation in industrial design*, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 301-319

43 La Valitazione Sensoriale (Sensory Evaluation) è una disciplina scientifica utilizzata per evocare, misurare, analizzare e interpretare quelle risposte ai prodotti che vengono percepite dai sensi di vista, olfatto, tatto, gusto e udito



è nella difficoltà di quantificare le risposte soggettive. Esistono diversi tipi di risposte soggettive. Prendendo come esempio la texture, le risposte soggettive all'interno della dimensione geometrica e della dimensione fisica-chimiche sono la rilevazione delle proprietà oggettive dei materiali come rugosità, calore, durezza, ecc. Questi attributi sono essenzialmente quantificabili mediante strutture fisiche, quindi è ragionevole supporre che le risposte soggettive o di giudizio di questi attributi possano essere quantificate. Ad esempio, data una scala ben definita, i soggetti possono eventualmente sentire che una particolare superficie è circa due volte più ruvida di un'altra superficie.

Tuttavia l'utente ha parallelamente un altro tipo di percezione soggettiva ossia quella legata alle associazioni e alle emozioni. Queste risposte sono correlate all'esperienze passate e ai ricordi, e sono completamente soggettive sia nel contenuto che nella descrizione. In senso rigoroso, è difficile applicare un metodo quantitativo per misurare risposte come il comfort, la felicità, o la percezione di stile. Ciò è in primo luogo dovuto a risposte soggettive essendo di solito singolari ed instabili nel tempo, avendo così scarsa ripetibilità. Altre ragioni includono i limiti dei metodi di prova come l'idoneità e la precisione delle scale di valutazione.

Nonostante la loro natura non quantificabile, le risposte soggettive possono essere misurate con metodi quasi quantitativi.

Zuo spiega inoltre come metodologie dirette e indirette possano essere utilizzate per studiare la percezione sensoriale del materiale.

La metodologia diretta impiega la raccolta e l'analisi dei dati primari di come le persone percepiscono i materiali tramite la sperimentazione, l'osservazione e l'intervista, utilizzando campioni di materiali reali o campioni reali dei prodotti.

Quella indiretta proviene da due prospettive. Una è la deduzione teorica da discipline affini. Ad esempio, la formula da Ashby e Johnson<sup>44</sup>,  $S = EH$  (S rappresenta morbidezza, E il modulo elastico, H la durezza) può essere utilizzata per valutare la morbidezza dei materiali percepita. La seconda prospettiva comporta la raccolta e l'analisi dei dati secondari per quanto riguarda la percezione materiale, di solito attraverso media visivi provenienti da fonti esistenti quali riviste, libri e altre pubblicazioni in cui i materiali sono rappresentati sotto forma di foto o immagini. In questo caso è possibile analizzare la valutazione di queste immagini e di come designer e utenti potranno percepire i materiali e la l'esperienza di utilizzo di tali materiali.

Entrambe le metodologie dirette e indirette hanno i loro vantaggi e svantaggi. Il parere

44 Ashby M., Johnson K. (2005), *Materiali e Design. L'arte e la scienza della selezione dei materiali per il progetto*, Casa Editrice Ambrosiana

dell'autore è di combinare elementi di entrambe per ottimizzare la qualità e l'affidabilità dei dati di ricerca.

Lerma, De Giorgi e Allione<sup>45</sup> hanno cercato di catalogare i diversi approcci per l'analisi delle percezioni sensoriali dividendoli in:

- metodi di valutazione sensoriale;
- metodi discriminativi;
- metodi descrittivi;
- gruppo sensoriale addestrato.

Come visto finora però tra la realtà fisica dei fenomeni e la realtà percettiva degli stessi, non esiste sempre corrispondenza. E' possibile individuare una netta divisione dei dati fisici e dei dati fenomenici, tra l'oggettivo e il soggettivo, tra il quantificabile e il qualificabile, tra il fisico e il fenomenologico, tra ciò che è misurabile e ciò che è descrivibile<sup>46</sup>.

**Comunicare parametri soggettivi non è infatti semplice e privo di possibili fraintendimenti.**

## 8.4 Il linguaggio della sensorialità

Gli strumenti che vengono usati per descrivere il fisico e il fenomenico sono profondamente diversi. Il mondo fenomenico viene descritto con il linguaggio quotidiano, mentre il mondo fisico necessita degli strumenti quantitativi che neutralizzano le impressioni sensoriali il linguaggio matematico e quindi il più adatto per descrivere il mondo fisico.

**La dicotomia tra mondo fisico e mondo fenomenico, diviene anche una dicotomia tra le tipologie di linguaggi usati per parlare dei due mondi.**

Per superare la dicotomia potremmo osservare che il mondo fenomenico è parte del mondo fisico in quanto anch'esso deve essere sottoposto a verifiche e a misure di tipo quantitativo<sup>47</sup>.

45 Lerma B., De Giorgi C., Allione C. (2011), *Design e materiali: sensorialità, sostenibilità, progetto*, Angeli, Milano

46 Rognolo V., Levi M. (2004), *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, Polipress, Milano

47 Rognolo V., Levi M. (2004), *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, Polipress, Milano

Negli ultimi anni sono stati realizzati anche strumenti per descrivere delle qualità sensoriali di specifici prodotti. Un esempio è il *Sensotact*, strumento messo punto da *Renault* come referenza tattile dei materiali impiegati nel settore dell'auto e usato oggi in molti altri settori. Strumento di referenza tattile che analizza e classifica le percezioni tattili dei materiali, fornisce un linguaggio riconosciuto universalmente. Questo permette un dialogo tra ricercatori e progettisti che utilizzano e conoscono lo strumento.

Un approccio utilizzato in questi strumenti è quello di sviluppare un linguaggio non verbale basato sul significato simbolico delle icone. Come esempio occorre citare le cure sviluppate per rappresentare il suono degli oggetti, utili per quegli strumenti di progetto per il suono nel design<sup>48</sup>.

Un progetto interessante è quello sviluppato nell'ambito dei tessuti per i quali è stato progettato un sistema infografico per la comunicazione della morbidezza, ossia un valore qualitativo della mano di un tessuto. Il progetto è di Giuseppe Salvia che lo ha sviluppato durante il suo percorso di ricerca che si concentrava sulla definizione della mano dei tessuti per il progetto<sup>49</sup>.

Un contributo importante è quello relativo alla ricerca sul significato dei materiali condotto da Elvin Karana durante il suo Dottorato<sup>50</sup> presso l'Università di Delft, nel quale è stato riscontrato che le caratteristiche sensoriali sono un elemento fondamentale dell'espressività della materia. In questo caso, sono state individuate le caratteristiche sensoriali comunemente usate dai designer al fine di creare particolari significati per i loro progetti<sup>51</sup>. Per valutare le caratteristiche sensoriali dei materiali sono stati messi a punto dei test e delle scale di valutazione che potessero correlare le sensazioni soggettive a dei numeri, per ottenere dati da elaborare.

Le proprietà sensoriali utilizzate provenivano da un precedente studio condotto per scoprire le proprietà dei materiali che vengono comunemente utilizzati dai progettisti

48 Ozacan E., van Egmond R., (2004) "Pictograms for sound design: a language for the communication of product sounds", in Proceedings of 4th International Conference on Design & Emotion, Ankara, Turkey

49 Salvia G., Rognoli V., Levi M. (2010), "Sensorial profile anticipation by engineering objective methods for competitiveness in textile field", in Proceedings of the TMCE 2010, Ancona, Italy

50 Karana E. (2009a), Meanings of materials, Unpublished PhD. Thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft

51 Karana E., Hekkert P., Kandachar P. (2007), "Sensorial properties of materials for creating expressive meanings", in Proceeding of Kansei Engineering and Emotion Research Conference, Osaka, Japan.

(e utenti) nella attribuzione di significato ai materiali<sup>52</sup>. La lista finale consiste in dieci proprietà sensoriali.

Ogni singola struttura sensoriale è rappresentata con due immagini che mostrano due estremità opposte. Particolare attenzione è stata data alla rappresentazione delle proprietà, utilizzando elementi di supporto intercambiabili, come una palla per rappresentare il colore e la trasparenza. Tutte le proprietà sono presentate in un ambiente virtuale simile.

## 8.5 Materiotecche

Nel panorama contemporaneo i materiali si presentano spesso come realtà camaleontiche, come materiali zelig, in grado di assumere innumerevoli facce. È compito quindi del progettista proiettare sul materiale gli elementi per una sua riconoscibilità, attribuendogli caratteristiche coerenti con la sensibilità estetica in cui ci si trova a operare<sup>53</sup>.

Oggi esistono milioni di materiali diversi e continuamente ne nascono di nuovi:

*"il moltiplicarsi dei nuovi materiali e le enormi possibilità tecniche ed espressive da essi offerte, impongono ai progettisti un continuo aggiornamento sulle loro proprietà e possibili applicazioni"*<sup>54</sup>.

**Al progettista si presenta infatti un campo di possibilità enorme e crescente in cui la scelta dei materiali e i processi di trasformazione possono combinarsi dando luogo a quella che è stata definita "iperscelta"**<sup>55</sup>.

Come scrive Manzini si ha una dematerializzazione del rapporto tra designer e materiali generando sì nuove possibilità, ma anche smarrimento e confusione, visto che i ritmi serrati con cui si creano nuovi materiali e nuove identità di materiali è sempre sostenuto<sup>56</sup>.

Per questo motivo sta avendo sempre più importanza unire l'arte, la scienza e la cultura dei materiali, al fine di creare un luogo dove il mondo multidimensionale della materia

52 Karana E., Hekkert P., Kandachar P., (2007), "Sensorial properties of materials for creating expressive meanings", in Proceeding of Kansei Engineering and Emotion Research Conference, Osaka, Japan.

53 Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

54 Langella C. (2003), Nuovi paesaggi materici, Alinea Firenze

55 Manzini E. (1986), La Materia Dell'Invenzione: Materiali e Progetto, Arcadia, Milano

56 Manzini E. (1990), Artefatti: verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale, DA, Milano

può essere esplorato da esperti e non esperti.<sup>57</sup>

Per cercare, classificare e ordinare informazioni tecniche relative a materiali e prodotti sono state create le materiotecche.

Il termine materioteca (*material library*) è ormai entrato nel vocabolario del design. Il neologismo era stato coniato da Susanna Campognande nella sua tesi di laurea<sup>58</sup>.

Le materiotecche<sup>59</sup>, la cui nascita risale ormai a quasi 15 anni fa, sono delle 'biblioteche di materiali', con esplicita finalità di catalogare e archiviare dei campioni fisici di materiali di differente provenienza. Hanno la finalità di fornire un servizio per la consultazione e la consulenza nell'ambito dei materiali per il design.

La prima materioteca a essere aperta è stata *Material Connexion*<sup>60</sup>, fondata da George M. Beylerian nel 1997 con sede a New York.

In questi anni, dato il successo di queste iniziative e il fiorente sviluppo in termini di numero e di tipologie riscontrato, è stato dimostrato che il designer ha bisogno di campioni fisici di materiali e delle informazioni che possono essere esperite da questo contatto diretto con la materia.

Le materiotecche possono avere scopi commerciali (offrire servizi a pagamento per i professionisti del settore) oppure didattici (offrire servizi gratuiti a supporto dell'insegnamento).

I campioni vengono reperiti sul mercato, ricercando e contattando i produttori, visitando eventi fieristici, consultando riviste e stampa specializzata.

Generalmente, le materiotecche dispongono di una teca, dove i campioni vengono fisicamente archiviati e riposti, secondo una catalogazione teorica precedentemente definita e di un motore di ricerca, ideato in base alla catalogazione teorica, che consente di selezionare i campioni secondo i criteri di scelta dell'utente.

57 Laughlin Z., Conreen M., Miodownik M.A. (2008), Building a Materials Library using an Isomorphic Methodology, *Materials & Sensations*, pp. 22-24

58 Campognande S. (1999), Materioteca per designer, rel. Giorgio De Ferrari, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino; citato in Rognoli V., Levi M. (2011), *Il senso dei materiali per il design*, Franco Angeli, Milano

59 E' possibile trovare l'elenco delle materiotecche (fisiche e web) nel libro Lerma B., De Giorgi C., Allione C. (2011), *Design e materiali: sensorialità, sostenibilità, progetto*, Angeli, Milano e nel libro Karana E., Pedgley O., Rognoli V. (2014), *Materials experience : fundamentals of materials and design*, Elsevier, Amsterdam.

60 <http://it.materialconnexion.com>

L'importanza e le ragioni del loro successo è dovuto alla possibilità che offrono di poter prendere, guardare, toccare, confrontare, paragonare, analizzare, testare, di fare insomma conoscenza ed esperienza diretta dei materiali<sup>61</sup>.

*"Veri e propri luoghi fisici e virtuali in cui si concentrano archivi di campioni di materiali a carattere innovativo, documentazione tecnica, pubblicazioni recenti, mostre informative e disposizioni di oggetti legati al tema dei materiali, le matematiche si sono affermate come nuovi riferimenti strategici nel mondo del design e vengono utilizzate da un gran numero di professionisti attraverso approcci molto diversi"*<sup>62</sup>.

**La peculiarità delle materiotecche consiste nel fatto che consentono un approccio diretto alla dimensione tattile e percettiva dei materiali, oltre a quella prettamente tecnologica: i materiali, infatti, possono essere visionati, toccati ed esplorati nelle loro caratteristiche e proprietà estetiche e sensoriali.** Solitamente allo spazio fisico è associata anche una banca dati, accessibile on-line, costituita da schede tecniche informative<sup>63</sup>.

L'accesso fisico a campioni di materiali è l'aspetto cruciale di queste librerie, perché le proprietà senso-estetiche dei materiali sono in gran parte non quantificabili, e così un'interfaccia sensoriale è fondamentale<sup>64</sup>.

Gli insiemi dei campioni non sono isolati gli uni dagli altri nella libreria dei materiali ma formano un potente nesso di materiali-oggetti in cui la funzionalità è legata alle proprietà dei materiali attraverso incontri. Essi forniscono un modo per esplorare sistematicamente le proprietà dei materiali in un modo intuitivo e senza attrezzature complicate.

**Alcune collezioni dispongono di campioni esemplificativi le tecnologie di lavorazione di finitura, in quanto le informazioni sui materiali devono comprendere, oltre proprietà chimico-fisiche-meccaniche, anche la processabilità più adatta per giungere a una forma e a effetti prestabiliti.**

La libreria dei materiali fornisce infatti anche un'interfaccia naturale per discutere l'im-

61 Rognoli V., Levi M. (2011), *Il senso dei materiali per il design*, Franco Angeli, Milano

62 Campognande S. (1999), "Diffondere i materiali", in Ferrara M., Lucibello S. (a cura di), *Design follows materials*, Alinea, Firenze, pp. 66-77; citato in Rognoli V., Levi M. (2011), *Il senso dei materiali per il design*, Franco Angeli, Milano

63 Rognoli V., Levi M. (2011), *Il senso dei materiali per il design*, Franco Angeli, Milano

64 Miodownik M.A. (2007), Toward designing new sensoaesthetic materials, in *Pure Appl. Chem.*, vol. 79, n. 10, pp. 1635-1641.



patto etico e culturale delle nuove tecnologie dei materiali, come la nanotecnologia e la prototipazione rapida. La presenza nella biblioteca di campioni di materiali prodotti utilizzando queste tecnologie, mette in mostra immediatamente lo stato attuale della tecnologia<sup>65</sup>.

## 8.6 Sul concetto di sample

Nelle analisi di laboratorio, si definisce campione la quantità di sostanza o la parte di un materiale che dovrà essere sottoposta ad un esperimento. Il campione è un'applicazione a un sistema reale del concetto di campione statistico ovvero una piccola quantità studiata direttamente che deve essere rappresentativa, entro determinati limiti, di un'entità più vasta. È cioè una piccola quantità di materia proveniente da un 'oggetto' (o più oggetti) assai più grande ma del quale si immagina avere le stesse proprietà<sup>66</sup>.

Il campione (in inglese *sample*) serve anche come uno strumento di selezione dei materiali. Tradizionalmente il campione era costituito da pezzi di tessuto di dimensione uniforme, legati insieme per fare un libro di campioni.

A partire da questo uso, il termine campione è venuto ad abbracciare i campioni di qualsiasi tipo di materiale che vengono presentati in un formato uniforme, legati insieme tramite una catena, un anello, una stringa o una qualsiasi modalità di chiusura. Ne abbiamo un esempio molto noto nella pittura murale in cui i campioni vengono comunemente utilizzati dagli acquirenti come primo punto di contatto con i colori disponibili. La disposizione arcobaleno standard dei colori all'interno di un campione di vernice consente agli utenti di accedere a intervalli di colori e facilmente confrontare le differenze tra tinte e toni<sup>67</sup>.

65 Miodownik M.A. (2007), Toward designing new sensoaesthetic materials, in *Pure Appl. Chem.*, vol. 79, n. 10, pp. 1635-1641.

66 [http://it.wikipedia.org/wiki/Campione\\_\(scienze\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Campione_(scienze))

67 Laughlin Z., Conreen M., Miodownik M.A. (2008), Building a Materials Library using an Isomorphic Methodology, *Materials & Sensations*, pp. 22-24

In letteratura si sottolinea come il *Sensory building blocks*<sup>68</sup>, ovvero lo strumento che descrive proprietà strutturate relative a informazioni sensoriali tramite mazzette o collezioni, possa aiutare il designer a determinare e ottenere le forme desiderate per la stimolazione sensoriale relativa ai suoi progetti.

Bisogna sottolineare che la forma del campione può influenzare la percezione e l'attribuzione di significato.

Attraverso un metodo sperimentale, facendo test di valutazione sulla percezione delle texture di diversi materiali<sup>69</sup>, si è osservato come esista una grande differenza nella percezione del materiale inteso come campioni e il materiale invece applicato a un prodotto.

*"La decontestualizzazione dei campioni di materiali è un fattore importante per favorire l'approccio creativo del designer, ma con il limite di valorizzare l'aspetto estetico come caratteristica principale del materiale. Inevitabile, nelle materiotecche/showroom, in cui i materiali sono esposti con oggetti in vendita, alcuni prodotti eccelono per l'aspetto straordinario, a scapito di altri che magari sono soltanto tecnologici ma meno attraenti dal punto di vista estetico"*<sup>70</sup>.

La natura isometrica di un campione consente che la forma stessa dei campioni non diventi in effetti il focus di attenzione dell'utente, che rimane sul materiale utilizzato o sulla proprietà del materiale da valutare<sup>71</sup>.

**Progettare un sample significa essere in grado di prevedere alcune variabili che coinvolgono la dimensione espressivo-sensoriale, in sostanza un vero sample deve essere percepibile con tutti i sensi, attraverso le procedure esplorative generalmente adottate.**

68 Schifferstein H.N.J., Desmet P.M.A. (2008), Tools Facilitating Multi-sensory Product Design, *The Design Journal*, vol. 11, n. 2, pp. 137-158. Schifferstein e Desmet distinguono quattro categorie di strumenti che possono guidare il designer che voglia usare con coscienza un approccio multisensoriale al progetto: Sensory sensitising (è la sensibilità sensoriale personale che può dipendere dall'esperienza ma anche dall'esercizio e dalla quantità di stimoli), Sensory sampling (è una campionatura di tutto ciò che può essere preso come ispirazione e rappresentativo di un effetto sensoriale), Sensory building blocks, Sensory communication (per comunicare le proprietà sensoriali: schizzi, collage, mood board, storyboard, ecc).

69 Zuo H., Jones M., Hope T., Castle P. (2004a), "Sensory interaction with materials", in Mc Donagh D., et al. (eds.), *Design and Emotion*, Taylor&Francis, London, UK, pp. 223-227

70 Campognande S. (2009), Diffondere i materiali, in Ferrara M., Lucibello S. (a cura di), *Design follows materials*, Alinea, Firenze, pp.66-77

71 Laughlin Z. (2008), "Beyond the Swatch: How can the Science of Materials be Represented by the Materials Themselves in a Materials Library?" Ph.D. dissertation, Dept. of Engineering, King's College London

Queste considerazioni riguardanti il campo della sensorialità e della percezione implicano la disponibilità del sample a ricevere tutte queste azioni esplorative, perciò il sample deve poter essere afferrato con una o due mani, quindi presentare dimensioni che non eccedono in grandezza né per troppa minuzia.

### Casi studio

Progettare un sample, come abbiamo visto, non è semplice.

Esiste una grande varietà di campioni per forma, dimensione, metodo di raccolta ecc. e gli intenti di una catalogazione possono essere plurimi.

Per una progettazione più consapevole dei campioni nella fase di sperimentazione, a cui è dedicata la Terza parte della tesi, è stata creata una raccolta di immagini (presentata nelle pagine successive sotto forma di schede) di campioni e di soluzioni espositive. Questi provengono da ambiti differenti e hanno diversi scopi.

Si è scelto di distinguere i campioni in quattro gruppi principali per evidenziarne i principali intenti:

1. **Schede A\_materiotecche:** come detto nel paragrafo precedente, le materiotecche hanno lo scopo di permettere il contatto diretto con i diversi materiali. Qui si forniscono alcuni esempi di forme e tipologie di catalogazione dei campioni. I campioni hanno spesso un numero identificativo che permette di avere maggiori informazioni sul campione in esame come colori, forme, dimensioni, prezzi, ecc. Le immagini dei campioni appartenenti a questo gruppo sono stati suddivisi secondo la materioteca di provenienza.
2. **Schede B\_commerciali:** esistono alcune collezioni di campioni utili per esaltare l'ampia scelta della gamma cromatica o la qualità delle tinte o degli effetti (per esempio la presenza di filler, la trasparenza, il gloss). L'esposizione dei campioni viene molto studiata per promuovere al meglio la collezione stessa e per rendere più funzionale la ricerca dell'effetto desiderato. Si sono identificati quattro tipi di soluzioni espositive: **libri/cartelle** (il campione è bidimensionale o molto sottile); **sfogliabile a ventaglio** (anche in questo caso il campione è identificabile come bidimensionale come cartoncini o piccole lastre, con un foro che permette il passaggio di un anello, una catena o un perno che raccolgono insieme tutti gli elementi della collezione) e **a bacheca/cofanetto** (solitamente per campioni tridimensionali). A parte si evidenziano i campioni delle aziende *Abet Laminati* e *Corian* ritenuti significativi.
3. **Schede C\_Applicazione di un processo:** alcuni sample hanno lo scopo di mostrare le

possibilità di una tecnologia di produzione o di finitura superficiale. Possono essere: **lastre** (presentano, tramite comparazione, i colori o la qualità delle finiture ottenibili con un processo; spesso sono accompagnati da testi e valori che possono seguire una scala o un codice) o **oggetti tridimensionali** (l'obiettivo di questi campioni è valutare la fattibilità di alcune features all'interno di un processo produttivo, cioè di stabilire alcune regole di progettazione, Design For, e di mostrarne eventuali limiti o differenze; su questi campioni è possibile trovare molti dettagli, ripetizioni di features in scala, geometrie concave e convesse, nervature, finiture dello stampo, spigoli, smussi, raccordi, testi o pattern, ecc). Si identificano poi i casi significativi di *Serralunga* e di *Protomold*.

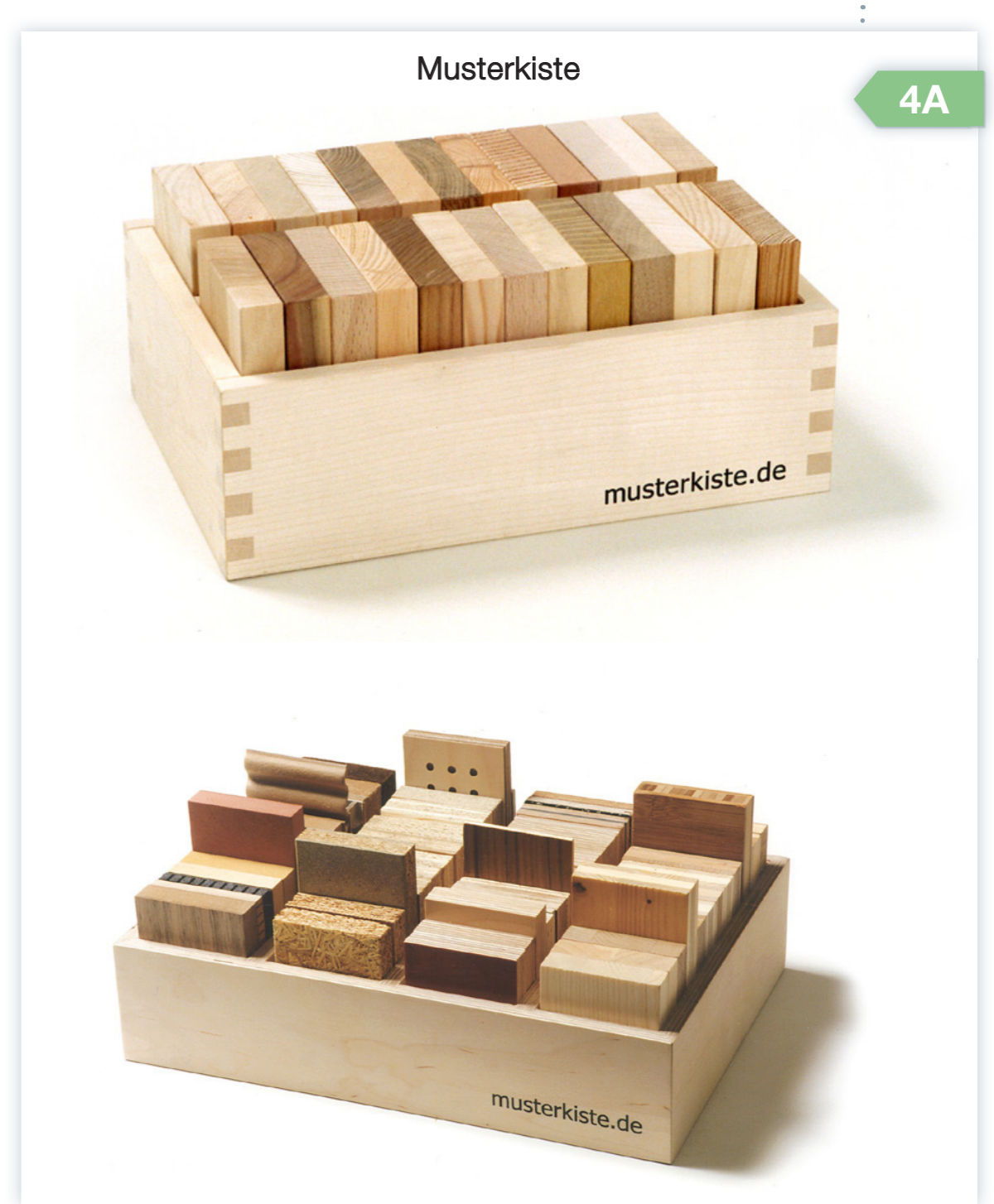
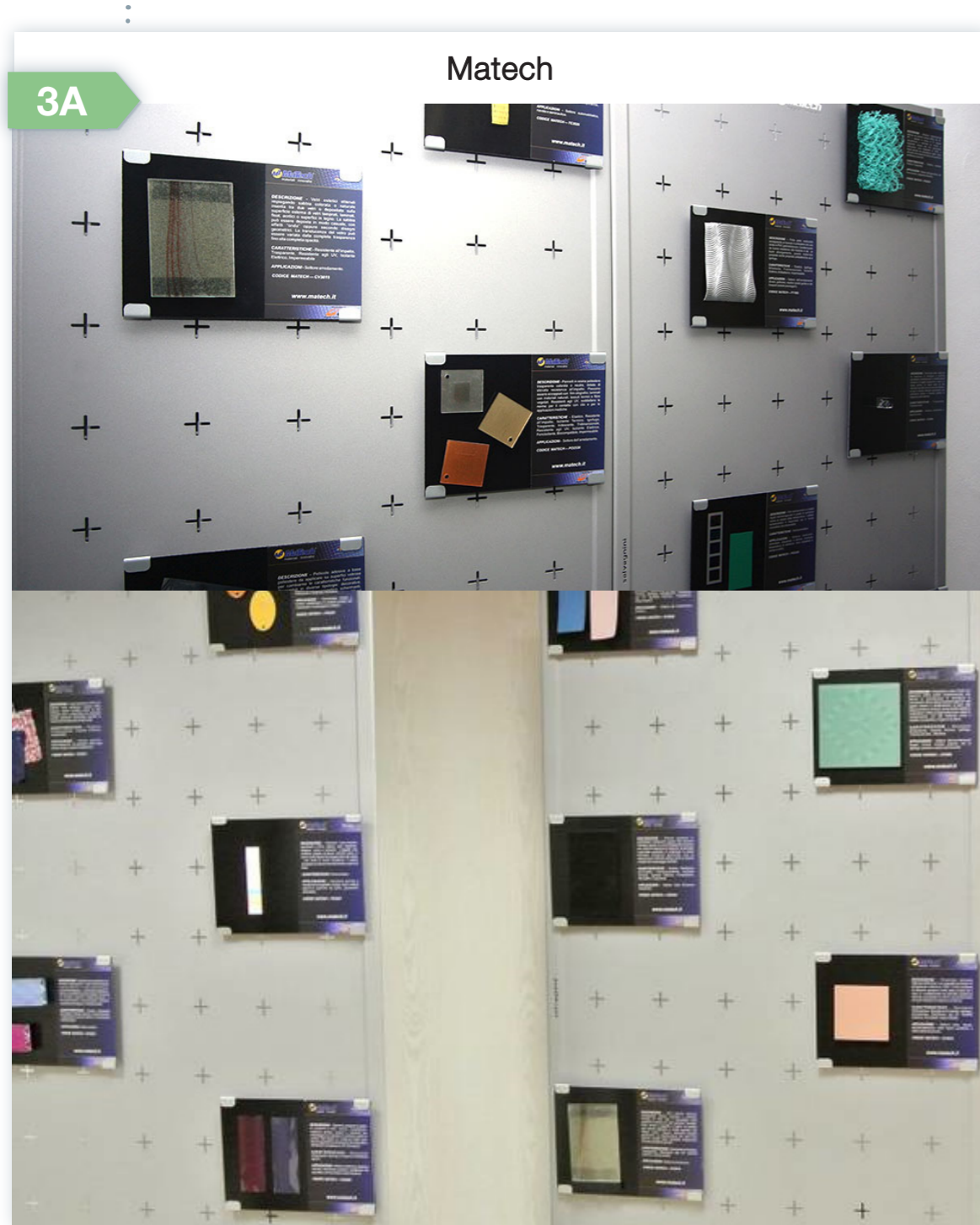
4. **Schede D\_Stampa 3D:** una sezione è dedicata interamente ai campioni della stampa 3D. La ricerca non si è limitata alla tecnologia FDM ma ha indagato anche le altre tipologie. Le prime due schede di questa sezione mostrano due esempi espositivi e di raccolta: a ventaglio e a bacheca (si utilizza la stessa terminologia applicata ai sample commerciali). Nel caso della stampa 3D è frequente che le stesse strutture espositive siano stampate con questa tecnologia per adattarsi al meglio alle esigenze del progetto. Vengono poi mostrati esempi di piastrelle che mostrano possibilità cromatiche o materiche. L'ultima scheda è dedicata a dei campioni tridimensionali che nel contesto della stampa 3D vengono definiti Torture Test. I Torture Test sono modelli .stl diffusi sulle librerie online e utili agli utenti della stampa 3D per testare potenzialità, caratteristiche e limiti delle macchine stesse (test di Design For Manufacturing). Come visto nelle schede dedicate ai campioni dell'applicazione di un processo, in un unico campione si trovano combinazioni geometrie specifiche per valutare possibili criticità incontrabili poi in oggetti reali da stampare. Presentano spesso ripetizioni di elementi in scala, dettagli concavi e convessi, sottosquadri e ponti, doppie curvature, fori, ecc.

schede A  
materiotecche









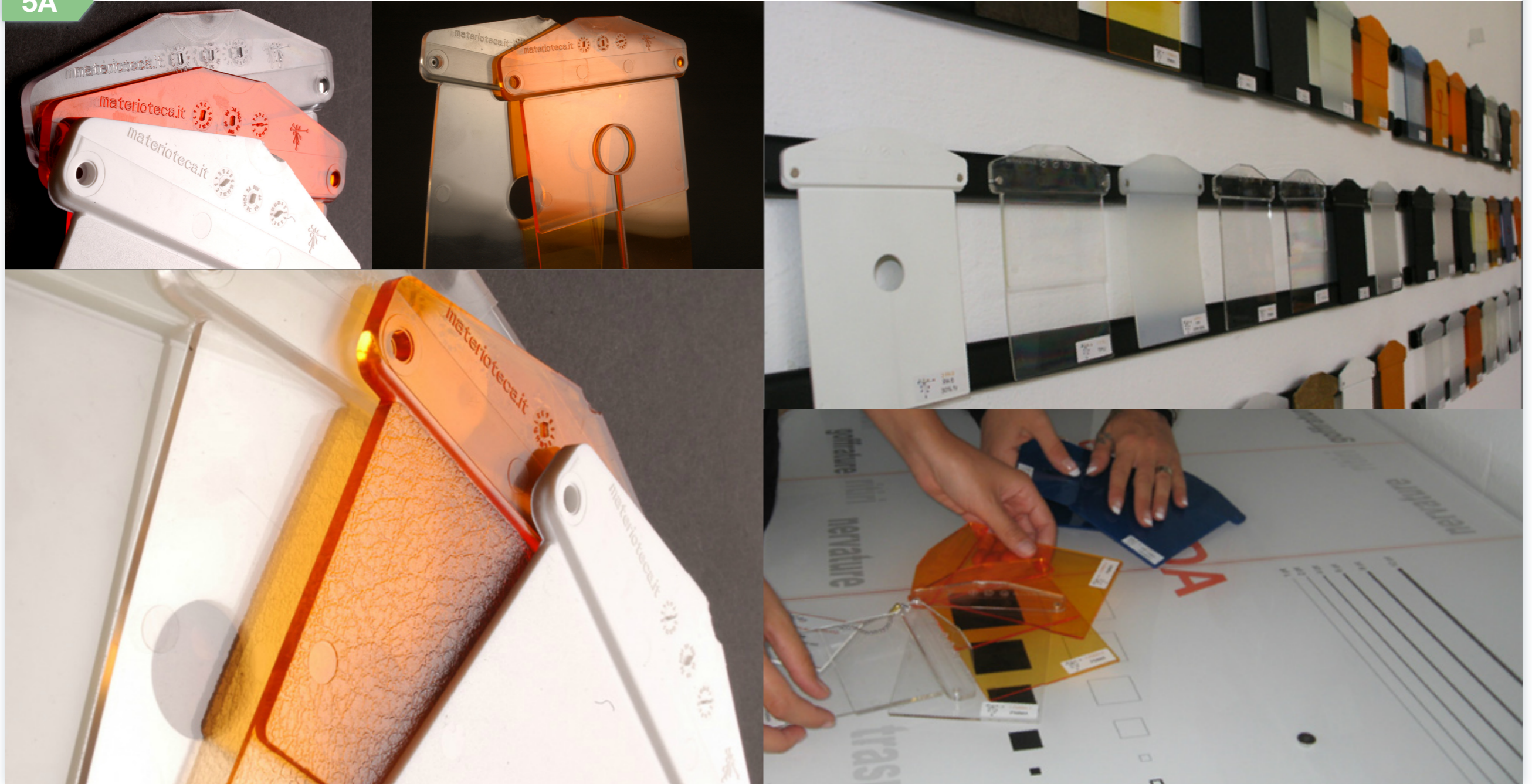


:

:

### Materioteca

5A

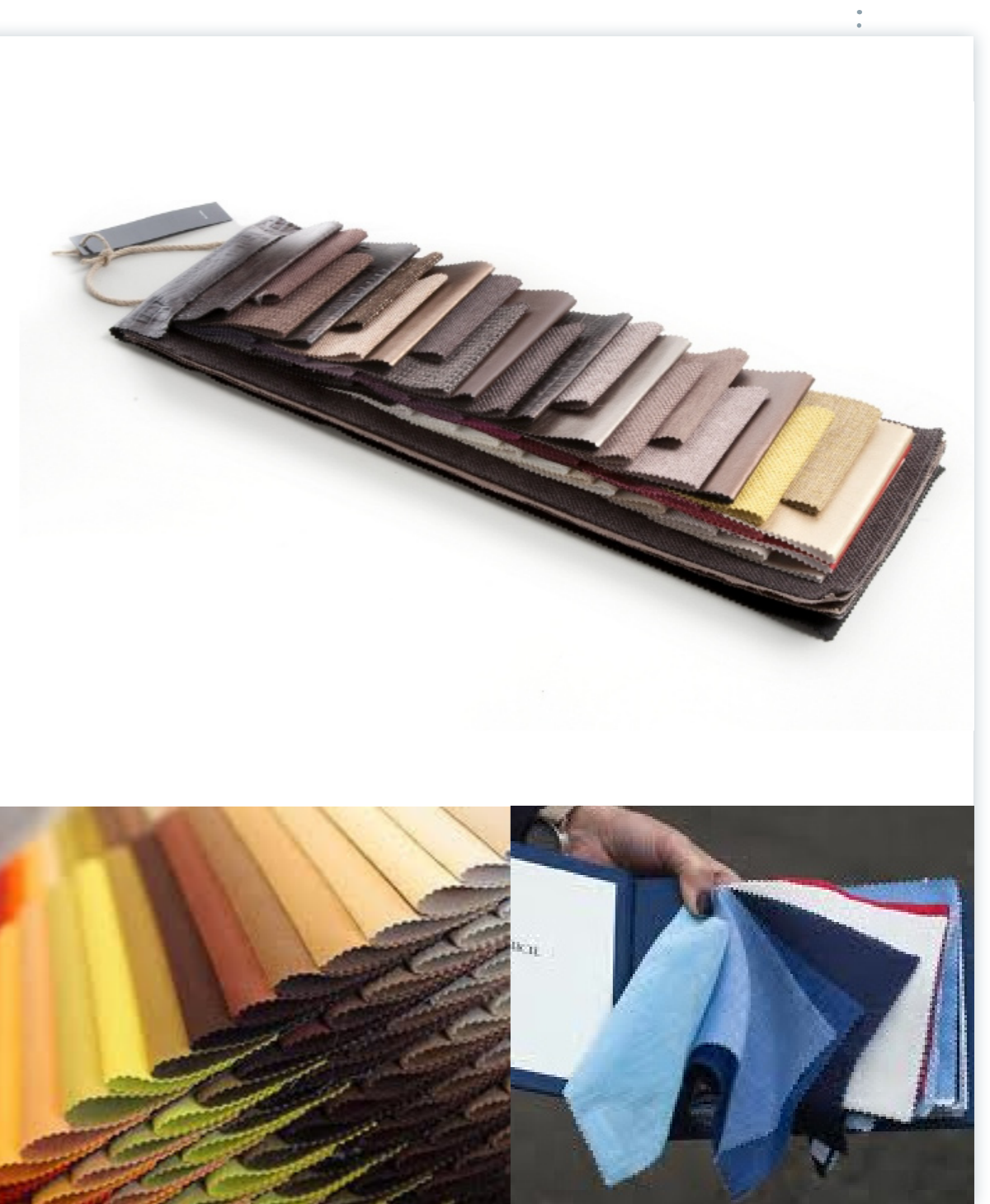
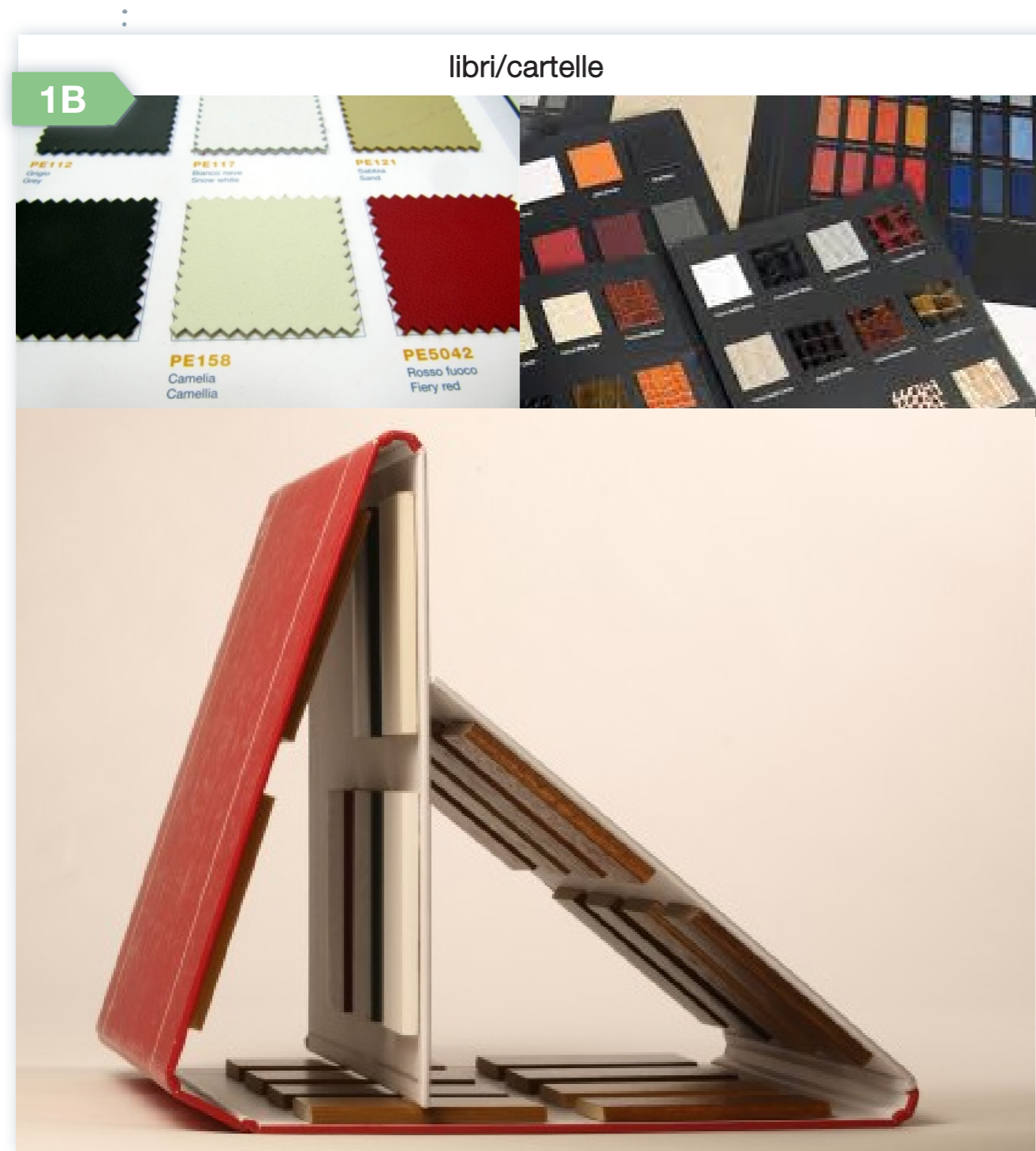




