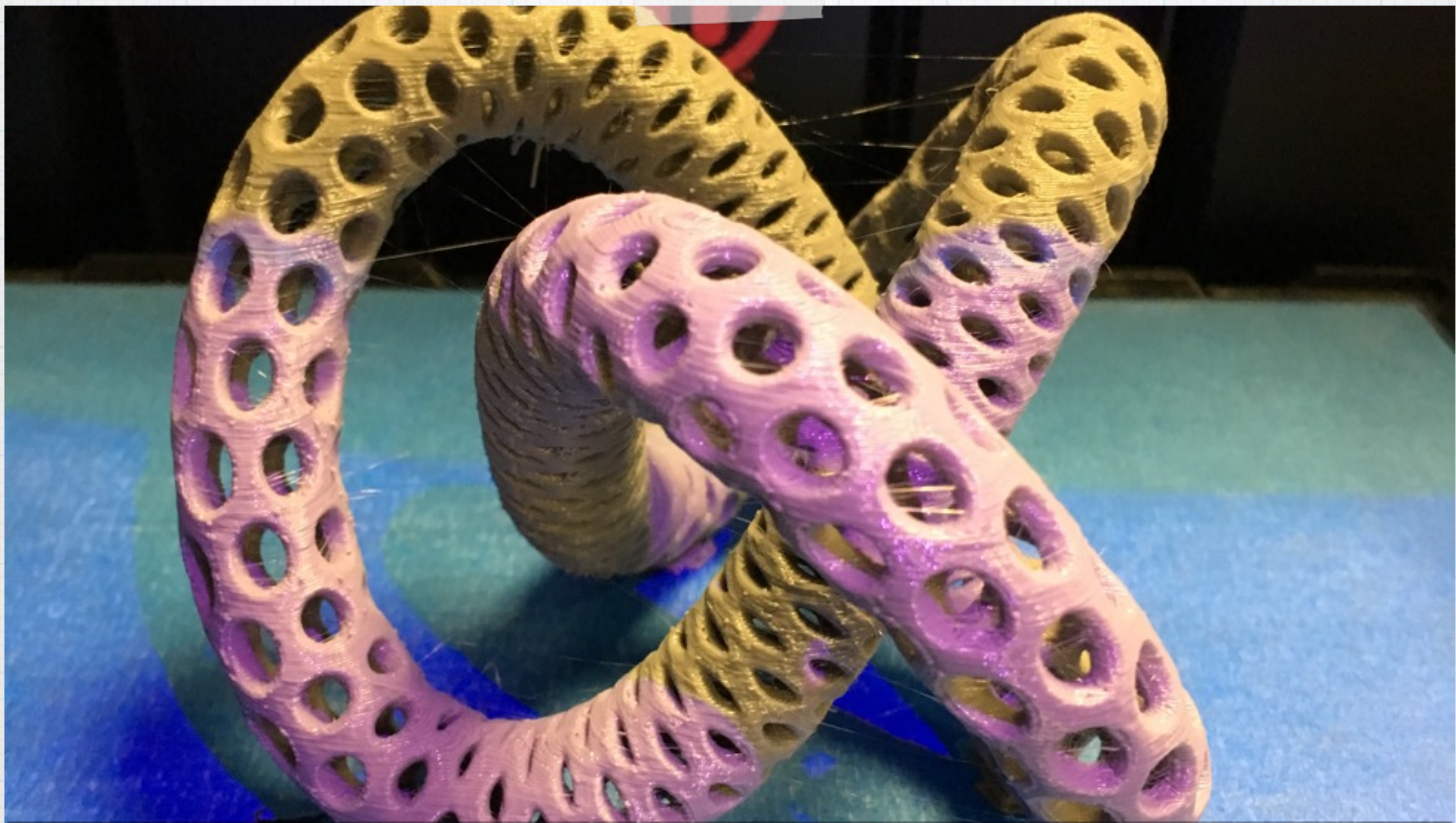


Oggetti che si possono realizzare *esclusivamente* con stampa 3D: un diverso approccio alla modellazione

Carlo Fonda – cfonda@ictp.it
ICTP Scientific FabLab – scifablab.it
International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy





3D printing: limits

- any 3D-printed object is an approximation, because of the digital-to-analog conversion (sampling problem) –*true for all 3DP technologies*:
 - limited precision and resolution
- physical limits (*related to the material/technology*):
 - non-isotropy of characteristics due to layering (e.g.: lower mechanical resistance along Z axis)

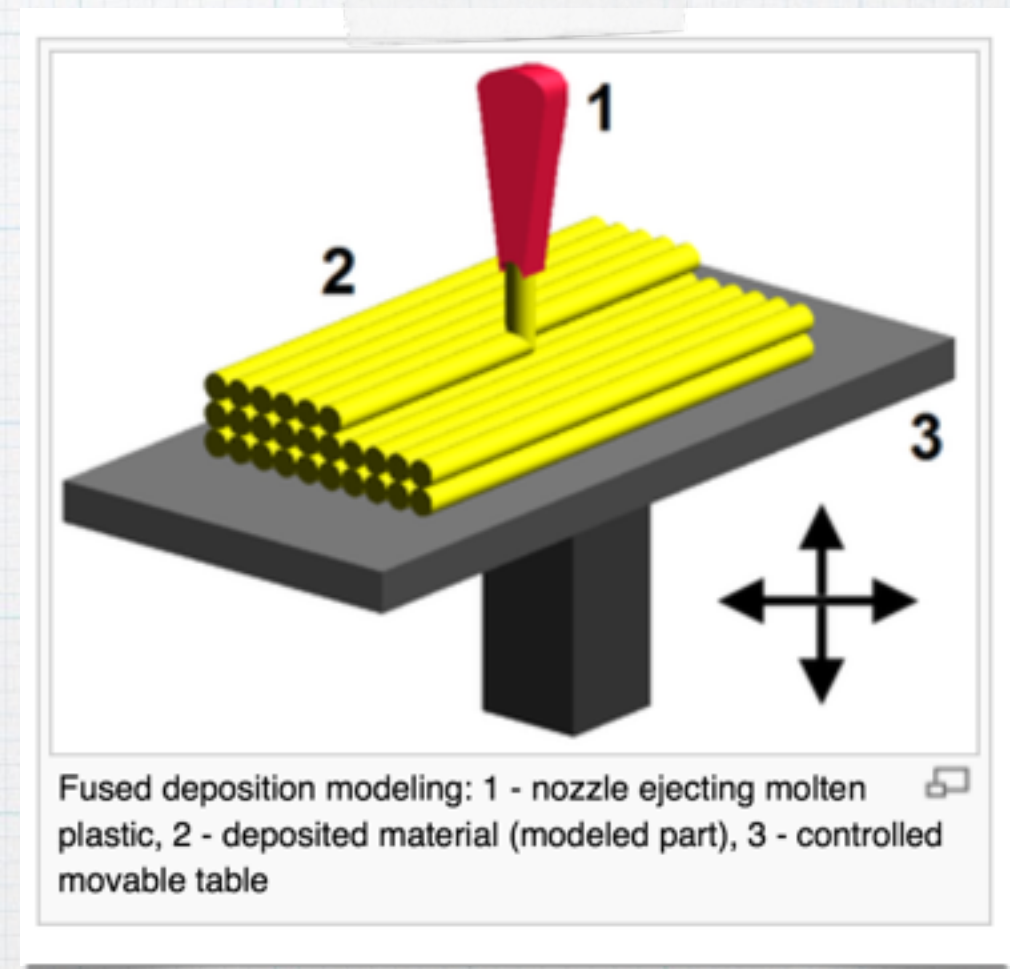
Many 3Dp technologies

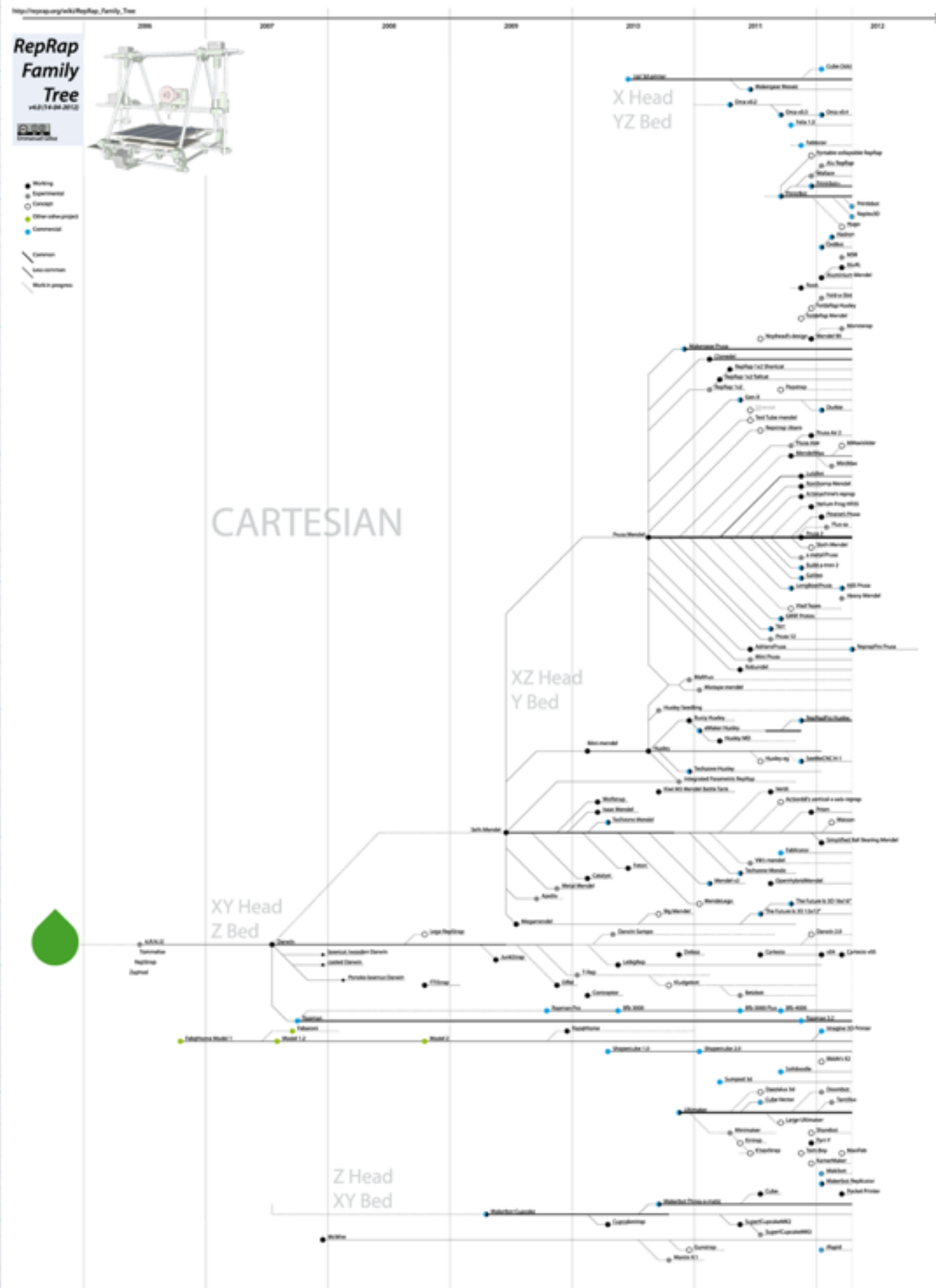
A (possible) categorization by material (thanks Ivan!):

- powder (self-supported, metal sintering, fast, cavities need holes, very expensive)
- liquid (optical –high precision, light-controlled polymerization –special resins, expensive)
- solid (FDM, support is needed, pointed tips/cuspids are hard, wide choice of polymers, unexpensive)

Fused Deposition Modeling (FDM)

- 3D printing is an *additive manufacturing* technology, opposed to the older *subtractive manufacturing* machining systems like milling machines/CNC, etc.
- The most affordable 3D printing technology is FDM: it uses molten plastic extruded through a nozzle. The nozzle or the object (or more often both) are moved along the three axes X,Y,Z.