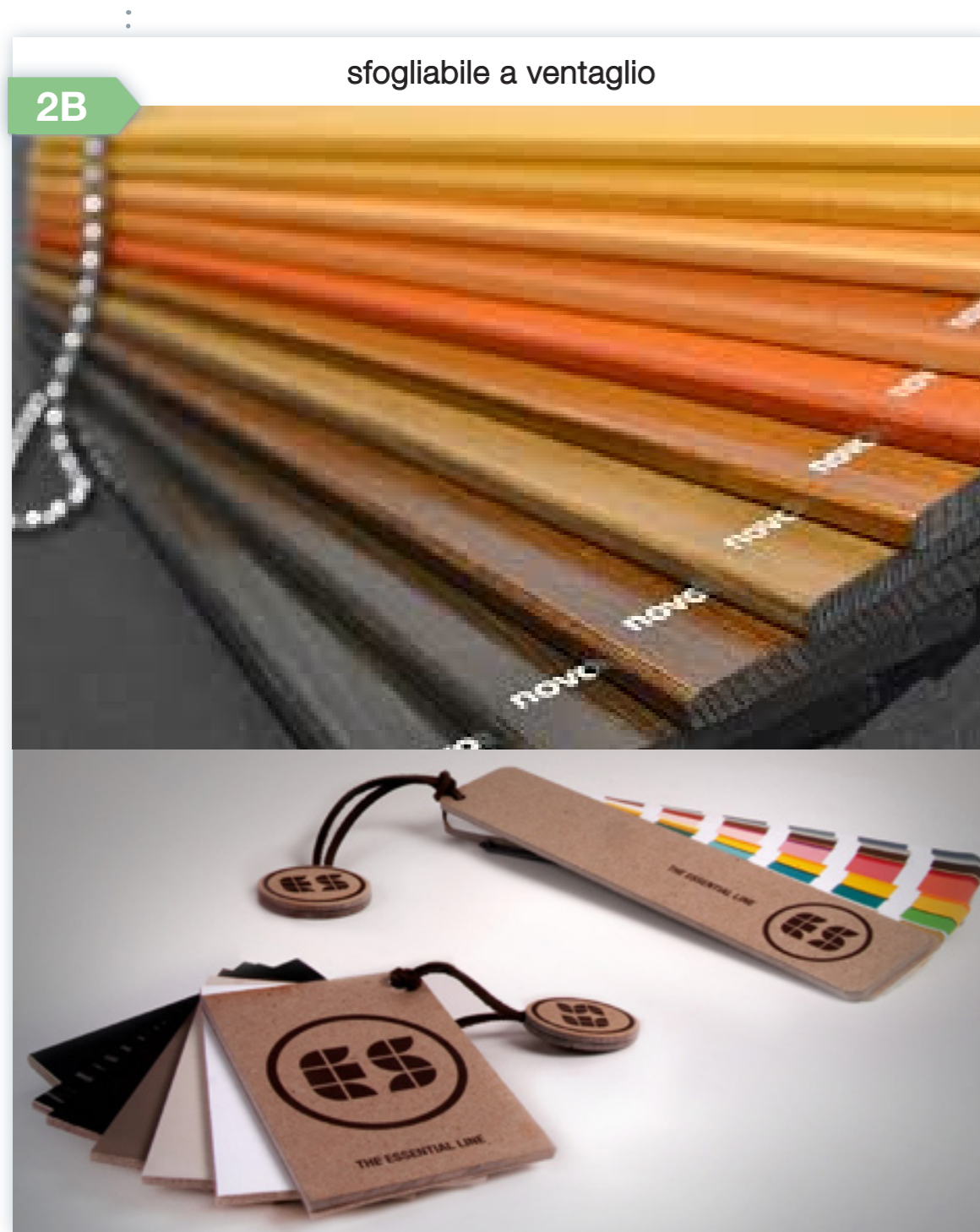


schede B  
commerciali





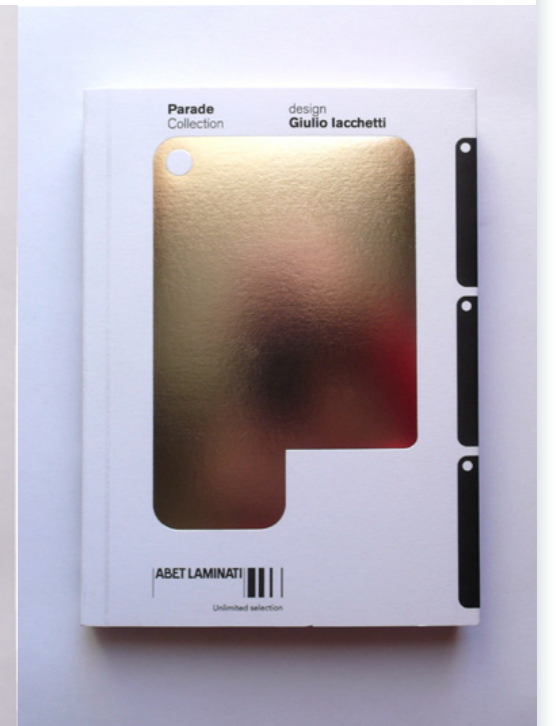






4B

il caso ABET LAMINATI





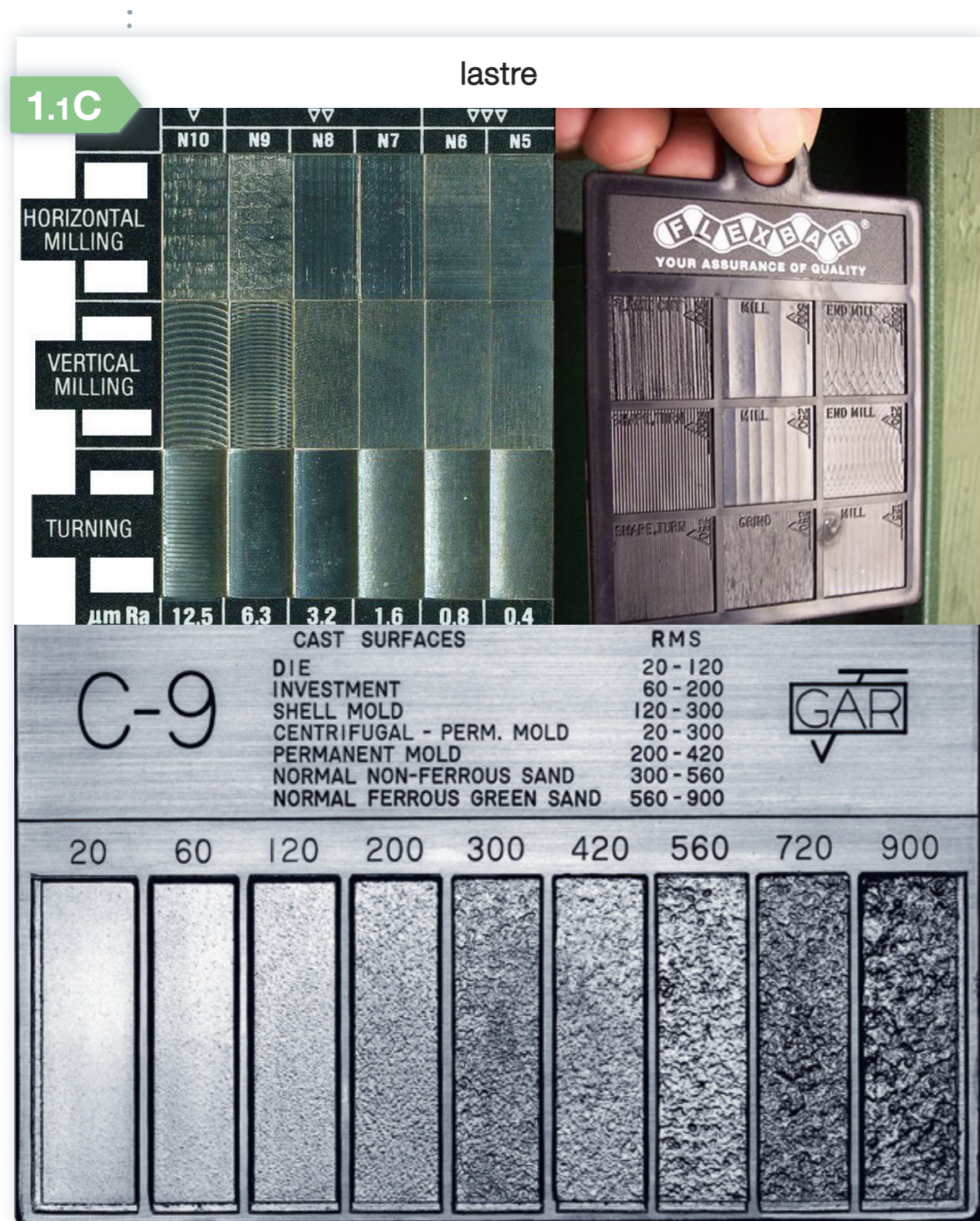




schede C  
applicazione processi













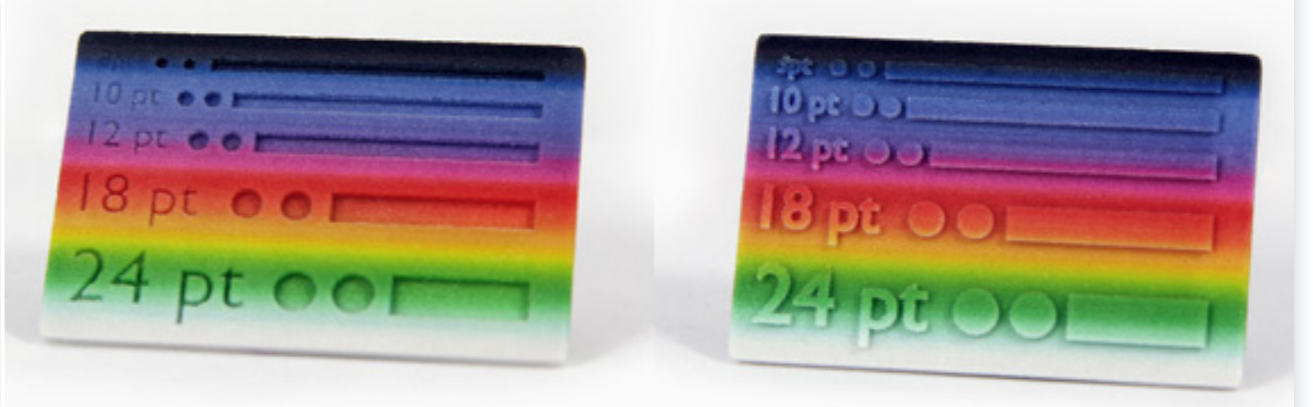
schede D  
stampa 3D





3D

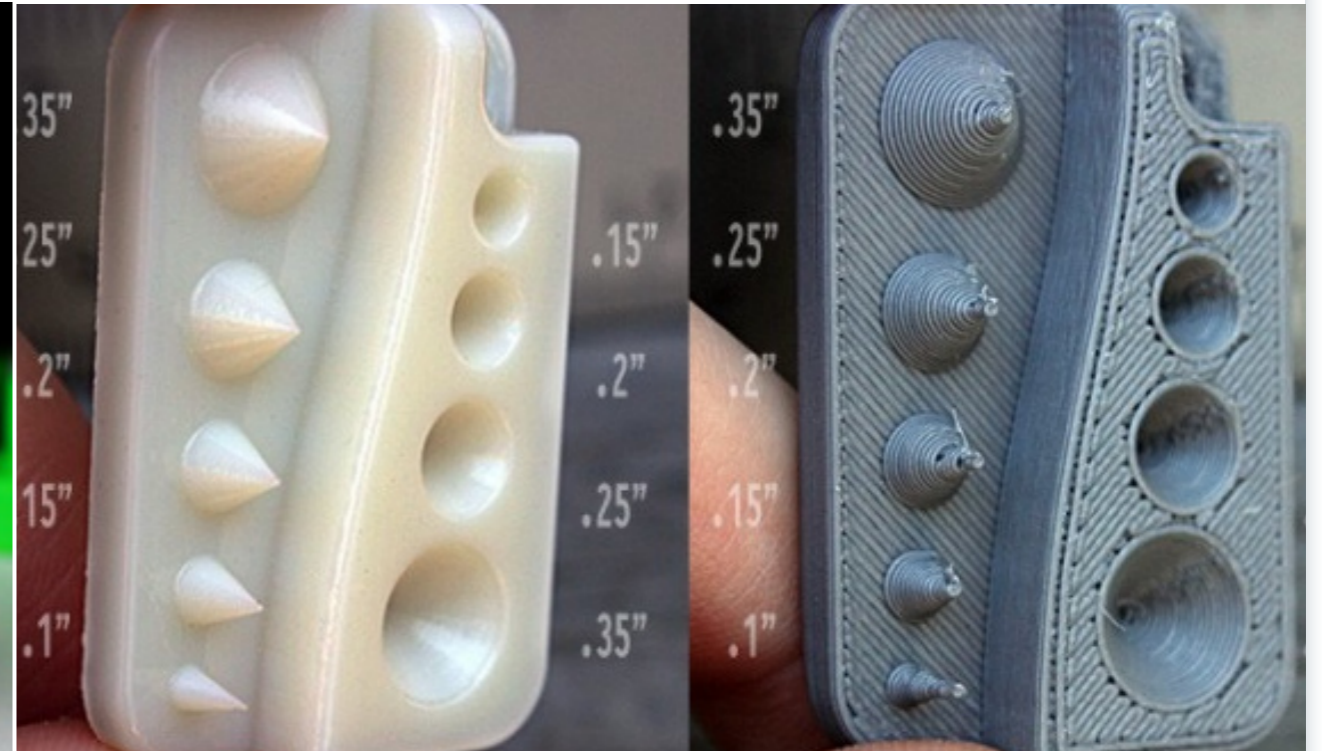
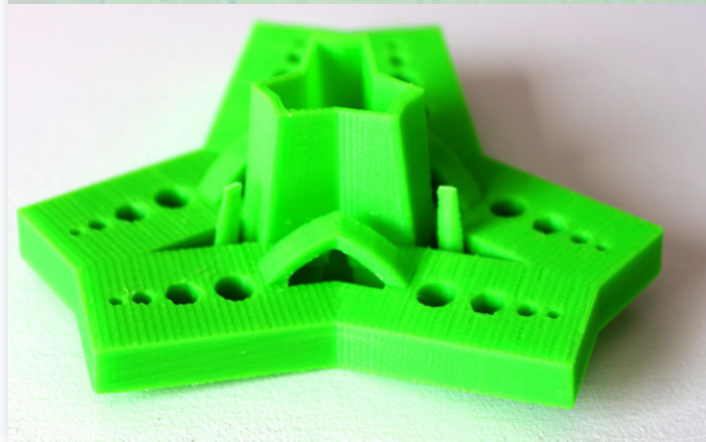
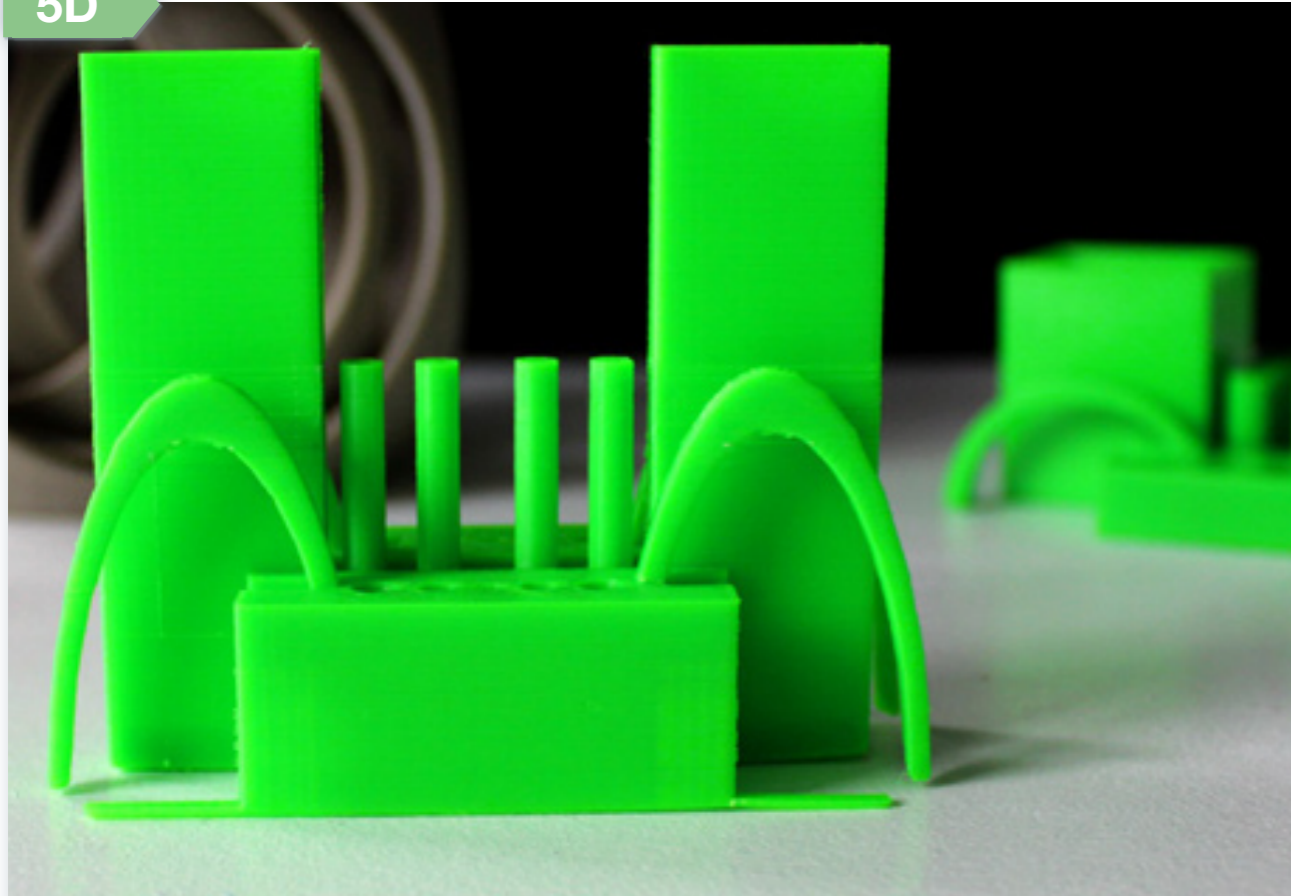
piastrine





torture test

5D



**"Ridges"**  
Positive / Negative  
Allows you to strength, sh and durab various sized

**"Spikes"**  
Positive / Negative  
Helps determi small your proje be and maintair points and de

**"Flexibility"**  
Multiple tax flex points der the flexibility printing mat

**"Text"**  
Positive / Negative  
Demonstrates ability to print text of variou

**"Overhangs"**  
Tests the abiliti your 3D Printe bridge gaps and outward leaning su

**"Controlled Cuts"**  
Demonstrates 3D Printers a create narrow, avoid bridging n



# 9

## Metodo

• In questo capitolo si spiega la metodologia seguita e si chiariscono le fasi che hanno preceduto la sperimentazione.

• Il requisito fondamentale alla base della stesura del metodo è stato quello di permettere un intuitibile e veloce orientamento al suo interno; lo scopo della sperimentazione è infatti la realizzazione di una 3Dteca che, per poter essere utile, deve risultare di facile lettura anche a chi non conosce a fondo il percorso seguito.

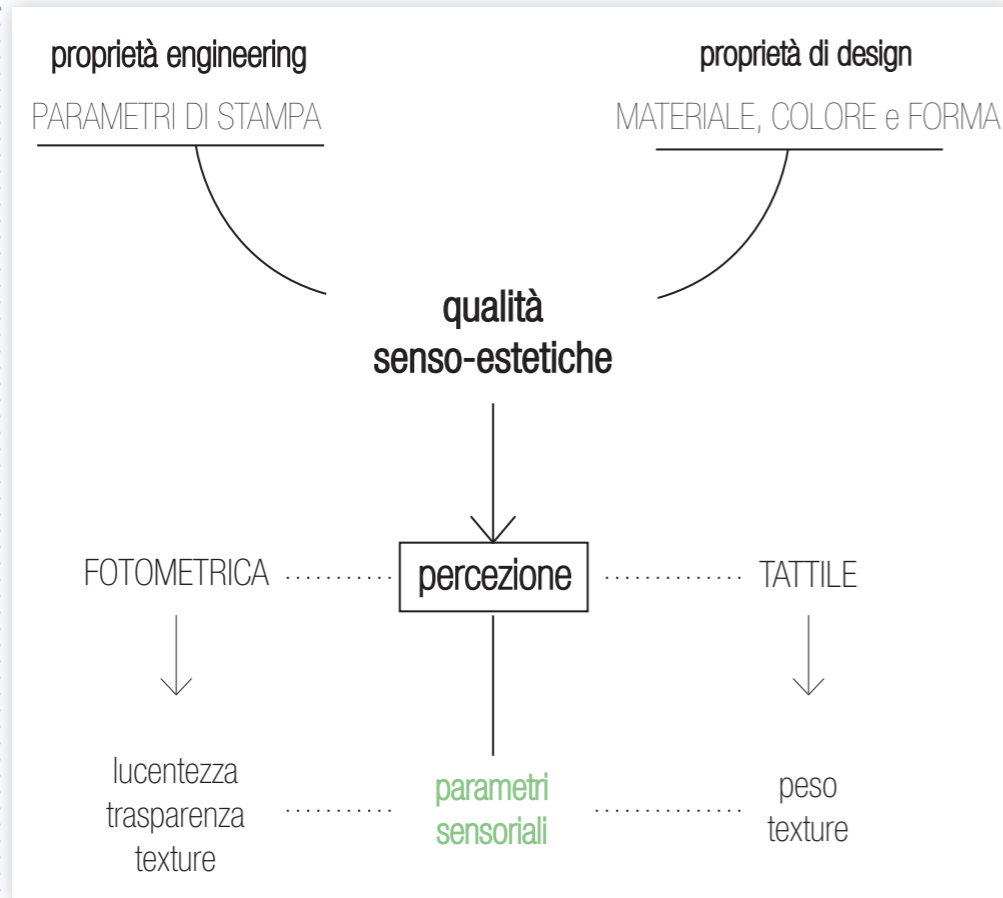
• Si è seguita quindi la linea tassonomica che già era stata adottata per l'ideazione del Tool Kit.

• Il punto di partenza è la mappa delle relazioni tra le proprietà della tecnologia (Graf.11 nel capitolo Tassonomia).





Graf.18 Il processo della sperimentazione.



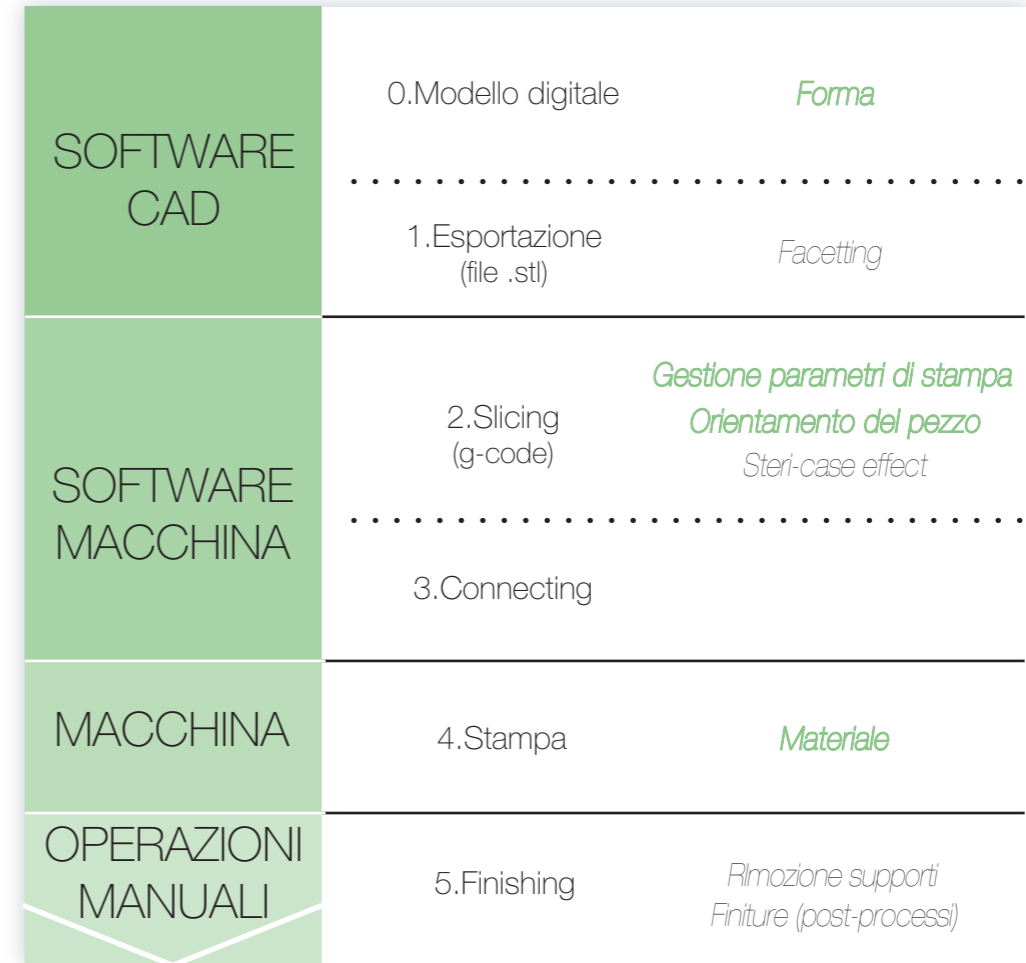
All'interno di questa mappa si pone il focus sulle qualità senso-estetiche e si identificano quelli che ne sono gli 'influenzatori primari'.

Questi influenzatori possono essere riconducibili a quattro gruppi:

- i parametri di stampa;
- il materiale utilizzato;
- il colore del filamento;
- la forma dell'oggetto.

Nel Graf. 19 è possibile vedere gli elementi che possono incidere sulle qualità superficiali dell'oggetto. Di questi sono evidenziati quelli primari analizzati dalla sperimentazione.

Graf.19 Influenzatori delle qualità senso-estetiche durante le fasi di stampa.



Dalla connessione dei gruppi sopra citati si sono realizzati i profili di stampa dei campioni che sono stati poi oggetto di una valutazione (tattile o fotometrica) secondo i parametri sensoriali coinvolti.

Nei paragrafi successivi si analizzano più approfonditamente i gruppi e si delineano gli strumenti utilizzati durante tutte le fasi della sperimentazione.

## 9.1 Il materiale scelto: PLA

Quello dei materiali è un mondo ancora poco certo per la stampa FDM e in generale per tutte le tecniche di Additive Manufacturing. Nella maggior parte dei casi non vengono fornite schede tecniche complete su purezza, cristallinità, proprietà termiche e meccaniche del filamento. Spesso è noto solo il nome generico del polimero e la temperatura di stampa consigliata. Spesso si trovano filamenti poco puri e difficili da stampare.

La scelta del tipo di materiale da utilizzare risulta importante per rendere la ricerca replicabile e implementabile da molti.

Una prima selezione deve tener conto della diffusione dei diversi materiali nel mondo della stampa 3D opensource.

Secondo i report<sup>1</sup> PLA e ABS sono i materiali per filamenti più diffusi, segue il Nylon. Materiali particolari nati appositamente per la stampa FDM come Laywood e Laybrick stanno avendo sempre più successo anche se non sono ancora così diffusi.

Si preferisce scartare sia l'ABS che il Nylon per i ritiri elevati gestibili solo in parte con un piatto di stampa riscaldato che comunque non è presente su tutti i modelli di stampanti.

Il Laywood e il Laybrick sono troppo costosi e presentano problemi di stampa che non consentirebbero di sperimentare in modo corretto i diversi settaggi di stampa e non garantirebbero un'adeguata riproducibilità.

Ci si indirizza quindi sul PLA in quanto:

- è ampiamente diffuso;
- risulta sufficientemente rigido e resistente;
- non presenta problemi di ritiri elevati;
- permette un buon controllo sulla stampa.

Anche il PET risulta molto interessante per le sue elevate proprietà di trasparenza, ma attualmente il filamento è molto costoso e difficilmente stampabile. Nella tesi verrà usato solo in comparazione al filo trasparente di PLA.

<sup>1</sup> Aggiornamento a Gennaio 2014.

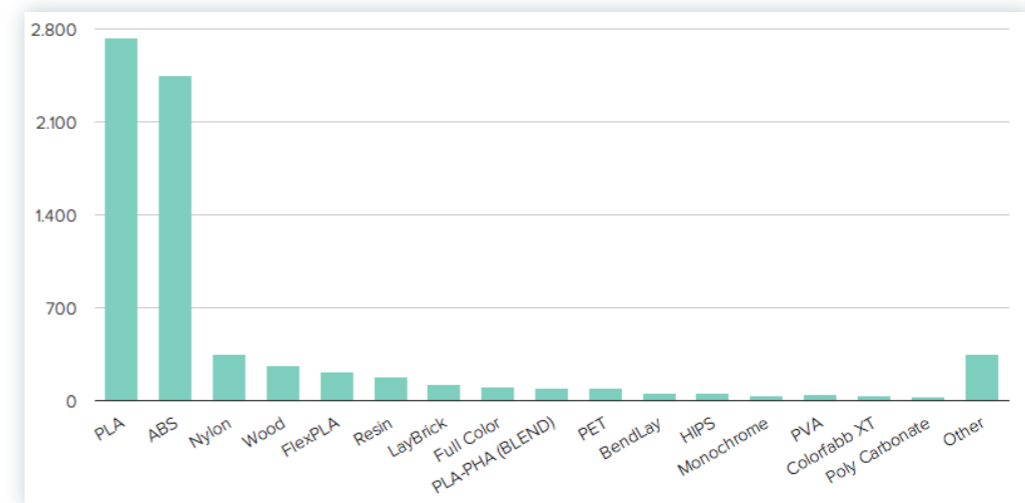


Fig.62 ABS e PLA costituiscono oltre il 70% degli ordini, arrivando a una quota complessiva del 72%. Fonte: [www.3dhubs.com/trens](http://www.3dhubs.com/trens)

### Acido polilattico

L'acido polilattico (PLA) o polilattato si ottiene dalla polimerizzazione dell'acido lattico derivato dal destrosio (zucchero).

Attualmente è l'amido di mais ad essere utilizzato per la produzione del destrosio ma potenzialmente ogni tipo di pianta o erba potrebbe essere adatta (i.e. radici di tapioca e canna da zucchero).

Il PLA nasce da fonti rinnovabili e può offrire una valida alternativa ai polimeri derivati dal petrolio, nell'ottica della salvaguardia dell'ambiente e della riduzione del gas ad effetto serra.

Dal 2010 il PLA è il secondo maggior biopolimero del mondo per quanto riguarda i volumi di produzione<sup>2</sup>.

Nel dettaglio, è un polimero termoplastico ed ha una temperatura di transizione vetrosa (Tg) di 55-65 °C, un picco di fusione di circa 160 °C e una temperatura di fusione (Tm) 170-178 °C. Per essere lavorato è necessario spingersi a temperature superiori, ovvero dai 190°C ai 205 °C.

Oltre a queste temperature subisce una degradazione termica che dipende dal tempo di esposizione, dalla temperatura e dalle impurità del materiale. Catalizzatori e oligomeri diminuiscono la temperatura di degradazione e ne accrescono l'intensità. Inoltre impli-

<sup>2</sup> Vink, Erwin et alii (2002), "Applications of life cycle assessment to NatureWorks polylactide (PLA) production NTR", in Polymer of Stability and Degradation.

cano cambiamenti sulla viscosità e sulle proprietà reologiche, provocando fumi durante il processo e rendono le proprietà meccaniche scarse<sup>3</sup>.

L'acido polilattico utilizzato per questa prova presenta una Tg di 59,5 °C e una Tm di 171 °C, temperature misurate attraverso il macchinario DSC (Differential Scanning Calorimetry, o Calorimetria differenziale a scansione) nel Laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Chimica e Chimica dei Materiali Giulio Natta.

Con le macchine a deposizione di filamento viene processato circa alla temperatura di 195-205 °C, ovvero oltre i 25 °C rispetto alla Tm.

Le proprietà meccaniche<sup>4</sup> variano da quelle di un polimero amorfo a quelle di un polimero semicristallino, simili al comportamento del PS:

$E = 3 - 4 \text{ Gpa}$

$\sigma_s = 48 - 60 \text{ Mpa}$

$\sigma_r = 80 - 100 \text{ Mpa}$

Come si legge dai dati offre una discreta rigidità e una notevole resistenza a snervamento, un vantaggio però annullato dalla precoce rottura, ovvero dal limitato campo plastico a temperatura ambiente (20 °C). È quindi un materiale fragile.

Normalmente possiede una cristallinità di circa 37%, la quale lo rende opaco o traslucido e ne aumenta le proprietà meccaniche. La cristallinità in verità dipende strettamente dallo stadio in cui avviene la misurazione; infatti essa viene alterata dai processi come l'estrusione per creare il filamento e l'estrusione dall'ugello della stampante FDM.

A causa del fatto che lo *stretching* (stiramento-orientamento) migliora le proprietà (caratteristiche all'impatto e termiche) del polimero, molte delle applicazioni possono essere trovate nel settore packaging: termoformatura, film, soffiaggio (flaconi & bottiglie) e fibre. E' possibile trovarlo anche in prodotti per il mercato dei device biocompatibili / bioassorbibili, per prodotti intimi femminili, prodotti alimentari e per i filamenti per la stampa FDM. Per la sua capacità di degradare in un innocuo acido lattico, esso è usato per impianti biomedicali sottoforma di viti, perni, piccole aste e maglie.

Lo stampaggio ad iniezione è possibile ma a causa della fragilità non viene attualmente utilizzato nella forma standard non orientata.

Il PLA per il 3DP viene venduto in rocchetti di molti colori al prezzo di 25 – 35 €/Kg<sup>5</sup>.

3 [http://it.wikipedia.org/wiki/Acido\\_pollattico](http://it.wikipedia.org/wiki/Acido_pollattico)

4 Valori di PLA Unfilled tratti dal database CES.

5 <http://www.formfutura.com/3mm-filaments/pla>

## 9.2 Il modello dei tre assi: i sistemi tridimensionali

Per riuscire a realizzare la 3Dteca bisogna cercare di stabilire un metodo con cui organizzare le relazioni che intercorrono tra i diversi parametri considerati.

I parametri si incontrano nella realizzazione di un prodotto fisico.

Per riuscire a comprendere come questo avvenga ed essere in grado di controllare il processo di creazione del prodotto secondo le volontà del progettista, i parametri devono essere gestiti in modo chiaro e semplice per cui è necessario creare uno schema virtuale nel quale posizionare i parametri e valutarne le combinazioni.

Uno strumento che si è ben prestato a questo scopo è un sistema a tre dimensioni costituito da tre assi<sup>6</sup>, ortogonali tra loro ed aventi l'origine in comune, ovvero uno spazio tridimensionale derivante dal sistema di riferimento cartesiano.

Un sistema di riferimento cartesiano, in matematica, è un sistema di riferimento formato da  $n$  rette ortogonali, intersecantesi tutte in un punto chiamato origine, su ciascuna delle quali si fissa un orientamento e per le quali si fissa anche un'unità di misura.

Un sistema di riferimento in 2 dimensioni viene chiamato Piano Cartesiano.

Per identificare la posizione di punti nello spazio fisico viene solitamente adottato un sistema di riferimento cartesiano a 3 dimensioni.

Aggiungendo una terza dimensione al piano otteniamo lo Spazio Euclideo tridimensionale, che è la modellizzazione a noi più familiare dello spazio fisico: un sistema di assi cartesiani può quindi essere usato come sistema di riferimento per localizzare degli oggetti nello spazio, attribuendogli delle coordinate.

Essendo una diretta generalizzazione del piano cartesiano, un sistema di riferimento cartesiano tridimensionale è formato da tre rette orientate perpendicolari tra loro e incidenti in un punto, denominato origine degli assi. I tre assi (chiamati solitamente  $x$ ,  $y$  e  $z$ ) identificano tre piani nello spazio ( $xy$ ,  $xz$  e  $yz$ ), che dividono lo spazio in otto ottanti, simili ai quattro quadranti formati dagli assi cartesiani in due dimensioni.

Ogni punto è identificato da 3 coordinate, che rappresentano ognuna la distanza del punto al piano formato dagli altri due<sup>7</sup>.

6 Il sistema tridimensionale è stato adottato in precedenza per la realizzazione degli Atlanti sviluppati all'interno del Politecnico di Milano che hanno fatto seguito all'Atlante espressivo sensoriale di Valentina Rognoli: Boccacello G. (2008), Colore, materiale e tecnologia, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano; Mariani L. (2012), Laser mark, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano.

7 [http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_di\\_riferimento\\_cartesiano](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_riferimento_cartesiano)



Con un sistema così organizzato è possibile osservare e gestire agilmente tutte le possibili combinazioni che i tre assi possono generare. Infatti in un tale sistema si dispongono i valori dei relativi parametri e, scelto poi un valore per ogni asse, ossia stabiliti dei valori per le coordinate del sistema, è possibile trovare, nello spazio tridimensionale, un punto che ha come posizione i valori delle tre coordinate.

Questo punto è rappresentato nella realtà da tutti quei prodotti che possiedono quei valori date dalle coordinate, cioè che racchiudono in sé quelle precise caratteristiche. Nel caso specifico di questa 3Dteca, questi punti sono rappresentati dai campioni fisici stampati.

Ad ogni asse può essere associato:

- un parametro di stampa;
- l'orientamento del campione;
- il colore;
- la forma.