DIY 3D Printing Mechanics



- Building things with a hot-melt glue gun
 - A very **small** glue gun: nozzle 0.2 to 0.6 mm dia
 - A very **hot** glue gun: 190 to 230 °C = 350 to 450 °F

<http://www.thingiverse.com/thing:2064>

6

Cartesian Coordinates

- Z Axis
 - +Up -Down
- X Axis
 - +Right -Left
- Y Axis
 - +Back -Front
- A Axis
 - Filament drive!



<http://www.thingiverse.com/thing:2064>

7

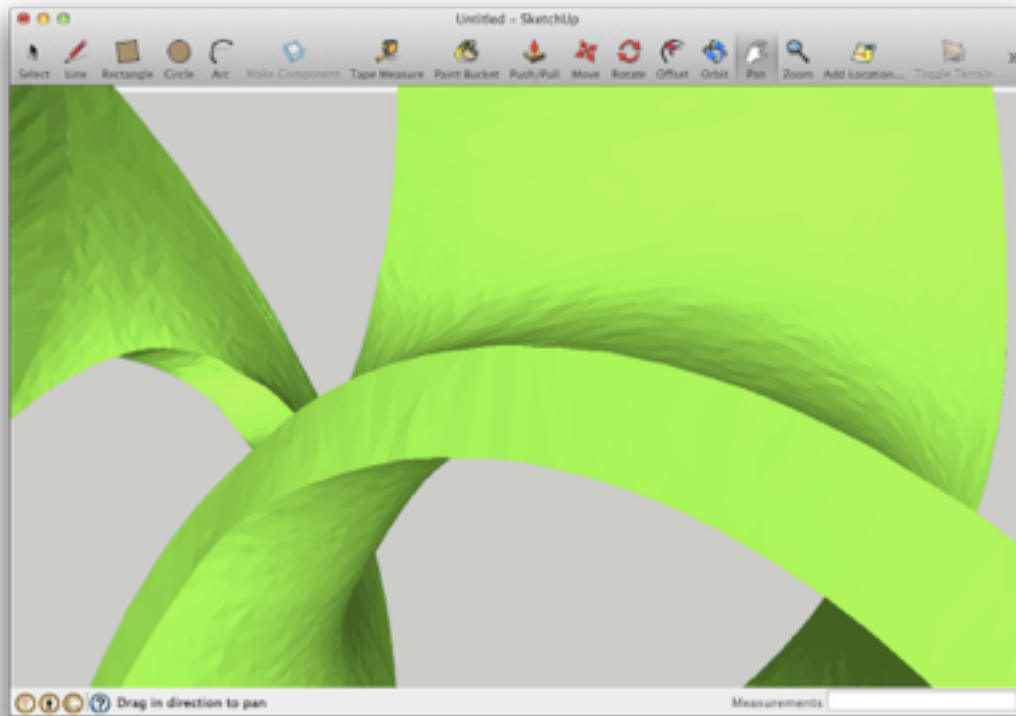
3D Printing Mechanics

- Z Axis stage
 - Filament drive = A Axis
 - Extruder "Hot End"
 - Nozzle
- X and Y Axis Stages
 - Heated build plate(s)
 - Automated belt (?)
- Build Chamber
 - LED strip lighting!

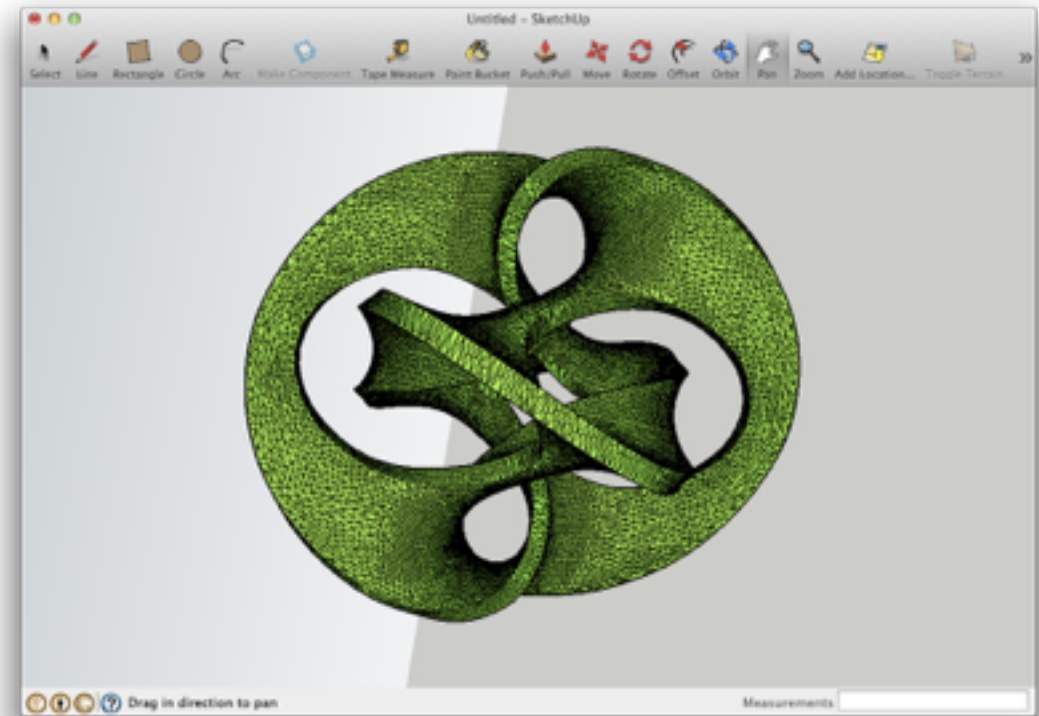


8

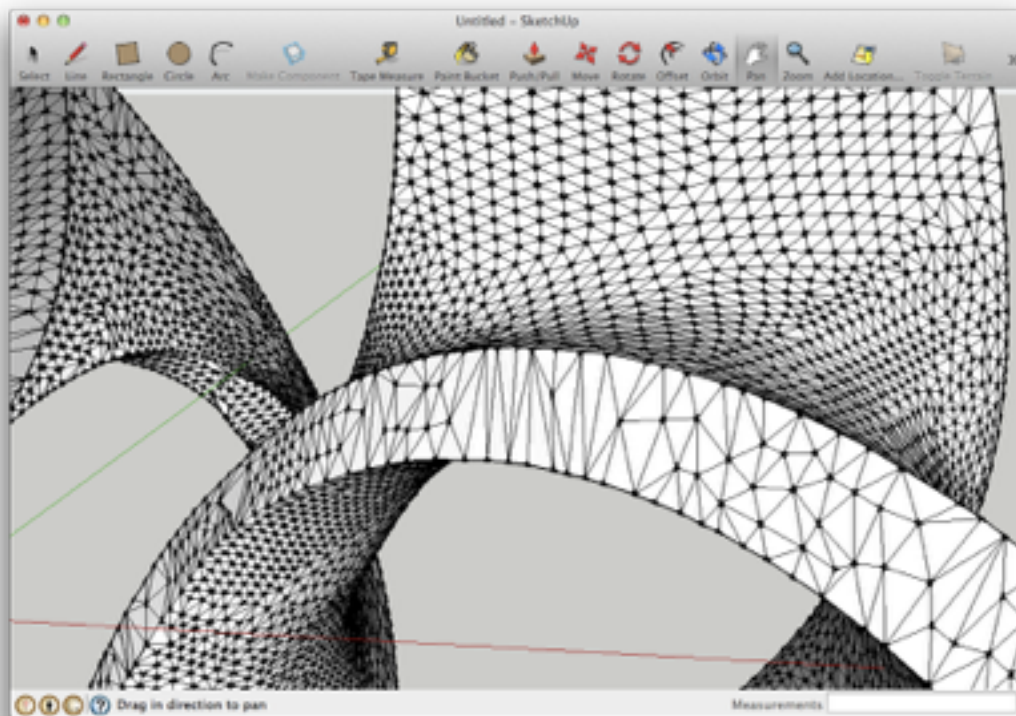
3D model (detail):



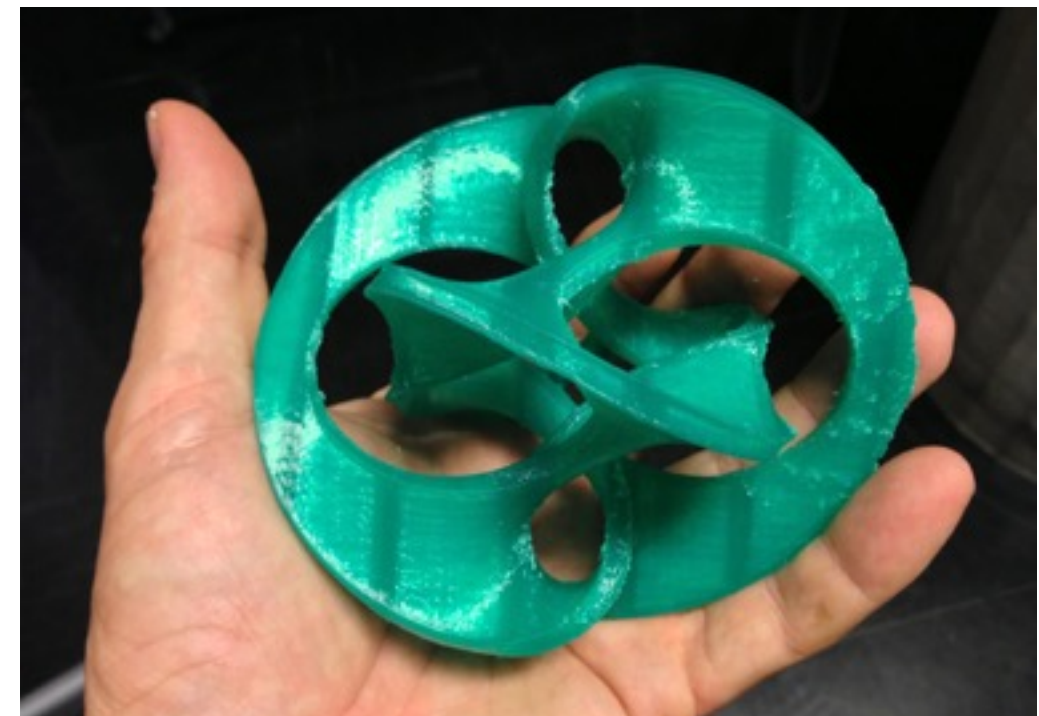
3D model, mesh:

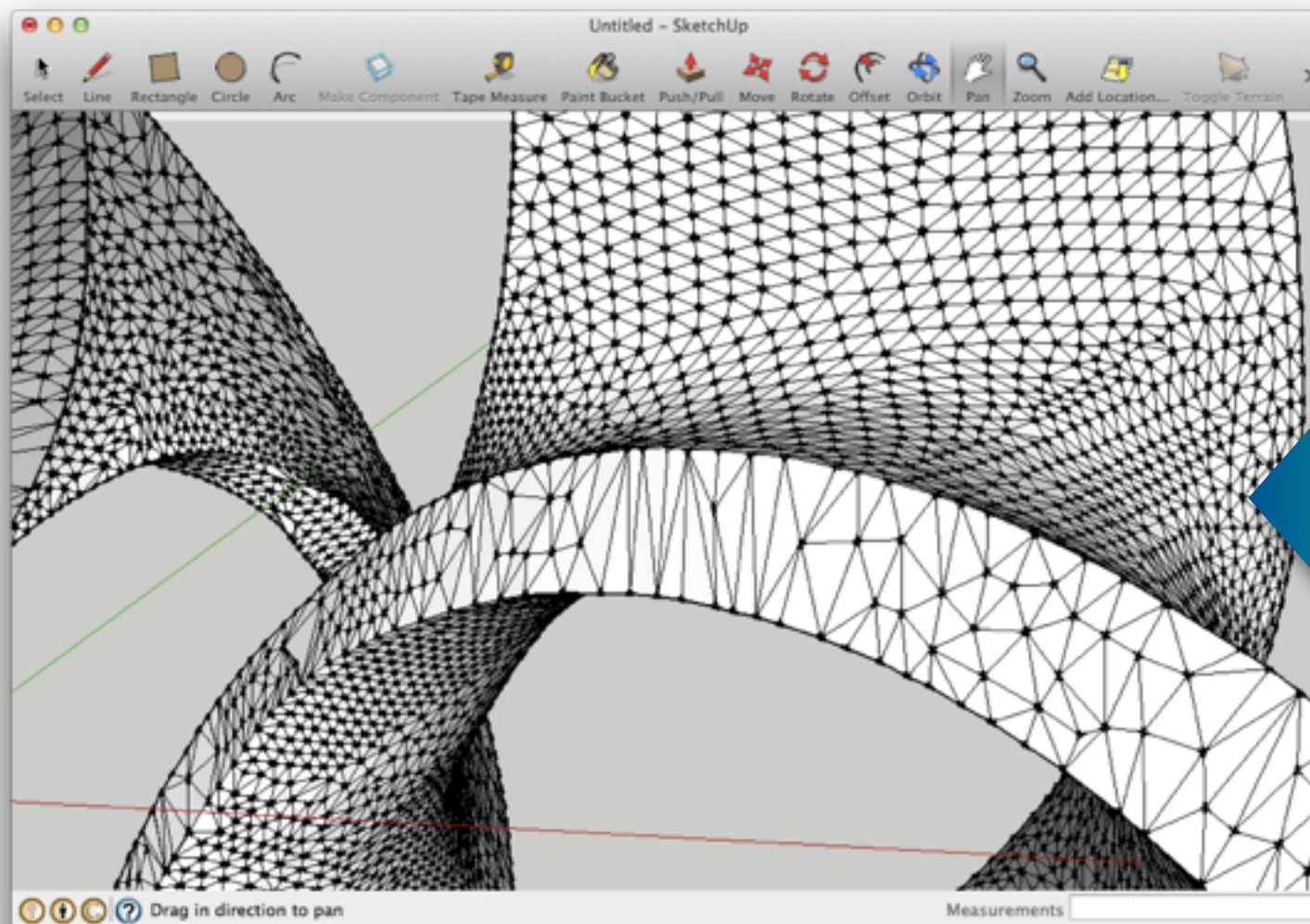


mesh (detail):



printed object:





```
!109 S200 ; wait for temperature to be reached
;90 ; use absolute coordinates
;21 ; set units to millimeters
G92 E0
M82 ; use absolute distances for extrusion
G1 F1800.000 E-1.00000
G1 Z0.630
G92 E0
G1 X111.025 Y108.686 F7200.000
G1 Z0.330
G1 F1800.000 E1.00000
G1 X110.405 Y108.956 F900.000 E1.02268
G1 X109.765 Y109.196 E1.04559
G1 X108.785 Y109.476 E1.07977
G1 X107.785 Y109.666 E1.11390
G1 X106.775 Y109.766 E1.14793
G1 X106.095 Y109.776 E1.17074
G1 X105.075 Y109.726 E1.20498
G1 X101.345 Y109.356 E1.33066
G1 X100.665 Y109.266 E1.35366
G1 X99.995 Y109.136 E1.37655
G1 X99.335 Y108.966 E1.39940
G1 X98.685 Y108.756 E1.42231
G1 X97.745 Y108.376 E1.45630
G1 X96.835 Y107.906 E1.49065
G1 X96.255 Y107.546 E1.51354
G1 X95.425 Y106.936 E1.54808
G1 X94.655 Y106.266 E1.58230
G1 X93.955 Y105.526 E1.61646
G1 X93.315 Y104.726 E1.65081
```

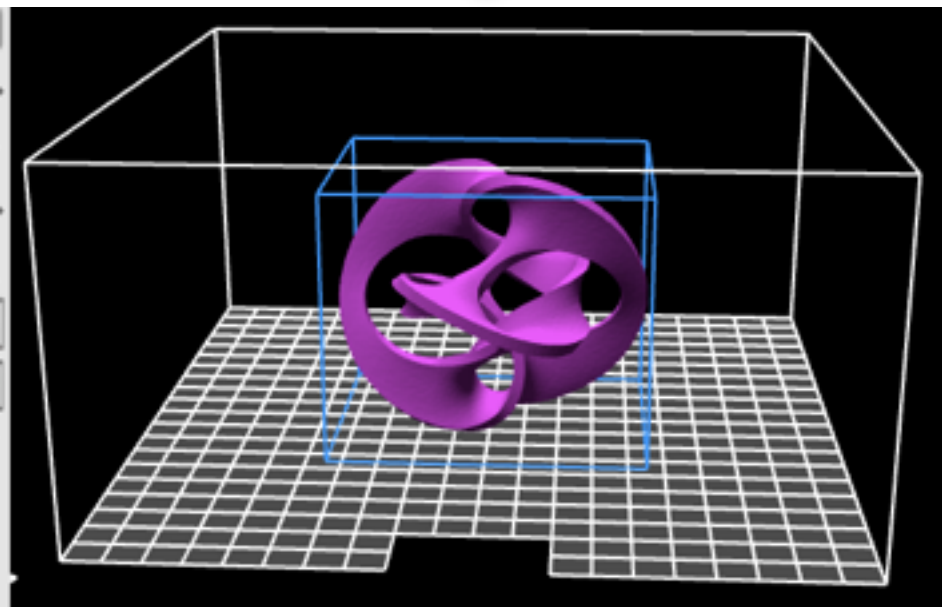
The conversion from **mesh** (3D model, STL/ OBJ format) to **gcode** (instructions for the 3D printer) is called “**slicing**” (in italiano si può tradurre con: *l'azione di “affettare” l'oggetto*)

```

solid vcg
facet normal 1.644528e-01 9.728446e-01 -1.628764e-01
  outer loop
    vertex -2.251450e+01 -1.116070e+01 1.606290e+01
    vertex -2.335270e+01 -1.109470e+01 1.561080e+01
    vertex -2.328920e+01 -1.096510e+01 1.644900e+01
  endloop
endfacet
facet normal -1.989384e-01 2.022959e-01 -9.589056e-01
  outer loop
    vertex -1.090160e+01 5.158700e+00 2.825740e+01
    vertex -1.032000e+01 5.417800e+00 2.819140e+01
    vertex -9.804300e+00 4.709100e+00 2.793490e+01
  endloop
endfacet
facet normal -8.213068e-01 -5.629737e-01 9.228100e-02
  outer loop
    vertex -9.804300e+00 -2.974080e+01 2.793490e+01
    vertex -9.804300e+00 -2.974080e+01 2.793490e+01
    vertex -9.804300e+00 -2.974080e+01 2.793490e+01
  endloop
endfacet

```

STL (vertexes)



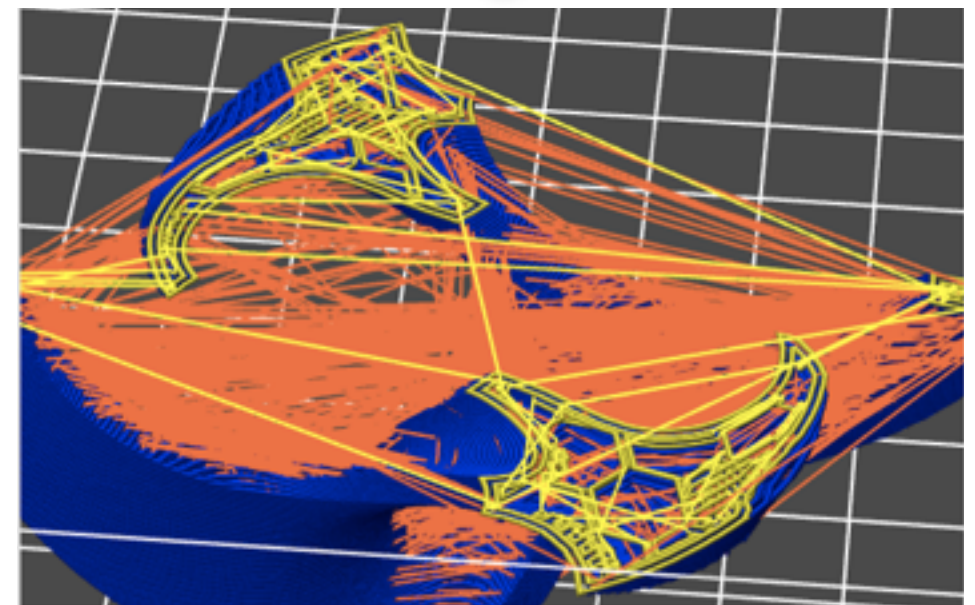
3D model

```

!109 S200 ; wait for temperature to be reached
;90 ; use absolute coordinates
;21 ; set units to millimeters
G92 E0
M82 ; use absolute distances for extrusion
G1 F1800.000 E-1.00000
G1 Z0.630
G92 E0
G1 X111.025 Y108.686 F7200.000
;1 Z0.330
G1 F1800.000 E1.00000
G1 X110.405 Y108.956 F900.000 E1.02268
G1 X109.765 Y109.196 E1.04559
G1 X108.785 Y109.476 E1.07977
G1 X107.785 Y109.666 E1.11390
G1 X106.775 Y109.766 E1.14793
G1 X106.095 Y109.776 E1.17074
G1 X105.075 Y109.726 E1.20498
G1 X101.345 Y109.356 E1.33066

```

g-code (printing instructions)



path of the printing head

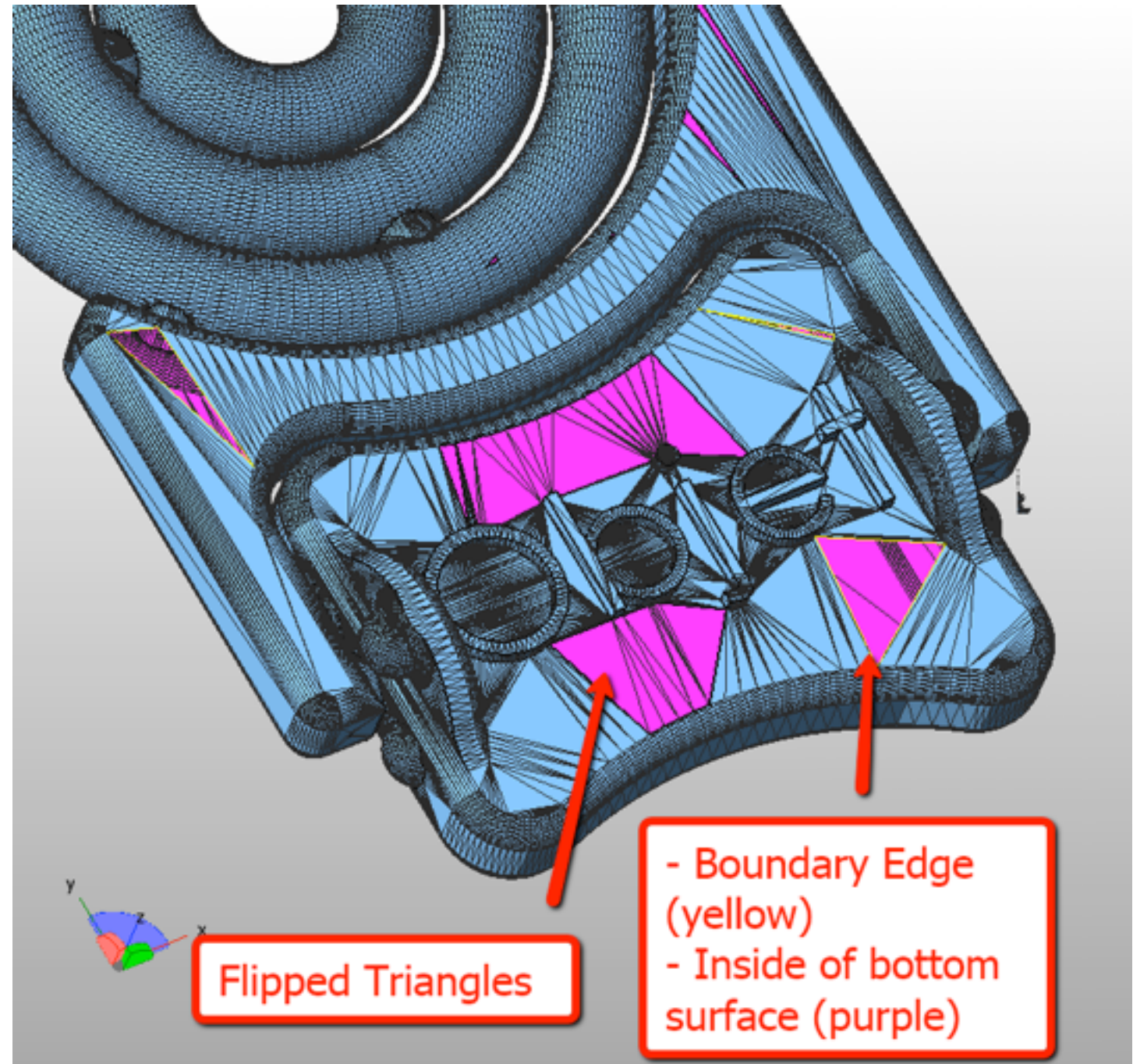


Cosa si può STAMPARE?