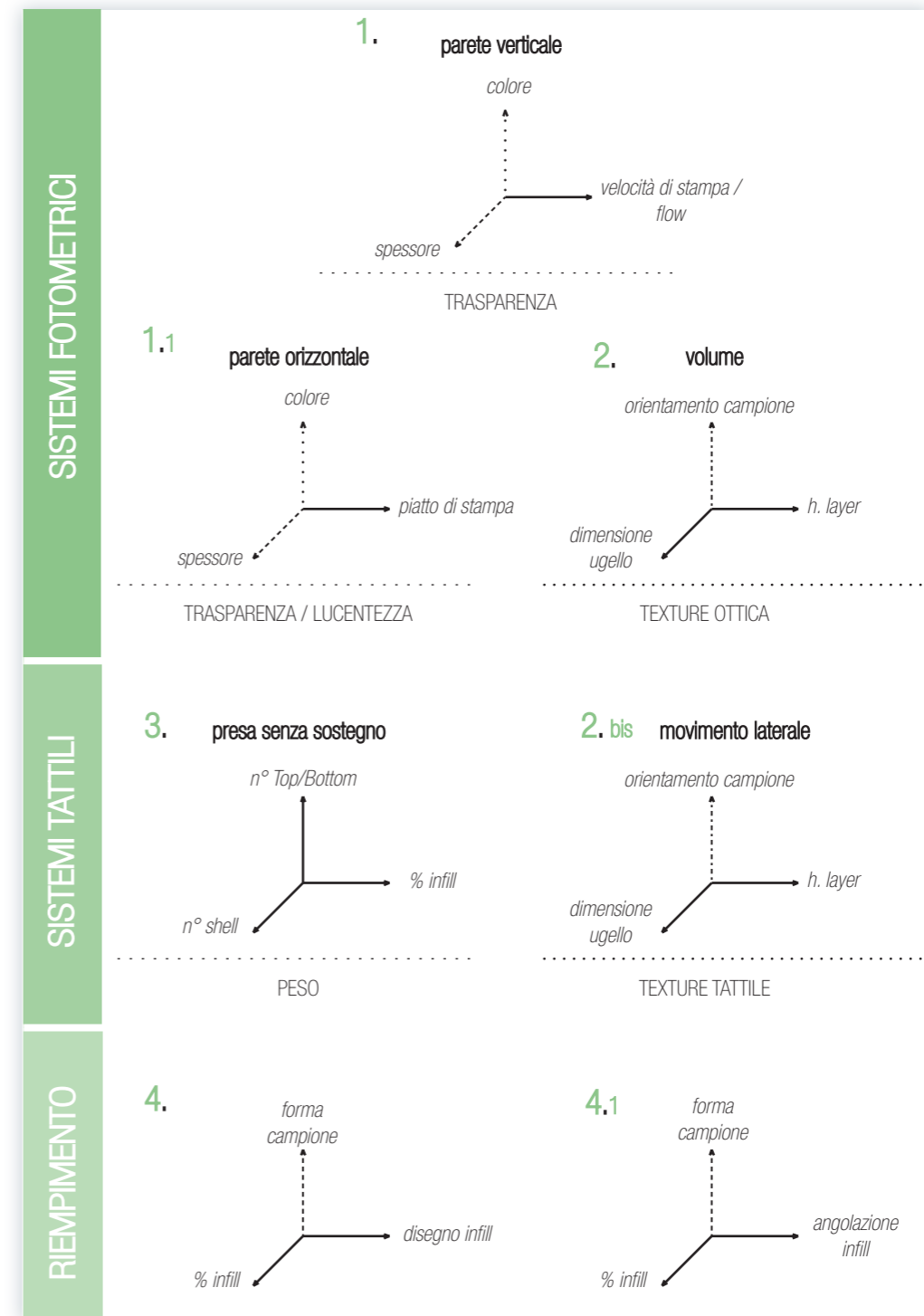
Il numero di valori presenti su ogni asse varia a seconda del parametro utilizzato.

Poiché le connessioni tra questi parametri sono molteplici, non sarebbe stato possibile fare riferimento ad un solo sistema tridimensionale. Si sono quindi creati diversi sistemi di assi (come riportato nel Graf.20).

Ognuno di questi sistemi genera un gruppo di campioni con delle caratteristiche specifiche correlabili ai diversi aspetti sensoriali. I sistemi sono stati quindi successivamente organizzati secondo quale aspetto sensoriale (fotometrico o tattile) veniva principalmente influenzato. Il Sistema 2 compare in entrambi gli aspetti poiché, influenzando il parametro sensoriale della texture, viene percepito sia dalla vista che dal tatto.

Si è poi creata una categoria a parte, chiamata Riempimento, che indaga specificatamente il ruolo del riempimento poiché, come vedremo, coinvolge diversi aspetti.

Innanzitutto, per comprendere come tali relazioni si realizzino, vanno analizzati singolarmente i parametri di stampa, il colore e la forma.



Graf.20 I sistemi tridimensionali adottati.

9.2.1 Parametri di stampa

Nella Prima parte della tesi (nel capitolo dedicato alla stampa 3D desk) sono stati indagati i diversi parametri di stampa.

Tramite l'analisi dei prototipi si è potuto capire quali tra questi influiscano sulle proprietà sensoriali.

Nel Graf.21 sono riportati tutti i parametri di stampa visti ed evidenziati quelli che sono risultati essere gli influenzatori sensoriali.

Precedentemente si è detto che il numero di valori presente su ogni asse varia a seconda del parametro utilizzato (di stampa, colore o forma).

Lo stesso vale anche a seconda del tipo di parametro di stampa scelto (i.e. nel Sistema 1.1 l'asse x dello spessore ha tre valori mentre l'asse z è composto da sei colori). Anche il valore di un parametro di stampa può cambiare a seconda del sistema nel quale è utilizzato (i.e. nel Sisitema 3 la percentuale di Infill può essere 25% oppure 80% mentre nel Sistema 4, 20% oppure 30%).

I valori minimi e massimi dei diversi parametri di stampa permettono, in entrambi i casi, una corretta riuscita della stampa. Diminuire ulteriormente, nel primo caso, o aumentare, nel secondo, i valori comporterebbe la presenza di difetti sul campione o, in alcuni casi, il fallimento della stampa.

Ciò rimane vero in relazione al sistema adottato: i valori minimi e massimi identificati sono da considerare in relazione agli altri parametri del sistema, non sono infatti valori assoluti dello specifico parametro.

La preserie

Per comprendere come i diversi parametri di stampa influenzino i parametri sensoriali, trovarne i punti di connessione e capire come tali relazioni si realizzino, è stata creata una preserie di campioni.

Inizialmente si è ristretto il numero dei parametri di stampa da analizzare facendo affidamento alla propria esperienza di stampa. Si considerano:

- il numero di perimetri esterni (spessore della shell);
- l'altezza layer;
- la velocità di stampa;
- il flow;



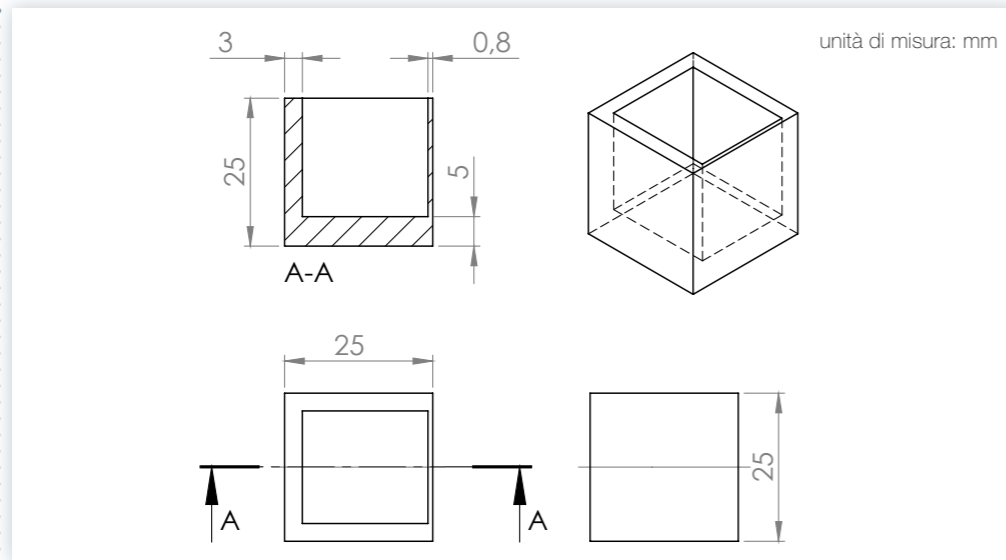
Graf.21 Parametri di stampa che influiscono sulle qualità senso-estetiche.

- la temperatura di stampa;
- il riempimento.

Visto l'elevato numero di possibili combinazioni si è scelto di realizzare una preserie cambiando un solo parametro per volta per capirne la singola incidenza. Cambiare più parametri contemporaneamente avrebbe potuto produrre risultati non chiari dati dalle possibili influenze e interferenze tra parametri.

Si è creato un sample chiamato 'zero' con valori dei parametri che permettono di otte-

Fig.63 Il sample della preserie.



nera una stampa considerabile di media qualità in quanto, con un buon compromesso tra tempo di stampa e qualità superficiale.

Per la forma del campione si è scelto di adottare un cubo scavato come mostrato in Fig.63. Il sample doveva infatti rispettare alcune caratteristiche:

- costante per tutti i parametri analizzati per non influenzare i risultati;
- tempo di stampa non elevato (minore di un'ora);
- possibilità di verificare un volume ed una parete singola.

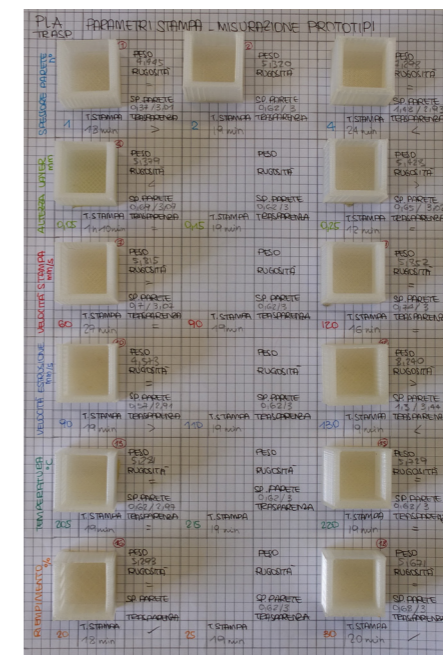
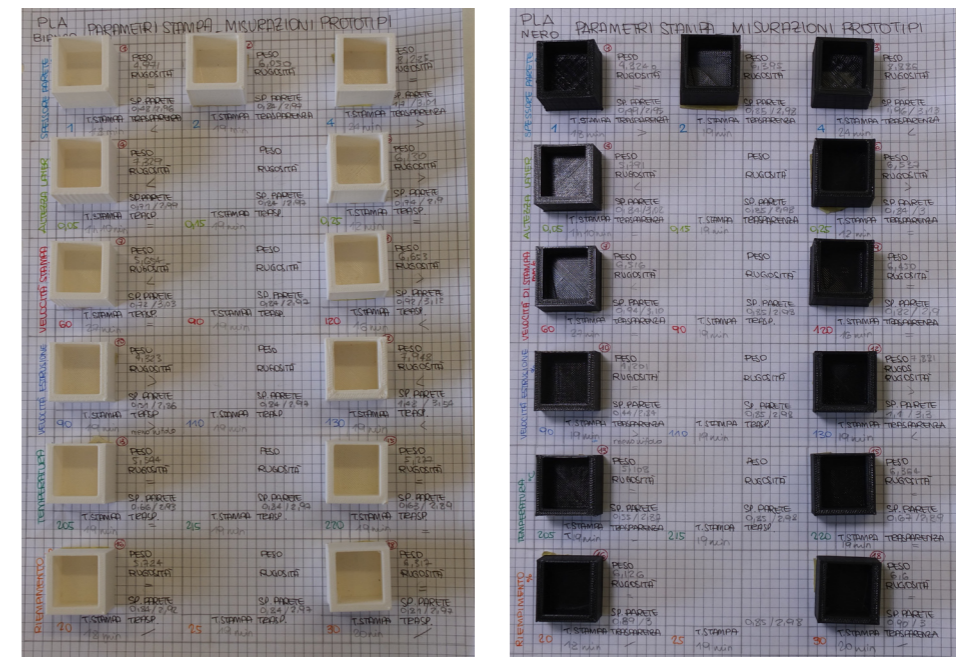
A partire dai parametri di stampa del sample zero, si sono creati dei profili di stampa con il valore del parametro scelto, diminuendolo ed aumentandolo. Si ottiene così una scala composta da tre campioni per ogni parametro. I valori sono stati scelti in modo da ottenere sempre una stampa accettabile, senza difetti a compromettere la riuscita della stampa (nell'Allegato tabelle sono riportati i profili di stampa utilizzati).

La sperimentazione è stata ripetuta nei tre colori considerati 'puri': bianco, nero e trasparente (colore naturale del materiale). In questo modo si è valutato anche il possibile effetto del colore.

Per la stampa dei campioni è stata usata la stampante Ultimaker.

Dei campioni della preserie si sono poi verificati: il tempo di stampa, lo spessore di parete, la rugosità superficiale, il peso e la trasparenza.

Fig.64 Campioni prototipi stampati con il filamento bianco, nero e trasparente.





Nell'Allegato tabelle si riportano i valori delle misurazioni effettuate.

L'intento è verificare se il parametro di stampa ha creato un aumento, una diminuzione o nessuna variazione di questi elementi.

Lo scopo non è quindi una valutazione quantitativa ma solo qualitativa ossia verificare se ci sia stato un cambiamento. L'entità di questo cambiamento verrà stabilito con la sperimentazione successiva.

I dati ottenuti sono stati usati però solo in termini qualitativi – aumento, diminuzione o nessuna variazione – per le motivazioni espresse sopra.

Nei casi in cui gli strumenti scientifici sono risultati non utilizzabili, si è utilizzato un metodo comparativo empirico: i campioni sono stati confrontati al sample zero.

Di seguito gli strumenti utilizzati per le misurazione dei campioni:

- tempo di stampa: il programma di slicing calcola il tempo macchina necessario alla stampa;
- spessore: calibro digitale;
- rugosità: valutazione comparativa rispetto al sample zero;
- peso: bilancia di precisione;
- trasparenza: valutazione comparativa rispetto al sample zero.

Attraverso questi dati è stato possibile capire l'influenza dei diversi parametri. Ciò ha permesso la creazione dei sistemi utilizzati per la sperimentazione che sono descritti nel paragrafo successivo.

Sono necessarie alcune considerazioni:

- alcuni valori possono essere non coerenti per problemi legati alla macchina, al filamento e all'ambiente. I valori controcorrente si considerano come elementi *una tantum* e si prende in considerazione il valore che compare nella maggioranza dei campioni;
- il confronto tra i diversi colori ha portato risultati differenti solo in pochi parametri, generalmente legati alla trasparenza;
- il parametro della temperatura è risultato non significativo ai fini della sperimentazione (può definire la qualità dell'oggetto stampato ma non vi è influenza sulle qualità senso-estetiche del campione).

## 9.2.2 Colore

La percezione del colore è prerogativa della vista. Il colore infatti non esiste al di fuori di uno sguardo umano che distingue gli oggetti dalla luce. Con le altre modalità sensoriali non è possibile percepire qualità cromatiche.

Il colore è esperienziale: "il colore non è una caratteristica degli oggetti, anche se tale ci appare, ma il risultato dell'interazione fra luce, oggetti che la riflettono e l'apparato percettivo di chi guarda"<sup>8</sup>.

In molte delle ricerche sulla sensorialità analizzate nel capitolo precedente, il colore viene inserito tra i parametri sensoriali. In questo contesto però il colore è considerato un parametro controllabile a monte, così come i parametri di stampa e la forma (scegliendo il colore del filamento utilizzato per la stampa così come si decide la forma dell'oggetto da stampare o il valore dell'altezza layer) e non influenzato dal processo, o almeno non direttamente (come si vedrà alcuni sistemi hanno come effetto una parziale modifica del colore).

I colori presenti sugli assi sono scelti a seconda del sistema in cui vengono utilizzati.

Da sottolineare il fatto che il colore sia presente anche nei sistemi in cui questo parametro non è uno degli assi. Il filo utilizzato per stampare i campioni avrà sempre una sua colorazione: i filamenti trasparenti risultano essere un 'non colore'.

Cerchiamo ora di capire che cosa sia il colore.

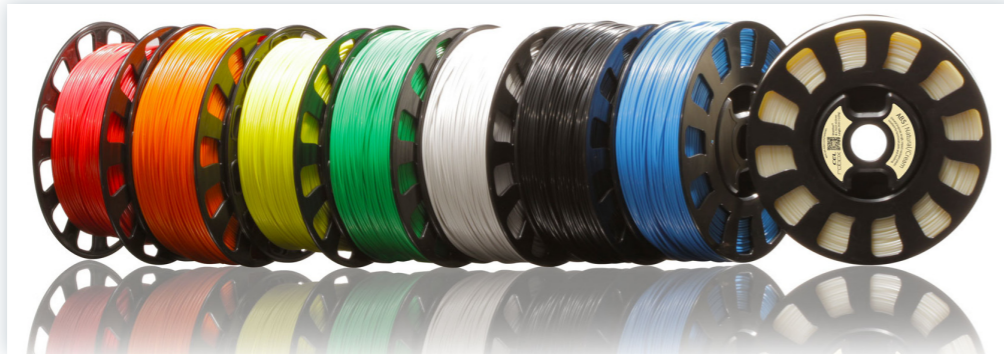
I diversi colori della luce corrispondono alle diverse lunghezze d'onda del campo elettromagnetico.

Da un punto di vista fenomenologico il colore viene considerato come la somma di tre caratteristiche: la chiarezza (attributo della luce), la tinta e la saturazione (attributi cromatici).

La tinta è la tonalità di colore ovvero l'attributo con il quale si distingue il rosso dal verde, il blu dal giallo e così via. Le tinte possiedono un ordine naturale: rosso, giallo, verde, blu, porpora. Se un colore viene miscelato con quello adiacente si ottiene una variazione continua da un colore all'altro (i.e. il rosso e il giallo possono essere miscelati in varie proporzioni così da ottenere delle variazioni di colore che dal rosso, attraverso l'arancione, arrivano al giallo).

<sup>8</sup> Massironi M. (1998), Fenomenologia della percezione visiva, Il Mulino, Bologna.

Fig.65 Bobine di filo di diversi colori.



La percezione di colori con stessa tinta differisce con il variare della sua concentrazione ovvero la sua saturazione.

La chiarezza, detta anche lucentezza o brillantezza, indica la quantità di luce che un colore sembra riflettere, ossia la luminosità<sup>9</sup>.

La maggior parte dei materiali possiede una colorazione propria (i.e. le diverse tonalità di marrone del legno). Il colore apre ad una gamma più ampia di personalizzazione di un prodotto rispetto al solo colore originario del materiale.

La colorazione di un materiale può essere infatti indotta attraverso l'uso di tecnologie di colorazione.

Queste tecnologie permettono di progettare il colore dei materiali modificandone le tinte nel loro volume (colore in massa) oppure operando sulla loro superficie attraverso rivestimenti.

Il colore in massa consiste nel colore del materiale nel suo volume. Può essere indotta cambiando la composizione chimica del materiale tramite aggiunta di sostanze quali ossidi, coloranti, elementi di lega, ecc. La colorazione in massa tramite coloranti è il modo più semplice ed economico per dare colore o un effetto ad un materiale<sup>10</sup>.

È il caso dei filamenti per FDM.

Per colorare in massa i polimeri vengono utilizzati i pigmenti che, a differenza dei coloranti, sono insolubili o pochissimo solubili nel solvente e necessitano dunque di essere dispersi in sostanze leganti. I pigmenti sono commercializzati in polvere, pasta o

9 Del Curto B., Fiorani E., Passaro C. (2010), La pelle del design. Progettare la sensorialità, Lupetti-Editori di comunicazione, Milano.

10 Del Curto B., Fiorani E., Passaro C. (2010).

dispersi in un mezzo appropriato, ma si tratta sempre di particelle molto fini, dell'ordine dei micron.

Come osserva Federico Riva nella sua tesi<sup>11</sup>, pensare che il colore del filamento interessi soltanto la tinta dell'oggetto finale sarebbe riduttivo.

Il pigmento inserito in massa nella fase di estrusione o direttamente nel pellet originario può influenzare addirittura proprietà meccaniche e termiche oltre che la qualità di deposizione del filo e del pezzo finale (i.e. alcuni pigmenti esigono temperature più elevate mentre altri subiscono uno sbiancamento dovuto a crazing durante le operazioni di pulitura o di rimozione delle bave come supporti o brim).

Alcuni elementi aggiunti in massa possono modificare la trasparenza: la diminuzione della trasparenza nei polimeri può essere causata sia da specifici pigmenti inseriti, sia attraverso la miscelazione con altri polimeri, sia con l'aggiunta di cariche quando si vogliono aumentare le caratteristiche meccaniche<sup>12</sup>.

Oggi è possibile trovare filamenti per la stampa FDM oggi in una gamma di colori molto ampia con nuance interessanti per tanti settori applicativi. In commercio<sup>13</sup> non esistono solo filamenti di colori statici ma anche colori dinamici che mutano a seconda della natura dell'input che ricevono: termocromici, fosforescenti, fluorescenti, ecc.

Alcune statistiche<sup>14</sup> stilate da 3D Hubs segnalano quale sia il "color trend" che interessa il mondo 3D printing e determina così una classifica dei colori di filamento più venduti e più usati per stampare gli oggetti. Salgono sui primi due gradini del podio gli oggetti costruiti con filamento bianco e con filamento nero, seguiti dai colori più accesi come il blu, il rosso e il verde.

Poiché esiste una grande varietà di modi per esprimere un colore, può risultare estremamente difficile e impreciso descriverlo.

Il discorso si complica ulteriormente considerando il fatto che l'uomo generalmente interpreta i colori usando le categorie di appartenenza culturale. Ciò significa che il concetto di colore non è di per se univoco, ma fortemente condizionato culturalmente.

Il colore può essere quantificato analizzandone lo spettro di assorbimento dei materiali, ma ciò, dal punto di vista del design, non risulta particolarmente utile. Un metodo più

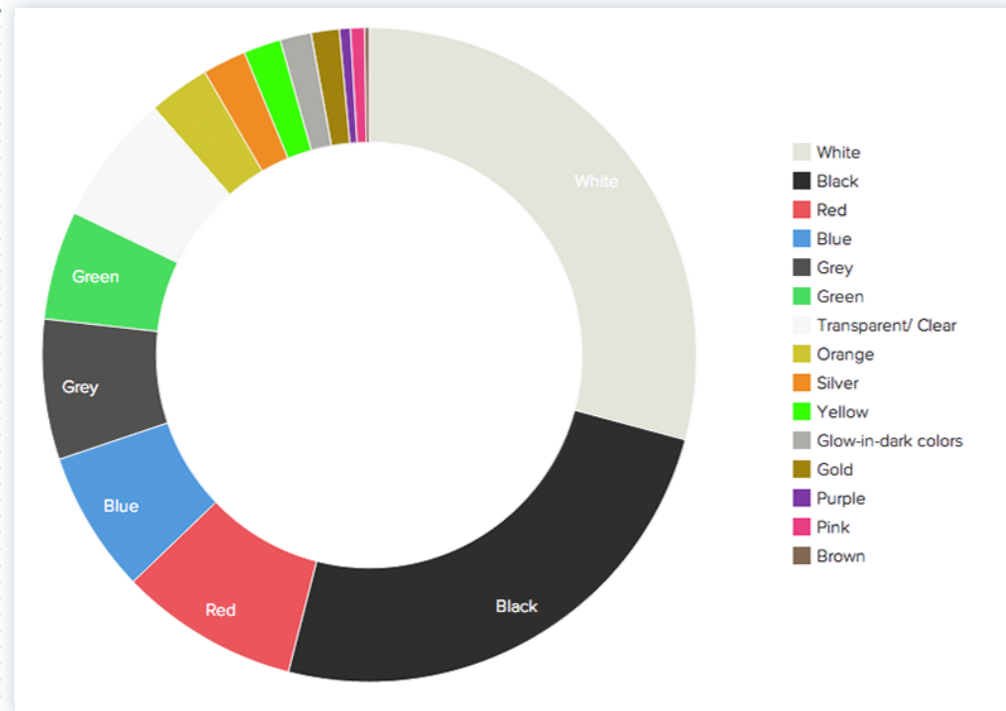
11 Riva F. (2014), Superfici in attesa, Tesi di Laurea Magistrale, Politecnico di Milano.

12 Del Curto B., Fiorani E., Passaro C. (2010).

13 <http://www.formfutura.com>; <http://www.plastink.com/it>

14 Aggiornate a Gennaio 2014.

Fig.66 Trend dei colori più usati per la stampa 3D. Fonte: www.3dhubs.com/trens



efficace è quello comparativo, che si serve di grafici come quelli forniti dalla pantone; una volta trovato il riferimento cromatico, questo è descritto mediante un codice che identifica ogni singolo campione di colore<sup>15</sup>.

Identificare il colore dei filamenti non è quindi semplice per i motivi evidenziati sopra ed è ancora più complesso considerandone il mercato.

Il colore del filamento dovrebbe far riferimento ad una scala, quindi ad un codice cromatico (es. scala NSC); tuttavia oggi nessuno certifica questa corrispondenza, preferendo indicare i nomi dei colori in modo semantico o attraverso denominazioni commerciali (es. Giallo Flash, Strong Black, ecc).

Poiché per la sperimentazione di questa tesi sono stati utilizzati filamenti commerciali, i colori verranno identificati solo con il colore generico della tinta con alcune specifiche nel caso di tonalità differenti della stessa tinta (i.e. per due rossi diversi si potrà trovare

15 Ashby M., Shercliff H., Cebon D. (2009), Materiali. Dalla scienza alla progettazione ingegneristica, Casa Editrice Ambrosiana

‘rosso chiaro e ‘rosso scuro’).

Finchè il colore dei filamenti non sarà codificato secondo una scala riconosciuta, questo parametro risulta essere un possibile limite alla replicabilità della ricerca. Due bobine di filamento dello stesso produttore potrebbero avere due tonalità leggermente diverse dello stesso colore in quanto il produttore stesso non deve garantire la corrispondenza ad una scala.

### 9.2.3 Forma

Sotto il parametro della forma si identificano sia la forma totale del campione sia, nello specifico, lo spessore di una parte.

Si sottolinea che, come per il colore, la forma risulta essere imprescindibile anche nei sistemi dove non è associata ad un asse. Il campione stampato avrà comunque una sua forma definita.

Per questa sua caratteristica è necessario porsi una domanda: “La forma del campione può influenzare l’effetto dei parametri degli assi e la valutazione sensoriale?”.

La risposta è sì per entrambi gli aspetti.

Come si è visto nel paragrafo dedicato alle possibili criticità, la forma è un elemento da non trascurare durante la stampa. E’ necessario infatti seguire regole di Design for Manufacturing imprescindibili per la riuscita dell’oggetto (anche se bisogna sottolineare che il numero degli accorgimenti è molto inferiore rispetto alle tecnologie tradizionali e diventa quasi nullo con altri tipi di tecniche di Additive Manufacturing). Alcune geometrie possono infatti aumentare o ridurre l’effetto di un parametro di stampa ed è necessario tenerne conto per controllare pienamente il processo.

Come facilmente intuibile, e confermato dalla letteratura (i.e. Karana e Lederman), alcuni aspetti tattili sono fortemente influenzati dalla forma del provino.

Questo avviene non solo per l’aspetto tattile ma anche per quello fotometrico. La percezione delle qualità visive dei materiali è influenzata dalla percezione della forma dell’artefatto<sup>16</sup>.

*“Si da per scontato il fatto che la forma potrebbe interferire anche nell’interpretazione di*

16 Nefs H. (2008), On The Visual Appearance of Objects, Product Experience, H. Schifferstein , P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam, pp 11-36



*alcune proprietà sensoriali dei materiali*<sup>17</sup>.

Si è cercato di utilizzare forme semplici e studiate ad hoc per ogni sistema in modo da mettere in evidenza la caratteristica sensoriale da valutare.

Le schede dei campioni analizzate nel capitolo precedente sono servite come esempio ed ispirazione.

Nella progettazione della forma dei sample si è tenuto conto anche che la valutazione sensoriale sarà fatta su una precisa parte del campione: il sample potrà essere idealmente scomposto in diverse parti.

La valutazione potrà essere fatta:

- sulla parete verticale;
- sulla parete orizzontale;
- sulla totalità del campione.

### 9.3 Le stampanti

All'interno del laboratorio +LAB sono presenti quattro stampanti opensource:

- due PowerWasp;
- una Ultimaker;
- una 3DRAG.

Vediamone le principali caratteristiche.

#### Power Wasp [scheda 1]

Il sogno di questo gruppo di giovani Makers ravennesi, i produttori di questa stampante, è poter costruire case/alloggi temporanei e a basso costo in argilla, usando proprio la tecnica della deposizione di materiale layer by layer. Gradualmente si stanno avvicinando a questo obiettivo, utilizzando una piccola stampante FDM desktop come progetto finanziatore, la Power Wasp.

<sup>17</sup> Karana E., Hekkert P., Kandachar P. (2009), "Assessing material properties on sensorial scale", in Proceeding of the ASME 2009, International Engineering Technical Conferences & Computer and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE 2009, San Diego, Usa, pp. 1-6

La struttura della stampante è costituita da pannelli di legno multistrato laminato tagliato laser e adotta la configurazione secondo la quale il carrello si muove lungo l'asse X e Z mentre il piatto completa muovendosi lungo l'asse Y. Il sistema consente di raggiungere velocità di stampa molto elevate. È una stampante tra le più affidabili.

La PowerWASP è la prima stampante 3D che può diventare anche Fresa CNC cambiando la testina.

In laboratorio è presente una PowerWASP che monta un ugello da 0,35 mm e una con ugello da 0,7.

#### Ultimaker [scheda 2]

La Ultimaker Original è una stampante olandese nata nel 2011 insieme alla fondazione della start-up che l'ha concepita. Si riconosce per la tipica struttura costruita in pannelli di legno compensato tagliato al laser. È molto prestante e precisa. Ha vinto infatti il Make Magazine's Best Open Hardware, il Fastest Printer e il Most Accurate Printer awards nel 2012.

Ultimaker rappresenta la media delle stampanti 3D per velocità.

#### 3DRAG [scheda 3]

3DRAG è un progetto originale interamente italiano, che combina la flessibilità dell'hardware Open-Source RepRap alla meccanica riprogettata per una maggiore stabilità e un montaggio semplificato. La macchina è realizzata con profili di alluminio studiati per fissaggio ad incastro, progettata per offrire leggerezza e rigidità per la soppressione delle vibrazioni e delle risonanze indesiderate.

La stampante utilizza il sistema X/Y per il piano di stampa (moving bed) e Z per il carrello. Questa particolare configurazione consente di semplificare il sistema di estrusione che, non dovendo più muoversi su un asse orizzontale, viene semplicemente fissato alla struttura che si sposta sull'asse Z.

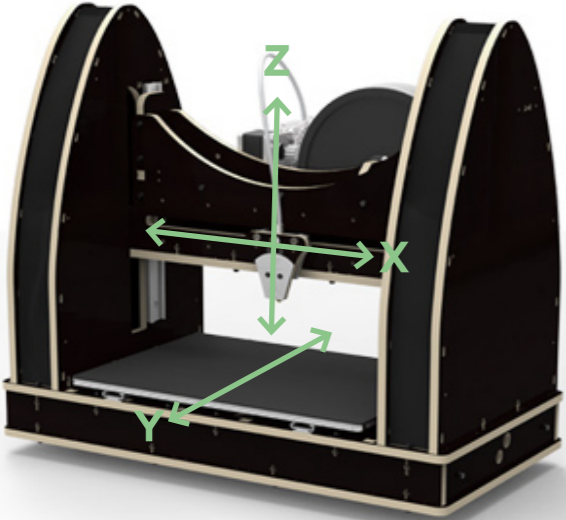
Questo permette di stampare con facilità materiali flessibili ed elastici in quanto l'estrusore è direttamente collegato alla testa di stampa, cosa che non può avvenire con stampanti che hanno l'estrusore a monte con cavo bowden.

Le misure sono state studiate per conferire alla stampante compattezza e un baricentro basso, allineato con le due cinghie. Il supporto per il piatto di stampa è stato progettato per ospitare una piastra in vetronite riscaldata.

3DRAG si caratterizza per una particolare lentezza dovuta alla configurazione dei movimenti che può causare vibrazioni elevate.

1

## Power WASP



**Marca:** WASProject  
**Nazionalità:** Italia  
**Sito internet:** [www.personalfab.it](http://www.personalfab.it)  
**Preassemblata**  
**Dimensioni macchina:** 550 x 300 x 500 mm  
**Area di stampa:** 260 x 195 x 210 mm  
**Velocità:** max 200 mm/sec  
**Range di temperature:** 180° - 260° C  
**Piatto riscaldato:** no  
**Diametro ugello:** 0.35 mm o 0.70 mm (1 estrusore)  
**Testa fresa ed estrusore a siringa opzionale**  
**Diametro filamento:** 3 mm (ma anche 1,75 mm)  
**Materiali stampabili:** PLA, ABS  
**Qualità:** (assi x-y) 0.012 mm; (asse z) 0.004 mm  
**Stampa senza PC?** SD card e controller (opzionale)  
**Prezzo:** a partire da €1.440  
**Costo di utilizzo:** 0.05 €/cm<sup>3</sup> (materiale ed energia)

parametri di stampa consigliati	BASIC	ADVANCED
	Quality	Machine
	Layer height (mm): 0.1/0.2	Nozzle size (mm): 0.35
	Shell thickness (mm): 0.35 (0.7)/1.4	<b>Retraction</b>
	Enable retraction: yes	Speed (mm/s): 110/150
	<b>Fill</b>	Distance (mm): 3/8
	Bottom/Top thickness (mm): 0.3/1	<b>Quality</b>
	Fill density (%): 20/30	Initial layer thickness (mm): 0.0/0.2
	<b>Speed and temperature</b>	Cut Off object bottom (mm): 0.0
	Print speed (mm/s): 60/120	Dual extrusion overlap (mm): 0.0
	Printing temperature (C): 190/210 (PLA)	<b>Speed</b>
	<b>Support</b>	Travel speed (mm/s): 110/150
	Support type: None	Bottom layer speed (mm/s): 10/20
	Platform adesion type: Brim	Infill speed (mm/s): 0.0
	Filament	<b>Cool</b>
	Diameter (mm): 2.8	Minimal layer time (sec): 3/7
	Flow (%): 100	Enable cooling fan: no

## Ultimaker

2

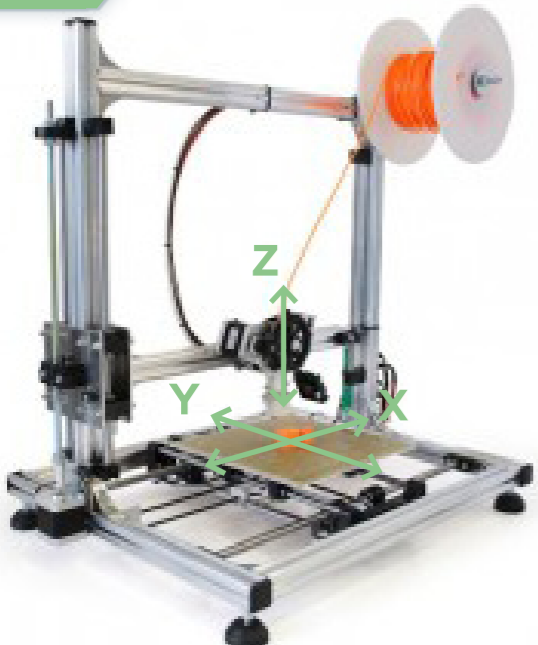


**Marca:** Ultimaker  
**Nazionalità:** Olanda  
**Sito internet:** [www.ultimaker.com](http://www.ultimaker.com)  
**Kit e preassemblata**  
**Dimensioni macchina:** 358 x 338 x 389 mm  
**Area di stampa:** 210 x 210 x 205 mm  
**Velocità:** 30 - 300 mm/sec  
**Range di temperature:** 180° - 260° C  
**Piatto riscaldato:** no  
**Diametro ugello:** 0.4 mm (1 estrusore)  
**Diametro filamento:** 3 mm  
**Materiali stampabili:** PLA, ABS  
**Qualità:** asse z 0.02 mm  
**Software:** Cura  
**Slicing software:** Cura  
**OS:** Windows, Mac, Linux  
**Open source?** Si  
**Stampa senza PC?** Opzionale  
**Prezzo:** A partire da €1.194  
**Costo di utilizzo:** 0.05 €/cm<sup>3</sup> (materiale ed energia)

parametri di stampa consigliati	BASIC	ADVANCED
	Quality	Machine
	Layer height (mm): 0.1/0.2	Nozzle size (mm): 0.4
	Shell thickness (mm): 0.4/1.6	<b>Retraction</b>
	Enable retraction: yes	Speed (mm/s): 110/130
	<b>Fill</b>	Distance (mm): 3/6
	Bottom/Top thickness (mm): 0.3/1	<b>Quality</b>
	Fill density (%): 20/30	Initial layer thickness (mm): 0.0/0.2
	<b>Speed and temperature</b>	Cut Off object bottom (mm): 0.0
	Print speed (mm/s): 60/120	Dual extrusion overlap (mm): 0.0
	Printing temperature (C): 210/230 (PLA)	<b>Speed</b>
	<b>Support</b>	Travel speed (mm/s): 110/130
	Support type: None	Bottom layer speed (mm/s): 10/20
	Platform adesion type: Brim	Infill speed (mm/s): 0.0
	Filament	<b>Cool</b>
	Diameter (mm): 2.8	Minimal layer time (sec): 3/7
	Flow (%): 100	Enable cooling fan: yes

3

## 3DRAG



**Marca:** Futura Elettronica  
**Nazionalità:** Italia  
**Sito internet:** www.futurashop.it  
**Preassemblata e Kit**  
**Dimensioni macchina:** 500 x 420 x 620 mm  
**Area di stampa:** 200 x 200 x 200 mm  
**Velocità:** 150 - 300 mm/sec  
**Range di temperature:** 180° - 260° C  
**Piatto riscaldato:** si  
**Diametro ugello:** 0.5 mm (1 estrusore)  
**Diametro filamento:** 3 mm  
**Materiali stampabili:** PLA, ABS, elastomerici  
**Qualità:** (asse x-y) 0,015 mm; (asse z) 0,0039 mm  
**Stampa senza PC?** SD card opzionale  
**Open source?** Si  
**Prezzo:** da €680  
**Costo di utilizzo:** 0.06 € / cm<sup>3</sup> (materiale ed energia)

parametri di stampa consigliati

**BASIC**

**Quality**

Layer height (mm): 0.15/0.25

Shell thickness (mm): 0.5/2

Enable retraction: yes

**Fill**

Bottom/top thickness (mm): 0.3/1.2

Fill density (%): 20/30

**Speed and temperature**

Print speed (mm/s): 45/75

Printing temperature (c): 190/210 (pla)

**Support**

Support type: none

Platform adesion type: brim

**Filament**

Diameter (mm): 2.8

Flow (%): 100

**ADVANCED**

**Machine**

Nozzle size (mm): 0.5

**Retraction**

Speed (mm/s): 90/120

Distance (mm): 3/5

**Quality**

Initial layer thickness (mm): 0.0/0.2

Cut off object bottom (mm): 0.0

Dual extrusion overlap (mm): 0.0

**Speed**

Travel speed (mm/s): 100/120

Bottom layer speed (mm/s): 10/20

Infill speed (mm/s): 0.0

**Cool**

Minimal layer time (sec): 3/7

Enable cooling fan: yes

## 9.4 La valutazione sensoriale

Ai fini di una valutazione quantitativa e oggettiva è necessario utilizzare strumenti scientifici. Gli strumenti utilizzati per le valutazioni delle varie proprietà dei materiali sono descritti nelle schede 'Strumenti' del già citato Atlante espressivo-sensoriale di Valentina Rognoli.