(quali sono i limiti delle nostre stampanti 3D di basso costo?)

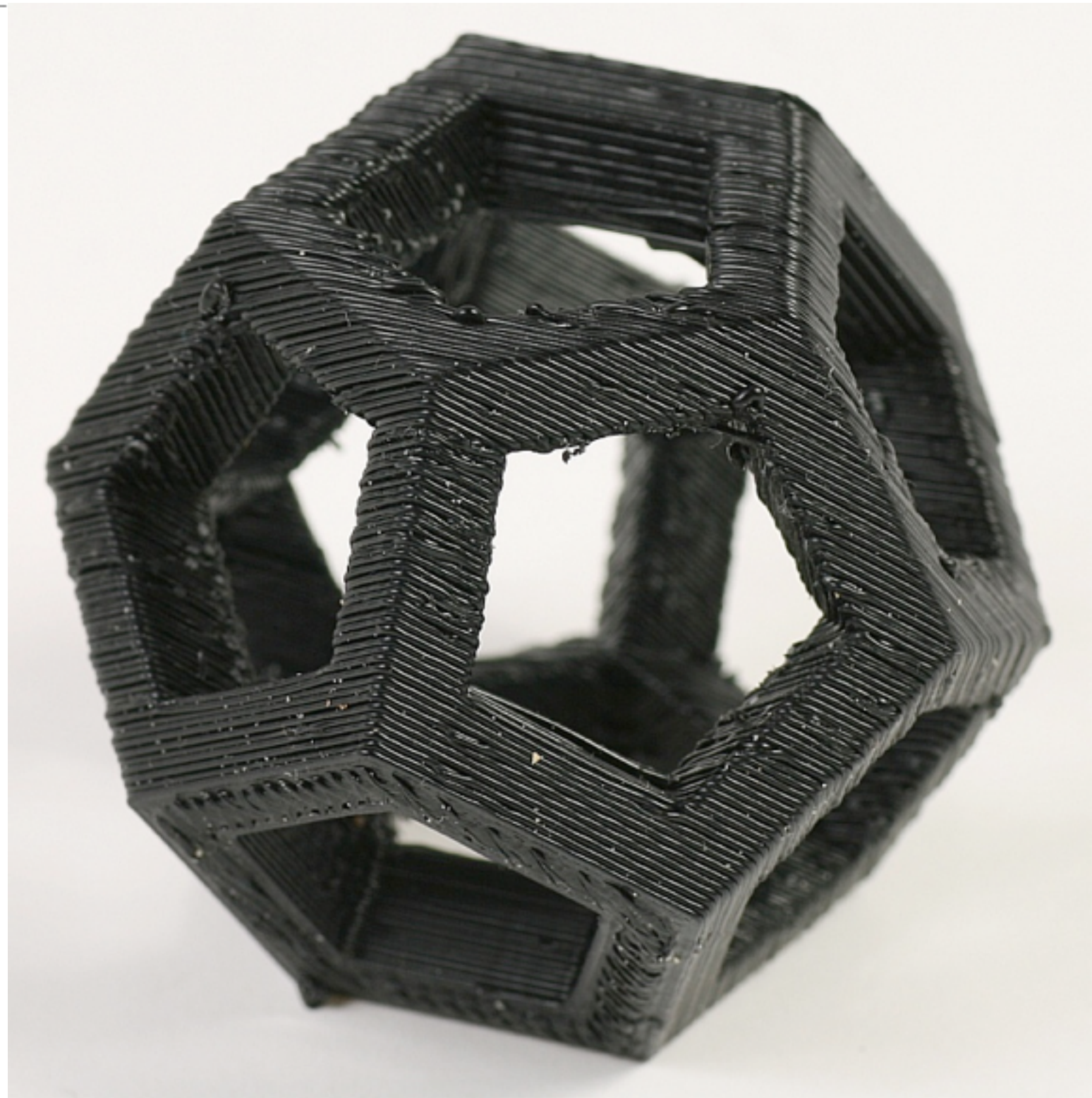
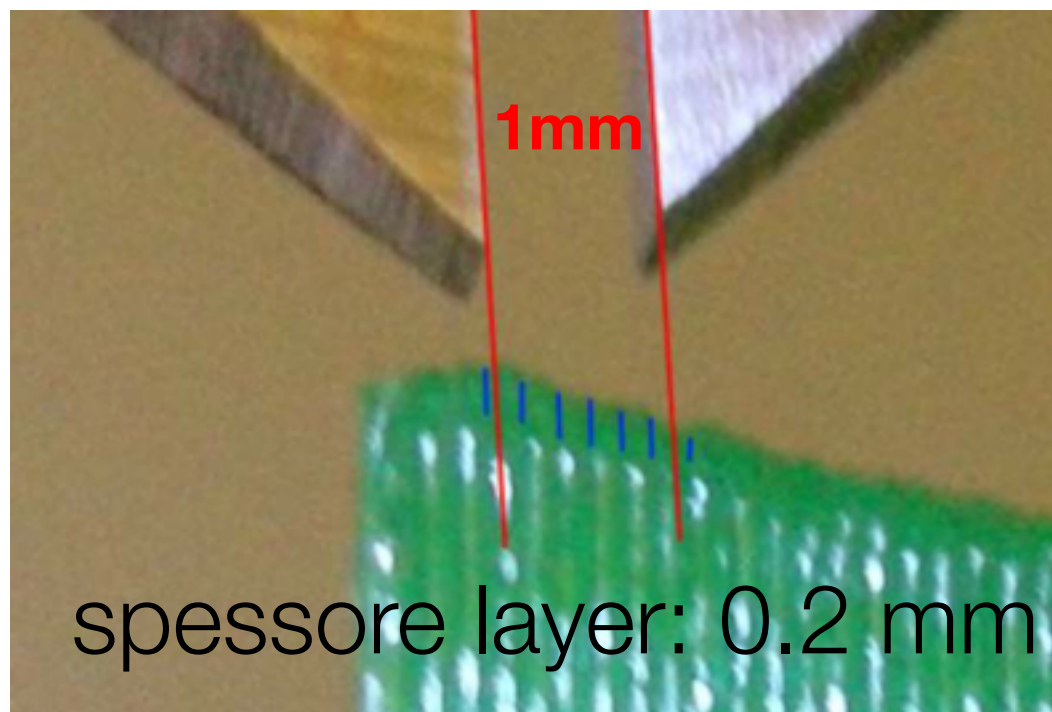
Iniziare con un modello 3D corretto (STL)

- È importante creare una **superficie “a tenuta d’acqua”** per il vostro modello, in modo che la stampante 3D sappia distinguere chiaramente l’interno (che deve essere riempito dal materiale di stampa) dall’esterno. In sunto, “a tenuta d’acqua” significa che **non ci sono buchi, fessure o parti mancanti nella superficie**.
- Altra causa di problemi è una superficie che contiene dei **triangoli a faccia invertita**. Questi devono essere rovesciati per avere il corretto orientamento prima dello slicing.
- Esistono degli strumenti software per tali riparazioni (**netfabb**, **MeshLab**).

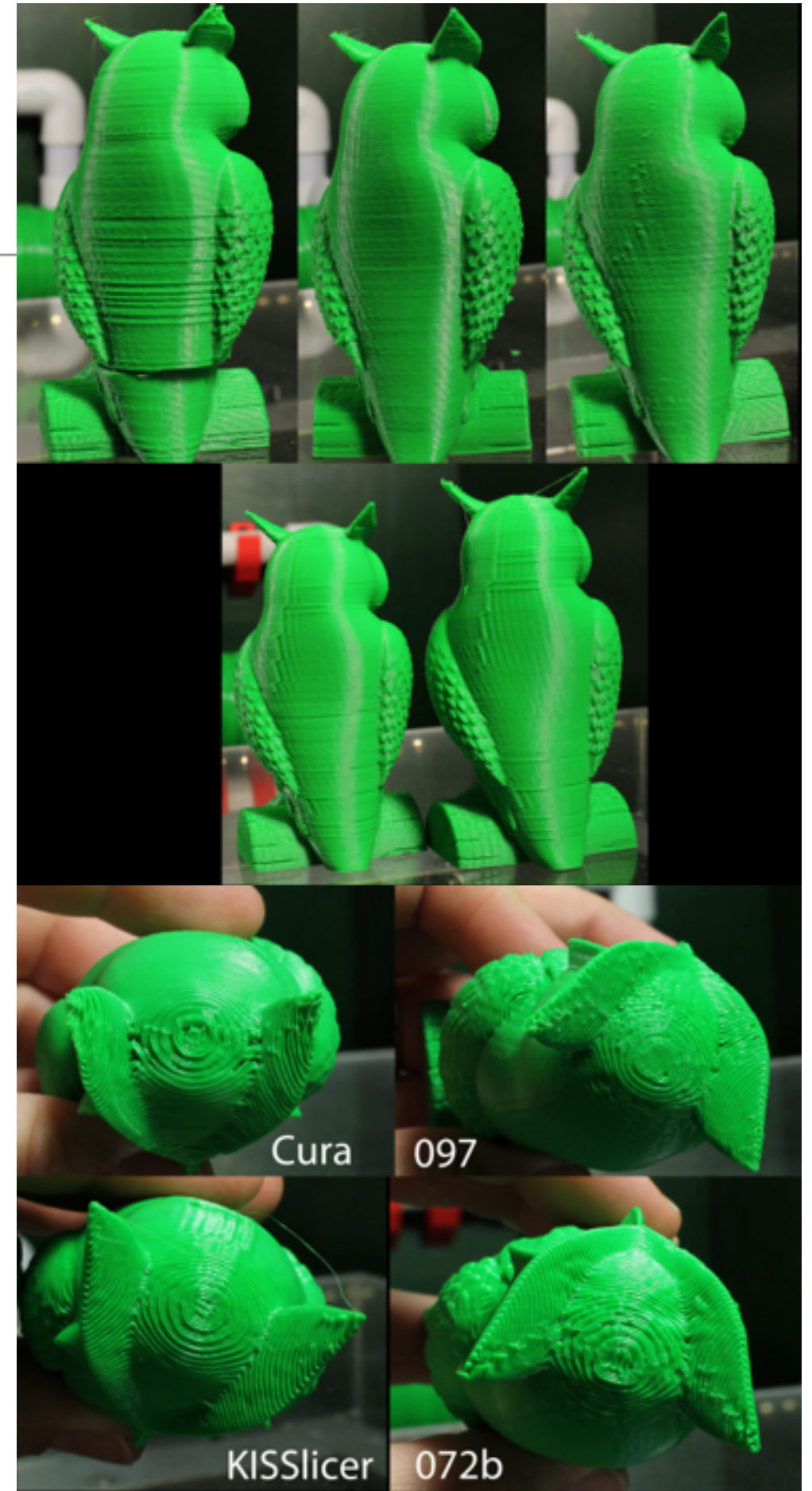
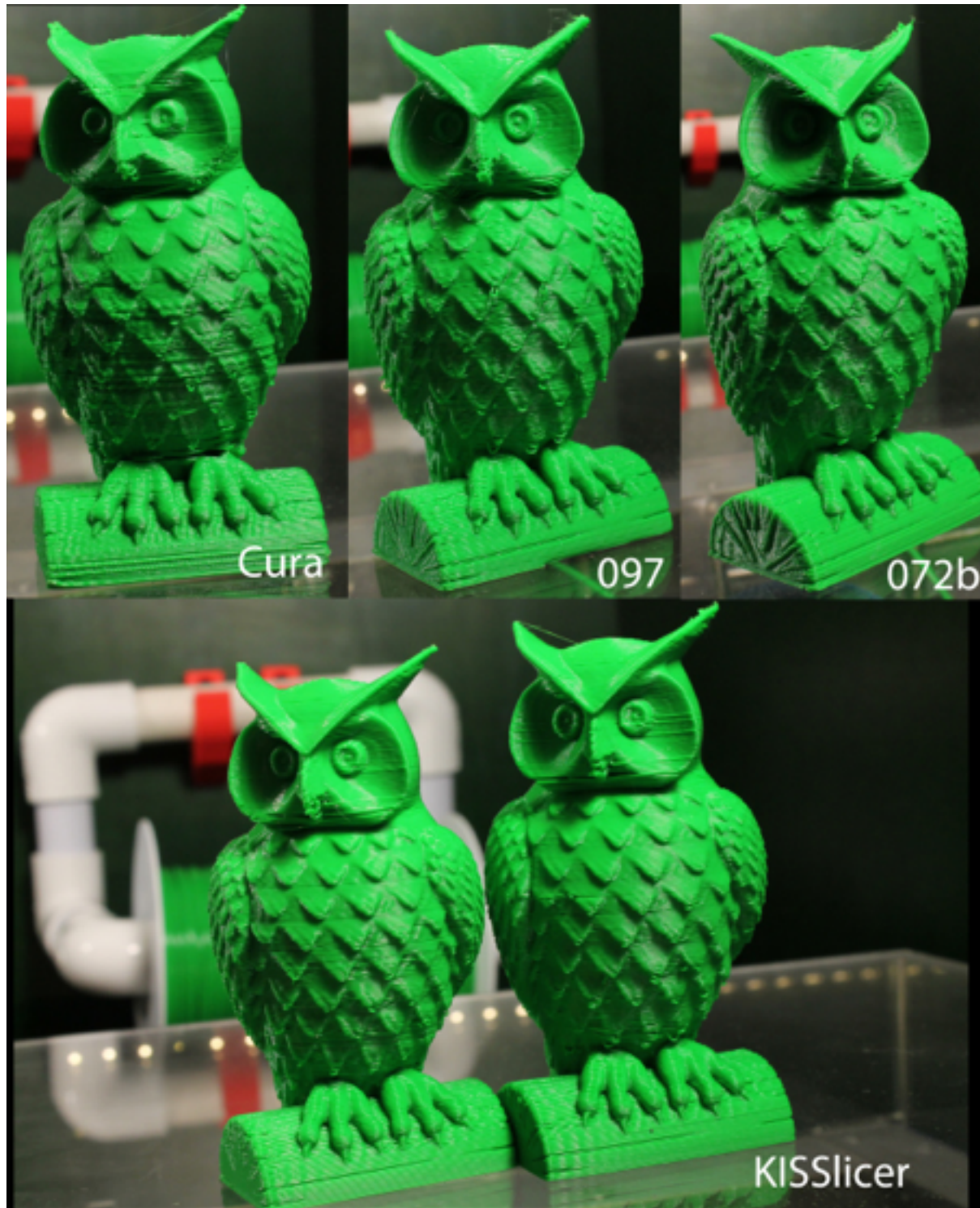