Adottare questo metodo sarebbe stato, tuttavia, eccessivamente lungo e complesso poiché avrebbe comportato l'utilizzo di strumenti molto specifici come glossmetro, rifrattometro, durometro, tribometro, ecc. difficili da utilizzare, in quanto richiedono conoscenze specifiche, e non tutti reperibili all'interno del dipartimento (sarebbe stato necessario affidare le valutazioni a terzi).

E' possibile però eseguire una valutazione qualitativa delle proprietà analizzando l'esperienza sensoriale<sup>18</sup>. (Graf.22 nella pagina successiva).

Si è quindi proceduto a creare una scala di valutazione bipolare basata sul lavoro<sup>19</sup> effettuato da Elvin Karana in cui propone una Scala Likert costituita da 5 valori: uno centrale, due 'negativi' e due 'positivi'.

Ogni polarità è stata rappresentata non solo dagli aggettivi opposti ma anche da un'immagine che si prendesse il merito di rendere la valutazione universale per tutte le lingue e inequivocabile dal punto di vista semantico (cosa che le parole non sanno fare a sufficienza).

Si è quindi adottato un sistema rappresentato da due opposti, espressi dall'attributo riferito alla singola proprietà, e da una scala di valori tre valori tra essi. In questo modo si ottiene un valore intermedio dal quale ci si può avvicinare a un attributo in entrambe le direzioni.

2 1 0 1 2  
 attributo a / o / o / o attributo b

Dato che l'intento delle valutazioni proposte in questa tesi non è ottenere un risultato statisticamente valido, quindi basato su un elevato numero di persone con caratteri-

<sup>18</sup> Per approfondimenti si rimanda al paragrafo dedicato alle analisi sensoriali.

<sup>19</sup> Karana E., Hekkert P., Kandachar P., (2008), "Meaning of materials through sensorial properties and manufacturing processes", in Materials and Design, vol. 90, n. 7, pp 2778-2784; Karana E. (2010), How do materials obtain their meanings?, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 271-285.



Graf.22 La valutazione sensoriale nello schema del processo percettivo.

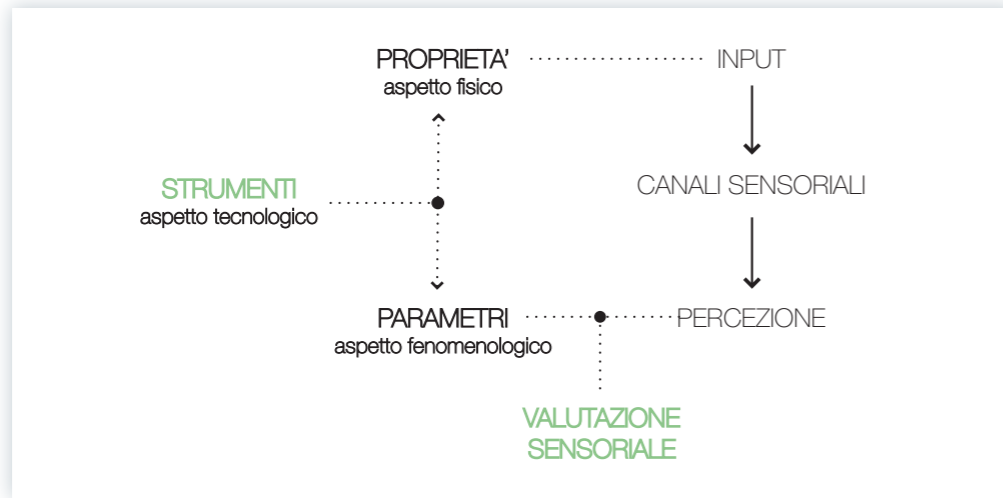
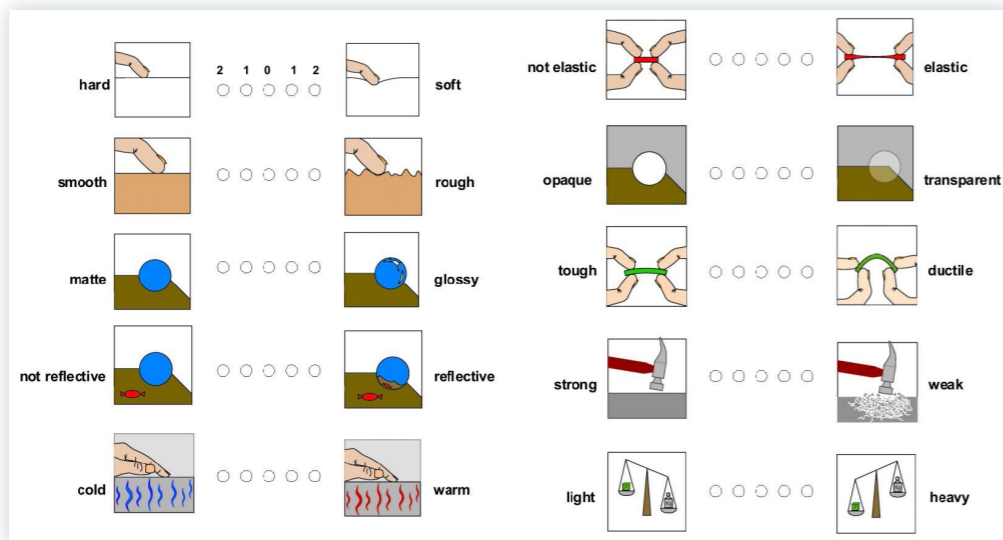


Fig.67 Rappresentazione delle proprietà dei materiali proposta da Elvin Karana.



stiche diverse, si è ritenuto non necessario adottare il linguaggio infografico poiché il rischio di fraintendimenti non è presente.

Poiché l'intento non è ottenere dati scientifici ma qualitativi, per la valutazione sensoriale ci si avvarrà di strumenti considerati empirici. Questi strumenti sono stati presi in prestito da sistemi di valutazione sensoriale già esistenti o creati appositamente.

Di seguito vengono identificate e spiegate in maniera più approfondita le scale di valutazione e gli strumenti utilizzati nella valutazione sensoriale dei singoli parametri fotometrici

e tattili.

### Qualità' fotometriche

#### Lucentezza

##### Scala di valutazione

Matt / o / o / o / Gloss

##### Strumento

L'NCA Gloss Scale permette ai professionisti di fare dei confronti di gloss tra diverse aree di luminosità indipendentemente dal colore con cui stanno lavorando. Presenta 7 Gloss steps per colore, misurati con componente speculare 60° (ISO 2813).

Si possono però effettuare anche misure empiriche rotazionali utilizzando la Gloss Scale NCS, strumento adottato in questa tesi.

La NCS Gloss Scale mostra il grado di gloss attraverso una scala di grigi. E' una cartella a ventaglio tascabile, dalla quale è possibile scegliere il campione più adatto e posizionarlo sulla superficie desiderata.

#### Trasparenza

##### Scala di valutazione

opaco / o / traslucido / o / trasparente

##### Strumento

La trasparenza fenomenologica è definita da due proprietà: la trasparenza e la nitidezza.

Per la valutazione di queste proprietà si è adottato uno strumento empirico basato sulla capacità di percepire forme (per la trasparenza) e dettagli (per la nitidezza) con diversi gradi di saturazione.

Per la prova della trasparenza sono state create nove forme circolari in scala di grigio (da 5% a 100%) (come mostrato in Fig.XX). La forma è stata scelta per la sua semplicità.

Per la prova della nitidezza sono state utilizzate cinque scritte (si è scelto di utilizzare le prime due parole del testo riempitivo *Lorem ipsum*). Il font usato è *Myriad Pro Regular*, 9 punti. E' un font a bastoni (senza grazie) per rendere più semplice la valutazione.

Fig.68 NCS Gloss Scale per la valutazione della lucentezza.



Fig.69 Grafiche utilizzate per la valutazione della trasparenza e della nitidezza.



Il campione viene testato prima appoggiato su una superficie bianca e poi controluce. I risultati delle due prove vengono poi uniti per dare un valore medio. Vengono eseguite due valutazioni, controluce e non, poichè la luce è un fattore determinante per la percezione della trasparenza fenomenologica. Escludere una delle due prove non avrebbe permesso di avere un risultato veritiero.

I valori medi della trasparenza e quelli della nitidezza vengono uniti in un grafico cartesiano: risulteranno opachi i campioni che si posizionano in basso a sinistra nel grafico, traslucidi i campioni in basso a destra e trasparenti quelli in alto a destra. I valori in-

termedi sono rappresentati dai campioni posizionati tra due aree (opaco-traslucido o traslucido-trasparente).

**Texture ottica**

**Scala di valutazione**

Meno stratificata/ o / o / o / Più stratificata

**Strumento**

Per la valutazione della texture ottica si utilizza un metodo comparativo tra i diversi campioni.

Vista la complessità di questa valutazione non si utilizza la scala a cinque valori ma si indica la graduatoria dei campioni, che saranno posizionati dal meno stratificato al più stratificato creando una classifica.

**Qualità' tattili**

**Peso**

**Scala di valutazione**

Leggero / o / o / o / Pesante

**Strumento**

I campioni vengono pesati con una bilancia di precisione da laboratorio e confrontati con la massa media.

In questo caso lo strumento scientifico è presente e facilmente utilizzabile. Non è necessaria una valutazione qualitativa.

Si esprimono i risultati nella scala a 5 valori per unificare il linguaggio con gli altri parametri.

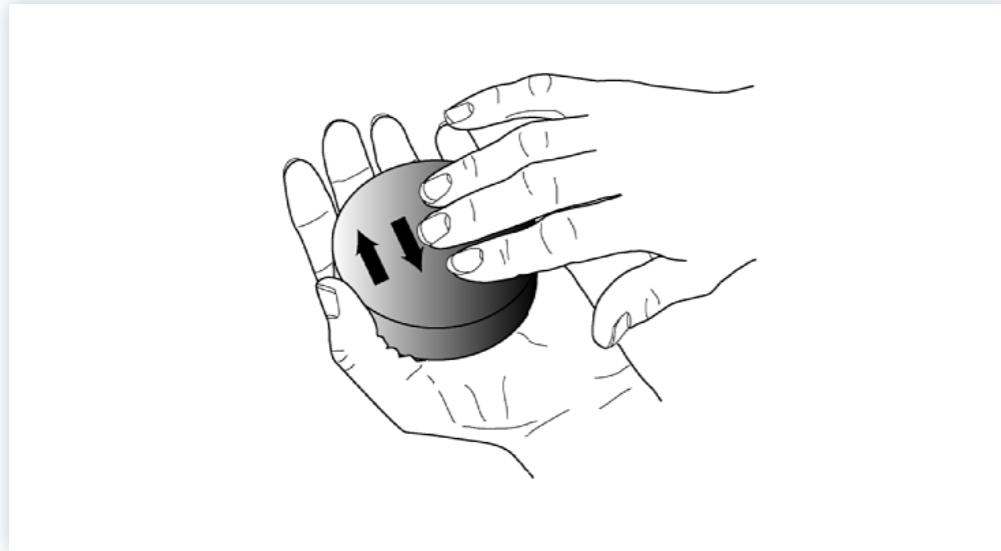
Il valore 0 indica la media dei valori di massa dei campioni, ogni step presenterà uno scostamento di +/- 20%.

**Texture tattile**

**Scala di valutazione**

Meno stratificata / Più stratificata

Fig.70 Procedura esplorativa tramite il movimento laterale. Fonte: 'Haptic Perception: a tutorial' di Lederman S. et alii.



**Strumento**

Come metodo di misurazione della texture solitamente viene utilizzato un rugosimetro o un profilometro.  
 In questo caso la valutazione sarà effettuata manualmente tramite la procedura esplorativa del movimento laterale eseguito con i polpastrelli su di una faccia prestabilita del campione.  
 Non si analizza la faccia del piatto di stampa che presenta una texture non data dalla stratificazione della stampa ma dall'impressione del piatto stesso sul primo layer.  
 Vista la complessità di questa valutazione non si utilizza la scala a cinque valori ma si indica la graduatoria dei campioni, che saranno posizionati dal meno stratificato al più stratificato creando una classifica.

**Riempimento**

Del riempimento si effettua un'analisi progettuale e non sensoriale, per determinare il grado di controllo pre-stampa del parametro.

**Scala di valutazione**

Random / Prevedibile

**Strumento**

Si stilano due classifiche (determinate tramite la comparazione dei campioni):

- la prima identifica le forme che determinano un maggiore o minore grado di imprevedibilità del disegno percepito sulle pareti laterali;
- la seconda identifica i pattern, in relazione alla percentuale di riempimento, che determinano un maggiore o minore grado di imprevedibilità del disegno percepito sulle pareti laterali.



# 10

## La sperimentazione

• Questo capitolo è dedicato alla descrizione della sperimentazione.

• I dati sono organizzati secondo i sistemi tridimensionali di riferimento.

• Per una più facile lettura sono state create delle schede che mostrano i parametri utilizzati, la descrizione degli assi e dei campioni e la valutazione sensoriale.

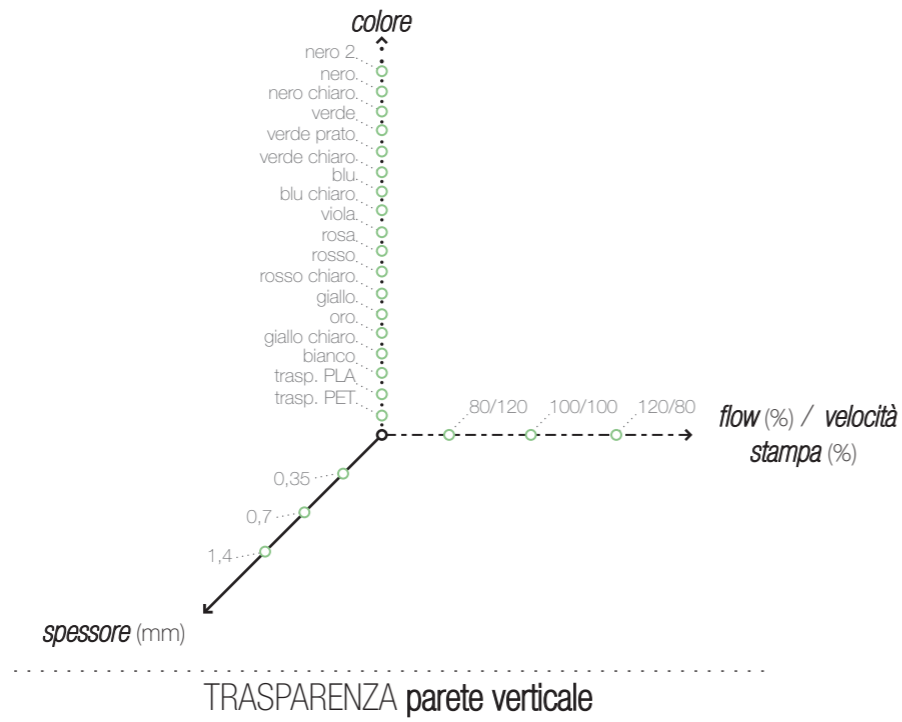
• Le schede sono state raccolte in tre sezioni: aspetto fotometrico, aspetto tattile e riempimento.

• E' possibile trovare i dati numerici delle valutazioni nell'Allegato delle tabelle.

• La discussione dei risultati sensoriali sarà oggetto del prossimo capitolo.



aspetto **fotometrico**



Parametri e nomenclatura campioni

		x_flow(%) / velocità di stampa (%)		
		120/80	100/100	80/120
y_spessore (mm)	0,35	A1	B1	C1
	0,7	D1	E1	F1
	1,4	G1	H1	I1

Stampante: Power Wasp 0,35

Altezza layer: 0,15 mm

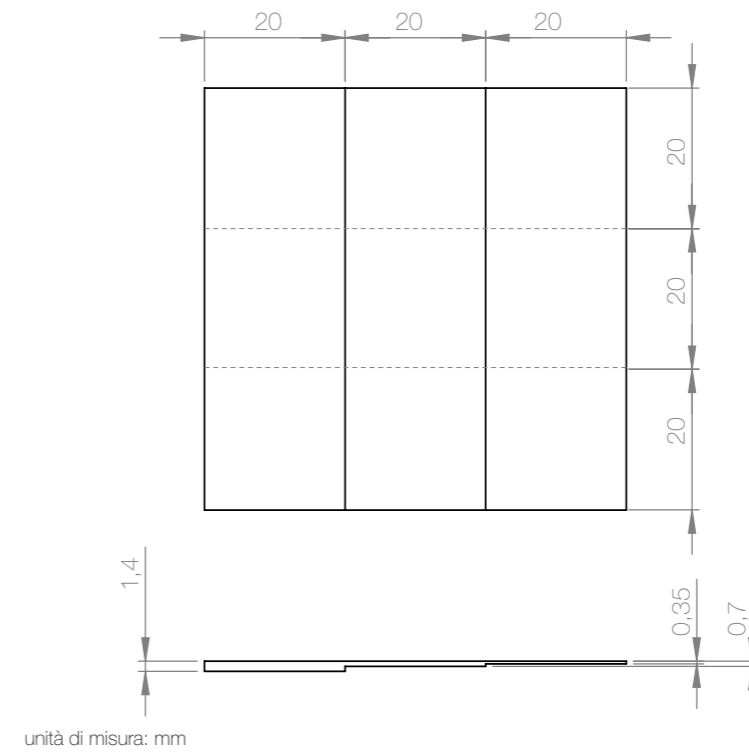
Spessore parete: 0,7 mm

Adesione: Brim

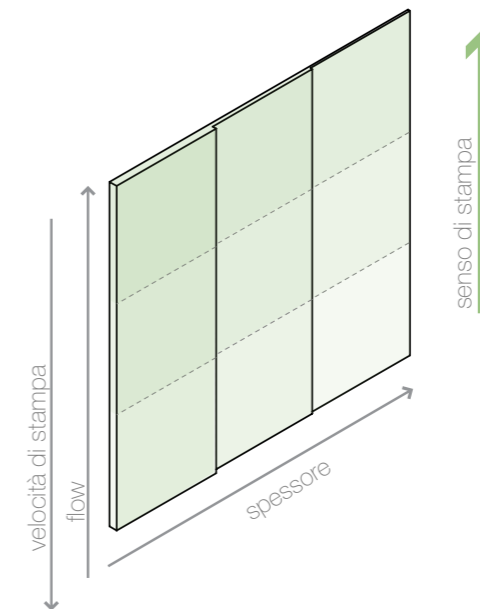
Velocità di stampa 100%: 90 mm/s

Velocità di stampa 120%: 108 mm/s

Velocità di stampa 80%: 72 mm/s



unità di misura: mm





Con questo sistema si vuole valutare il controllo della **trasparenza** della **parete verticale**.

### Asse x\_Flusso e velocità di stampa

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** percentuale (%)

**Valori:** 120/80 - 100/100 - 80/120

Si è scelto di considerare insieme questi due parametri di stampa poichè l'aumento di flusso ha lo stesso effetto della diminuzione della velocità, e viceversa. Unendoli è possibile incrementarne gli effetti: per ottenere il risultato della loro combinazione, bisognerebbe estremizzarli troppo e la stampa potrebbe fallire.

Se si eccede con la velocità e la diminuzione del flusso, il cordone depositato si stira e diventa troppo fine e frammentato. Questo impedisce la corretta adesione tra i layer (causando un aumento della fragilità del pezzo) e i layer degli strati inferiori potrebbero non riuscire a sorreggere i layer superiori (facendo collassare il pezzo).

Se invece il flusso è troppo elevato e la stampa troppo lenta si hanno deformazioni causate dalla deposizione di materiale in eccesso.

E' possibile modificare entrambi i parametri durante la stampa impostandone la percentuale (100% indica il valore in mm/s impostato nel G-code).

### Asse y\_Spessore

**Tipo asse:** forma

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,35 - 0,7 - 1,4

Ogni step ha un incremento del cento per cento (lo spessore raddoppia).

Lo spessore della parete verticale è legato alla dimensione dell'ugello: nell'ordine si hanno una, due e quattro pareti.

La sovrapposizione delle pareti genera una maggiore dispersione della luce che deve attraversare diverse superfici.

### Asse z\_Colore

**Tipo asse:** colore

**Valori:** Trasparente (PET) - trasparente (PLA) - bianco- giallo chiaro - oro- giallo - rosso chiaro - rosso - rosa - viola - blu chiaro - blu - verde chiaro - verde prato- verde - nero chiaro - nero - nero2

Come anticipato nel capitolo sul metodo, il colore è il parametro meno controllabile in quanto già dato (i filamenti vengono colorati a monte dal produttore). Il tipo di pigmento e la percentuale influisce sulla trasparenza.

### Campione

Il campione è una lamella il cui spessore è dato dai valori dell'asse y.

Si è deciso di creare una forma che unisca gli step degli assi x e y:

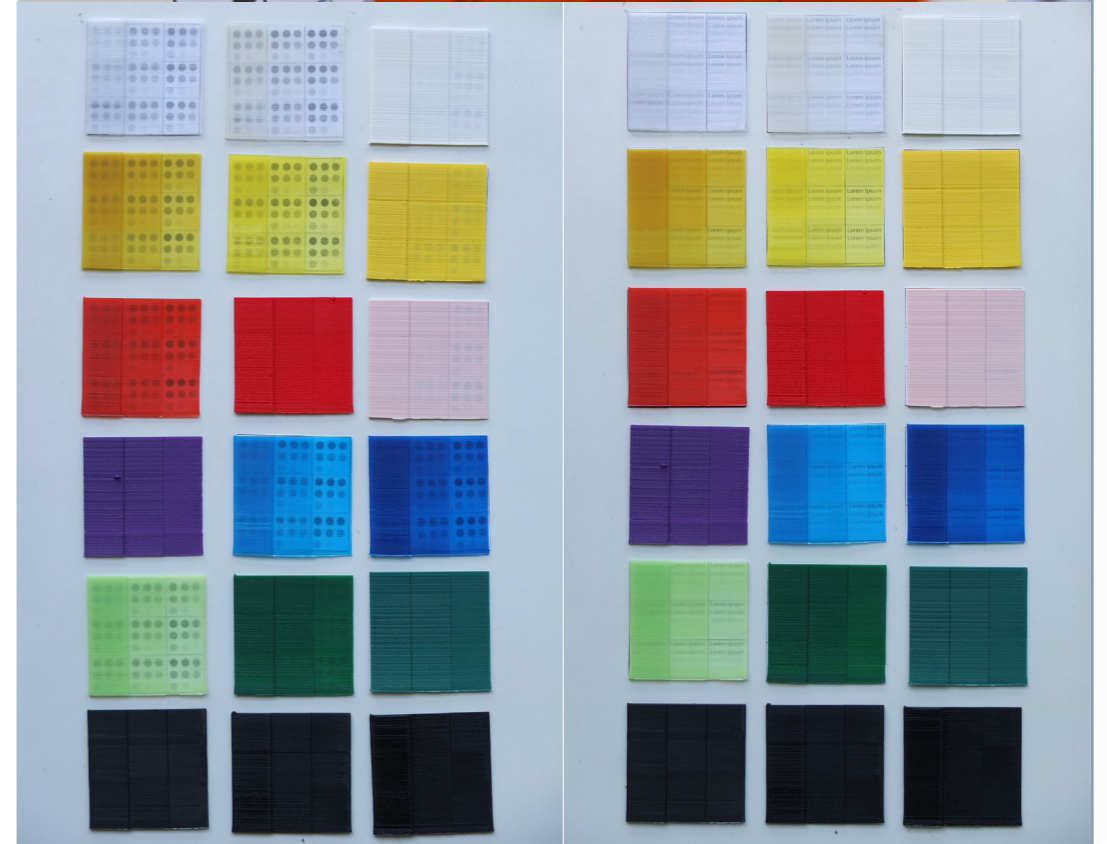
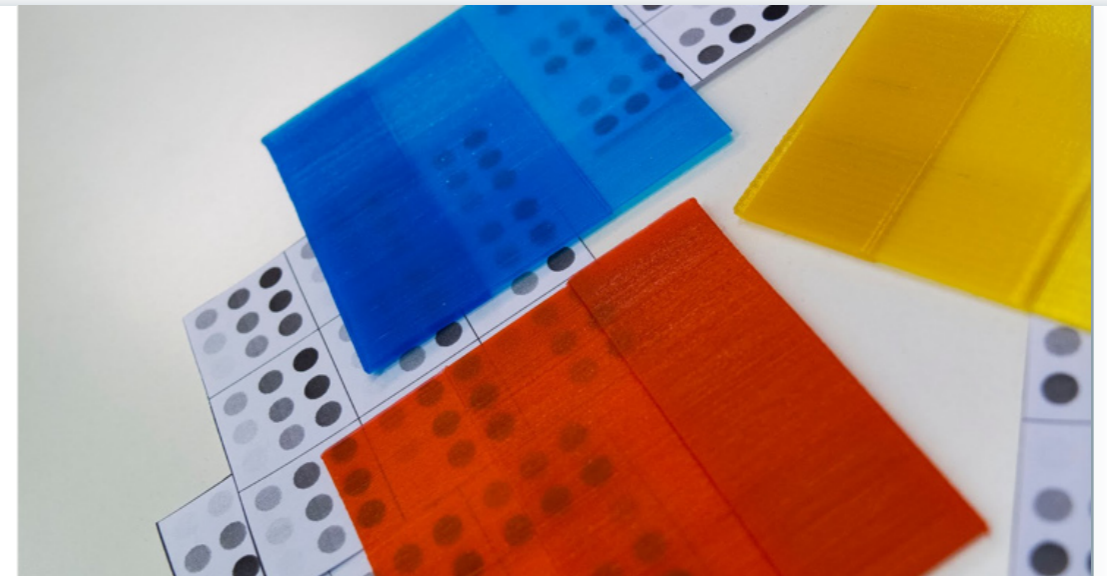
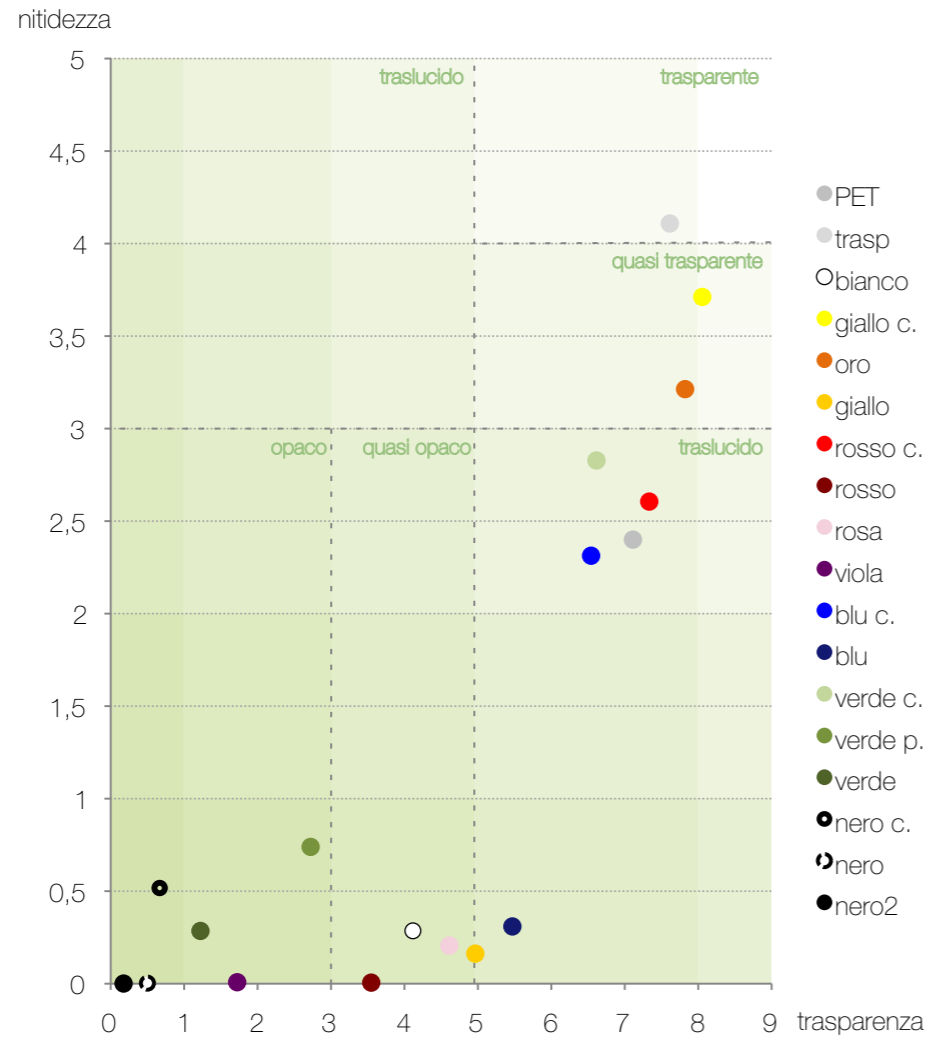
- l'asse x è rappresentato dall'altezza del campione;
- l'asse y è rappresentato dalla variazione di spessore del campione.

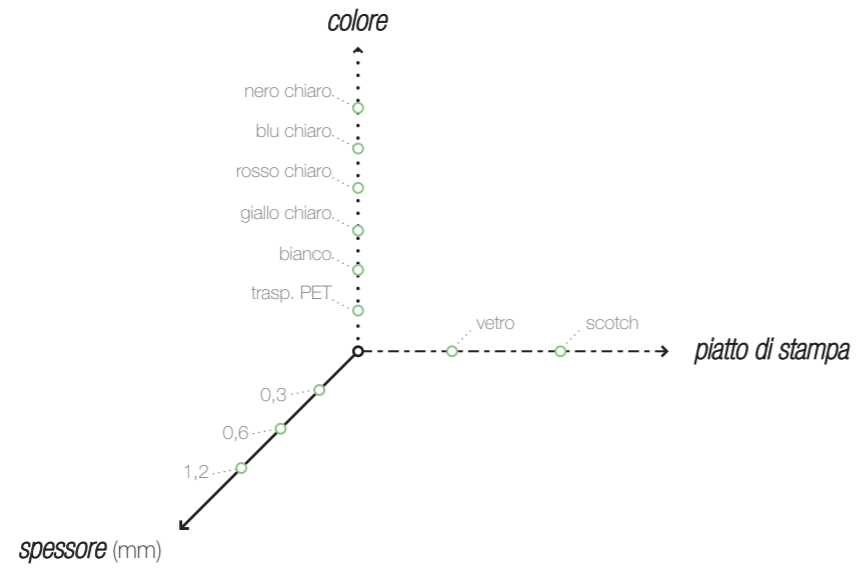
Questo ha permesso di limitare il tempo di stampa, il numero dei provini e di percepire meglio la gradazione.

sistema 1

valutazione sensoriale

Grafico trasparenza-nitidezza per la definizione della trasparenza fenomenologica





TRASPARENZA e LUCENTEZZA parete orizzontale

Parametri e nomenclatura campioni

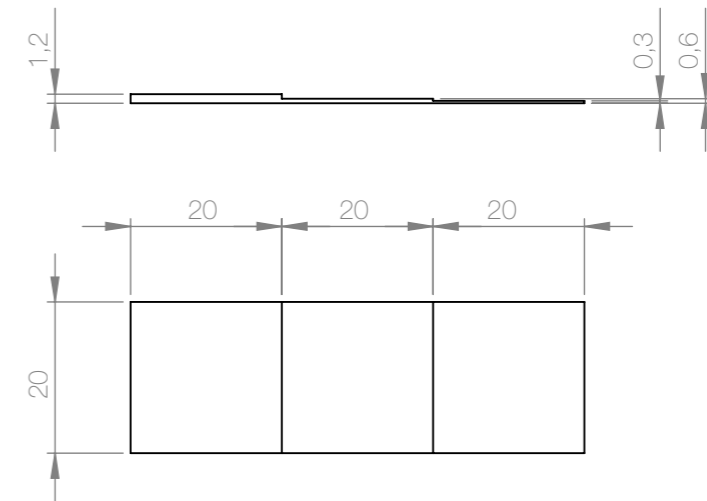
y_spessore (mm)	x_piatto di stampa	
	vetro	scotch
0,3	<b>A1.1</b>	<b>B1.1</b>
0,6	<b>C1.1</b>	<b>D1.1</b>
1,2	<b>E1.1</b>	<b>F1.1</b>

Stampante: 3DRAG

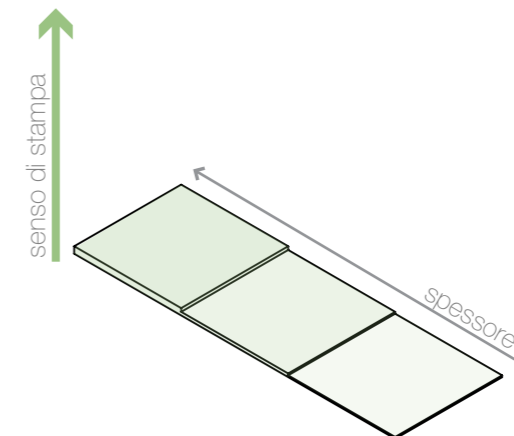
Altezza layer: 0,15 mm

Spessore parete: 0,5 mm

Adesione: None



unità di misura: mm





Con questo sistema si vuole valutare il controllo della **trasparenza** della **parete orizzontale** e la **lucentezza** della superficie a contatto con il piatto di stampa.

### Asse x\_Spessore

**Tipo asse:** forma

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,3 - 0,6 - 1,2

Ogni step ha un incremento del cento per cento (lo spessore raddoppia).

Lo spessore della parete orizzontale è legato al parametro dell'altezza layer di cui deve essere un multiplo: 0,3 mm è costituito da due layer, 0,6 mm da quattro layer e 1,2 mm da otto layer.

La sovrapposizione dei layer genera una maggiore dispersione della luce che deve attraversare diverse superfici.

### Asse y\_Piatto di stampa

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Valori:** vetro - scotch

Il tipo di piatto di stampa è classificabile come parametro di stampa perché strettamente legato all'attrezzaggio della stampante.

Il piatto di stampa deve essere costituito da un materiale a cui il PLA riesca ad aderire ma che poi risulti divisibile al termine della stampa.

Il piatto di stampa lascia un'impronta sulla superficie del campione così come avviene, per esempio, per le tecnologie di stampaggio rotazionale o ad iniezione.

Si testano un piatto di stampa di vetro, a cui viene spruzzato un sottile strato di lacca (si utilizza una comune lacca per capelli) e un piatto di stampa coperto da scotch di carta.

### Asse z\_Colore

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Valori:** trasparente (PET) - bianco - giallo chiaro - rosso chiaro - blu chiaro - nero chiaro.

I colori sono stati selezionati tramite i risultati della valutazione della trasparenza del Sistema 1. Vengono presi, tra i filamenti risultati trasparenti o tralucidi, i colori considerati 'base' (colori CMYK, trasparente e il bianco).

### Campione

Il campione è una lamella il cui spessore è dato dai valori dell'asse x dello spessore.

I diversi step dello spessore sono uniti utilizzando una sola forma: questo ha permesso di limitare il tempo di stampa, il numero dei provini e di percepire meglio la gradazione.