I dettagli che fanno la differenza...

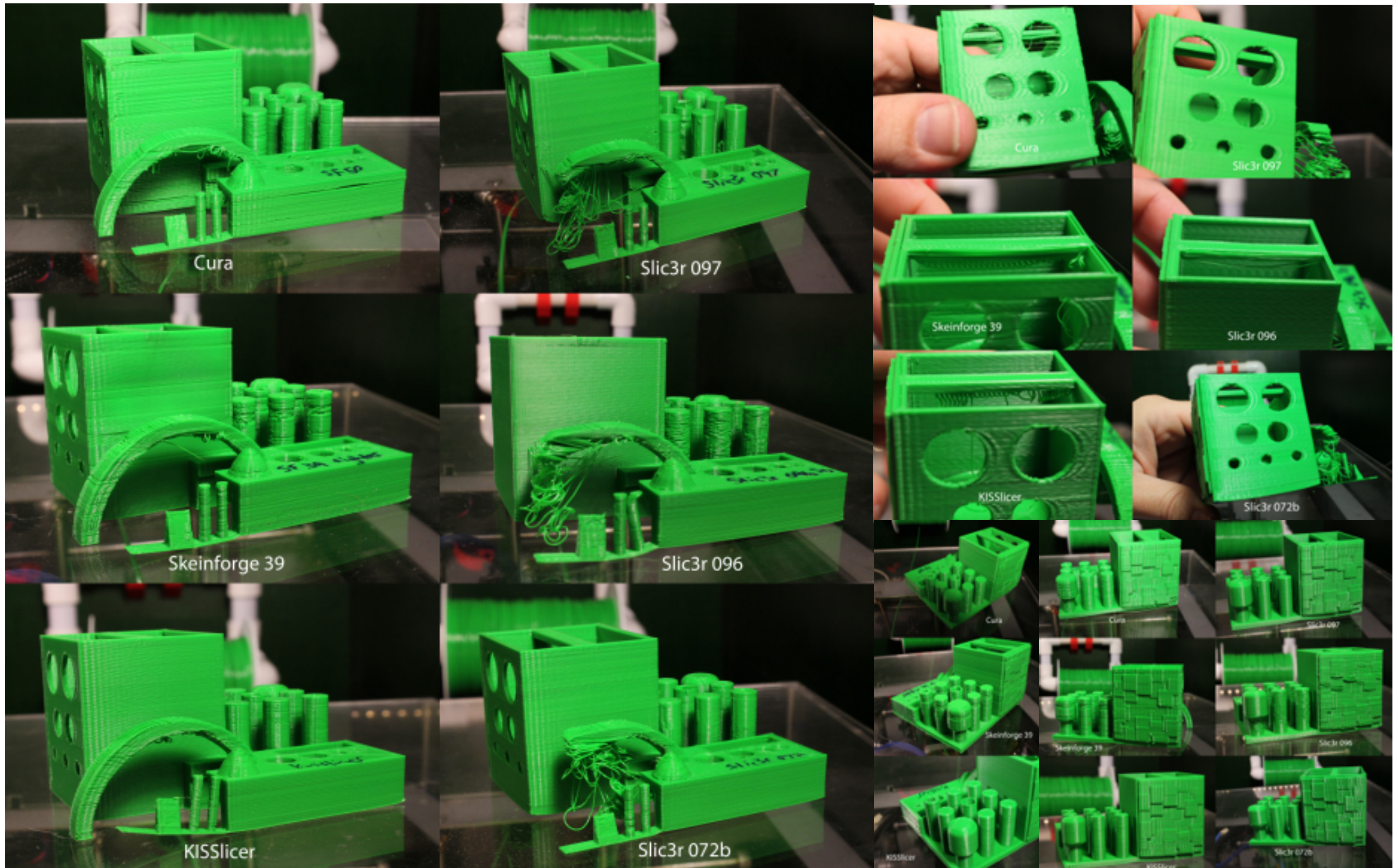
- È difficile stampare dettagli molto piccoli: il diametro del foro dell'ugello è di 0.3–0.5 mm, la risoluzione del movimento della testina/piattaforma è di ~0.1 mm.
- Lo spessore tipico di uno strato (layer) è di 0.2 mm (0.05 – 0.5 mm).



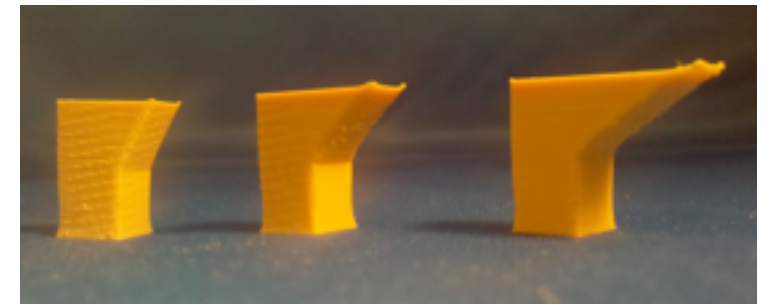
Slicing: arte, scienza, e ...mal di pancia ;-)



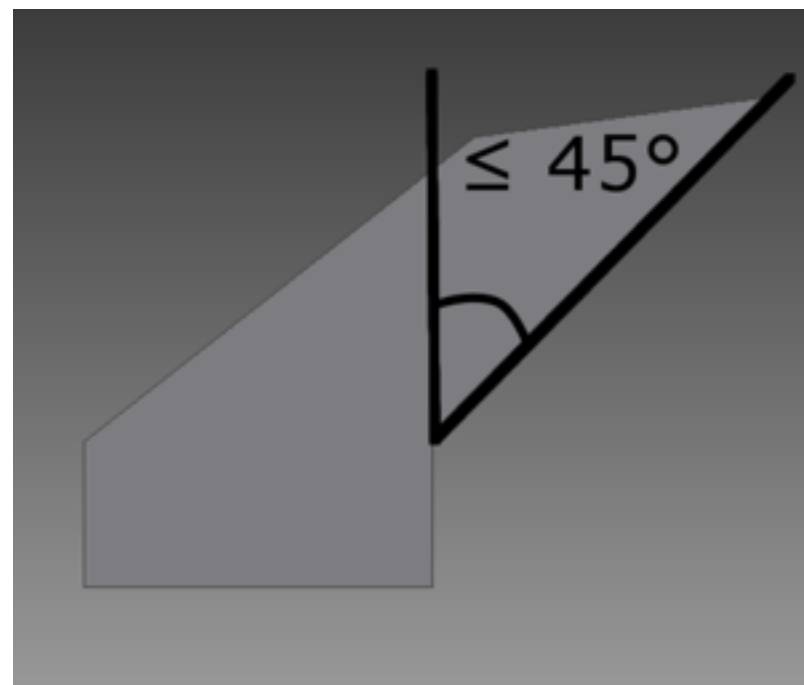
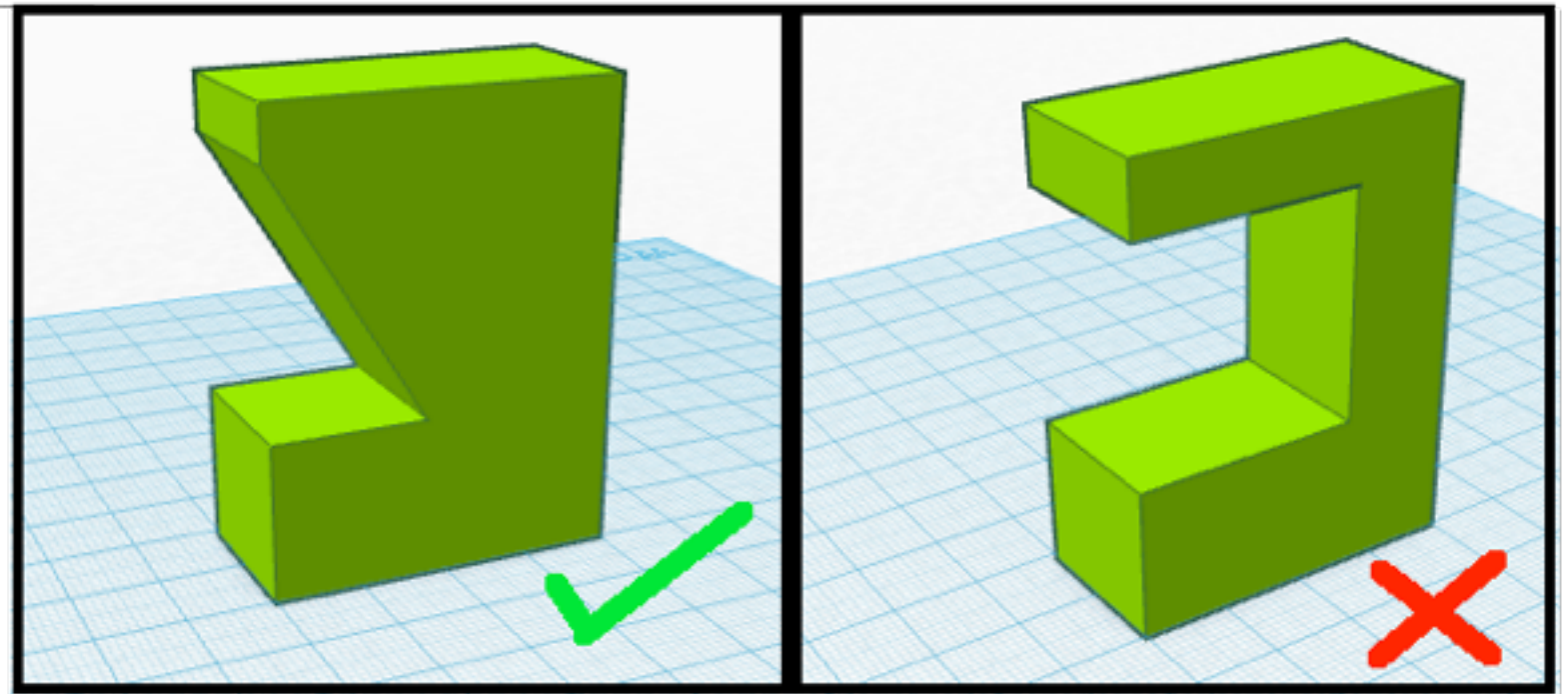
Soluzione: fare molte prove e confrontare i risultati



Attenzione alle sporgenze!