Grafico trasparenza-nitidezza per la definizione della trasparenza fenomenologica

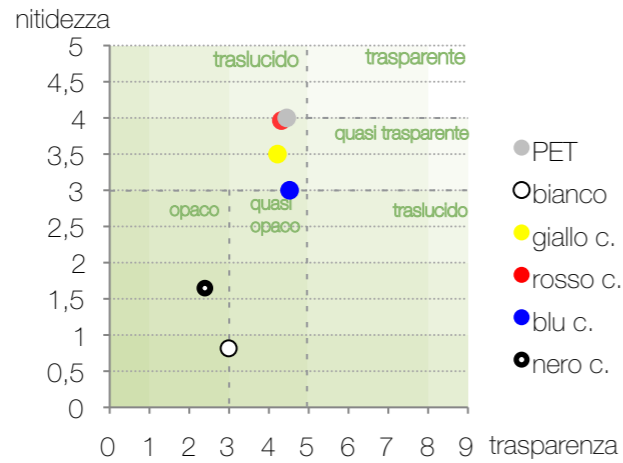
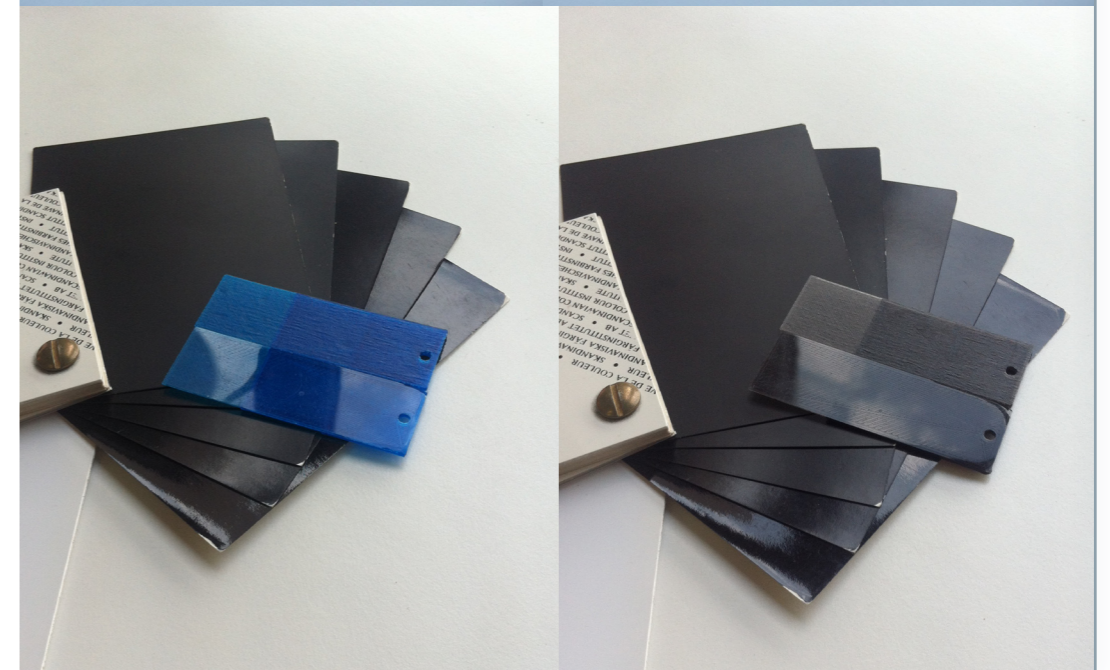
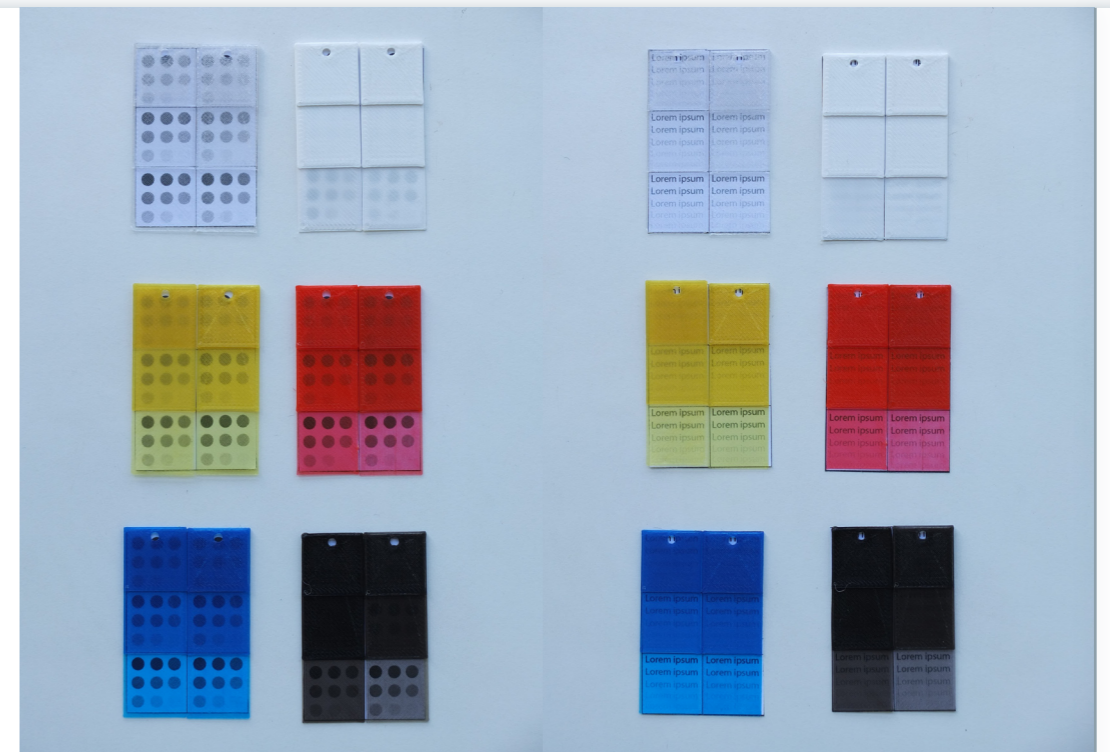
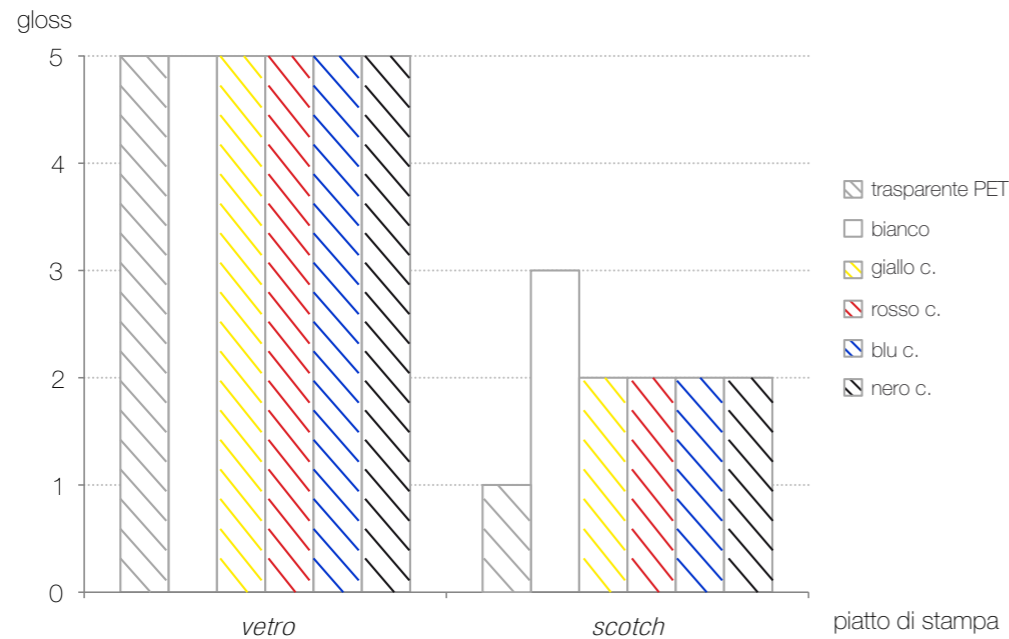
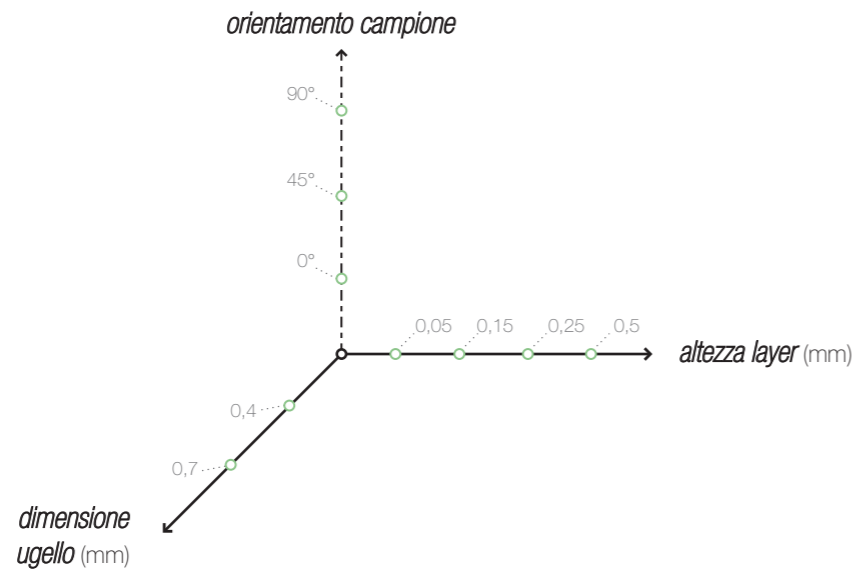


Grafico della valutazione del gloss in relazione al piatto di stampa





TEXTURE OTTICA volume

Parametri e nomenclatura campioni

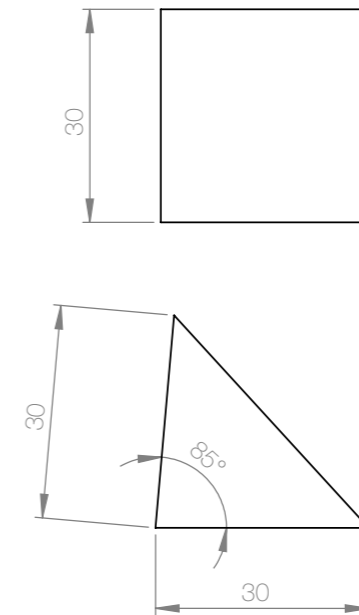
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
x_h.layer (mm)	0,05	0,15	0,25	0,5	0,05	0,15
y_ugello (mm)	0,4	0,4	0,7	0,7	0,4	0,4
z_orientamento	faccia1	faccia1	faccia1	faccia1	faccia2	faccia2

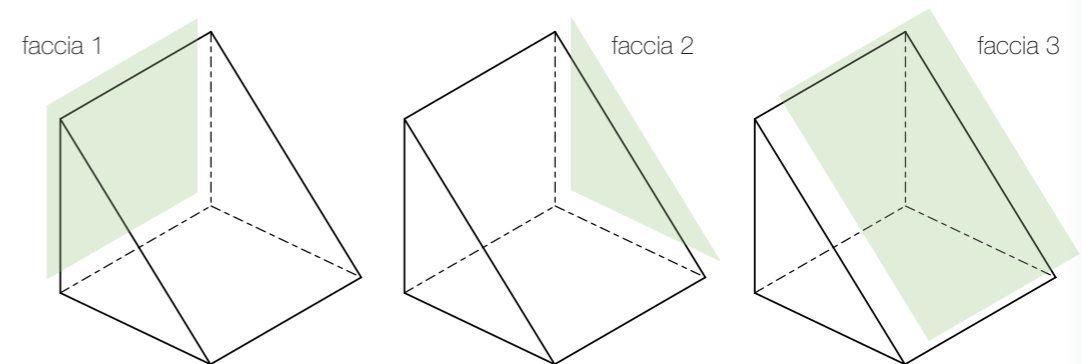
	G2	H2	I2	L2	M2	N2
x_h.layer (mm)	0,25	0,5	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello (mm)	0,7	0,7	0,4	0,4	0,7	0,7
z_orientamento	faccia2	faccia2	faccia3	faccia3	faccia3	faccia3

Stampanti: Ultimaker  
Power Wasp 0,7

Parete: Spiralize  
Adesione: None



unità di misura: mm





Il Sistema 2 analizza la **texture ottica** che viene percepita sulla totalità del campione (ovvero il suo **volume**).

### Asse x\_ Altezza layer

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,05 - 0,15 - 0,25 - 0,5

Solitamente il valore medio utilizzato per l'altezza layer è 0,15mm.

La soglia minima dell'altezza del layer è data dalle prestazioni della stampante e la soglia massima dalla dimensione dell'ugello.

Se il layer è troppo elevato rispetto all'ugello si forma un cordone rotondo che non aderisce a quelli precedenti.

### Asse y\_ Dimensione ugello

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,35 - 0,7

Come detto, la dimensione dell'ugello influenza in modo diretto l'altezza dei layer.

L'altezza layer può essere pari al massimo all'80% della dimensione dell'ugello (l'altezza ideale è un quarto dell'ugello).

Per stampare i layer, definiti dall'asse x, si utilizzano due ugelli differenti: 0,4 mm (della stampante Ultimaker) e 0,7 mm (della stampante Power Wasp).

Con l'ugello da 0,4 mm si stampano i layer 0,05 mm e 0,15mm mentre con l'ugello da 0,7 mm si stampano i layer 0,25 mm e 0,5 mm.

### Asse z\_Orientamento del pezzo

**Tipo asse:** orientamento

**Valori:** faccia 1 - faccia 2 - faccia 3

L'orientamento del pezzo deve necessariamente tenere conto delle regole di Design for Manufacturing.

Si identificano tre direzioni di stampa del campione perpendicolari alle tre facce principali del campione.

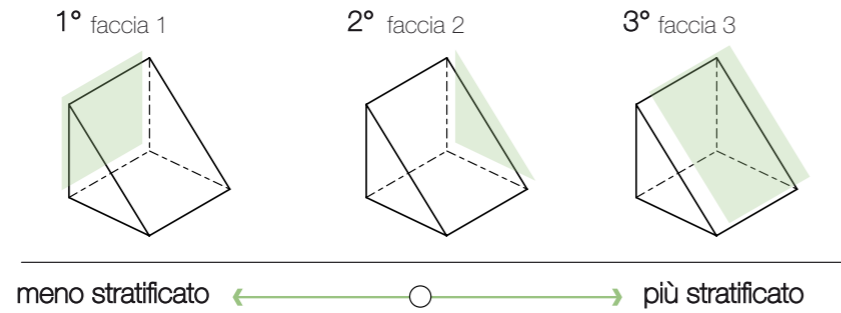
### Campioni

La forma del campione deve rispettare alcune caratteristiche:

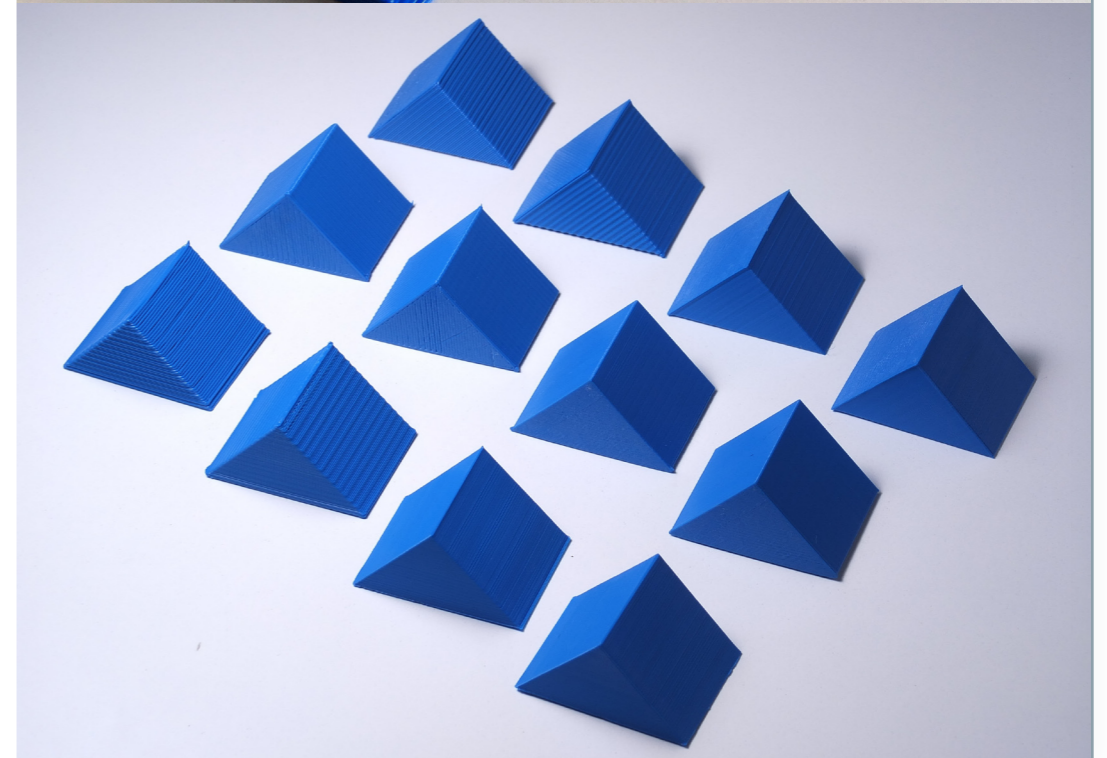
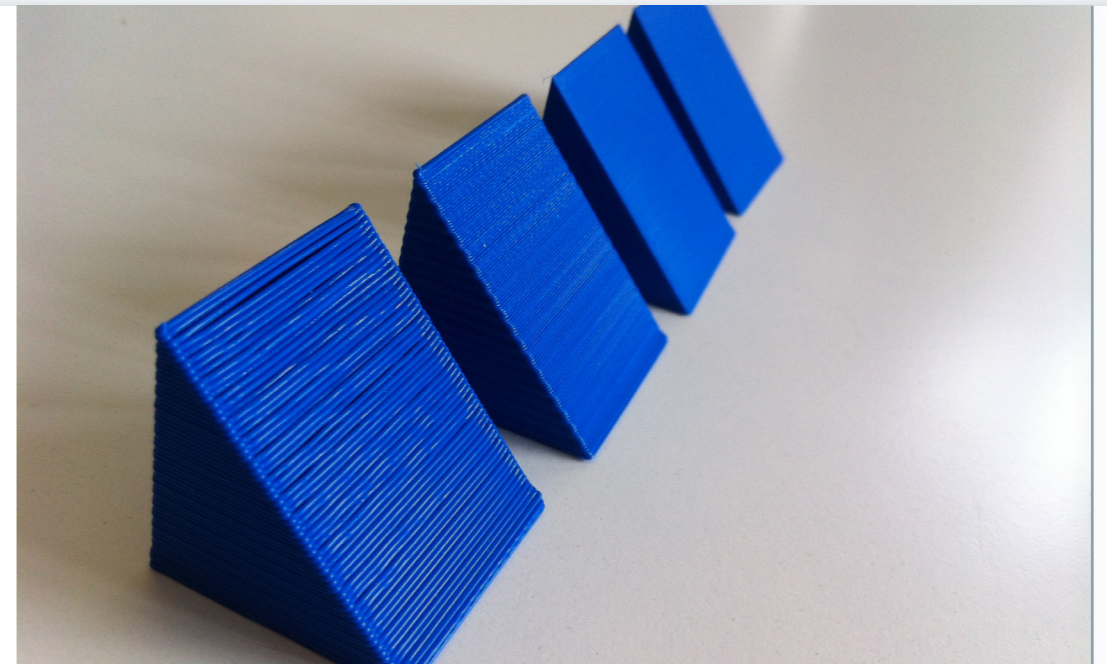
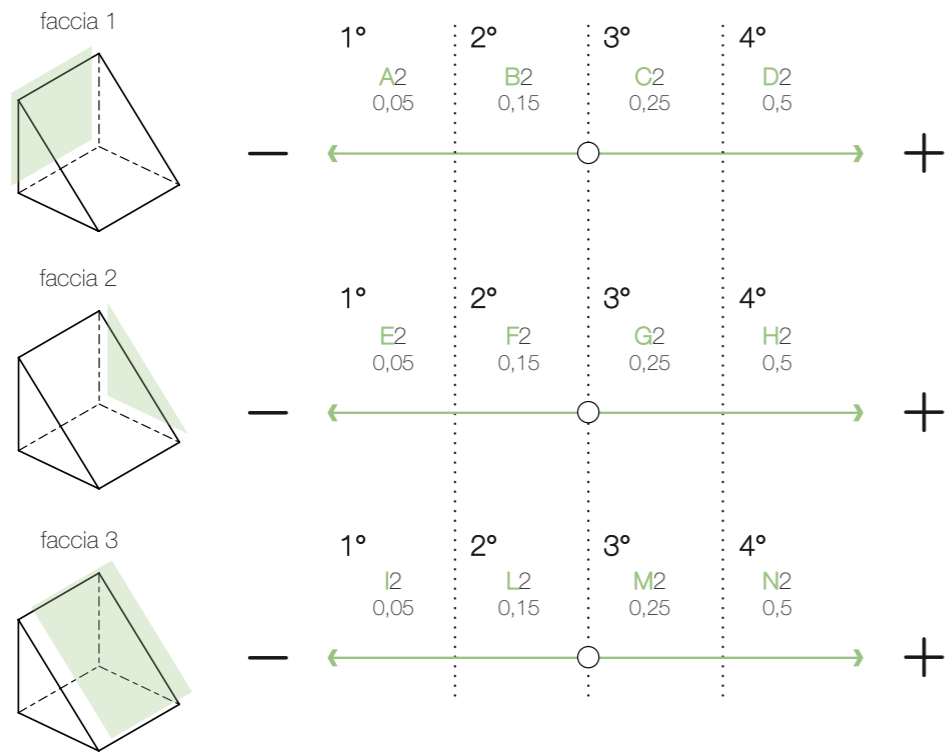
- non essere assialsimmetrica per avere un riferimento sull'orientamento durante la valutazione sensoriale;
- essere lineare per non influire sulla percezione delle superfici.

Si adotta un prisma a base triangolare (triangolo scalare).

Classifica della media dell'orientamento di stampa

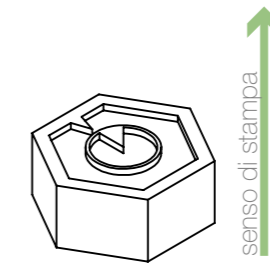
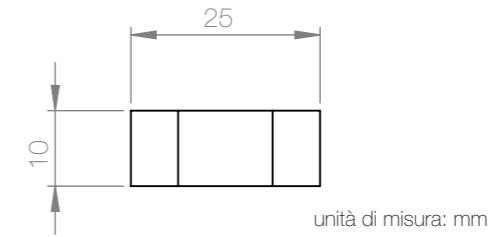
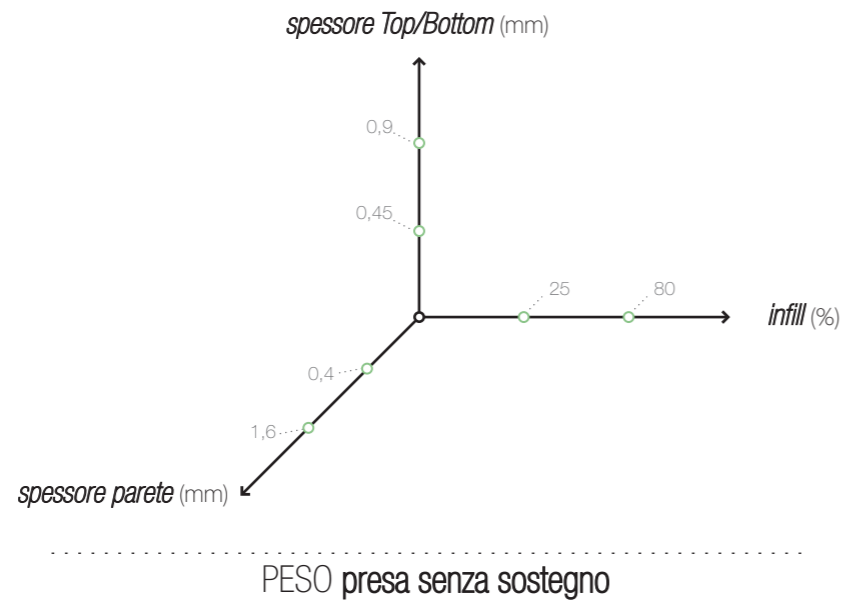


Classifiche dell'altezza layer in relazione all'orientamento di stampa



aspetto **tattile**





Parametri e nomenclatura campioni

	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H3
x_infill (%)	25	80	25	80	25	80	25	80
y_parete (mm)	0,4	0,4	1,6	1,6	0,4	0,4	1,6	1,6
z_top/bottom (mm)	0,45	0,45	0,45	0,45	0,9	0,9	0,9	0,9

Stampante: Ultimaker

Altezza layer: 0,15 mm

Adesione: Brim



Il Sistema 3 vuole indagare la possibilità di influenzare il **peso** degli oggetti stampati. La percezione del peso avviene tramite una **presa senza sostegno**.

### Asse x\_Infill

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** percentuale (%)

**Valori:** 25 - 80

Il riempimento è un parametro molto importante che può determinare sia la qualità che la strutturalità dei pezzi stampati.

Esso determina la densità interna (quantità di materiale presente rispetto al vuoto) dell'oggetto. E' quindi direttamente collegato al peso.

Non si considera la stampa dell'oggetto interamente pieno (100%) perché non si vedrebbe l'effetto degli altri parametri.

Con valori di riempimento inferiori a 25% non si riesce a stampare correttamente la parete superiore dell'oggetto in quanto non c'è sufficiente materiale di supporto (si crea un effetto 'ponte').

Per analizzare più approfonditamente questo parametro sono stati dedicati due sistemi (il Sistema 4 e il Sistema 5).

### Asse y\_ Spessore parete

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,4 - 1,6

Lo spessore di parete è un parametro di stampa collegato alla dimensione dell'ogel-

lo.

Più in generale si può definire indicando il numero delle pareti. In questo caso si utilizza una stampa definita *monoshell* per creare lo spessore di 0,4 mm e una stampa con quattro perimetri per lo spessore di 1,6 mm.

L'aumento dello spessore di parete non incide sulla dimensione di massima dell'oggetto in quanto i perimetri vengono aggiunti verso l'interno dell'oggetto, determinando quindi un aumento del materiale totale.

### Asse z\_Spessore top/bottom

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,45 - 0,9

Questo parametro consente di controllare lo spessore della parete superiore ed inferiore del modello; è quindi legata allo spessore dei layer.

Solitamente, per una stampa corretta, si impostano un minimo di due strati.

Uno spessore top/bottom troppo elevato può causare delle deformazioni del pezzo.

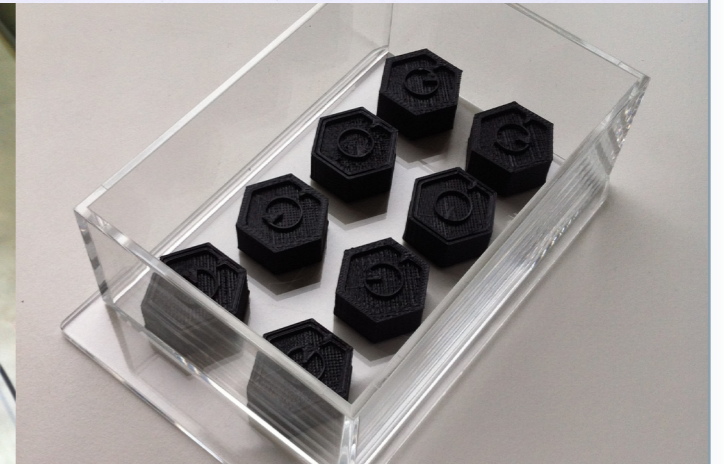
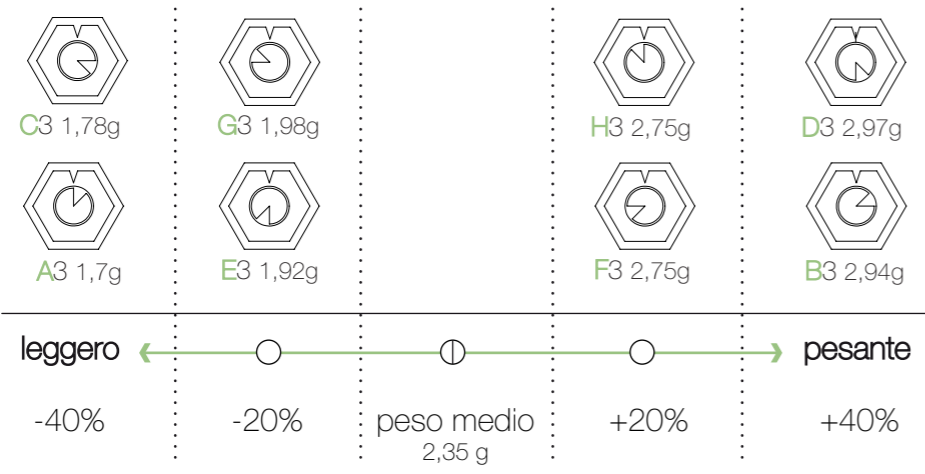
### Campioni

In questo sistema la forma del campione non influisce sulla qualità sensoriale analizzata. Si è scelto un prisma esagonale solitamente usato per testare il peso dei materiali.

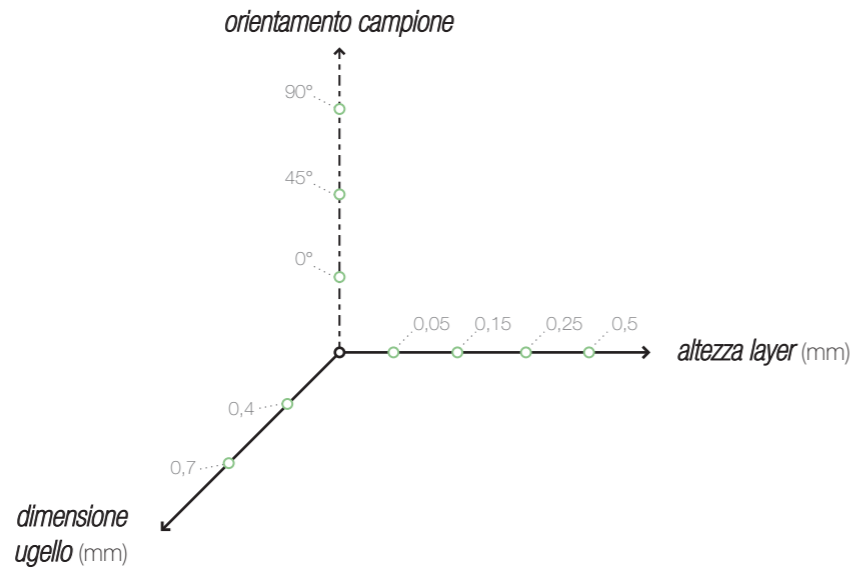
Per riconoscere i campioni si è adottato uno schema grafico che non influenzasse il volume di materiale.

La dimensione dei campioni è ridotta poiché la valutazione sensoriale è stata eseguita con una bilancia di precisione e non manualmente.

Classifica del peso dei campioni







TEXTURE TATTILE movimento laterale

Parametri e nomenclatura campioni

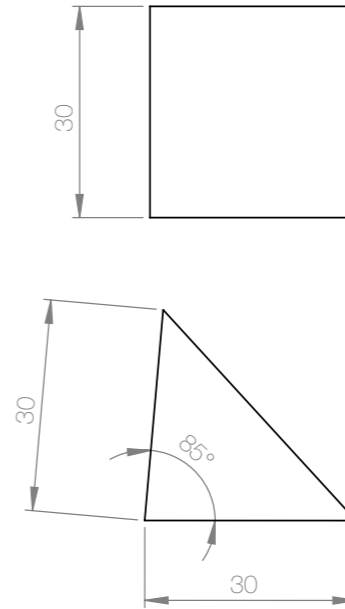
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
x_h.layer (mm)	0,05	0,15	0,25	0,5	0,05	0,15
y_ugello (mm)	0,4	0,4	0,7	0,7	0,4	0,4
z_orientamento	faccia1	faccia1	faccia1	faccia1	faccia2	faccia2

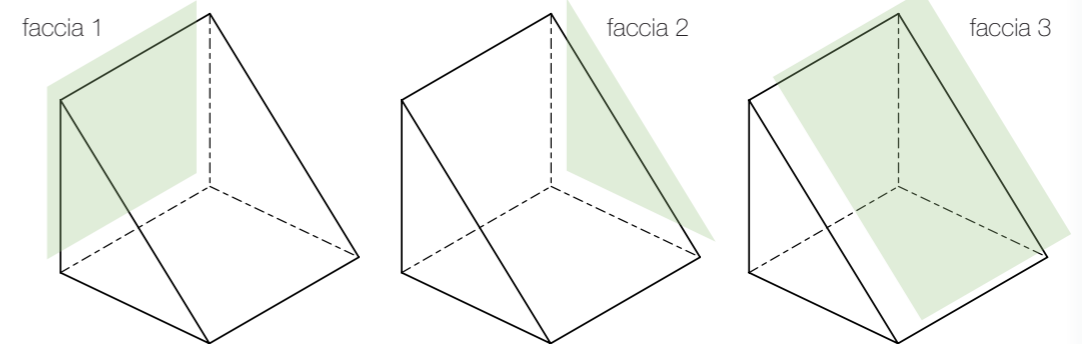
	G2	H2	I2	L2	M2	N2
x_h.layer (mm)	0,25	0,5	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello (mm)	0,7	0,7	0,4	0,4	0,7	0,7
z_orientamento	faccia2	faccia2	faccia3	faccia3	faccia3	faccia3

Stampanti: Ultimaker  
Power Wasp 0,7

Parete: Spiralize  
Adesione: None



unità di misura: mm



Il Sistema 2bis corrisponde al Sistema 2 in cui però si analizza la **texture tattile** che viene percepita tramite la procedura esplorativa del **movimento laterale**.

### Asse x Altezza layer

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,05 - 0,15 - 0,25 - 0,5

Solitamente il valore medio utilizzato per l'altezza layer è 0,15mm.

La soglia minima dell'altezza del layer è data dalle prestazioni della stampante e la soglia massima dalla dimensione dell'ugello.

Se il layer è troppo elevato rispetto all'ugello si forma un cordone rotondo che non aderisce a quelli precedenti.

### Asse y Dimensione ugello

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** millimetri (mm)

**Valori:** 0,35 - 0,7

Come detto, la dimensione dell'ugello influenza in modo diretto l'altezza dei layer.

L'altezza layer può essere massimo l'80% della dimensione dell'ugello (l'altezza ideale è un quarto dell'ugello).

Per stampare i layer, definiti dall'asse x, si utilizzano due ugelli differenti: 0,4 mm (della stampante Ultimaker) e 0,7 mm (della stampante Power Wasp).

Con l'ugello da 0,4 mm si stampano i layer 0,05 mm e 0,15mm mentre con l'ugello da 0,7 mm si stampano i layer 0,25 mm e 0,5 mm.

### Asse z\_Orientamento del pezzo

**Tipo asse:** orientamento

**Valori:** faccia 1 - faccia 2 - faccia 3

L'orientamento del pezzo deve necessariamente tenere conto delle regole di Design for Manufacturing.

Si identificano tre direzioni di stampa del campione perpendicolari alle tre facce principali del campione.

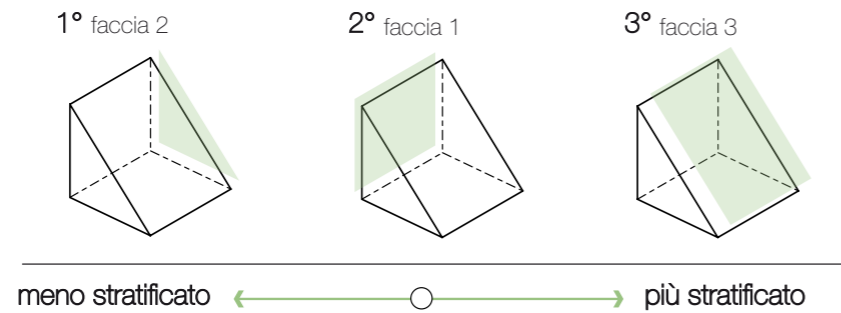
### Campioni

La forma del campione deve rispettare alcune caratteristiche:

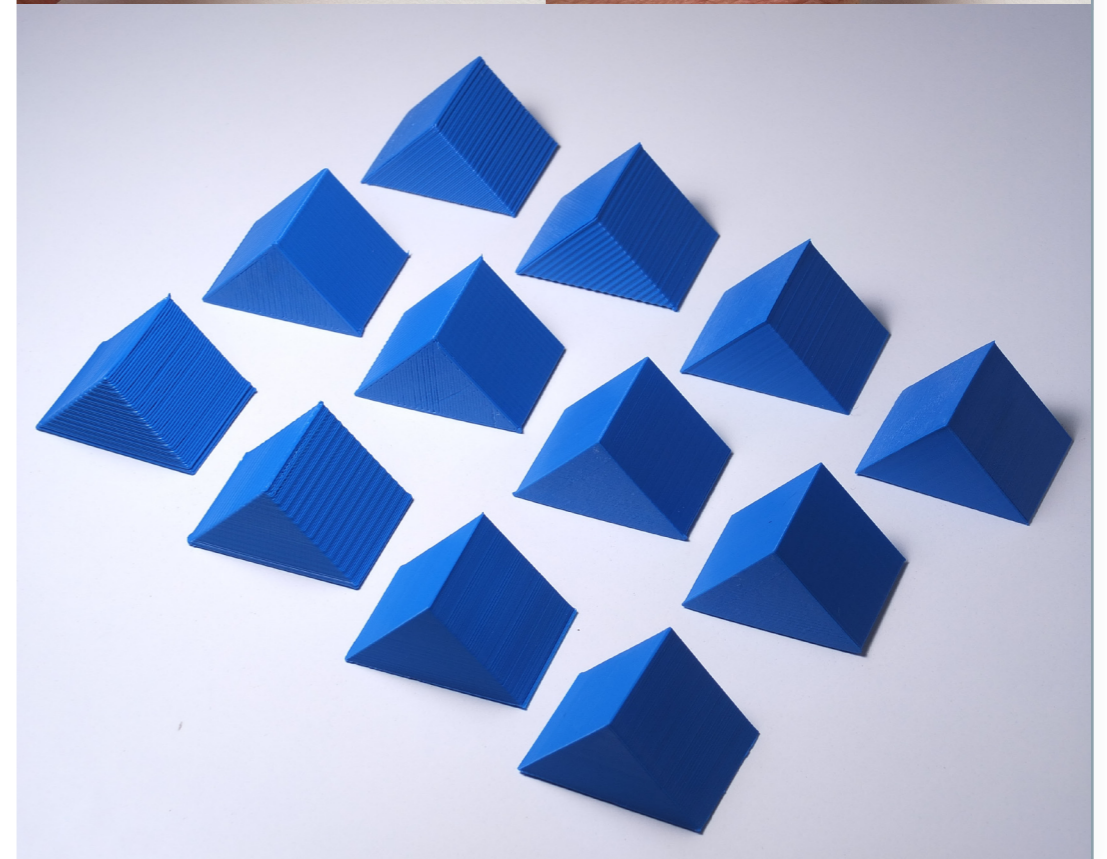
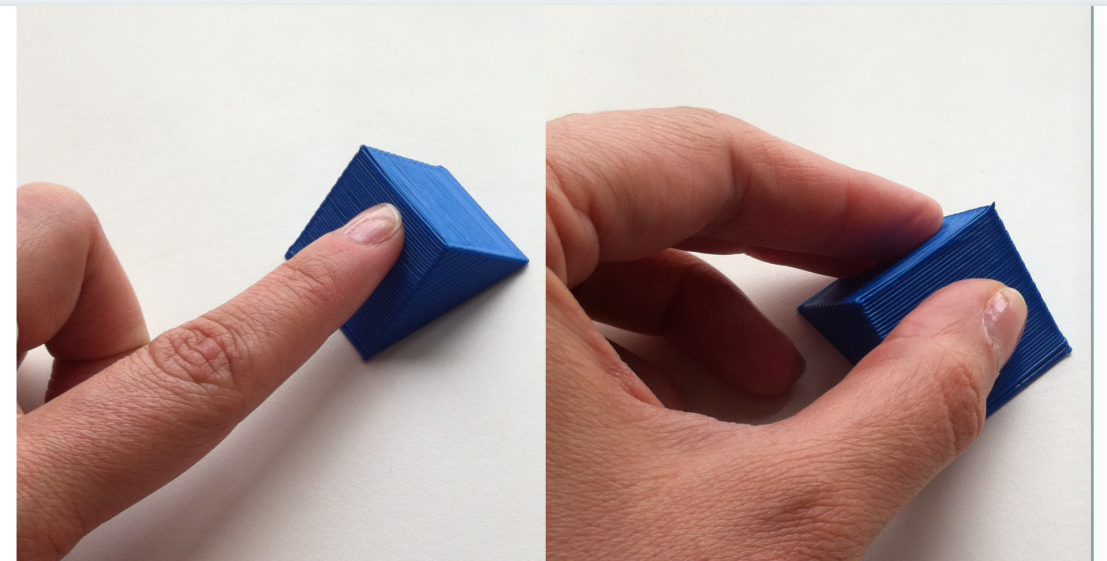
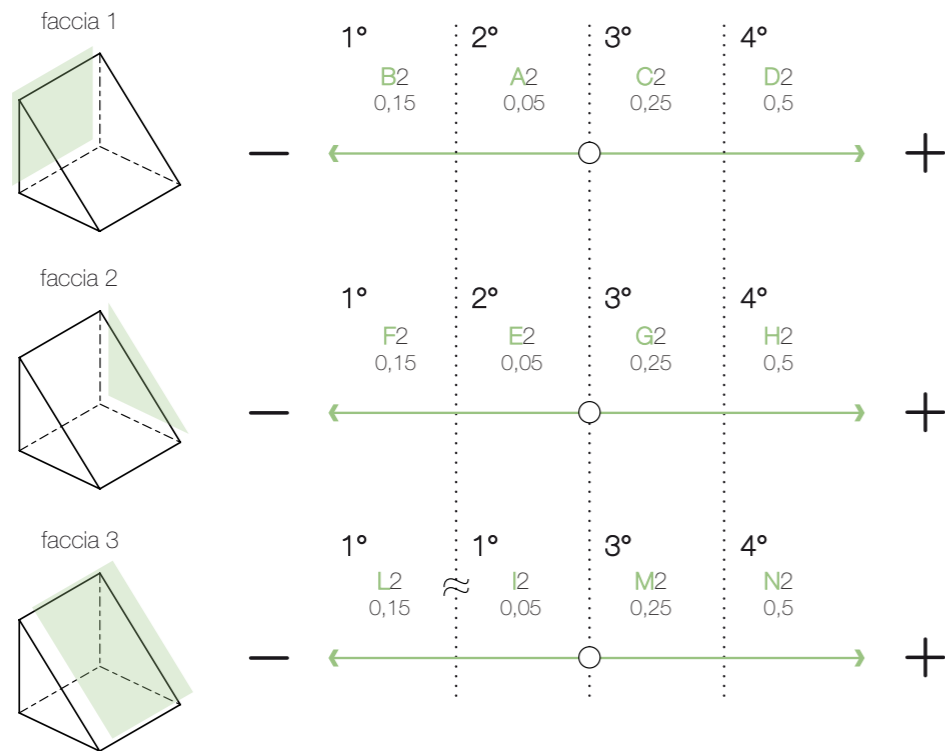
- non essere assialsimmetrica per avere un riferimento sull'orientamento durante la valutazione sensoriale;
- essere lineare per non influire sulla percezione delle superfici.

Si adotta un prisma a base triangolare (triangolo scaleno).

Classifica della media dell'orientamento di stampa

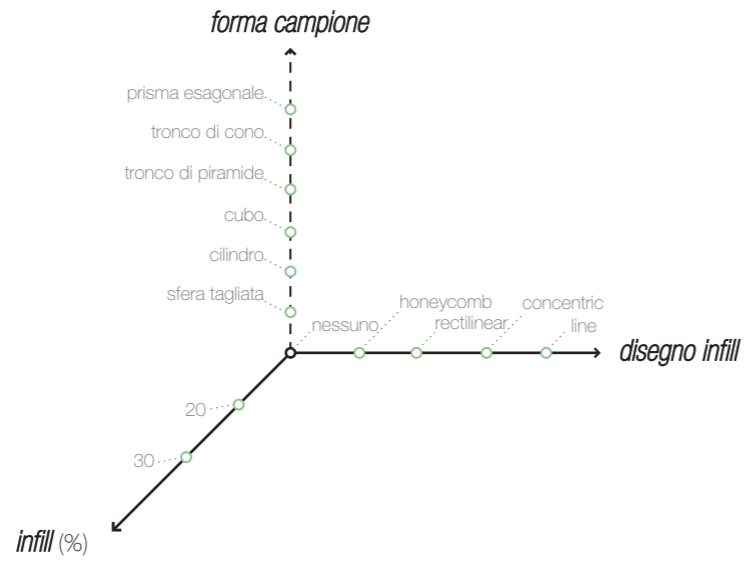


Classifiche dell'altezza layer in relazione all'orientamento di stampa





riempimento

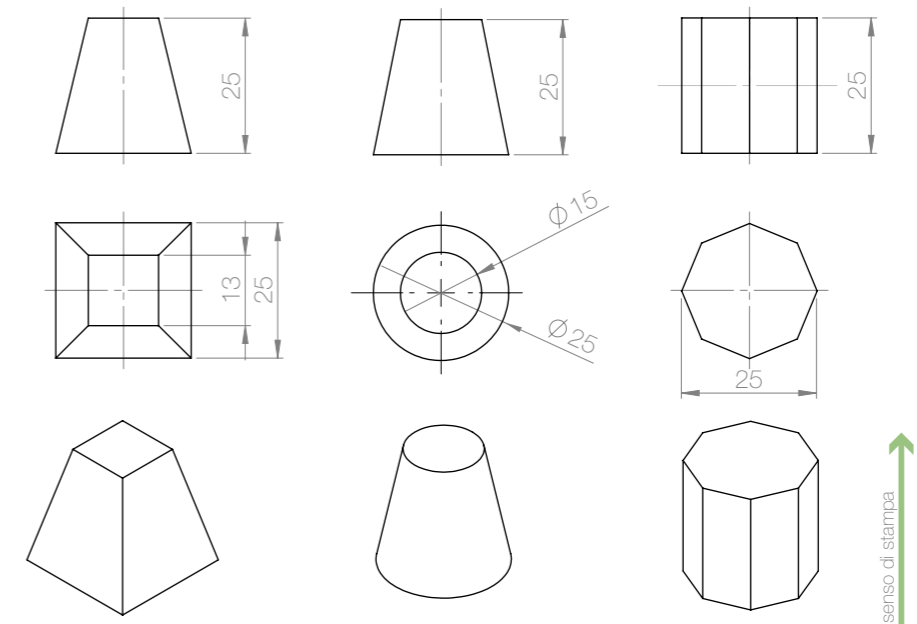


Parametri e nomenclatura campioni

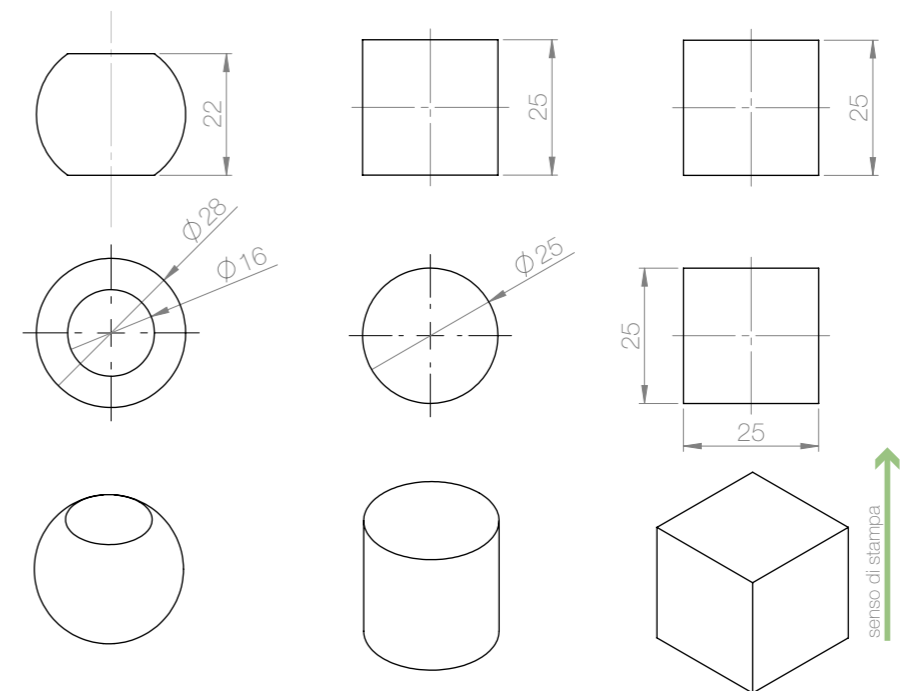
		x_disegno infill				Stampante: Ultimaker						
		honeycomb	rectilinear	concentric	line	Altezza layer: 0,15 mm						
y_infill (%)	20	A4	C4	E4	G4	Spessore parete: 0,4 mm						
	30	B4	D4	F4	H4	Adesione: Brim						

		z_forma campione					
		sfera	cilindro	cubo	piramide	cono	prisma
nessun riempimento		I4	L4	M4	N4	O4	P4



unità di misura: mm



Il Sistema 4 indaga come le caratteristiche del riempimento possano avere effetti sulla superficie dei campioni.

### Asse x\_Disegno infill

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Valori:** nessun riempimento - honeycomb - rectilinear - concentric - line

Il pattern del riempimento è il disegno che viene seguito per creare la struttura interna. Alcuni pattern sono studiati per ottimizzare delle caratteristiche.

Può essere scelto tramite il programma di slicing (solo alcuni programmi danno questa possibilità i.e. Slic3r). E' possibile anche modellare il riempimento nel file .stl nel caso ci fossero delle esigenze specifiche.

In questo caso si utilizzano i pattern proposti dal programma.

### Asse y\_Infill

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** percentuale (%)

**Valori:** 20 - 30

Il riempimento è un parametro molto importante che può determinare sia la qualità che la strutturalità dei pezzi stampati.

Il passaggio da una percentuale di riempimento del 20% ad una del 30% è sufficiente per creare un effetto, nel primo caso, a maglia larga e, nel secondo, a maglia fitta.

### Asse z\_Forma campione

**Tipo asse:** forma

**Valori:** sfera tagliata - cilindro - cubo - tronco di piramide - tronco di cono - prisma ottagonale

Il materiale utilizzato per stampare il riempimento entra in contatto con le pareti dell'oggetto. Questa unione crea delle geometrie.

Questo asse permette quindi di valutare l'effetto del riempimento su diversi tipi di superfici. Rappresentare tutti i possibili tipi di superfici sarebbe risultato impossibile, si è quindi optato per volumi primitivi.

### Campioni

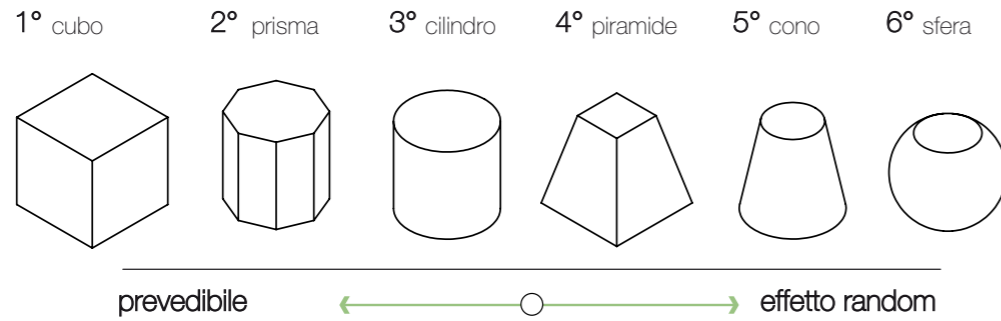
In questo caso la forma dei campioni è interamente dettata dall'asse z, quello appunto della forma.

Si è scelto per la stampa un filamento traslucido (blu chiaro) per permettere di valutare l'effetto ottico dell'incontro tra le pareti (laterali e inferiore) e il riempimento.

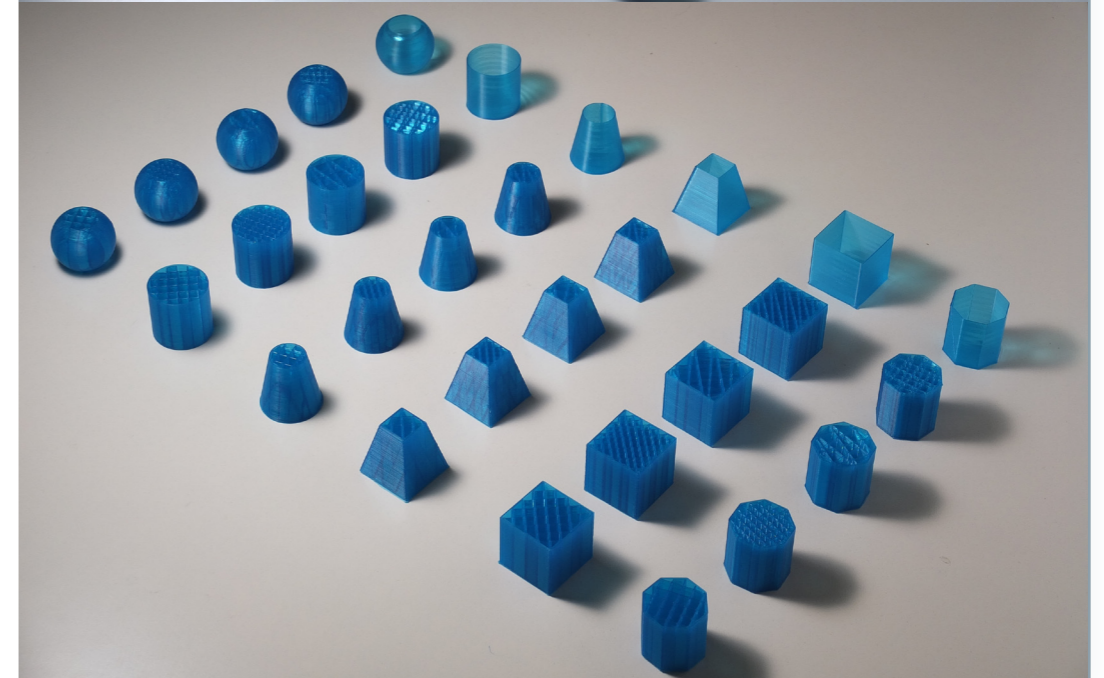
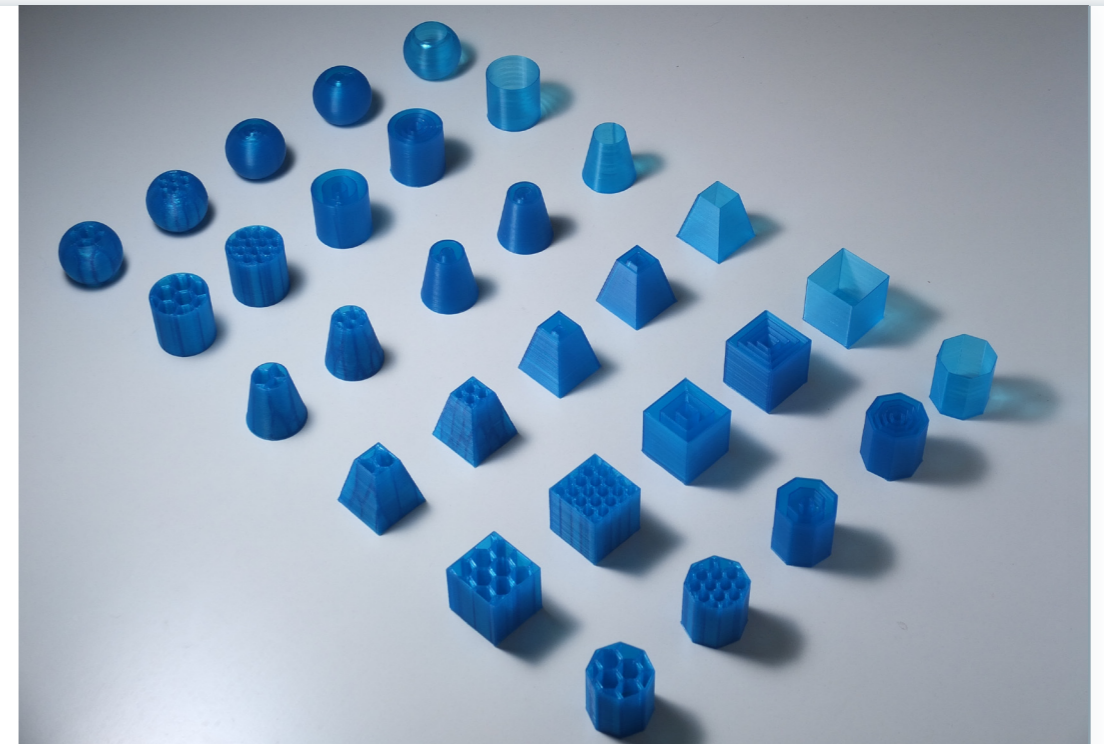
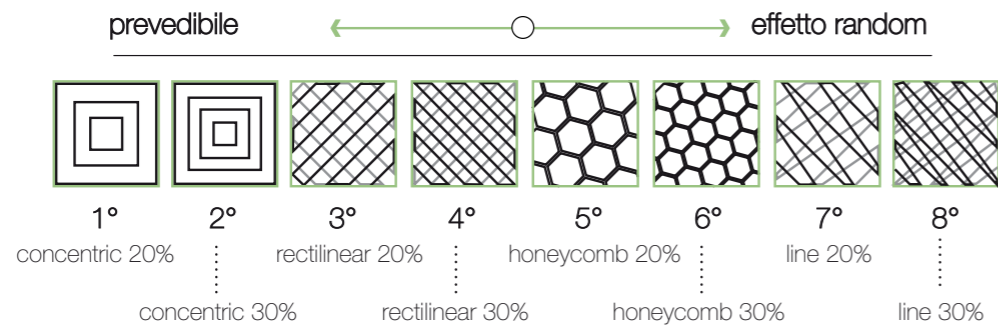
Non si stampa la superficie superiore per percepire il riempimento anche senza la mediazione di una parete.

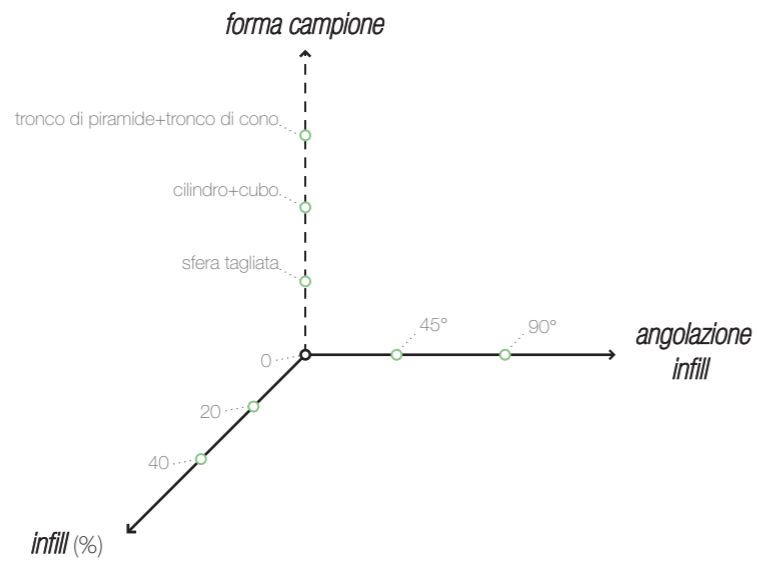


Classifica delle forme



Classifiche dei pattern e della percentuale di riempimento





Parametri e nomenclatura campioni

		x_angolazione infill	
		45°	90°
y_infill (%)	20	A4.1	B4.1
	40	C4.1	D4.1

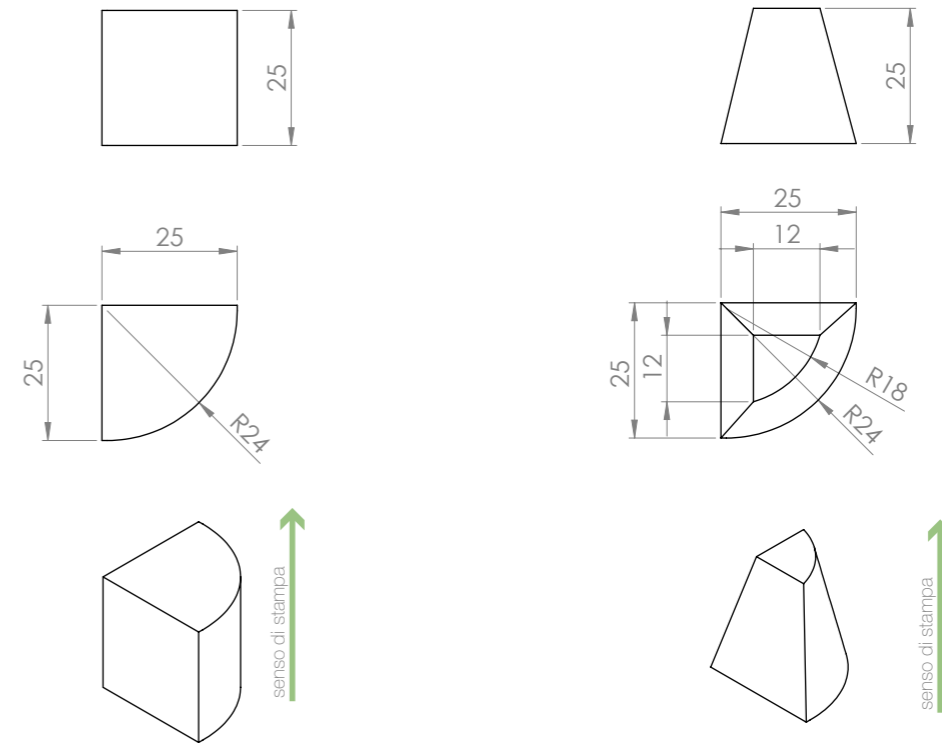
Stampante: Ultimaker

Altezza layer: 0,15 mm

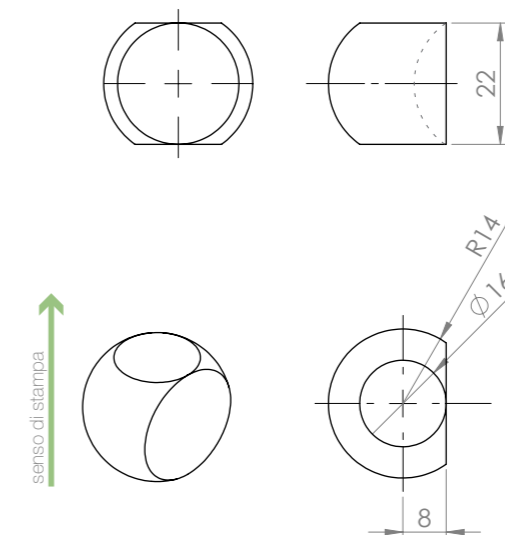
Spessore parete: 0,4 mm

Adesione: Brim

		z_forma campione		
		sfera	cilindro+cubo	piramide+cono
nessun riempimento		E4.1	F4.1	G4.1



unità di misura: mm



Questo sistema è stato creato per sperimentare l'effetto delle caratteristiche del riempimento stampato senza le pareti (sia laterali che superiori ed inferiori) del campione. Non viene eseguita la valutazione in quanto questo sistema è da considerarsi esemplificativo delle potenzialità del riempimento.

#### Asse x\_Angolazione infill

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** gradi

**Valori:** 45 - 90

E' possibile decidere l'orientamento del pattern del riempimento che viene espresso tramite l'angolo che si crea con le pareti del modello.

#### Asse y\_ Infill

**Tipo asse:** parametro di stampa

**Unità di misura:** percentuale (%)

**Valori:** 20 - 40

Come detto in precedenza, il riempimento può determinare non solo la strutturabilità dei pezzi ma anche la qualità finale della stampa. In questo caso questo concetto viene portato agli estremi poichè è il riempimento stesso a diventare l'oggetto. Rispetto al sistema precedente si è scelto di enfatizzare maggiormente la diversità delle maglie utilizzando le percentuali 20% - 40% invece che 20% - 30%.

Come pattern si è scelto *rectilinear* poichè grazie alla sua regolarità permette di evitare di avere vuoti che potrebbero dividere il campione.

#### Asse z\_Forma campione

**Tipo asse:** forma

**Valori:** sfera tagliata - cilindro - cubo - tronco di piramide - tronco di cono - prisma ottagonale

Come visto nel Sistema 4, il materiale utilizzato per stampare il riempimento entra in contatto con le pareti dell'oggetto. In questo caso il contatto avviene solo virtualmente perchè le pareti non vengono stampate. Questa unione crea delle geometrie che detteranno la forma finale dell'oggetto.

Questo asse permette quindi di valutare l'effetto del riempimento su diversi tipi di superfici. Rappresentare tutti i possibili tipi di superfici sarebbe risultato impossibile, si è quindi optato per l'accoppiamento di volumi primitivi.

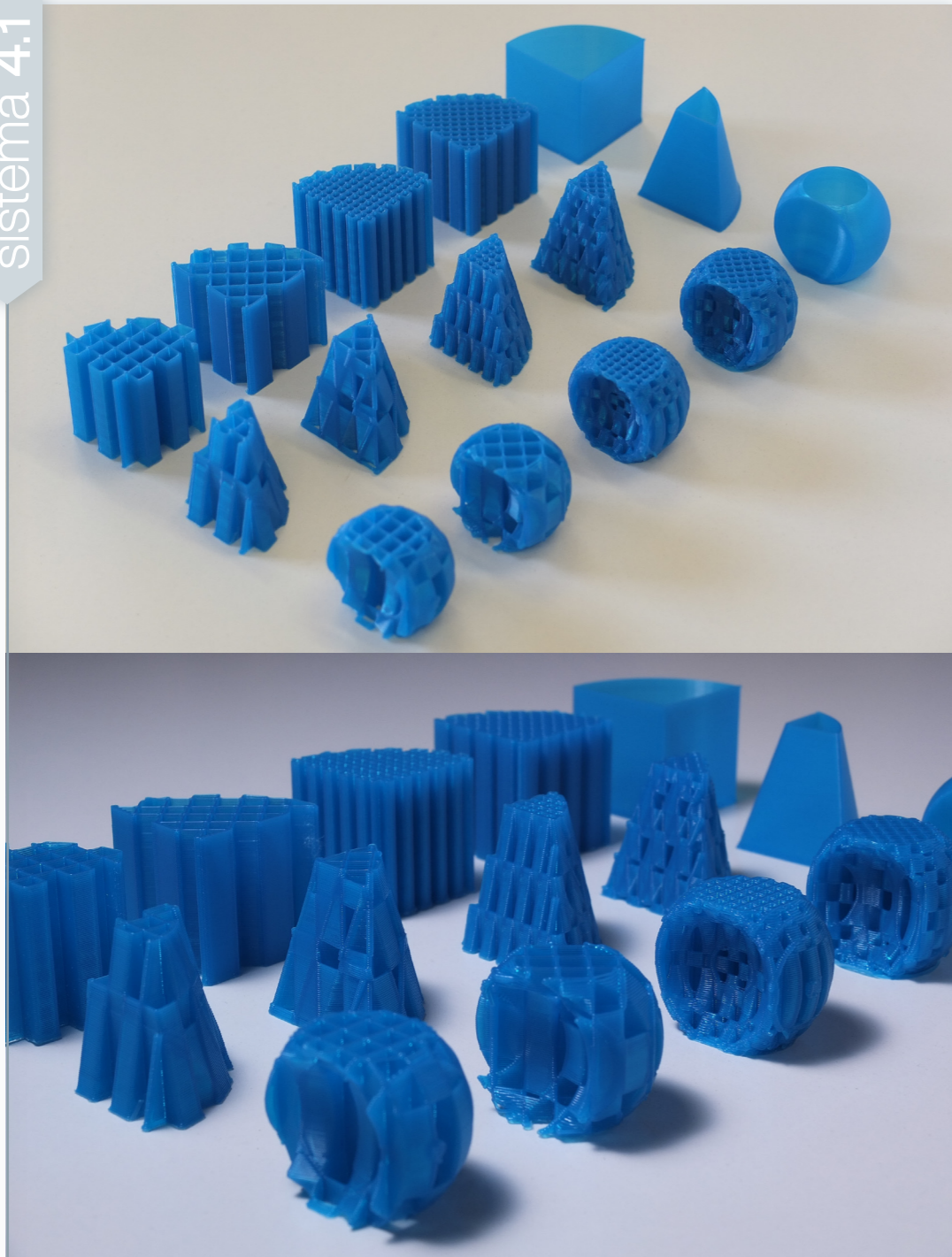
#### Campioni

In questo sistema la forma dei campioni è interamente dettata dall'asse z, quello appunto della forma.

Si è scelto per la stampa un filamento traslucido (blu chiaro) per permettere di valutare l'effetto ottico dell'incontro tra le pareti (laterali ed inferiore) ed il riempimento.



sistema 4.1





# 11

## Discussione risultati

In questo capitolo si analizzano i risultati delle valutazioni dei singoli sistemi presentati nel capitolo dedicato alla sperimentazione.

Vengono inoltre eseguiti approfondimenti e confronti, tramite grafici, per meglio definire gli aspetti che si sono reputati particolarmente significativi ed importanti.

Ne risultano delle indicazioni che possono essere utili a chi vuole approcciare la tecnologia con un'attenzione per le qualità espressivo-sensoriali.

Si propongono, infine, possibili sviluppi futuri da poter seguire per implementare il lavoro svolto in questa tesi.



## 11.1 Sistema 1

In questo sistema è stata valutata la trasparenza del campione rappresentante la parete verticale degli oggetti stampati.

Si sono identificati i filamenti con un effetto da trasparente a opaco:

- trasparente: trasparente PLA;
- quasi trasparente: giallo chiaro e oro;
- traslucido: trasparente PET, rosso chiaro, blu chiaro, blu e verde chiaro;
- quasi opaco: bianco, rosso, rosa e giallo;
- opaco: viola, verde prato, verde, nero chiaro, nero e nero2.

Solo un filamento è risultato trasparente. Questo è dovuto al processo stesso: il campione, come visto in precedenza, non è composto da materiale omogeneo ma da stratificazioni che comporta una diminuzione della trasmissione della luce.

Con questa tecnologia risulta quindi molto difficile riuscire ad avere oggetti con una elevata trasparenza.

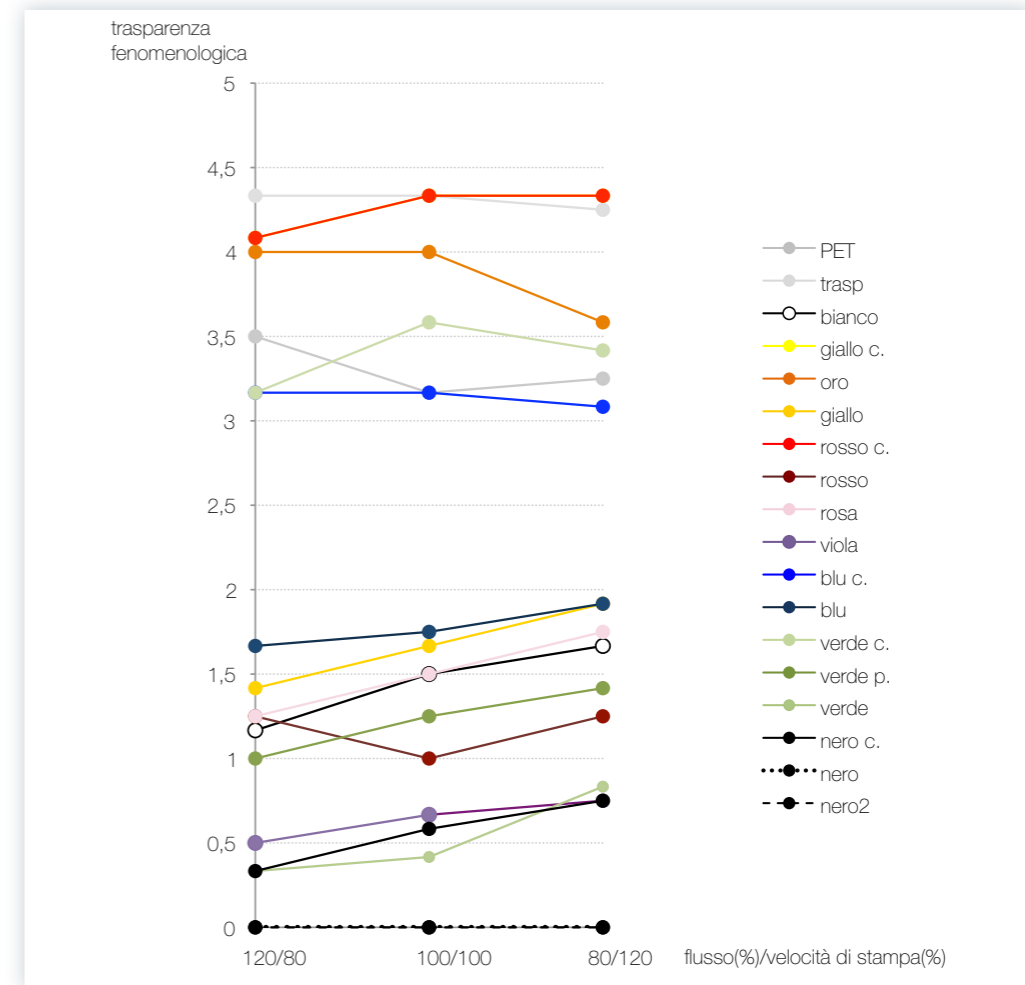
Molti sono invece i filamenti con cui si riesce ad avere la traslucenza e altrettanti con un effetto opaco.

Ci si sarebbe aspettati che il filamento in PET fosse più trasparente di quello in PLA; invece la difficoltà nello stampare il PET porta ad avere un numero molto maggiore di difetti di stampa (il materiale tende a creare delle piccole bolle interne al cordone) che causano la dispersione della luce con una diminuzione della trasparenza. E' possibile migliorare il risultato del valore della trasparenza ottenuto dal PET effettuando una stampa molto accurata con un profilo ad hoc.

Possiamo quindi dire che un materiale con qualità ottiche elevate può non mantenere questa caratteristica dopo lo stampaggio.

Da notare che un filamento apparentemente opaco sulla bobina può essere traslucido una volta stampato.

Per un'analisi più approfondita degli effetti della stampa sulla trasparenza sono stati creati due grafici che analizzano l'influenza del flusso/velocità di stampa (Graf.23) e dello spessore (Graf.24).



Graf.23 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione al flusso/velocità di stampa.

Nel primo grafico è possibile notare che, nella maggior parte dei campioni, un flusso basso e una velocità alta creano un aumento della trasparenza.

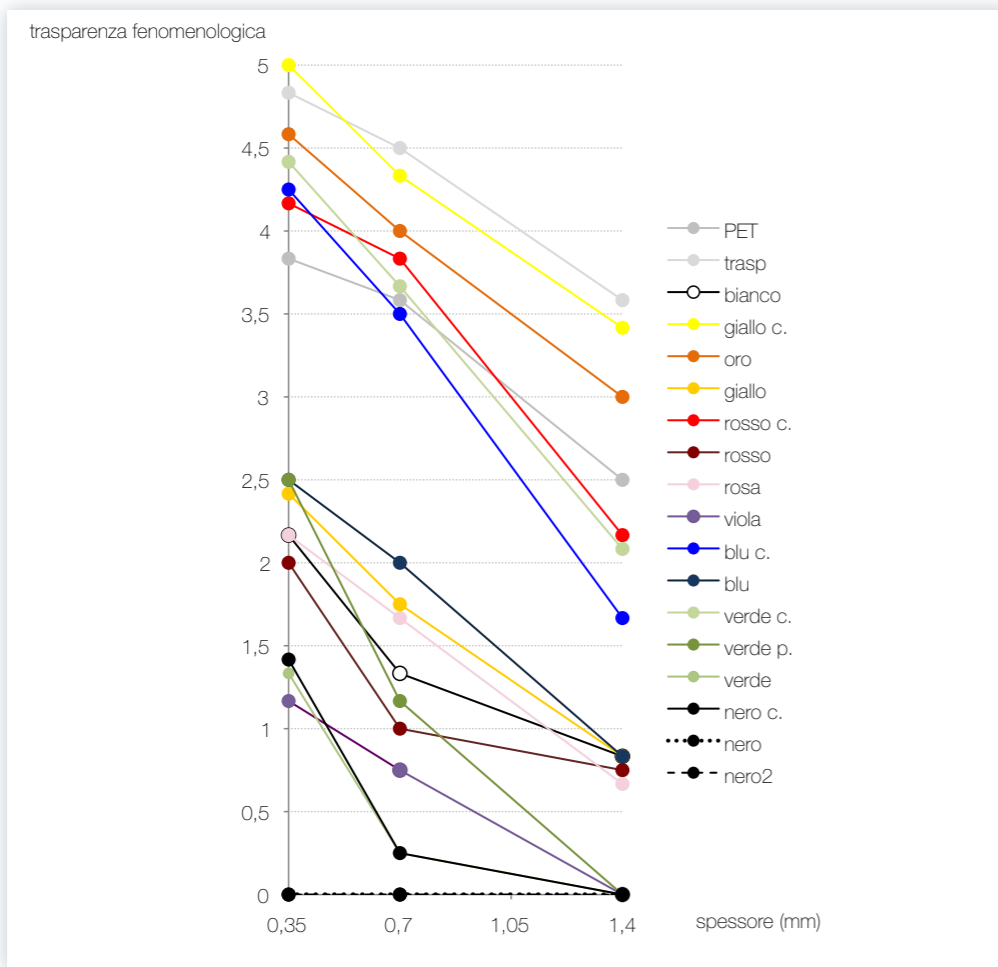
Ridurre la quantità di materiale estruso e aumentare la velocità di deposizione causa infatti una leggera diminuzione dello spessore del cordone depositato; uno spessore minore permette di avere una maggiore trasparenza.

Viceversa un flusso alto con basse velocità genera un aumento dello spessore del materiale depositato con un relativo aumento di opacità.

In alcuni campioni (principalmente tra quelli traslucidi) la percezione della trasparenza viene influenzata dalla qualità di deposizione del filo: con flow basso e velocità elevata



Graf.24 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione allo spessore del campione.



è possibile che il cordone depositato sia troppo 'stirato' rendendo la superficie più irregolare. **Esiste quindi un limite oltre il quale la tendenza si inverte e, come conseguenza dell'aumento della velocità e diminuzione del flusso, si ottiene una maggiore opacità.**

Il secondo grafico mostra come **ad un aumento dello spessore corrisponda sempre una diminuzione della trasparenza.**

**Possibili implementazioni**

In questo sistema non si è considerato il ruolo della ventola che è stata mantenuta costante per tutti i campioni.

Sarebbe interessante approfondire come il raffreddamento possa influire sulla trasparenza per effetto di diversi gradi di cristallizzazione. Si potrebbe eseguire la stampa dei campioni senza ventola, con la ventola e con camera calda (attualmente quest'ultima opzione non è presente su nessun modello di stampante).

Un ulteriore sviluppo potrebbe essere quello di stampare lo stesso spessore con ugelli di dimensioni diverse: per esempio, per ottenere uno spessore di 0,7 mm è possibile stampare due perimetri con un ugello da 0,35 mm oppure stampare un solo perimetro con un ugello da 0,7 mm. Il numero di perimetri può influenzare la trasparenza perché la luce deve passare in un numero maggiore di mezzi.

## 11.2 Sistema 1.1

Nel Sistema 1.1 si considera nuovamente la trasparenza però valutata sulla parete orizzontale, quella del piatto di stampa.

In questo caso è stata fatta una selezione maggiore sui colori: sono stati utilizzati i colori della quadricomia, il bianco e il trasparente PET.

I filamenti sono risultati:

- traslucido: trasparente PET, rosso chiaro, giallo chiaro e blu chiaro;
- quasi opaco: bianco;
- opaco: nero.

Nessuno dei campioni è risultato trasparente.

Come per il Sistema 1 si analizza l'influenza dei singoli assi, in questo caso spessore (Graf.25) e materiale del piatto di stampa (Graf.26).

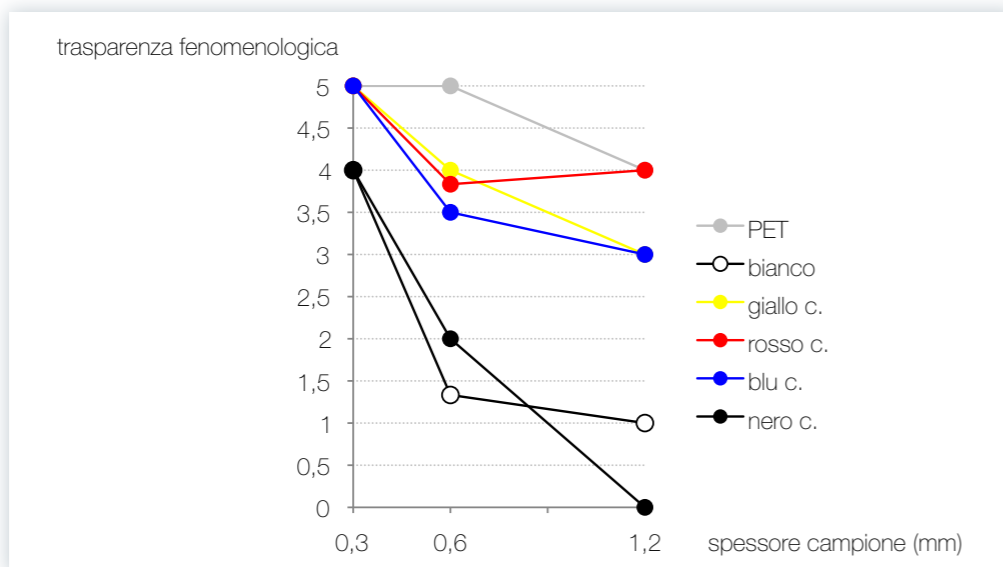
Così come visto nel sistema precedente, **la diminuzione dello spessore del campione porta ad un aumento della trasparenza.**

La trasparenza **non è invece collegata in modo significativo al materiale del piatto di stampa.**

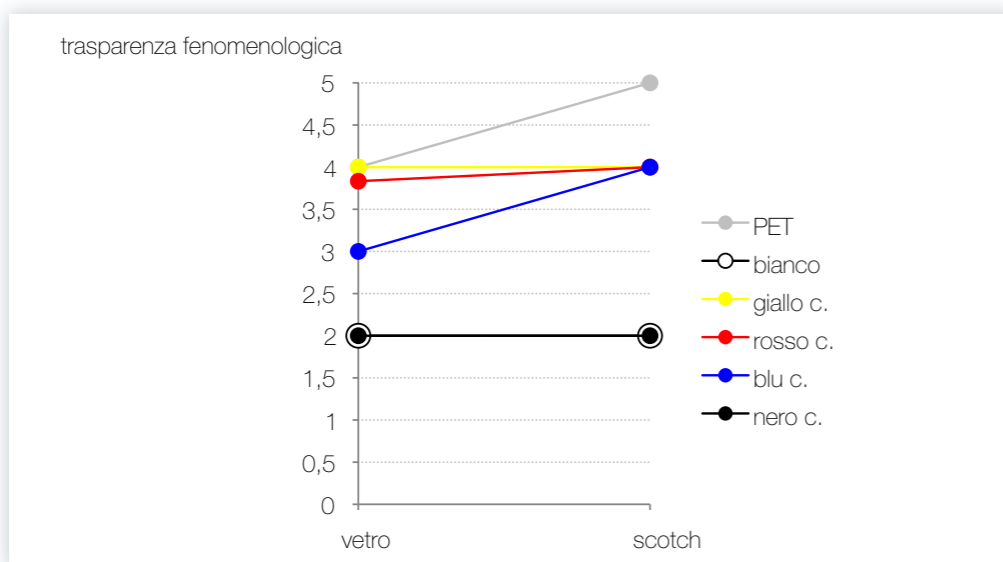
In alcuni casi è influenzata negativamente dal piatto di vetro perché, come vedremo successivamente, **aumenta il gloss e quindi anche la riflessione della luce.**

E' stata valutata anche la lucentezza della superficie del campione a contatto con il

Graf.25 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione allo spessore del campione.



Graf.26 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione al materiale del piatto di stampa.



piatto di stampa.

Poichè il primo layer viene ‘spalmato’ sul piatto di stampa, ne prende le caratteristiche di rugosità superficiale, così come avviene con i tradizionali stampi.

**La lucentezza è fortemente legata alla rugosità del piatto di stampa ma non viene molto influenzata dal colore del filamento.**

Si noti come **sia possibile ottenere anche alti livelli di gloss** (valore di brillantezza 90 della NCS Gloss scale).

La gestione della lucentezza è però limitata solo all’unica superficie a contatto con il piatto. Per ottenere una variazione della lucentezza dell’intero oggetto è necessario effettuare delle finiture superficiali post-processo<sup>1</sup>.