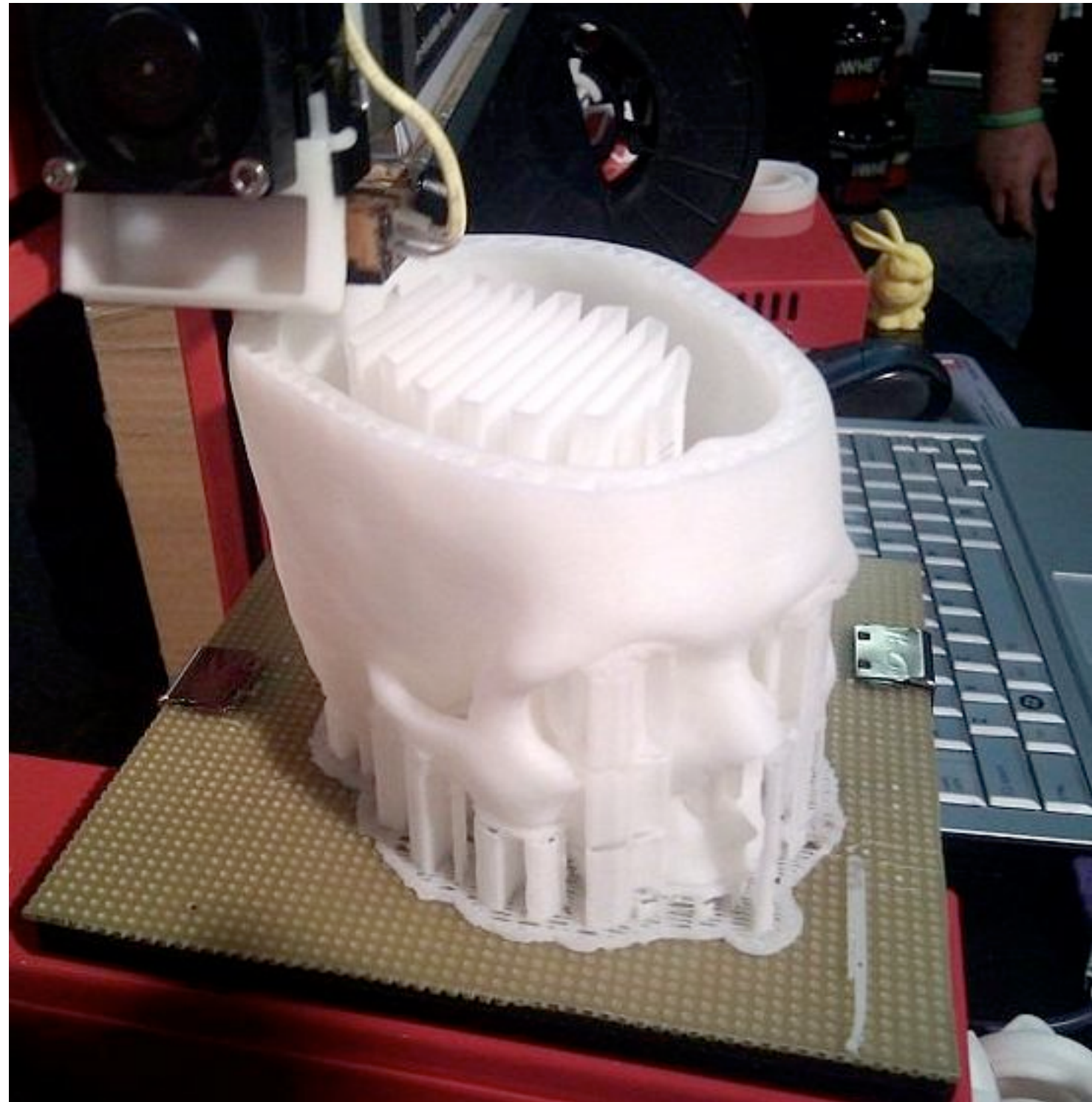


- Le stampanti 3D di solito gestiscono bene le sporgenze fino ai 45 gradi senza trucchi speciali.
- Se possibile, ruotate il modello 3D per minimizzare le parti con sporgenze (prima dello slicing).
- Raffreddate con una ventola la parte durante la stampa, per indurire il filamento appena esce dalla testina (prima che riesca a colare e rovinare la stampa).
- Attivate l'uso del supporto nel software di slicing. Ciò è inconveniente perché si utilizza più plastica, la stampa richiede più tempo, e dovrete poi rimuovere la plastica di supporto con una lama.

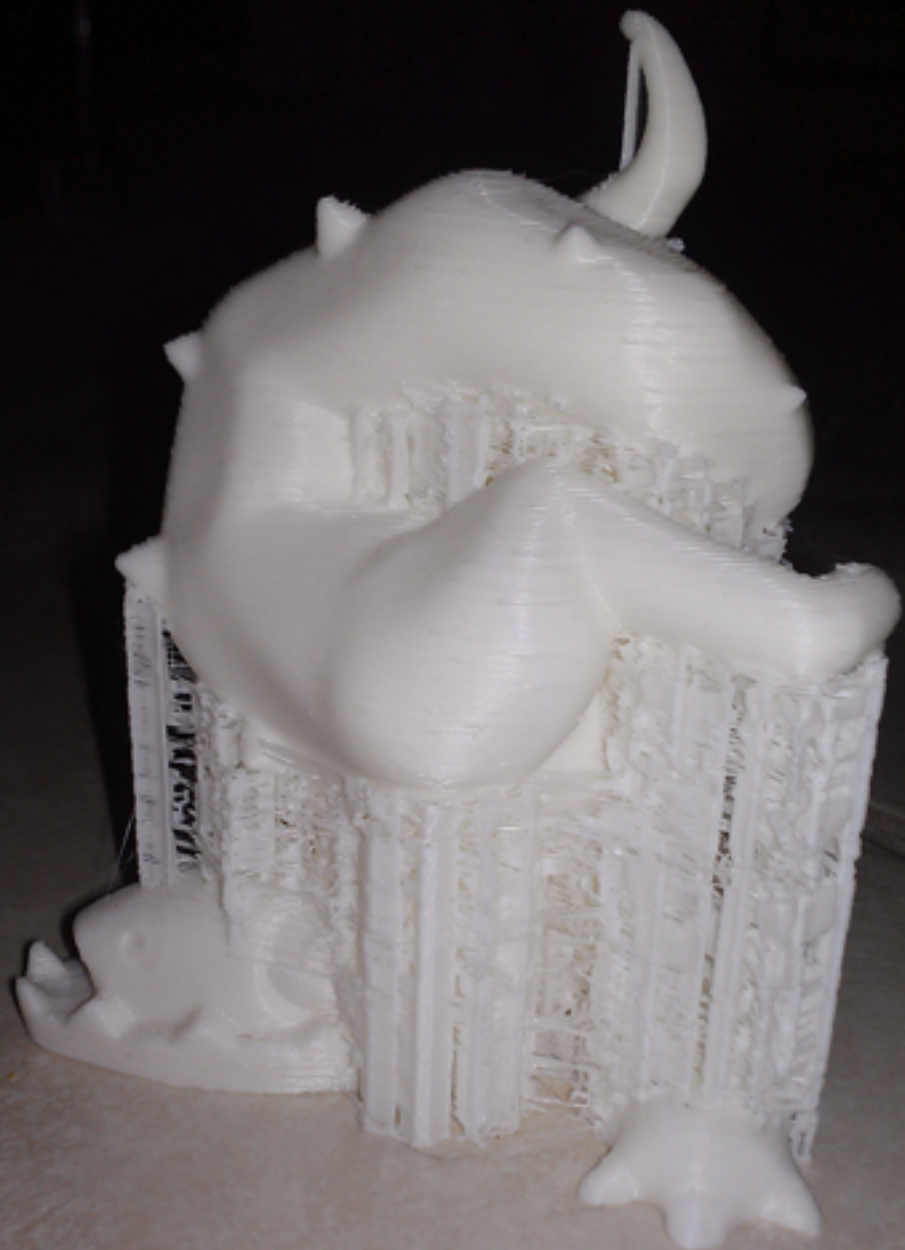


Supportami, ti prego!

- Le stampanti con tecnologia FDM normalmente non possono produrre strutture a stalattite o sporgenze estreme, poiché queste non sarebbero supportate durante la stampa. Se non si possono evitare, una sottile struttura di **supporto** può essere aggiunta all'oggetto, essa sarà poi staccata o tagliata via al termine della stampa.
- Quasi tutti i programmi di slicing sono in grado di generare automaticamente queste strutture di supporto.