**Possibili implementazioni**

Sarebbe interessante realizzare gli spessori intervenendo sul parametro dell’altezza layer: per esempio, per uno spessore di 0,3 mm è possibile stampare due layer da 0,15 mm oppure uno solo da 0,3 mm. In questo caso bisogna considerare il limite, superiore ed inferiore, dell’altezza layer in relazione al diametro dell’ugello e alle prestazioni della stampante.

La realizzazione di uno spessore composto da un singolo strato di materiale potrebbe determinare effetti sulla trasparenza diversi rispetto allo stesso spessore composto da più strati.

Visti i risultati sulla lucentezza, sarebbe interessante provare altri materiali del piatto di stampa (i.e. vetro con uno strato di colla vinilica o scotch con grane diverse) per riuscire a modulare il gloss.

### 11.3 Comparazione Sistema 1 e Sistema 1.1

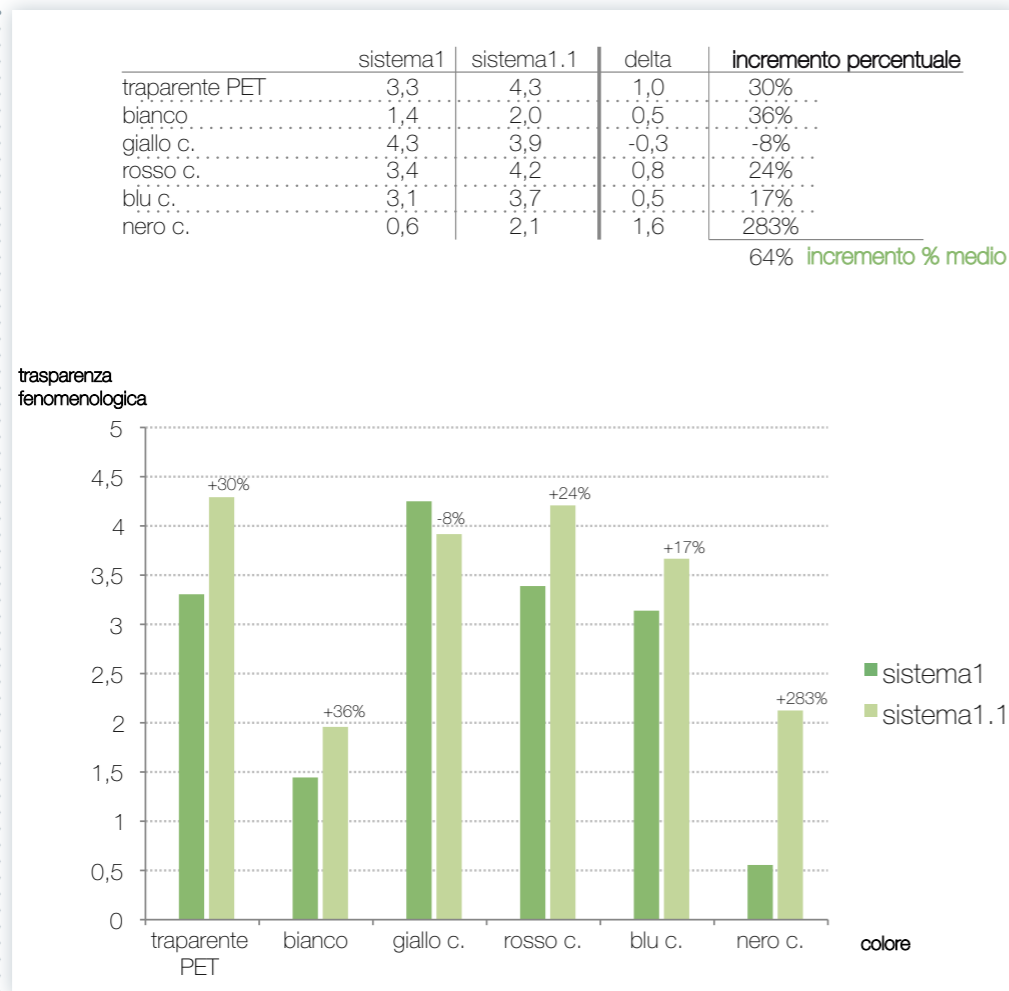
Nel Graf.27 viene proposto un confronto tra il valore di trasparenza ottenuto nel Sistema 1 (parete verticale) e nel Sistema 1.1 (parete orizzontale) a parità di filamento. La differenza di trasparenza è stata espressa in percentuale.

I campioni del Sistema 1.1 sono più trasparenti di quelli del Sistema 1 con un incremento medio elevato (64%).

Se ne deduce che **la parete scelta come base per la stampa sarà più trasparente rispetto al resto dell’oggetto.**

<sup>1</sup> Riva F. (2014), Superfici in attesa, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano.

Graf.27 Grafico che confronta la trasparenza fenomenologica del Sistema 1 con il Sistema 1.1.



## 11.4 Sistema 2

Le classifiche stilate nella valutazione tattile dei campioni hanno permesso di capire l'influenza sia della direzione di stampa che dell'altezza layer.

E' possibile vedere come **la direzione di stampa influenzi la percezione della stratificazione delle superfici anche a parità di altezza layer.**

In alcune direzioni di stampa l'effetto Stair-case viene aumentato (come avviene per la stampa in direzione della faccia 3) quindi la percezione della stratificazione risulta amplificata.

**A parità di orientamento di stampa c'è una perfetta corrispondenza fra la percezione della stratificazione e i valori della stampa:** l'occhio riesce a percepire correttamente l'aumento della qualità.

Si noti che:

- con altezze layer elevate è difficile evitare difetti sulle superfici inclinate poiché il cordone di materiale non riesce ad aderire bene ai layer precedenti;
- le imprecisioni della stampante sull'asse z influiscono sulla percezione della stratificazione (alcune stampanti hanno un difetto ripetuto sulla z che può alterare la qualità superficiale).

### Possibili implementazioni

In questa sperimentazione si è scelto di mantenere costante la forma del campione. E' possibile ripetere la valutazione sensoriale utilizzando campioni con geometrie diverse per verificare anche l'influenza della forma nella percezione della stratificazione.

## 11.5 Sistema 2bis

Gli stessi campioni utilizzati per la valutazione della texture ottica (Sistema 2) sono stati sottoposti anche alla valutazione della texture tattile.

I risultati mostrano come la risoluzione della stampante sia maggiore di quella dei polipastrelli: non si percepisce correttamente la differenza tra l'altezza layer di 0,15 mm e quella di 0,05 mm.

**Non è quindi necessario aumentare eccessivamente la qualità del layer per ottenere superfici che devono risultare poco stratificate al tatto.**

Anche in questo caso si sottolinea che:

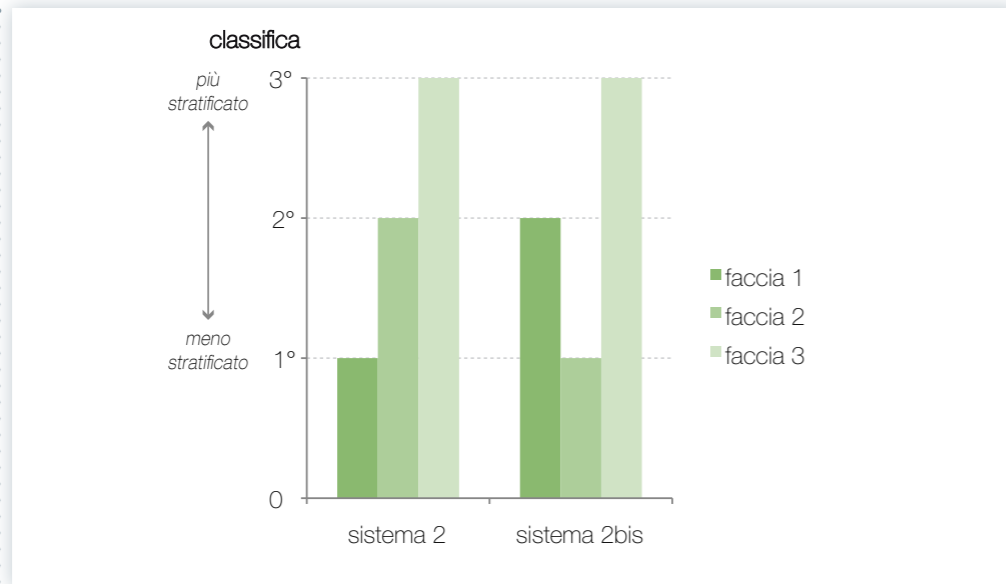
- con altezze layer elevate è difficile evitare difetti sulle superfici inclinate;
- la possibile risonanza dell'asse z interferisce sulla percezione della stratificazione.

### Possibili implementazioni

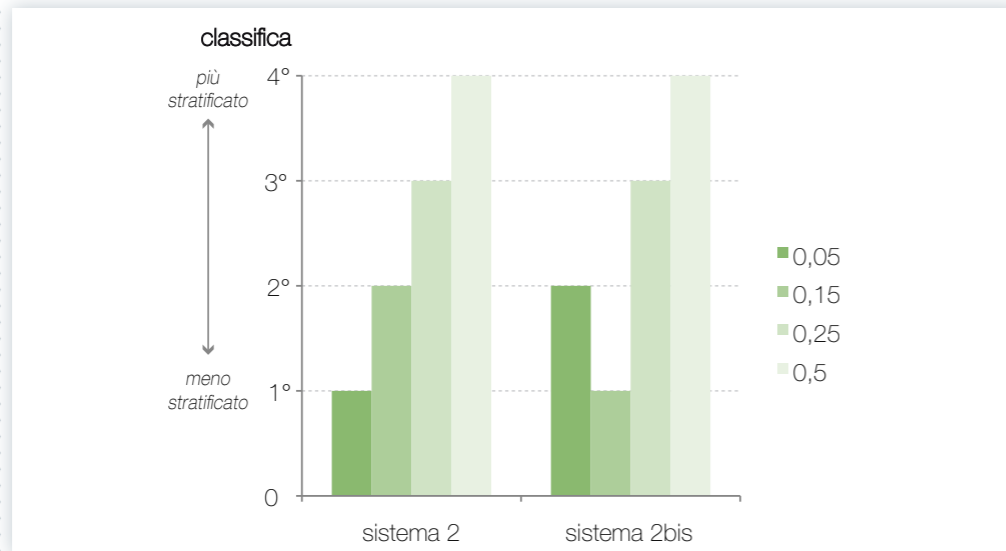
Realizzando campioni con variazioni inferiori di altezza layer, rispetto a quella utilizzata



Graf.28 Grafico che confronta la percezione della stratificazione, secondo l'orientamento, di stampa del Sistema 2 con il Sistema 2bis.



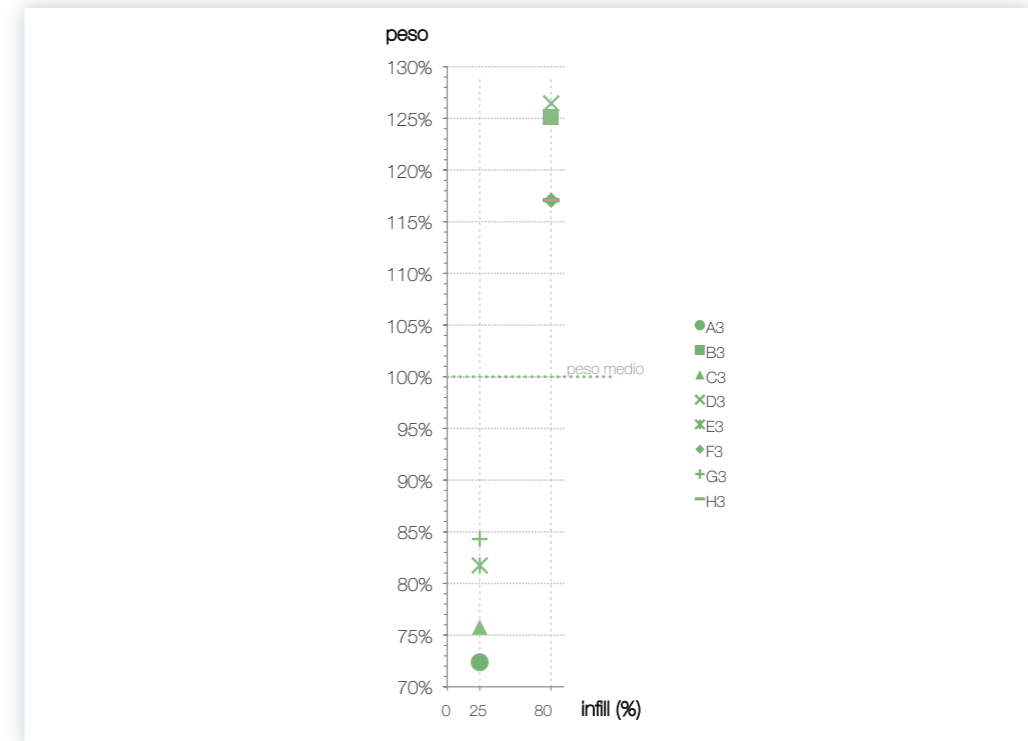
Graf.29 Grafico che confronta la percezione della stratificazione, secondo l'altezza layer, del Sistema 2 con il Sistema 2bis.



per questa sperimentazione, sarebbe possibile capire la reale soglia minima di percezione della qualità di stratificazione.

Anche per la texture tattile, è necessaria una verifica con altre forme dei campioni.

Graf.30 Grafico che esprime l'influenza della percentuale di riempimento sul peso.



## 11.6 Comparazione Sistema 2 e Sistema 2bis

Si propone una comparazione fra i risultati della percezione visiva e tattile della texture (Graf.28 e Graf.29). Si può notare come non ci sia una perfetta corrispondenza tra le due percezioni. Per altezze layer ridotte, infatti, la vista riesce a percepire variazioni che per il tatto risultano non riconoscibili.

## 11.7 Sistema 3

Dai risultati ottenuti è possibile affermare che **si riescono ad ottenere variazioni di peso significative**: il campione D3 è risultato più pesante di quasi il 55% rispetto al campione A3.

Si tenga comunque in considerazione che il peso degli oggetti stampati con questa tecnologia (quindi con materiali polimerici) non sarà mai paragonabile, per esempio, ad oggetti stampati in metallo tramite sinterizzazione.

Grazie al Graf.30 è possibile vedere la **diretta correlazione fra il valore del riempimento e il peso dei campioni.**

Non è invece possibile affermare lo stesso per gli assi dello spessore di parete e di top/bottom. I risultati ottenuti non hanno infatti permesso di trovare una regola precisa, probabilmente per problemi legati alla generazione di codice o difetti di stampa.

Si consideri che un riempimento elevato significa necessariamente un aumento sia dei tempi di stampa che della quantità di materiale usato (il ridotto consumo di materiale necessario per la strutturalità dei componenti è uno fra i vantaggi di questa tecnologia) e rischio di ritiri maggiori.

#### Possibili implementazioni

Per effettuare la valutazione del peso tramite utenti è necessario utilizzare provini di dimensioni maggiori in modo da avere pesi più facilmente apprezzabili a mano.

## 11.8 Sistema 4

Si sono identificate le forme dei campioni e i pattern del riempimento che creano un effetto maggiormente randomico, sulla superficie laterale, rispetto a quelli che risultano creare effetti più facilmente prevedibili a priori.

In generale si può affermare che **i campioni con le pareti laterali perpendicolari al piatto di stampa permettono di capire facilmente l'effetto del riempimento. La complessità aumenta in presenza di superfici curve.** La sfera genera un risultato particolarmente interessante in quanto presenta superfici curve non perpendicolari al piatto di stampa.

**Alcuni pattern hanno degli effetti maggiormente inediti e particolari (i.e. *line*) mentre altri formano dei disegni più geometrici e regolari (i.e. *rectilinear*).**

Molto interessante l'effetto del riempimento *concentric* che, in relazione ad alcune forme, genera un effetto 'matriosca'.

Da notare che, per tutti i differenti pattern, **l'aumento della percentuale di riempimento genera un aumento della complessità dell'effetto finale.**

Si sottolinea che è presente un'altra componente randomica in questo sistema, ovvero si hanno delle variazioni nel riempimento generate in automatico dal software che sono difficili da ipotizzare.

#### Possibili implementazioni

Vista la grande varietà di effetti ottenuti da questa sperimentazione, si propone di provare altri pattern di riempimento ed eventualmente di studiare disegni realizzati appositamente con i software specifici.

I campioni sono stati stampati con il bottom e senza il top per poter valutare il riempimento in diverse condizioni. La valutazione si è concentrata però sulla relazione fra riempimento e parete laterale. Successivamente si potrebbe indagare il rapporto fra le diverse superfici del campione.

## 11.9 Sistema 4.1

Questo sistema vuole essere un esempio delle potenzialità progettuali del riempimento che, in questo caso, diventa esso stesso oggetto.

## 11.10 Sviluppi futuri

Si dividono i possibili sviluppi della in due categorie: sviluppi diretti e sviluppi paralleli.

Gli **sviluppi diretti** sono quelli che derivano direttamente dal lavoro di tesi e ne risultano un completamento.

In questa categoria rientrano gli spunti indicati nei commenti dei singoli Sistemi. Se ne propongono qui ulteriori.

Una prima integrazione è quella di studiare dei Sistemi che indaghino l'udito e l'olfatto, a conclusione dello spettro dei sensi.

Un'altro ambito di sviluppo è quello della valutazione sensoriale:

- allo scopo di ottenere risultati con una valenza statistica, si possono far eseguire le prove sensoriali ad un ampio panel di persone;
- è possibile effettuare una valutazione sensoriale oggettiva mediante l'ausilio di strumenti scientifici, quali ..., e, in seconda istanza, confrontare i risultati di quest'ultima con i risultati della valutazione soggettiva.

Infine si sottolinea il ruolo della valutazione emozionale e l'accettazione dell'estetica tipica della tecnologia, che sono ambiti ancora non esplorati ma di grande rilevanza.

Gli **sviluppi paralleli** sono quelli che hanno come output la creazione di nuove 3Dteche mediante l'applicazione del metodo, qui proposto, a:

- materiali: è possibile eseguire la sperimentazione utilizzando filamenti di altri materiali (i.e. filamenti di materiale composito come il Laywood e filamenti di materiali elastomerici come il TPU e il FlexPLA) ed confrontare poi i risultati della valutazione sensoriale dei diversi materiali;
- colori: la percezione della trasparenza e della lucentezza è influenzata anche dal colore, che in questa tesi è stato considerato come variabile non modificabile direttamente. Si potrebbe studiare come le diverse tecniche di colorazione dei filamenti (tramite la creazione di filamenti ad hoc) possano influenzare le qualità fotometriche;
- altre proprietà: per esempio si ritiene che approfondire gli elementi 'random' presenti nella tecnologia possa portare a dei risultati molto interessanti: rendere l'errore una risorsa e un punto di forza della tecnologia;
- tecnologie: è possibile applicare il modello dei sistemi tridimensionali ad altre tecnologie di Additive Manufacturing.



# 12

## Conclusioni

• Arrivati a questo punto, è necessario ripercorre-  
• brevemente la strada fatta.

• Ad una imprescindibile ricerca ed analisi dello  
• stato dell'arte, è seguito lo sviluppo di una tas-  
• sonomia che vuole essere una mappa delle po-  
• tenzialità dell'FDM.

• In particolare ci si è concentrati sulla definizione  
• delle proprietà della tecnologia, con un'ottica di  
• dialogo fra l'engineering ed il design.

• Si è poi indagata la possibilità di controllare le  
• qualità espressivo-sensoriali dei prodotti stam-  
• pati in FDM. Questa fase di sperimentazione  
• ha portato alla creazione di una 3Dteca volta al  
• supporto dei progettisti.



Il lavoro condotto in questa tesi si posiziona al centro di una tematica che suscita un intenso dibattito. Le nuove tecnologie introducono innovative pratiche di progettazione allargata, collettiva ed aperta che rendono il consumatore cosciente e partecipe del bene che consuma, in quanto lo può costruire anche da sé (il cosiddetto 'prosuming'). Sono gli utenti stessi che contribuiscono alla condivisione e diffusione del sapere e delle informazioni.

Riprendendo la domanda iniziale: *Che cosa implica la nuova rivoluzione digitale nella pratica del design?*

Il design, essenza della manifattura in quanto processo intellettuale che lega la produzione di un oggetto agli utenti finali, deve seguire un percorso che si snodi tra ricerca, innovazione e ingegnerizzazione, per conferire funzionalità, valore sociale e significato a beni e servizi.

La rivoluzione digitale, fenomeno pervasivo e trasversale, è senza dubbio fra gli aspetti caratterizzanti del nostro tempo e fra i principali responsabili di quell'esteso processo di cambiamento che ha interessato non solo il design ma tutta la cultura contemporanea (tra cui arte, letteratura, musica, ecc).

Questa rivoluzione ha modificato il lavoro del designer non solo nel metodo di studio della realtà, ma soprattutto nei modelli di riferimento e nelle potenzialità creative, rivoluzionando in tal modo l'ideazione stessa del progetto. In questo processo, i margini entro i quali la figura del designer era contenuta vanno lentamente sfumandosi, diventando aperti ed ibridi. Il panorama del design mondiale, il modo stesso di pensare, realizzare, comunicare e diffondere gli oggetti è in profondo cambiamento.

Il lavoro svolto nella tesi si caratterizza come una bussola che possa orientare i progettisti, utilizzando le potenzialità della tecnologia come punti cardinali.

La realizzazione della 3Dteca per la progettazione delle qualità espressivo-sensoriali risulta essere un esempio di come sia possibile una caratterizzazione, spesso inedita, delle superfici stampate in FDM grazie al corretto controllo e alla collaborazione fra tecnicismo e creatività.

Si vuole concludere citando l'artista 'digitale' Kevin Mack che sfrutta la stampa 3D per creare sculture dalle forme surreali:

*'La stampa 3D dissolve i confini tra immaginazione e realtà fisica'.*

# ALLEGATO

Tabelle



**Parametri di stampa**

	1.1	zero	1.2	
<b>Spessore parete</b>	1	2	4	n
Altezza Layer	0,15	0,15	0,15	mm
Velocità stampa	90	90	90	mm/s
Flow	100	100	100	%
Temperatura stampa	205	205	205	°C
Riempimento	25	25	25	%

	4.1	zero	4.2	
<b>Spessore parete</b>	2	2	2	n
Altezza Layer	0,15	0,15	0,15	mm
Velocità stampa	90	90	90	mm/s
<b>Flow</b>	90	110	130	%
Temperatura stampa	205	205	205	°C
Riempimento	25	25	25	%

	2.1	zero	2.2	
<b>Spessore parete</b>	2	2	2	n
<b>Altezza Layer</b>	0,05	0,15	0,25	mm
Velocità stampa	90	90	90	mm/s
Flow	100	100	100	%
Temperatura stampa	205	205	205	°C
Riempimento	25	25	25	%

	5.1	zero	5.2	
<b>Spessore parete</b>	2	2	2	n
Altezza Layer	0,15	0,15	0,15	mm
Velocità stampa	90	90	90	mm/s
Flow	100	100	110	%
<b>Temperatura stampa</b>	195	205	215	°C
Riempimento	25	25	25	%

	3.1	zero	3.2	
<b>Spessore parete</b>	2	2	2	n
Altezza Layer	0,15	0,15	0,15	mm
<b>Velocità stampa</b>	60	90	120	mm/s
Flow	100	110	100	%
Temperatura stampa	205	205	205	°C
Riempimento	25	25	25	%

	6.1	zero	1.2	
<b>Spessore parete</b>	2	2	2	n
Altezza Layer	0,15	0,15	0,15	mm
Velocità stampa	90	90	90	mm/s
Flow	100	100	100	%
Temperatura stampa	205	205	205	°C
<b>Riempimento</b>	20	25	30	%

**Misurazioni prototipi**

**1. PLA bianco**

	1.1	zero	1.2	
<b>Profili di parete</b>	1	2	4	n°
tempo stampa	18 min	19 min	24 min	
spessore parete A	0,48	0,84	1,7	mm
spessore parete B	2,96	2,97	3,01	mm
rugosità	=	=	=	
peso	4,971	6,05	8,285	g
trasparenza	>	>	<	

	4.1	zero	4.2	
<b>Flow</b>	90	110	130	mm/s
tempo stampa	19 min	19 min	19 min	
spessore parete A	0,51	0,84	1,48	mm
spessore parete B	2,86	2,97	3,54	mm
rugosità	>	=	=	
peso	4,323	6,05	7,942	g
trasparenza	>	>	<	

	2.1	zero	2.2	
<b>Altezza Layer</b>	0,05	0,15	0,25	mm
tempo stampa	1h 10min	19 min	12min	
spessore parete A	0,71	0,84	0,74	mm
spessore parete B	2,99	2,97	2,9	mm
rugosità	<	>	>	
peso	7,329	6,05	6,13	g
trasparenza	=	=	=	

	5.1	zero	5.2	
<b>Temperatura stampa</b>	195	205	215	°C
tempo stampa	19min	19 min	19min	
spessore parete A	0,66	0,84	0,63	mm
spessore parete B	2,93	2,97	2,89	mm
rugosità	<	>	=	
peso	5,544	6,05	5,227	g
trasparenza	=	=	=	

	3.1	zero	3.2	
<b>Velocità stampa</b>	60	90	100	mm/s
tempo stampa	27 min	19 min	16min	
spessore parete A	0,72	0,84	0,82	mm
spessore parete B	3,03	2,97	3,13	mm
rugosità	<	>	>	
peso	5,654	6,05	6,653	g
trasparenza	=	=	<	

	6.1	zero	6.2	
<b>Riempimento</b>	20	25	30	%
tempo stampa	18 min	19 min	20	
spessore parete A	0,84	0,84	0,81	mm
spessore parete B	2,92	2,97	2,97	mm
rugosità	=	=	=	
peso	5,724	6,05	6,317	g
trasparenza	x	=	x	

**2. PLA nero**

	1.1	zero	1.2	
<b>Profili di parete</b>	1	2	4	n°
tempo stampa	18 min	19 min	24 min	
spessore parete A	0,49	0,85	1,96	mm
spessore parete B	2,95	2,98	3,13	mm
rugosità	=	=	=	
peso	4,824	6,395	8,886	g
trasparenza	>	>	<	

	4.1	zero	4.2	
<b>Flow</b>	90	110	130	mm/s
tempo stampa	19 min	19 min	19min	
spessore parete A	0,44	0,85	1,1	mm
spessore parete B	2,84	2,98	3,3	mm
rugosità	=	>	>	
peso	4,201	6,395	7,881	g
trasparenza	>	>	<	

	2.1	zero	2.2	
<b>Altezza Layer</b>	0,05	0,15	0,25	mm
tempo stampa	1h 10min	19 min	12min	
spessore parete A	0,84	0,85	0,84	mm
spessore parete B	3,02	2,98	3	mm
rugosità	<	>	>	
peso	5,791	6,395	6,537	g
trasparenza	=	=	=	

	5.1	zero	5.2	
<b>Temperatura stampa</b>	195	205	215	°C
tempo stampa	19min	19 min	19min	
spessore parete A	0,55	0,85	0,67	mm
spessore parete B	2,87	2,98	2,89	mm
rugosità	=	=	=	
peso	5,108	6,395	6,364	g
trasparenza	=	=	=	

	3.1	zero	3.2	
<b>Velocità stampa</b>	60	90	100	mm/s
tempo stampa	27 min	19 min	16min	
spessore parete A	0,94	0,85	0,82	mm
spessore parete B	3,1	2,98	2,9	mm
rugosità	<	>	=	
peso	6,516	6,395	6,45	g
trasparenza	=	=	=	

	6.1	zero	6.2	
<b>Riempimento</b>	20	25	30	%
tempo stampa	18 min	19 min	20min	
spessore parete A	0,89	0,85	0,9	mm
spessore parete B	3	2,98	3	mm
rugosità	=	=	=	
peso	6,126	6,395	6,6	g
trasparenza	x	=	x	

**3. PLA trasparente**

	1.1	zero	1.2	
<b>Profili di parete</b>	1	2	4	n°
tempo stampa	18 min	19 min	24 min	
spessore parete A	0,37	0,62	1,48	mm
spessore parete B	3,01	3	2,93	mm
rugosità	=	=	=	
peso	4,445	5,32	7,298	g
trasparenza	>	>	<	

	4.1	zero	4.2	
<b>Flow</b>	90	110	130	mm/s
tempo stampa	19 min	19 min	19min	
spessore parete A	0,57	0,62	1,3	mm
spessore parete B	2,91	3	3,44	mm
rugosità	=	=	>	
peso	4,573	5,32	8,24	g
trasparenza	>	>	<	

	2.1	zero	2.2	
<b>Altezza Layer</b>	0,05	0,15	0,25	mm
tempo stampa	1h 10min	19 min	12min	
spessore parete A	0,69	0,62	0,65	mm
spessore parete B	3,07	3	3,02	mm
rugosità	<	>	>	
peso	5,379	5,32	5,428	g
trasparenza	=	=	=	

	5.1	zero	5.2	
<b>Temperatura stampa</b>	195	205	215	°C
tempo stampa	19min	19 min	19min	
spessore parete A	0,62	0,62	0,68	mm
spessore parete B	2,97	3	3	mm
rugosità	=	=	=	
peso	5,281	5,32	5,729	g
trasparenza	=	=	=	

	3.1	zero	3.2	
<b>Velocità stampa</b>	60	90	100	mm/s
tempo stampa	27 min	19 min	16min	
spessore parete A	0,7	0,62	0,65	mm
spessore parete B	3,07	3	3,02	mm
rugosità	=	=	=	
peso	5,815	5,32	5,852	g
trasparenza	=	=	=	

	6.1	zero	6.2	
<b>Riempimento</b>	20	25	30	%
tempo stampa	18 min	19 min	20	
spessore parete A	0,7	0,68	0,68	mm
spessore parete B	3	3	3	mm
rugosità	=	=	=	
peso	5,233	5,32	5,671	g
trasparenza	x	=	x	

sistema 1

trasparenza

	sul tavolo			controluce			media					
	y_spessore parete mm			y_spessore parete mm			y_spessore parete mm					
	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35			
<b>TRASPARENTE PET</b>	120/80	8	7	7	120/80	8	8	8	120/80	8	7,5	7,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	6	6	7	100/100	7	8	8	100/100	6,5	7	7,5
	80/120	5	7	8	80/120	6	7	7	80/120	5,5	7	7,5
<b>TRASPARENTE PLA</b>	120/80	7	8	8	120/80	7	8	8	120/80	7	8	8
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	7	8	9	100/100	7	8	9	100/100	7	8	9
	80/120	7	8	9	80/120	7	8	9	80/120	7	8	9
<b>BIANCO</b>	120/80	0	0	6	120/80	3	6	6	120/80	1,5	3	6
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	3	7	100/100	4	6	7	100/100	2	4,5	7
	80/120	0	3	6	80/120	5	7	7	80/120	2,5	5	6,5
<b>GIALLO CHIARO</b>	120/80	7	9	9	120/80	8	8	8	120/80	7,5	8,5	8,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	8	8	9	100/100	8	7	8	100/100	8	7,5	8,5
	80/120	8	8	9	80/120	8	7	8	80/120	8	7,5	8,5
<b>ORO</b>	120/80	7	8	8	120/80	8	8	8	120/80	7,5	8	8
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	7	8	8	100/100	8	8	8	100/100	7,5	8	8
	80/120	6	8	9	80/120	8	8	8	80/120	7	8	8,5
<b>GIALLO</b>	120/80	0	2	7	120/80	3	6	8	120/80	1,5	4	7,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	6	7	100/100	4	7	8	100/100	2	6,5	7,5
	80/120	0	6	7	80/120	5	7	8	80/120	2,5	6,5	7,5
<b>ROSSO CHIARO</b>	120/80	6	8	8	120/80	6	8	8	120/80	6	8	8
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	6	7	8	100/100	6	8	8	100/100	6	7,5	8
	80/120	7	8	8	80/120	6	8	8	80/120	6,5	8	8
<b>ROSSO SCURO</b>	120/80	0	0	6	120/80	3	6	7	120/80	1,5	3	6,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	6	100/100	0	6	7	100/100	0	3	6,5
	80/120	0	0	6	80/120	3	6	7	80/120	1,5	3	6,5
<b>ROSA</b>	120/80	0	2	6	120/80	2	6	7	120/80	1	4	6,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	5	7	100/100	3	7	7	100/100	1,5	6	7
	80/120	0	6	7	80/120	4	7	7	80/120	2	6,5	7

	sul tavolo			controluce			media					
	y_spessore parete mm			y_spessore parete mm			y_spessore parete mm					
	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35			
<b>VOLA</b>	120/80	0	0	0	120/80	0	2	6	120/80	0	1	3
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	100/100	0	3	7	100/100	0	1,5	3,5
	80/120	0	0	0	80/120	0	6	7	80/120	0	3	3,5
<b>BLU CHIARO</b>	120/80	5	6	8	120/80	6	7	8	120/80	5,5	6,5	8
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	5	6	8	100/100	6	7	8	100/100	5,5	6,5	8
	80/120	4	7	8	80/120	6	7	8	80/120	5	7	8
<b>BLU</b>	120/80	0	6	7	120/80	3	7	7	120/80	1,5	6,5	7
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	7	8	100/100	4	7	7	100/100	2	7	7,5
	80/120	1	7	8	80/120	5	7	7	80/120	3	7	7,5
<b>VERDE CHIARO</b>	120/80	5	7	7	120/80	5	7	8	120/80	5	7	7,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	5	7	8	100/100	6	7	8	100/100	5,5	7	8
	80/120	6	7	8	80/120	6	7	8	80/120	6	7	8
<b>VERDE PRATO</b>	120/80	0	0	4	120/80	0	4	6	120/80	0	2	5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	5	100/100	0	5	7	100/100	0	2,5	6
	80/120	0	0	5	80/120	0	6	7	80/120	0	3	6
<b>VERDE</b>	120/80	0	0	0	120/80	0	0	5	120/80	0	0	2,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	100/100	0	0	6	100/100	0	0	3
	80/120	0	0	1	80/120	0	3	7	80/120	0	1,5	4
<b>NERO CHIARO</b>	120/80	0	0	0	120/80	0	0	2	120/80	0	0	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	100/100	0	0	5	100/100	0	0	2,5
	80/120	0	0	1	80/120	0	1	3	80/120	0	0,5	2
<b>NERO</b>	120/80	0	0	0	120/80	0	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	100/100	0	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	0	80/120	0	0	0	80/120	0	0	0
<b>NERO 2</b>	120/80	0	0	0	120/80	0	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	100/100	0	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	0	80/120	0	0	0	80/120	0	0	0

nitidezza sistema 1

	sul tavolo			controluce			media			
	y_spessore parete mm			y_spessore parete mm			y_spessore parete mm			
	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35	
<b>TRASPARENTE PET</b>										
120/80	0	4	3	120/80	2	3	120/80	1	3,5	3
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	1	3	100/100	0	3	100/100	0,5	3	3
	80/120	3	3	80/120	0	2	80/120	1,5	2,5	3,5
<b>TRASPARENTE PLA</b>										
120/80	4	4	4	120/80	4	5	120/80	4	4,5	4,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	3	4	100/100	3	5	100/100	3	4,5	5
	80/120	1	4	80/120	4	5	80/120	2,5	4,5	5
<b>BIANCO</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0,5
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	1
<b>GIALLO CHIARO</b>										
120/80	1	4	5	120/80	1	4	120/80	1	4	5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	3	4	100/100	3	4	100/100	3	4	5
	80/120	3	4	80/120	3	4	80/120	3	4	5
<b>ORO</b>										
120/80	2	3	4	120/80	3	4	120/80	2,5	3,5	4,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	2	3	100/100	3	4	100/100	2,5	3,5	4,5
	80/120	0	3	80/120	0	4	80/120	0	3,5	4,5
<b>GIALLO</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	1
<b>ROSSO CHIARO</b>										
120/80	0	3	4	120/80	0	3	120/80	0	3	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	3	100/100	2	3	100/100	1	3	4
	80/120	0	3	80/120	2	4	80/120	1	3,5	3,5
<b>ROSSO SCURO</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	0
<b>ROSA</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	1

	sul tavolo			controluce			media			
	y_spessore parete mm			y_spessore parete mm			y_spessore parete mm			
	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35	1,4	0,7	0,35	
<b>VIOLA</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	0
<b>BLU CHIARO</b>										
120/80	0	3	4	120/80	0	3	120/80	0	3	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	3	100/100	0	3	100/100	0	3	4
	80/120	0	3	80/120	0	3	80/120	0	3	4
<b>BLU</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	1
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	2
<b>VERDE CHIARO</b>										
120/80	0	3	4	120/80	0	4	120/80	0	3,5	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	3	100/100	2	4	100/100	1	3,5	5
	80/120	1	3	80/120	2	3	80/120	1,5	3	4
<b>VERDE PRATO</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	1,5
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	1	100/100	0	0,5	1,5
	80/120	0	0	80/120	0	2	80/120	0	1	2
<b>VERDE</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0,5
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	1
<b>NERO CHIARO</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	1,5
	80/120	0	0	80/120	0	1	80/120	0	0,5	1,5
<b>NERO</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	0
<b>NERO 2</b>										
120/80	0	0	0	120/80	0	0	120/80	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	100/100	0	0	100/100	0	0	0
	80/120	0	0	80/120	0	0	80/120	0	0	0



TRANSPARENTE PET		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	3	4	4	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	2	4	4	3
	80/120	3	3	4	3
media per spessore		3	4	4	3
TRANSPARENTE PLA		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	4	5	5	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	4	5	5	4
	80/120	3	5	5	4
media per spessore		4	5	5	4
BIANCO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	1	1	2	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	1	2	2	2
	80/120	1	2	3	2
media per spessore		1	1	2	1
GIALLO CHIARO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	3	5	5	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	4	4	5	4
	80/120	4	4	5	4
media per spessore		3	4	5	4
ORO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	4	4	5	4
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	4	4	5	4
	80/120	2	4	5	4
media per spessore		3	4	5	4
GIALLO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	1	1	2	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	1	2	2	2
	80/120	1	2	3	2
media per spessore		1	2	2	2
ROSSO CHIARO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	2	4	4	3
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	2	4	4	3
	80/120	3	4	4	4
media per spessore		2	4	4	3
ROSSO SCURO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	1	1	2	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	1	2	1
	80/120	1	1	2	1
media per spessore		1	1	2	1
ROSA		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	1	1	2	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	1	2	2	2
	80/120	1	2	3	2
media per spessore		1	2	2	2