PRIMA



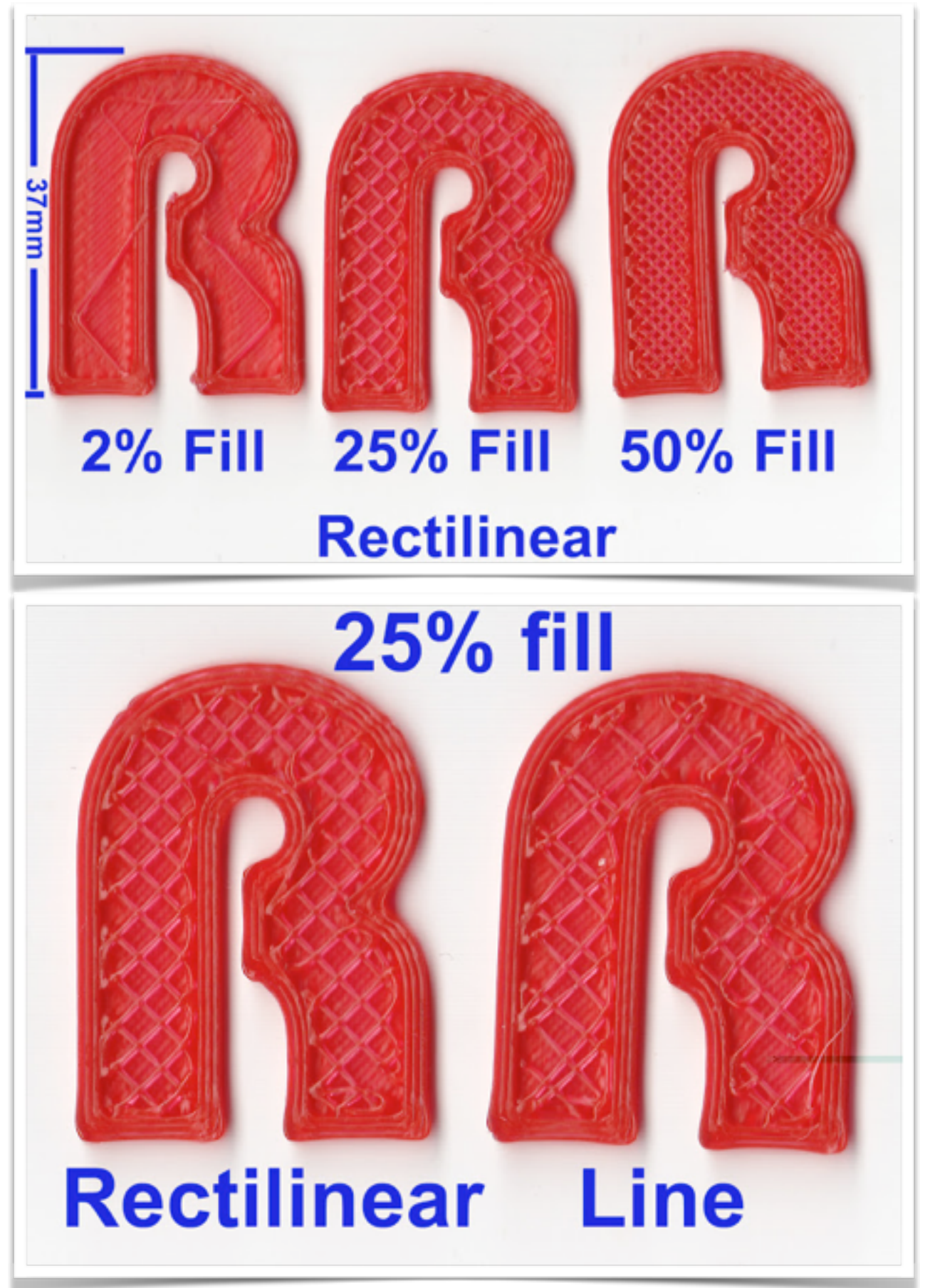
PROCESSO DI PULITURA

DOPO



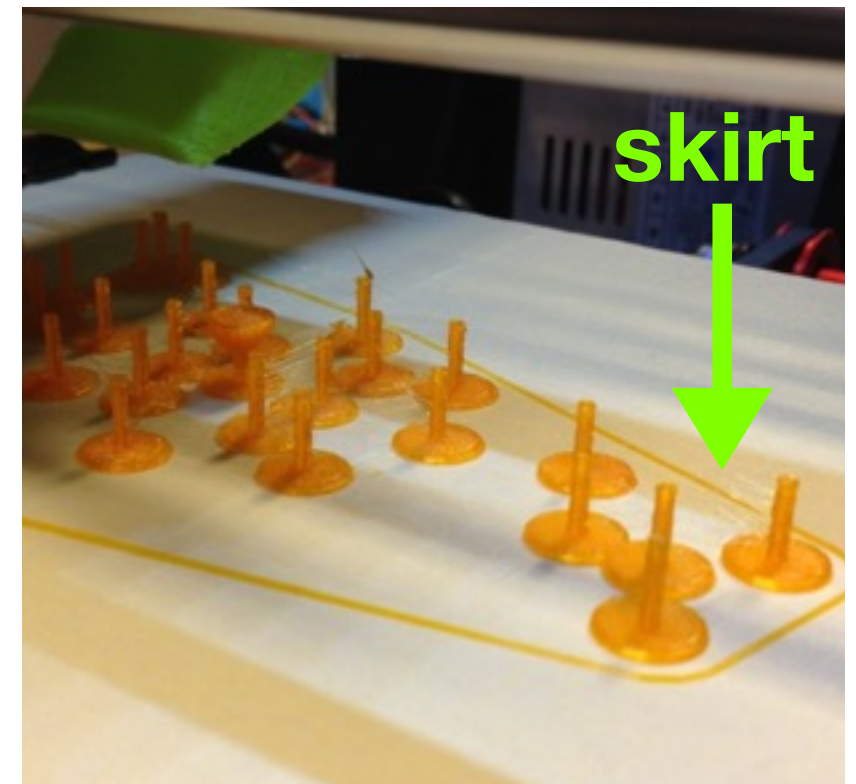
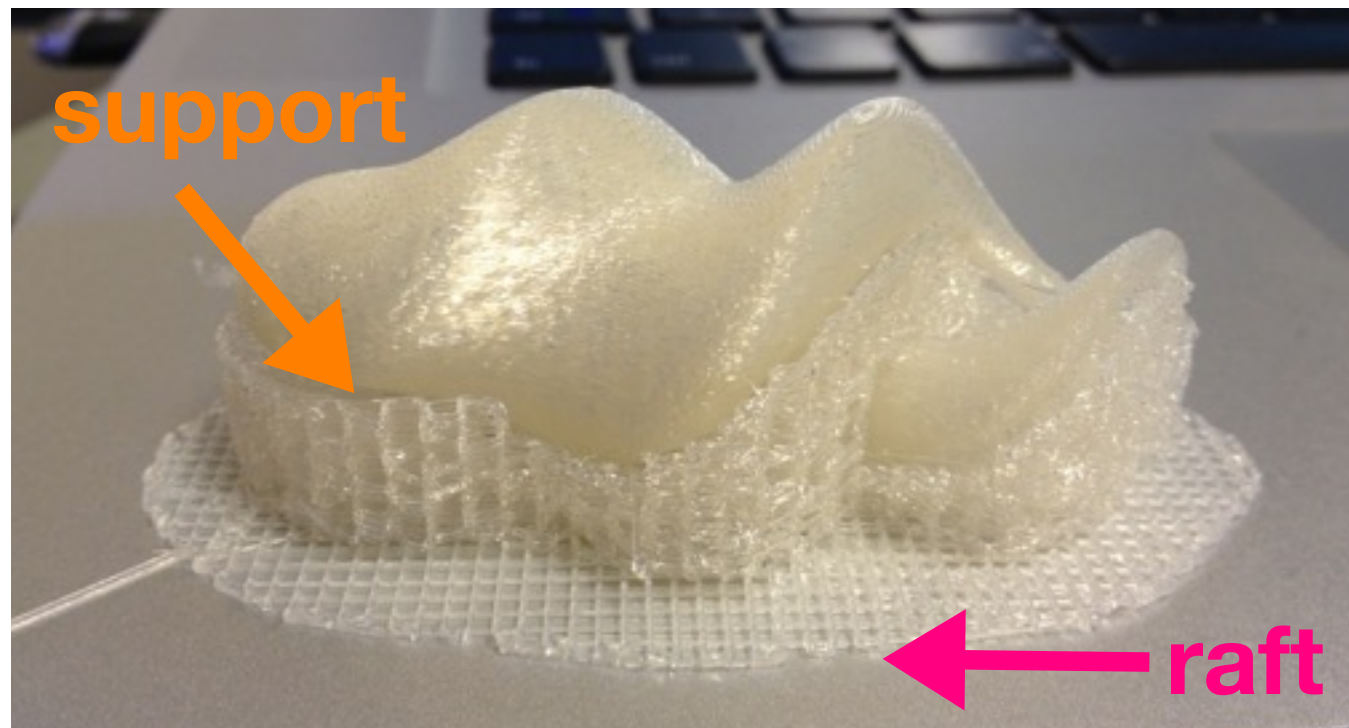
Riempire il vuoto

- La stampa 3D è un processo additivo. Ciò significa che non pagate perché una macchina rimuova del materiale, bensì per costruire depositandolo. Perciò meno materiale è richiesto dal vostro modello (cioè minore è il volume), minore è il costo.
- Per questa ragione, la maggioranza degli oggetti è stampata con il parametro di riempimento (*infill*) nell'intervallo dal 10% al 50%.
- Si può ottenere una maggior robustezza con un giusto numero di *perimetri* (shells), e di *bottom/top layers*.



“Raft” e “Skirt”

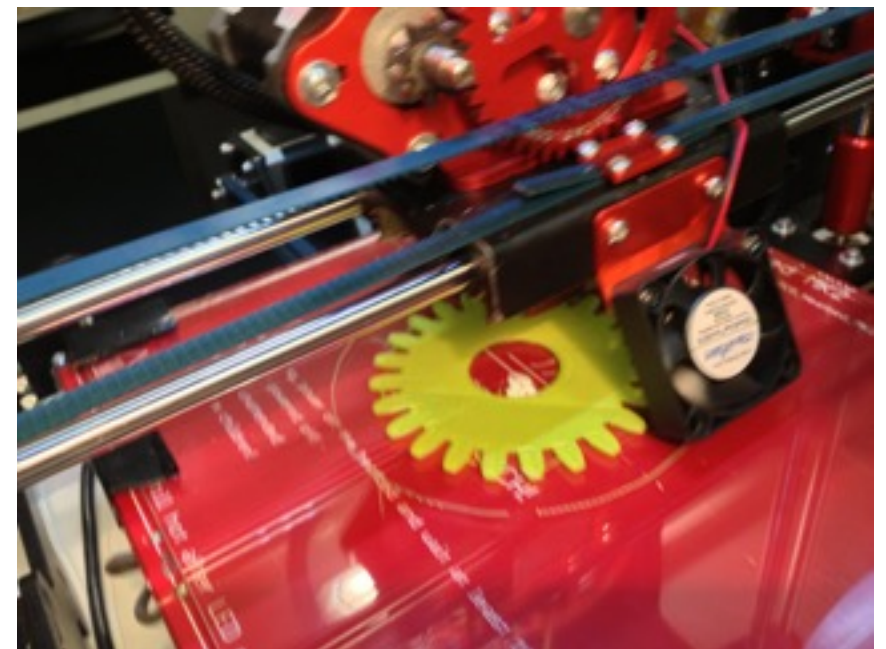
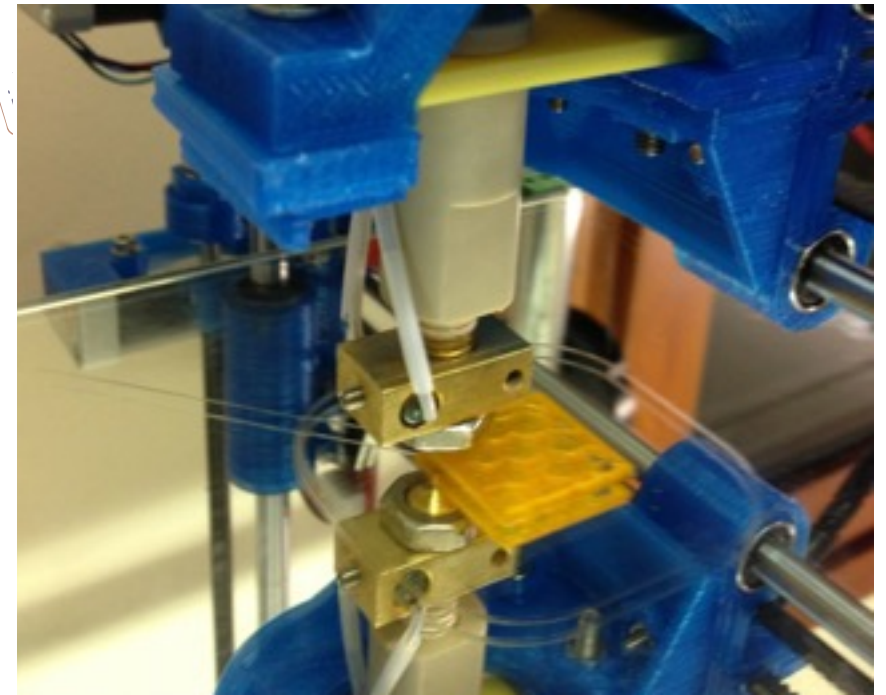
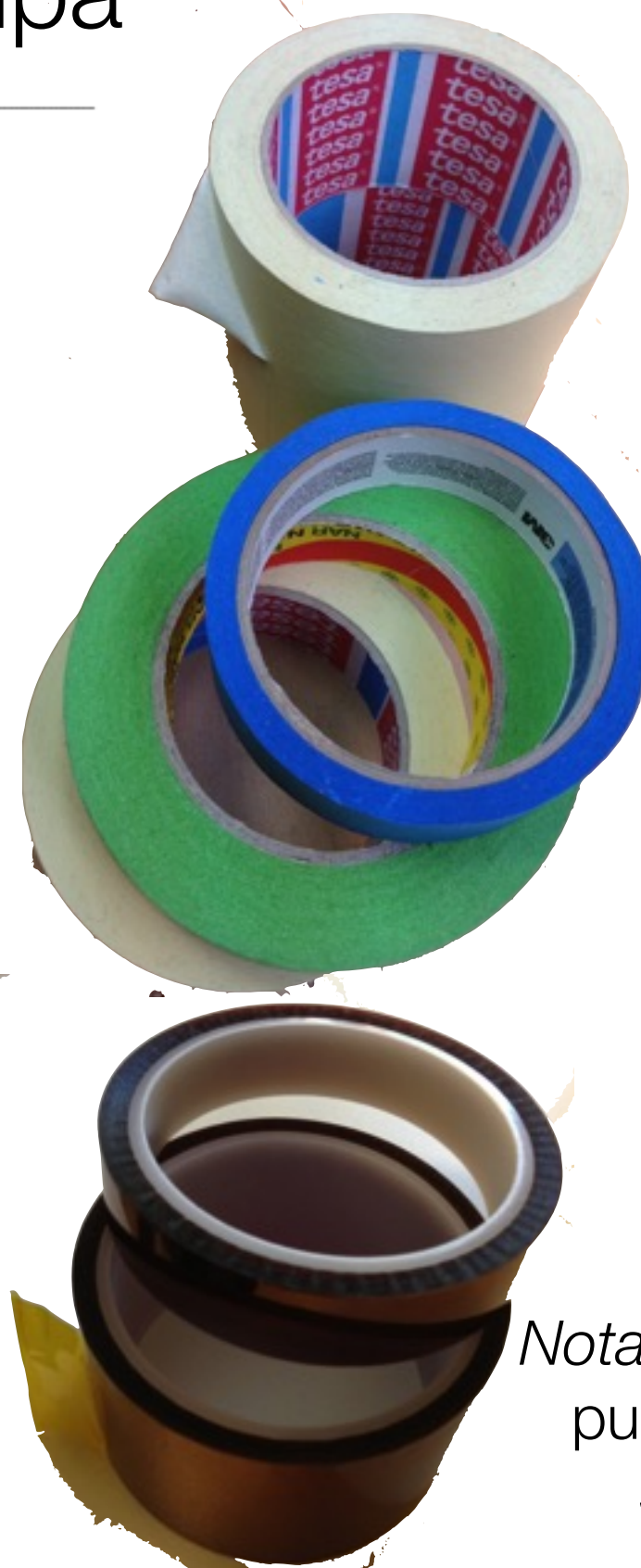
- La stampa di un oggetto può avvenire su uno strato di “**raft**” che poi verrà eliminato (è fatto della stessa plastica di stampa e supporto) piuttosto che direttamente sulla piattaforma di stampa. Il raft ha una impronta più larga dell’oggetto che quindi *aderisce meglio*. Può anche essere usato per prevenire *distorsioni*.