VIOLA		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	0	1	1	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	1	1	1
	80/120	0	1	1	1
media per spessore		0	1	1	1
BLU CHIARO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	2	4	4	3
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	2	4	4	3
	80/120	2	4	4	3
media per spessore		2	4	4	3
BLU		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	1	2	2	2
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	1	2	3	2
	80/120	1	2	3	2
media per spessore		1	2	3	2
VERDE CHIARO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	2	4	4	3
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	2	4	5	4
	80/120	3	4	4	3
media per spessore		2	4	4	3
VERDE PRATO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	0	1	2	1
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	1	3	1
	80/120	0	2	3	1
media per spessore		0	1	3	1
VERDE		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	0	0	1	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	1	0
	80/120	0	1	2	1
media per spessore		0	0	1	1
NERO CHIARO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	0	0	1	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	2	1
	80/120	0	1	2	1
media per spessore		0	0	1	1
NERO		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	0	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	0
	80/120	0	0	0	0
media per spessore		0	0	0	0
NERO 2		y_spessore parete mm			media per flow
		1,4	0,7	0,35	
	120/80	0	0	0	0
x_Flow%/vel.stampa%	100/100	0	0	0	0
	80/120	0	0	0	0
media per spessore		0	0	0	0

sistema 1.1

sistema 1.1

trasparenza

nitidezza

	sul tavolo			controluce			media		
		printing bad		printing bad		printing bad	printing bad		
	vetro	scotch		vetro	scotch		vetro	scotch	
<b>TRASPARENTE PET</b>									
y_spessore parete mm	1,2	8 7		1,2	8 7		1,2	8 7	
	0,6	8 8		0,6	8 8		0,6	8 8	
	0,3	8 8		0,3	8 8		0,3	8 8	
<b>BIANCO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	0 0		1,2	6 6		1,2	3 3	
	0,6	2 1		0,6	7 7		0,6	4,5 4	
	0,3	8 8		0,3	8 8		0,3	8 8	
<b>GIALLO CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	7 6		1,2	7 7		1,2	7 6,5	
	0,6	8 8		0,6	8 8		0,6	8 8	
	0,3	8 8		0,3	8 8		0,3	8 8	
<b>ROSSO CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	7 7		1,2	8 8		1,2	7,5 7,5	
	0,6	8 8		0,6	8 8		0,6	8 8	
	0,3	8 8		0,3	8 8		0,3	8 8	
<b>BLU CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	7 5		1,2	6 6		1,2	6,5 5,5	
	0,6	8 7		0,6	8 8		0,6	8 7,5	
	0,3	8 8		0,3	8 8		0,3	8 8	
<b>NERO CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	0 0		1,2	0 2		1,2	0 1	
	0,6	0 5		0,6	5 7		0,6	2,5 6	
	0,3	7 7		0,3	8 8		0,3	7,5 7,5	

	sul tavolo			controluce			media		
		printing bad		printing bad		printing bad	printing bad		
	vetro	scotch		vetro	scotch		vetro	scotch	
<b>TRASPARENTE PET</b>									
y_spessore parete mm	1,2	4 2		1,2	4 2		1,2	4 2	
	0,6	5 4		0,6	5 4		0,6	5 4	
	0,3	5 5		0,3	5 5		0,3	5 5	
<b>BIANCO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	0 0		1,2	0 0		1,2	0 0	
	0,6	0 0		0,6	0 0		0,6	0 0	
	0,3	3 0		0,3	4 3		0,3	3,5 1,5	
<b>GIALLO CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	1 1		1,2	3 3		1,2	2 2	
	0,6	4 4		0,6	4 4		0,6	4 4	
	0,3	5 4		0,3	5 4		0,3	5 4	
<b>ROSSO CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	3 2		1,2	3 2		1,2	3 2	
	0,6	5 4		0,6	4 4		0,6	4,5 4	
	0,3	5 5		0,3	5 5		0,3	5 5	
<b>BLU CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	2 0		1,2	3 0		1,2	2,5 0	
	0,6	4 3		0,6	4 3		0,6	4 3	
	0,3	5 4		0,3	5 4		0,3	5 4	
<b>NERO CHIARO</b>									
y_spessore parete mm	1,2	0 0		1,2	0 0		1,2	0 0	
	0,6	0 0		0,6	3 3		0,6	1,5 1,5	
	0,3	3 3		0,3	4 4		0,3	3,5 3,5	

sistema 1.1

trasparenza assoluta

TRASPARENTE PET				
		printing bad		
		vetro	scotch	media per spessore
y_spessore parete mm	1,2	4	3	4
	0,6	5	4	5
	0,3	5	5	5
media per piatto		5	4	4
BIANCO				
		printing bad		
		vetro	scotch	media per spessore
y_spessore parete mm	1,2	1	1	1
	0,6	2	1	1
	0,3	4	3	4
media per piatto		2	2	2
GIALLO CHIARO				
		printing bad		
		vetro	scotch	media per spessore
y_spessore parete mm	1,2	3	3	3
	0,6	4	4	4
	0,3	5	4	5
media per piatto		4	4	4
ROSSO CHIARO				
		printing bad		
		vetro	scotch	media per spessore
y_spessore parete mm	1,2	4	3	4
	0,6	5	4	4
	0,3	5	5	5
media per piatto		4	4	4
BLU CHIARO				
		printing bad		
		vetro	scotch	media per spessore
y_spessore parete mm	1,2	3	2	3
	0,6	4	4	4
	0,3	5	4	5
media per piatto		4	3	4
NERO CHIARO				
		printing bad		
		vetro	scotch	media per spessore
y_spessore parete mm	1,2	0	1	0
	0,6	2	3	2
	0,3	4	4	4
media per piatto		2	2	2

	printing bad	
	vetro	scotch
trasparente	5	1
bianco	5	3
giallo c.	5	2
rosso c.	5	2
blu c.	5	2
nero c.	5	2
media	5	2

	peso	%riempimento	shell thickness	top/bottom	peso percentuale	punteggio
A3	1,7	25	0,4	0,45	72%	1
C3	1,78	25	1,6	0,45	76%	1
E3	1,92	25	0,4	0,9	82%	2
G3	1,98	25	1,6	0,9	84%	2
F3	2,75	80	0,4	0,9	117%	4
H3	2,75	80	1,6	0,9	117%	4
B3	2,94	80	0,4	0,45	125%	5
D3	2,97	80	1,6	0,45	126%	5
peso medio	2,35				100%	

sistema 1.1

gloss

sistema 3



	<b>A2</b>	<b>F2</b>	<b>I2</b>
x_h layer	0,05	0,05	0,05
y_ugello	0,4	0,4	0,4
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	1	2	3

	<b>B2</b>	<b>F2</b>	<b>L2</b>
x_h layer	0,15	0,15	0,15
y_ugello	0,4	0,4	0,4
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	1	2	3

	<b>C2</b>	<b>G2</b>	<b>M2</b>
x_h layer	0,25	0,25	0,25
y_ugello	0,7	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	1	2	3

	<b>D2</b>	<b>H2</b>	<b>N2</b>
x_h layer	0,5	0,5	0,5
y_ugello	0,7	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	1	2	3

	<b>A2</b>	<b>B2</b>	<b>C2</b>	<b>D2</b>
x_h layer	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello	0,4	0,4	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 1	faccia 1	faccia 1
classifica	1	2	3	4

	<b>E2</b>	<b>F2</b>	<b>G2</b>	<b>H2</b>
x_h layer	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello	0,4	0,4	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 2	faccia 2	faccia 2	faccia 2
classifica	1	2	3	4

	<b>I2</b>	<b>L2</b>	<b>M2</b>	<b>N2</b>
x_h layer	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello	0,4	0,4	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia3	faccia3	faccia3	faccia3
classifica	1	2	3	4

	<b>A2</b>	<b>F2</b>	<b>I2</b>
x_h layer	0,05	0,05	0,05
y_ugello	0,4	0,4	0,4
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	2	1	3

	<b>B2</b>	<b>F2</b>	<b>L2</b>
x_h layer	0,15	0,15	0,15
y_ugello	0,4	0,4	0,4
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	2	1	3

	<b>C2</b>	<b>G2</b>	<b>M2</b>
x_h layer	0,25	0,25	0,25
y_ugello	0,7	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	2	1	3

	<b>D2</b>	<b>H2</b>	<b>N2</b>
x_h layer	0,5	0,5	0,5
y_ugello	0,7	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 2	faccia3
classifica	2	1	3

	<b>A2</b>	<b>B2</b>	<b>C2</b>	<b>D2</b>
x_h layer	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello	0,4	0,4	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 1	faccia 1	faccia 1	faccia 1
classifica	2	1	3	4

	<b>E2</b>	<b>F2</b>	<b>G2</b>	<b>H2</b>
x_h layer	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello	0,4	0,4	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia 2	faccia 2	faccia 2	faccia 2
classifica	2	1	3	4

	<b>I2</b>	<b>L2</b>	<b>M2</b>	<b>N2</b>
x_h layer	0,05	0,15	0,25	0,5
y_ugello	0,4	0,4	0,7	0,7
z_senso di stampa	faccia3	faccia3	faccia3	faccia3
classifica	1	1	3	4

classifica orizzontale

		sfera	cilindro	cuo	piramide	cono	prisma
honeycomb	20%	6	3	1	4	5	2
	30%	6	2	1	4	5	3
rectilinear	20%	2	1	1	2	2	1
	30%	4	1	1	4	4	1
concentric	20%	6	1	1	4	5	1
	30%	6	1	1	4	5	1
line	20%	6	3	1	4	5	2
	30%	6	3	1	4	5	2
	<b>media</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>

classifica verticale

		sfera	cilindro	cuo	piramide	cono	prisma	<b>media</b>
honeycomb	20%	5	5	5	7	5	5	<b>5</b>
	30%	6	6	6	8	6	6	<b>6</b>
rectilinear	20%	3	3	3	3	3	3	<b>3</b>
	30%	4	4	4	4	4	4	<b>4</b>
concentric	20%	1	1	1	1	1	1	<b>1</b>
	30%	2	2	2	2	2	2	<b>2</b>
line	20%	7	7	7	5	7	7	<b>7</b>
	30%	8	8	8	6	8	8	<b>8</b>

# Indice immagini

## CAP.1 Additive Manufacturing

Fig.1 Stampare in 3D è un processo che trasforma un disegno tridimensionale in un oggetto reale. ....	19
Fig.2 Paragone tra il processo Sottrattivo e quello Additivo. ....	19
Fig.3 Funzionamento della tecnica di Stereolitografia e del 3D printing. Fonte: +LAB.....	26
Fig.4 Funzionamento della tecnica di Selective Laser Sntering e di Fused Deposition Modeling. Fonte: +LAB .....	27
Fig.5 Funzionamento della tecnica FDM. Fonte: +LAB.....	29
Fig.6 Funzionamento del service di stampa online. Fonte: www.Shapeways.com.....	32

## CAP.2 Personal fabrication tecnology

Fig.7 Copertina del libro The maker movement manifesto. ....	39
Fig.8 Motto del mondo Maker .....	41
Fig.9 Confronto fra l'evoluzione del computer e quello delle stampanti 3D. Fonte: Low-cost 3D printing. For science, education & sustainable development di Fonda C. et alii.....	42
Fig.10 La scheda elettronica Arduino.....	43
Fig.11 Copertina del numero di Wired dedicato alla stampa 3D. ....	45
Fig.12 Logo di Maker Faire e locandina del Maker Faire tenutosi a Roma nel 2013.....	46
Fig.13 Adrian Bowyer e Vik Olliver con una stampante RepRap ed un clone prodotto dall'originale. ....	48

Fig.14 Grafico che riporta le principali motivazioni della partecipazione agli hackerspace. Fonte: Peer production communities survey.....	51
Fig.15 Paragone fra sistema centralizzato, decentralizzato e quello distribuito tipico della comunità open source... ..	52
Fig.16 Logo utilizzato per identificare le produzioni open source. ....	53
Fig.17 La 'c' cerchiata rovesciata del copyleft si contrappone alla classica 'c' cerchiata del copyright. ....	54
Fig.18 La grande diffusione della stampa 3D è coincisa con la nascita delle stampanti opensource nel 2009. Fonte: Peer production communities survey .....	56

## CAP.3 La stampa 3D desk

Fig.19 I componenti delle stampanti. ....	61
Fig.20 Possibili configurazioni degli assi. Fonte: +LAB. ....	62
Fig.21 Bicchiere in TPU stampato con la macchina 3DRAG presso il laboratorio +LAB. ....	64
Fig.22 Esempio di oggetto stampato in Laywood. ....	64
Fig.23 Argilla stampata presso il laboratorio +LAB con estrusore a siringa progettato da WASP. ....	66
Fig.24 Cioccolato stampato con tecnologia FDM. ....	66
Fig.25 Homepage del sito di Thingiverse. ....	87
Fig.26 Schermata di Cura con il pannello delle impostazioni di base. ....	89
Fig.27 Schermata di Cura con il pannello delle impostazioni avanzate. ....	89
Fig.28 Esempio di ugelli di forme e dimensioni diverse. ....	91



Fig.29 Oggetto stampato con diverse altezze layer. L'altezza layer è un parametro molto importante che influisce sia sulla resa qualitativa dell'oggetto stampato sia sul tempo di stampa..... 93

Fig.30 Fusione tra gli strati..... 93

Fig.31 Effetto dell'altezza layer rispetto alla dimensione dell'ugello. Fonte: +LAB..... 93

Fig.32 Cilindro con diversi perimetri di parete. Fonte: +LAB. .... 94

Fig.33 Cilindro stampato con diverse percentuali di riempimento. .... 96

Fig.34 Alcuni pattern di riempimento di Slic3r al 20%, 40%, 60% e 80%. .... 96

Fig.35 Esempio di pattern personalizzati. .... 96

Fig.36 La retraction viene attuata in automatico dalla stampante tramite l'inversione del senso di rotazione dell'albero del motorino estrusore. Fonte: +LAB..... 99

Fig.37 Esempio di oggetto stampato con il brim..... 100

Fig.38 Esempio di oggetto stampato con il raft..... 100

Fig.39 Principali regole di DiM per la stampa 3D FDM. Fonte: +LAB. .... 104

Fig.40 Il numero di mesh influenza in modo significativo la percezione dei dettagli. .... 105

Fig.41 Esempio di oggetto in cui il Facetting è voluto e diventa elemento estetico. Si nota inoltre l'effetto Steir-case. .... 106

Fig.42 Influenza dell'altezza layer sull'effetto Stair-case. .... 106

Fig.43 Influenza dell'orientamento di stampa. Fonte: slide del corso di Design for MANufacturing di Marco Cavallaro alla Facoltà del Design. .... 108

Fig.44 I supporti possono essere creati: in automatico dal software di slicing [a]; modellandoli in CAD [b] o con un software di generazione supporti [c]. E' possibile stamparli in un altro materiale con doppio estrusore [d]. Fonte: +LAB..... 109

Fig.45 Il materiale di supporto sostiene i sottosquadri che altrimenti potrebbero cadere in quanto non ancora solidificati. .... 109

Fig.46 Esempi di oggetti stampati con supporti. La volpe è stata stampata con doppio estrusore. E' possibile notare anche l'effetto stericase in entrambi gli oggetti. .... 110

Fig.47 Effetti delle tensioni interne durante il raffreddamento. Depositare correttamente a basse velocità il primo strato di materiale garantisce in molti casi la buona riuscita della stampa. Fonte: +LAB. .... 111

**CAP.4 Laboratori di stampa 3D**

Fig.48 Logo del laboratorio +LAB. .... 115

Fig.49 Immagini evocative del laboratorio +LAB..... 115

Fig.50 Oggetti tagliati laser e stampati 3D da Oliver Niewiadomski al Fab Digitalgardens in Bremen, Germania. Fonte: fotografia di Justus Holzberger)..... 119

**CAP.6 Tassonomia**

Fig.51 Modello morfologico dei processi. Fonte: 'Manufacturing engineering processes' di Alting L. .... 133

**CAP.7 In gioco i sensi**

Fig.52 Alcune schede dell'Atlante espressivo sensoriale di Valentina Rognoli..... 165

Fig.53 Fenomeni di interazione della radiazione luminosa con la materia. .... 170

Fig.54 Gli effetti della rugosità superficiale sulla riflessione della luce. .... 171

Fig.55 Finitura lucida e opaca a confronto. Fonte: www.magisdesign.com ..... 172

Fig.56 Scacchi trasparenti. .... 174

Fig.57 Effetto della nitidezza nella percezione dei contorni..... 176

Fig.58 Effetto dell'accostamento di texture differenti sulla sedia Raviolo di Magis. Fonte: www.madisdesign.com ..... 178

Fig.59 Le procedure esplorative tattili. Per le analisi sensoriali tattili di questa sperimentazione si considera il movimento laterale e la presa senza sostegno. .... 181

Fig.60 Superficie liscia, incisa e stratificata a confronto. .... 185

**CAP.8 Sensorialità e progetto**

Fig.61 La mappa preliminare che ha portato alla creazione della Matrice per la rappresentazione dei materiali di Zuo H. .... 196

**CAP.9 Metodo**

Fig.62 ABS e PLA costituiscono oltre il 70% degli ordini, arrivando a una quota complessiva del 72%. Fonte: www.3dhubs.com/trens ..... 251

Fig.63 Il sample della preserie. .... 258

Fig.64 Campioni prototipi stampati con il filamento bianco, nero e trasparente. .... 259

Fig.65 Bobine di filo di diversi colori. .... 262

Fig.66 Trend dei colori più usati per la stampa 3D. Fonte: www.3dhubs.com/trens..... 264

Fig.67 Rappresentazione delle proprietà dei materiali proposta da Elvin Karana. .... 272

Fig.68 NCS Gloss Scale per la valutazione della lucentezza..... 274

Fig.69 Grafiche utilizzate per la valutazione della trasparenza e della nitidezza. .... 274

Fig.70 Procedura esplorativa tramite il movimento laterale. Fonte: 'Haptic Perception: a tutorial' di Lederman S. et alii ..... 276

# Indice grafici

## **CAP.1 Additive Manufacturing**

Graf.1 Schema delle principali tecnologie di Additive Manufacturing organizzate secondo il materiale utilizzato. ....	25
Graf.2 Le fasi del processo di stampa. ....	30

## **CAP.3 La stampa 3D desk**

Graf.3 Schema degli influenzatori della qualità durante il processo di stampa. ....	102
-------------------------------------------------------------------------------------	-----

## **CAP.5 Perché un Tool Kit**

Graf.4 I nuovi modelli designer-utente-tecnologia. ....	127
Graf.5 Il modello generale e i sistemi di flusso che interagiscono nel processo. ....	133

## **CAP.6 Tassonomia**

Graf.6 I tre principali tipi di flusso di materiale. 'm' indica il materiale, 'i' input e 'o' out-put. I numeri 1 e 2 indicano i diversi materiali coinvolti. ....	134
Graf.7 Processi base che costituiscono un processo di fabbricazione. ....	135
Graf.8 Processi base della tecnologia FDM. ....	136
Graf.9 Le famiglie dei processi di fabbricazione. ....	137
Graf.10 Tassonomia della tecnologia FDM. ....	138
Graf.11 Nella pagina successiva: mappa delle relazioni tra le proprietà. ....	139

Graf.12 Mappa progettuale. ....	145
---------------------------------	-----

## **CAP.7 In gioco i sensi**

Graf.13 Elementi del processo percettivo. ....	156
Graf.14 Elementi del processo percettivo analizzati dalla tesi. ....	157
Graf.15 Il ruolo della soggettività nella percezione. ....	159
Graf.16 Parametri e proprietà nel processo percettivo. ....	164
Graf.17 Schema dei parametri e delle proprietà considerate. ....	166

## **CAP.9 Metodo**

Graf.18 Il processo della sperimentazione. ....	248
Graf.19 Influenzatori delle qualità senso-estetiche durante le fasi di stampa. ....	249
Graf.20 I sistemi tridimensionali adottati. ....	255
Graf.21 Parametri di stampa che influiscono sulle qualità senso-estetiche. ....	257
Graf.22 La valutazione sensoriale nello schema del processo percettivo. ....	272

## **CAP.11 Discussione risultati**

Graf.23 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione al flusso/velocità di stampa. ....	331
Graf.24 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in	

relazione allo spessore del campione..... 332

Graf.25 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione allo spessore del campione..... 334

Graf.26 Grafico che esprime le variazioni della trasparenza fenomenologica, dei colori dei filamenti, in relazione al materiale del piatto di stampa. .... 334

Graf.27 Grafico che confronta la trasparenza fenomenologica del Sistema 1 con il Sistema 1.1.. 336

Graf.28 Grafico che confronta la percezione della stratificazione, secondo l'orientamento, di stampa del Sistema 2 con il Sistema 2bis..... 338

Graf.29 Grafico che confronta la percezione della stratificazione, secondo l'altezza layer, del Sistema 2 con il Sistema 2bis. .... 338

Graf.30 Grafico che esprime l'influenza della percentuale di riempimento sul peso. .... 339



# Bibliografia

## A

- Aliprandi s. (a cura di), (2006), Compendio di libertà informatica a cultura open, ed. Primaora
- Alting L. (1993), Manufacturing engineering process, Marcel Dekker
- Anderson C. (2012), Makers. The New Industrial Revolution, Crown Business
- Arabe K. (2004), Materials' Central Role in Product Personality, Industrial Market Trends
- Aristotele (2001), Dell'anima, 432a 4-9, Bompiani, Milano
- Armillotta A. (2004), Procedural texturing of triangle meshes for rapid prototyping, SME
- Ashby M., Johnson K. (2003), The Art of Materials Selection, Material Today 6(12), 24-36
- Ashby M., Johnson K. (2005), Materiali e Design. L'arte e la scienza della selezione dei materiali per il progetto, Casa Editrice Ambrosiana
- Ashby M., Shercliff H., Cebon D. (2009), Materiali. Dalla scienza alla progettazione ingegneristica, Casa Editrice Ambrosiana

## B

- Balka K., Raasch C., Herstatt C. (2009), Open source enters the world of atoms: A statistical analysis of open design, First Monday, Volume 14, Number 11
- Bandini B. (2008), Ergonomia olistica, Franco Angeli, Milano

Bano V. (2009), trasparenze materiali polimerici in architettura, PhD. Thesis, UniFerrara

Banzi M. (2012), Arduino: la guida ufficiale, Tecniche nuove, Milano

Bauwens M., "The Political Economy of Peer Production", CTheory 12/1/2005

Bauwens M. (2012), Scope, not Scale, al-Jazeera opinion

Bellini, Guceri (2003), "Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling", in Rapid Prototyping Journal

Bocconcello G. (2008), Colore, materiale e tecnologia, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano

Boradkar P. (2010), Designing Things. A critical introduction to the culture of objects, Berg, New York

Boschetto A. et alii (2013), "3D roughness profile model in fused deposition modelling", in Rapid Prototyping Journal.

Bottoli, Bertagna (2009), Percezione e colore, Maggioli Editore

## C

Calabi D. (2003), Texture. Un percorso basic, Libreria Clup, Milano

Campognande S. (1999), "Diffondere i materiali", in Ferrara M., Lucibello S. (a cura di), Design follows materials, Alinea, Firenze, pp. 66-77

Campognande S. (1999a), Materioteca per designer, rel. Giorgio De Ferrari, Facoltà di Architettura, Politecnico di Torino

Campognande S. (2009), Diffondere i materiali, in Ferrara M., Lucibello S. (a cura di), Design follows materials, Alinea, Firenze, pp.66-77

Cardello A., Wise P. (2008), Taste, Smell and Chemethesis in Product Experience, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam; 91-121.

Ciuccarelli P. (2008), Design open source. Dalla partecipazione alla progettazione in rete, Pitagora, Bologna

Cornish H. (1987), Materials and the Designer, Cambridge University Press, Cambridge

Crilly N., Moultrie J., Clarkson J. (2004), Seeing things: consumer response to the visual domain in product design, in Design Studies n.25, pp.547-577.

Crilly N., Maier A., Clarkson P.J. (2008), "Representing artefacts as media: modeling the relationship between designer intent and customer experience", in International Journal of Design, vol. 2, n. 3, pp. 15-27

## D

Del Curto B., Marano C. (a cura di) (2008), Materiali per il design. Introduzione ai materiali e alle loro proprietà, Casa Editrice Ambrosiana

Del Curto B., Fiorani E., Passaro C. (2010), La pelle del design. Progettare la sensorialità, Lupetti-Editori di comunicazione, Milano

Doctorow C. (2009), Makers, St Martins Pr

## E

Egmond R. van (2008), The Experience of Product Sound, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam; 69-86.

## F

Fenech O.C. and Borg J.C. (2006), "A Sensation Based Model of Product Elicited Emotions", Design and Emotion, Gotoburg, Sweden

Fiorani E. (2000), Leggere i materiali: con l'antropologia, con la semiotica, Lupetti-Editori di comunicazione, Milano

Fonda C. (2013), A Practical Guide to Your First 3D Print, in Canessa E., Fonda C., Zennaro M., Low-cost 3D printing. For science, education & sustainable development, pp 25-60

## G

Gershenfeld N. (2005), Fab. Dal personal computer al personal fabricator, Codice Edizioni

Ghosh R. A. (2007), Understanding free software developers: Findings from the FLOSS study, in Feller J., Fitzgerald B., Hissam S. A., Lakhani K. R. (2007), Perspectives on free and open source software, Cambridge, Mass.: MIT Press, pp. 23-45;

Giboreau A., Navarro S., Faye P. and Dumortier J. (2001), "Sensory Evaluation of Automotive Fabrics – the Contribution of Categorization Tasks and Non Verbal Information to Set-up a Descriptive Method of Tactile Properties", Food Quality and Preference, vol. 12 (5), pp. 311-322

Guilbert C., Bueno M.A., Sahnoun M., Renner M. (2006), Sensory evaluation of the touch of a great number of fabrics, Food Quality and Preference, n 17, pp 482-488

## H

Harch M. (2014), The maker movement manifesto. Rules for innovation in the new world of crafters, hackers and tinkerers. Mc Graw Hill Education

Hodgson S., Harper J. (2004), Effective Use of Materials in The Design Process - More Than a Selection Problem, Proceedings of International Conference on Engineering and Product Design Education, The Design Society, Stockholm; 593-601

## I

Ippen J. (1963)(2002), Design and Form, John Wiley & Sons, New York

## K

Karana E. (2009), Meanings of materials, Unpublished PhD. Thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TU Delft

Karana E. (2010), How do materials obtain their meanings?, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 271-285

Karana E. (2010), Meanings of materials, LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Germany

Karana E., Hekkert P., Kandachar P. (2007), "Sensorial properties of materials for creating expressive meanings", in Proceeding of Kansei Engineering and Emotion Research Conference, Osaka, Japan

Karana E., Kesteren I. van (2008), Materials Affect – The Role of Materials in Product Experience, Design and Emotion Moves, P. Desmet, J. van Erp, M. Karlsson, eds., Cambridge Scholars Publishing, Newcastle; 221-246

Karana E., Hekkert P., Kandachar P., (2008), "Meaning of materials through sensorial properties and manufacturing processes", in Materials and Design, vol. 90, n. 7, pp 2778-2784

Karana E., Hekkert P., Kandachar P. (2009), "Assessing material properties on sensorial scale", in Proceeding of the ASME 2009, International Engineering Technical Conferences & Computer and Information in Engineering Conference, IDETC/CIE 2009, San Diego, Usa, pp. 1-6

Karana E., Pedgley O., Rognoli V. (2014), Materials experience : fundamentals of materials and design, Elsevier, Amsterdam

Karlsson M., Velasco A.V. (2007), Designing for the tactile sense: investigating the relation between surface properties, perception and preferences, in Codesign, n. 3, pp 123-133

Kesteren I. van (2008), Selecting Materials in Product Design, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TU Delft

Kishida K., Yunwen Y. (2003), Toward an understanding of the motivation of open source software developers, Proceedings of the 25th International Conference on Software Engineering, Los Alamitos, Calif., pp. 419-429

Krippendorff K. (2006), Meanings in the lives of artifacts, in The Semantic Turn: A New Foundation for Design, Taylor & Francis Group, cap.5, pp 177-191

## L

Langella C. (2003), Nuovi paesaggi materici, Alinea Firenze

Laughlin Z. (2008), "Beyond the Swatch: How can the Science of Materials be Represented by the Materials Themselves in a Materials Library?" Ph.D. dissertation, Dept. of Engineering, King's College London

Laughlin Z., Conreen M., Miodownik M.A. (2008), Building a Materials Library using an Isomorphic Methodology, *Materials & Sensations*, pp. 22-24

Lederman S. J., & Klatzky R. L. (2009), Human haptics, in L. R. Squire (Ed. in Chief), *Encyclopedia of neuro science*, vol. 5, pp. 11-18, Academic Press, San Diego

Lerma B., De Giorgi C., Allione C. (2011), Design e materiali: sensorialità, sostenibilità, progetto, Angeli, Milano

Ljungberg L., Edwards K. (2003), Design, Materials Selection and Marketing of Successful Products, *Materials and Design*, 24 (7) 519-29

## M

MacDonald A. (2001), Aesthetic Intelligence: Optimizing User-Centered Design, *Journal of Engineering Design*, 12 (1) 37-45

Majocchi S. (2012), Arduino uno: programmazione avanzata e libreria di sistema, Vispa, Gallarate

Malinen T., Mikkonen T., Tienvieri V., Vadén T., (2011), Community created open source hardware: A case study of "eCars — Now!", *First Monday*, Volume 16, Number 5

Manzini E. (1990), *Artefatti: verso una nuova ecologia dell'ambiente artificiale*, DA, Milano

Manzini E. (1986), *La Materia Dell'Invenzione: Materiali e Progetto*, Arcadia, Milano

Manzini E. (1989), "La pelle degli oggetti", in *Ottagono*, n.87, pp. 62-70

Marazzi A. (2010), *Antropologia dei sensi*, Carocci, Roma

Mariani L. (2012), Laser mark, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano

Margolis M. (2013), *Arduino: progetti e soluzioni, Tecniche nuove*, Milano

Massironi M. (1998), *Fenomenologia della percezione visiva*, Il Mulino, Bologna

Mazzeo M. (2003), *Tatto e linguaggio*, Editori riuniti, Roma

McCue (2012), 3D Printing Industry Will Reach \$3.1 Billion Worldwide by 2016 *Forbes*

Mikkonen T., Vadén T., Vainio N. (2007), The Protestant ethic strikes back: Open source developers and the ethic of capitalism, *First Monday*, Volume 12, Number 2

Miodownik M.A. (2007), Toward designing new sensoaesthetic materials, in *Pure Appl. Chem.*, vol. 79, n. 10, pp. 1635-1641

Miller, E. A., (1972), Interaction of vision and touch in conflict and nonconflict form perception tasks, *Journal of Experimental Psychology*, vol. 96, pp. 114-123

Moholy-Nagy L. (1963), *Dal materiale all'architettura*, Sergio Los (Eds.), Istituto Universitario di Architet-

tura, Istituto di Tecnologia, Venezia

Moilanen, Jarkko (2011), Peer production communities survey 2011, in *Statistical studies of peer production*

Mono R. (1997) *Design for Product Understanding: The Aesthetics of Design from a Semiotic Approach*, Skogs Boktryckeri AB, Sweden

## N

Nefs H. (2008), *On The Visual Appearance of Objects, Product Experience*, H. Schifferstein , P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam, pp 11-36

Negri Dellantonio F. (a cura di) (1994), *Fisiologia e psicologia delle sensazioni*, Carrocci, Roma

## O

Ostuzzi F. (2009). *Gli oggetti in crisi*, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano

Ozacan E., van Egmond R. (2004), "Pictograms for sound design: a language for the communication of product sounds", in *Proceedings of 4th International Conference on Design & Emotion*, Ankara, Turkey

## P

Pallasmaa J. (2009), *The thinking hand*, Wiley & Sons, UK

Petrillo A. (1989), Il progetto della materia, in *Otagono*, n.89, p.62

Petrillo A. (1991), I materiali del progetto, I linguaggi della sensorialità, in *Area*, n.6, p.109

Power N. (2007), "Sensing things: Merlau-Ponty, Synaesthesia & Human-Centredness", in *International Association of Societies of Design Research*, Hong Kong, pp.1-12

## R

Riccò D. (1999), *Sinestesie per il design*, Etas Libri, Milano

Rifkin J. (2011), *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World*, Palgrave Macmillan

Riva F. (2014), *Superfici in attesa*, Tesi di Laurea Specialistica, Politecnico di Milano

Ri-valutare l'errore, *Ilywords*, Numero 26, Trieste, 2009

Rognoli V. (2004), *I materiali per il design: un atlante espressivo sensoriale*, Unpublished PhD Thesis, Facoltà del Design, Politecnico di Milano

Rognoli V. (2010), A broad survey on expressive-sensorial characterization of materials for design education, *METU JFA*, vol 27, n 2, pp 287-300

Rognoli V., Levi M. (2004), *Materiali per il design: espressività e sensorialità*, Polipress, Milano

Rognoli V. and Levi M. (2004a), "Emotions in Design through Materials: An Expressive- Sensorial Atlas as a Project Tool for Design of Materials Turkey", *4th International Conference on Design and Emotion*, Ankara, Turkey



Rognoli V., Levi M. (2004b), How, What and Where is it Possible to learn Design Materials?, Proceedings of The Changing Face of Design Education, University of Technology, Delft, pp 647-654

Rognoli V., Levi M. (2011), Il senso dei materiali per il design, Franco Angeli, Milano

## S

Salvia G., Rognoli V., Levi M. (2010), "Sensorial profile anticipation by engineering objective methods for competitiveness in textile field", in Proceedings of the TMCE 2010, Ancona, Italy

Sapuan S. (2001), A Knowledge-Based System for Materials Selection in Mechanical Engineering Design. Materials and Design, n. 22, pp. 687-95

Schifferstein H.N.J., Smeets M.A.M. (2006), Towards the assessment of perceptual style, in Proceedings of 5th International Conference on Design & Emotion, Goteborg, Sweden

Schifferstein H.N.J., Desmet P.M.A. (2008), Tools Facilitating Multi-sensory Product Design, The Design Journal, vol. 11, n. 2, pp. 137-158

Schifferstein H., Spence C. (2008), Multisensory Product Experience, Product Experience, H. Schifferstein, P. Hekkert, eds., Elsevier, Amsterdam; 133-54

Schifferstein, H.N.J. (2009), "The Drinking Experience: Cup or Content?", Food Quality and Preference, vol. 20, pp. 268-276

**Sherman, Manolis L. (2004), 3D Printers Lead Growth of Rapid Prototyping, in Plastics Technology**

Sonneveld M. (2004), "Dreamy Hands: Exploring Tactile Aesthetics in Design ", in McDonagh D., Hekkert P., Van Erp J., Gyi D. (eds.), Design and Emotion, the Experience of Everyday Things, Taylor & Francis, London

Sonneveld M. (2007), Aesthetics of Tactile Experiences, unpublished Ph.D. thesis, Faculty of Industrial Design Engineering, TUDelft

## V

Van Egmond R. (2008) "The Experience of Product Sound", in Schifferstein, H.N.J., Hekkert, P. (Eds.), Product Experience, Elsevier, Amsterdam

Van Kesteren I. (2010), A user-centred materials selection approach for product designers, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27, n°2, pp 321-338

Vance A. (2012), 3D Printers: Make Whatever You Want, Businessweek

Vink, Erwin et alii (2002), "Applications of life cycle assessment to NatureWorks polylactide (PLA) production NTR", in Polymer of Stability and Degradation.

## W

Wick R.K. (2000), Teaching at the Bauhaus, Hatje Cantz, Ostfildern-Ruit

Wongsriuksa S., Howes, P., Conreen M., and Miodownik M. (2012), The use of physical property data to predict the touch perception of materials, Materials & Design Vol 42, Pages 238-244

## Z

Zuo H., Jones M., Hope T. (2004), "A matrix of material representation", in Proceeding of International Conference Futureground, Melbourn

Zuo H., Jones M., Hope T., Castle P. (2004a), "Sensory interaction with materials", in Mc Donagh D., et al. (eds.), Design and Emotion, Taylor&Francis, London, UK, pp. 223-227

Zuo H., Hope T., Castle P., Jones M. (2005), Material Texture Perception in Product Design, Proceedings of International Conference on the Art of Plastics Design, Paper 5, Rapra Technology Ltd., Shrewsbury

Zuo H. (2010), The selection of materials to match human sensory adaptation and aesthetic expectation in industrial design, in METU Journal of the Faculty of Architecture, vol.27 n.2, pp. 301-319

# Sitografia

<http://www.123dapp.com>

<https://www.123dapp.com/design>

<http://www.3dcadbrowser.com>

<http://www.3ders.org/articles/20120101-experiment-polycarbonate-with-diy-3dprinter>

<http://www.3ders.org/articles/20130204-wood-filament-laywoo-d3-suppliers-and-pricecompare.html>

<http://www.3ders.org/articles/20131222-printing-porous-and-fibrous-3d-objects-with-new-filament-line-poro-lay.html>

<http://www.3ders.org/pricecompare/3dprinters/>

<http://www.3dsystems.com>

<http://www.3dvia.com/users/models>

## A

<http://arduino.cc>

<http://www.autodesk.it/products/autodesk-inventor-family>

## B

[www.blender.org](http://www.blender.org)

<http://boingboing.net>

<http://www.brunomunari.it>

<http://www.businessweek.com/articles/2012-04-26/3d-printers-make-whatever-you-want>

## C

<http://cba.mit.edu/>

<https://choceedge.com/>

<http://www.ctheory.net/articles.aspx?id=499>

<http://cubify.com>

## D

<http://designinsite.dk>

## E

<http://www.economist.com/node/21553017>

[http://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_printing](http://en.wikipedia.org/wiki/3D_printing)

[http://en.wikipedia.org/wiki/STL\\_\(file\\_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/STL_(file_format))

[http://en.wikipedia.org/wiki/Texture\\_\(visual\\_arts\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Texture_(visual_arts))

## F

<http://www.fabacademy.org/>

<http://fabmetheus.crsndoo.com/wiki/index.php/Skeinforge>  
<http://www.filaco.com/product-info/>

<http://firstmonday.org/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/viewArticle/1623/1538>

<http://firstmonday.org/htbin/cgiwrap/bin/ojs/index.php/fm/article/viewArticle/3357/2951>

<http://www.forbes.com/sites/tjmccue/2012/03/27/3d-printing-industry-will-reach-3-1-billion-worldwide-by-2016/>

<http://www.formfutura.com>

<http://www.freecadweb.org>

## G

<http://www.gnu.org/licenses/gpl.html>

<http://grabcad.com/library>

## I

<http://www.idemat.nl>

<http://www.instituteofmaking.org.uk/blog/2012/07/materials-and-touch>

<http://it.materialconnexion.com>

[http://it.wikipedia.org/wiki/Acido\\_polilattico](http://it.wikipedia.org/wiki/Acido_polilattico)

[http://it.wikipedia.org/wiki/Campione\\_\(scienze\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Campione_(scienze))

[http://it.wikipedia.org/wiki/Costruttore\\_universale\\_di\\_Von\\_Neumann](http://it.wikipedia.org/wiki/Costruttore_universale_di_Von_Neumann)

<http://it.wikipedia.org/wiki/Maker>

[http://it.wikipedia.org/wiki/Open\\_source](http://it.wikipedia.org/wiki/Open_source)

[http://it.wikipedia.org/wiki/Processo\\_di\\_produzione\\_industriale](http://it.wikipedia.org/wiki/Processo_di_produzione_industriale)

[http://it.wikipedia.org/wiki/Progetto\\_RepRap](http://it.wikipedia.org/wiki/Progetto_RepRap)

<http://it.wikipedia.org/wiki/Tatto>

[http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_di\\_riferimento\\_cartesiano](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_riferimento_cartesiano)

[http://it.wikipedia.org/wiki/Vista\\_\(senso\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Vista_(senso))

## K

<http://kisslicer.com>

## M

<http://www.makerbot.com>

<http://www.makerbot.com/makerware/>

<http://www.makerfairerome.eu/chi-sono-i-makers/>

<http://makezine.com>

<http://materialstories.com>

<http://www.matweb.com>

## N

[http://news.thomasnet.com/IMT/archives/2004/03/materials\\_cent.html](http://news.thomasnet.com/IMT/archives/2004/03/materials_cent.html)

## O

<http://www.openscad.org>

<http://www.opensource.org/docs/definition.php>

## P

[www.piulab.it](http://www.piulab.it)

<http://pixologic.com/sculpttris>

<http://www.plastink.com/it>

## R

<http://www.repetier.com>

<http://replicat.org/>

<http://reprap.org/wiki/ABS>

<http://www.reprap.org/wiki/Glossary>

<http://reprap.org/wiki/PLA>

<http://reprap.org/wiki/Printrun>

<http://reprap.org/wiki/Polycarbonate>

<http://reprap.org/wiki/RepRap>



S

[http://www.sensorsociety.org/ssp/wiki/Quantitative\\_Descriptive\\_Analysis/http://www.shapeways.com](http://www.sensorsociety.org/ssp/wiki/Quantitative_Descriptive_Analysis/http://www.shapeways.com)

<http://www.sketchup.com>

<http://sketchup.google.com/3dwarehouse>

<http://slic3r.org>

<http://www.stratasys.com>

<http://studiolab.io.tudelf.nl/id4250/shopkeeper/mariekesonneveld>

<http://surveys.peerproduction.net/2012/02/peer-production-communities-survey-2011>

T

<http://it.wikipedia.org/wiki/Tassonomia>

<http://www.taulman3d.com/618-specifications.html>

[http://www.ted.com/talks/lang/it/neil\\_gershenfeld\\_on\\_fab\\_labs.html](http://www.ted.com/talks/lang/it/neil_gershenfeld_on_fab_labs.html)

<http://www.thingiverse.com>

[http://www.treccani.it/magazine/piazza\\_enciclopedia\\_magazine/tecnologia/Le\\_fabbriche\\_del\\_futuro.html](http://www.treccani.it/magazine/piazza_enciclopedia_magazine/tecnologia/Le_fabbriche_del_futuro.html)

V

<http://vitruviusfablab.iscte-iul.pt/en/do>

W

<http://www.wakehealth.edu/WFIRM>

<http://www.wasproject.it/w/category/stampa-argilla/>

<http://wiki.solidoodle.com/glossary>

<http://wiki.ultimaker.com/Cura>

<http://www.wired.it>

<http://wohlersassociates.com>