- A volte, all’inizio della stampa il filamento esce a malapena dall’ugello ancor vuoto. Per risolvere questo problema, un po’ di plastica extra, detta **skirt**, viene estrusa *attorno all’oggetto* prima della stampa.

Piattaforma di stampa

- Lo scopo è far sì che **l'oggetto resti attaccato** alla piattaforma. Alcune soluzioni sono:
- nudo vetro (o specchio)
- legno compensato o alluminio
- PLA: vetro/compensato/alluminio coperti da uno strato di **nastro carta**
- ABS: stessa base, ricoperta da nastro **Kapton** e **riscaldato** ($\sim 100+^{\circ}\text{C}$)
- usare della colla (spray)...

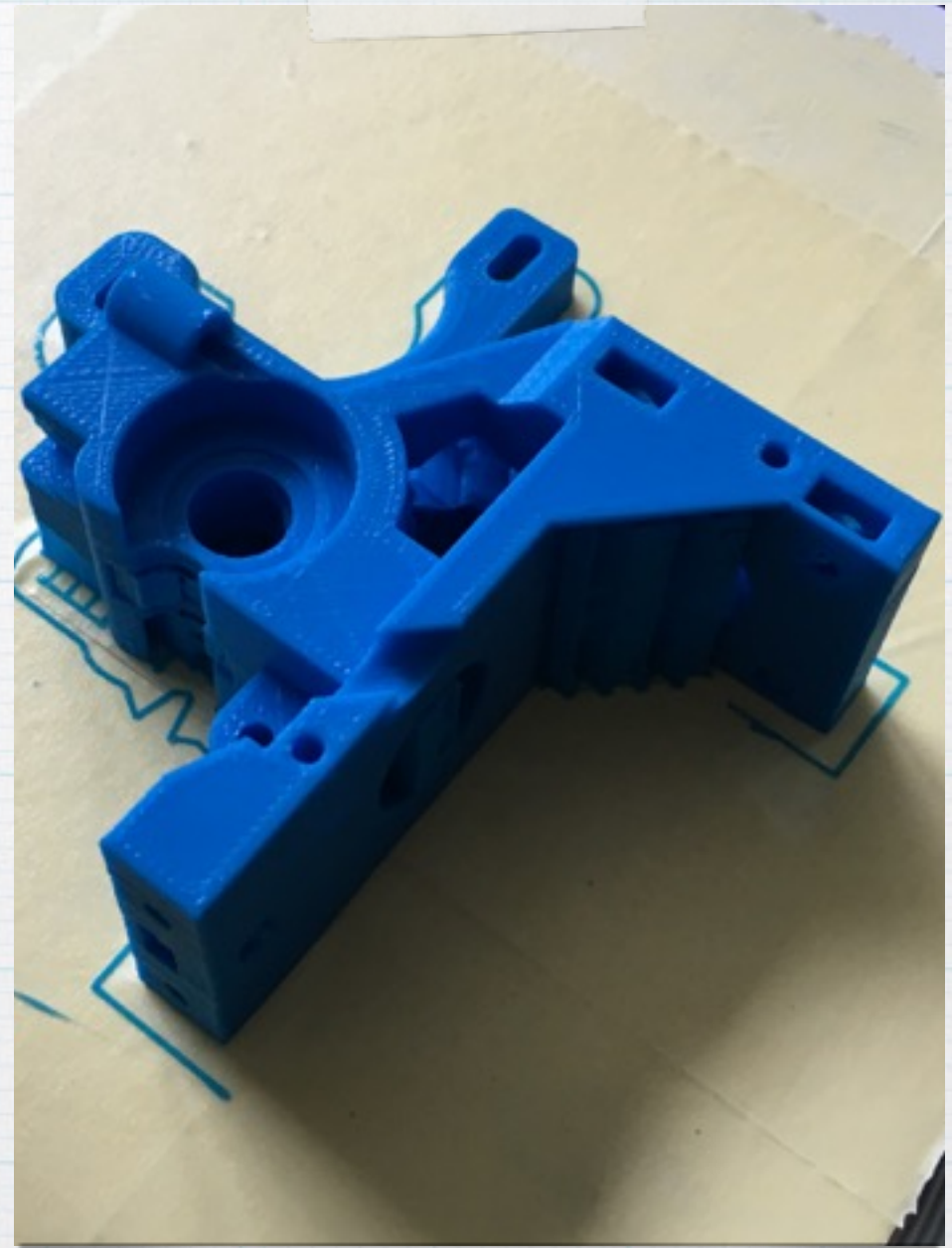


Nota: una piattaforma non riscaldata può stampare ABS solo se viene spruzzata con lacca/colla...

Something old

3DP-oriented modeling

- traditional objects
- optimized for FDM (or other 3DP technologies)
- to avoid/minimize supporting, bridging, ...

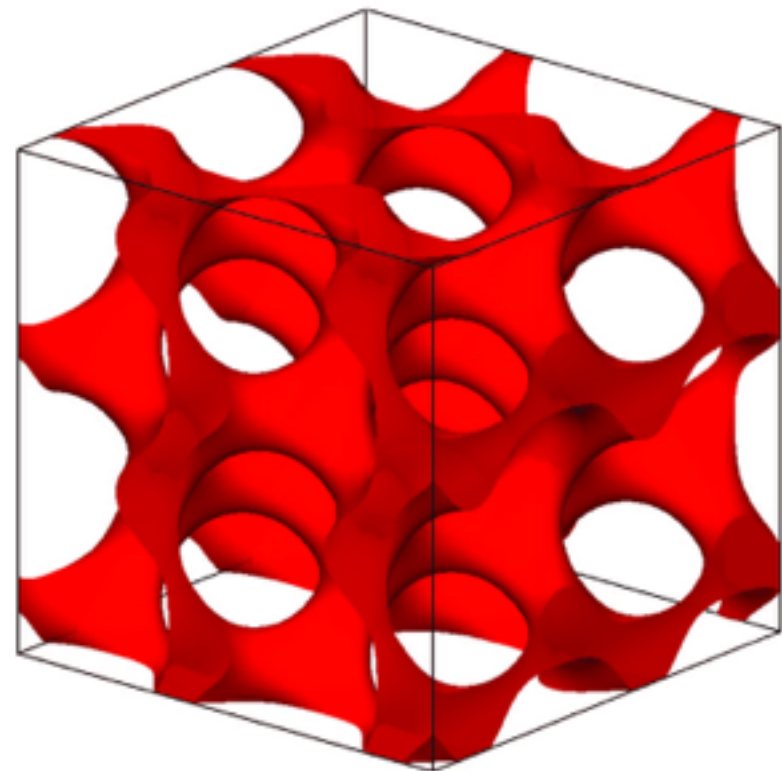


Something new

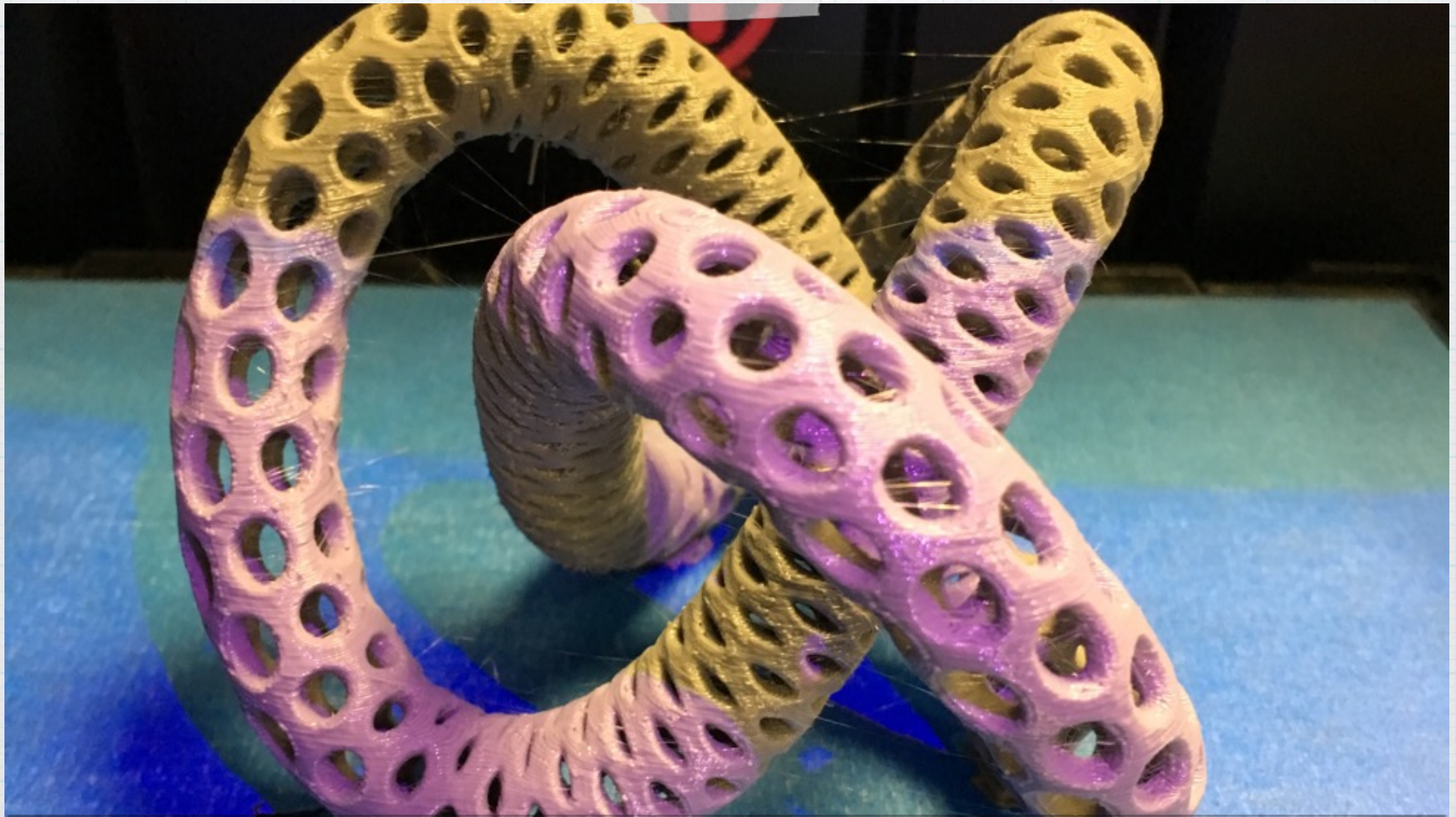
"impossible" objects

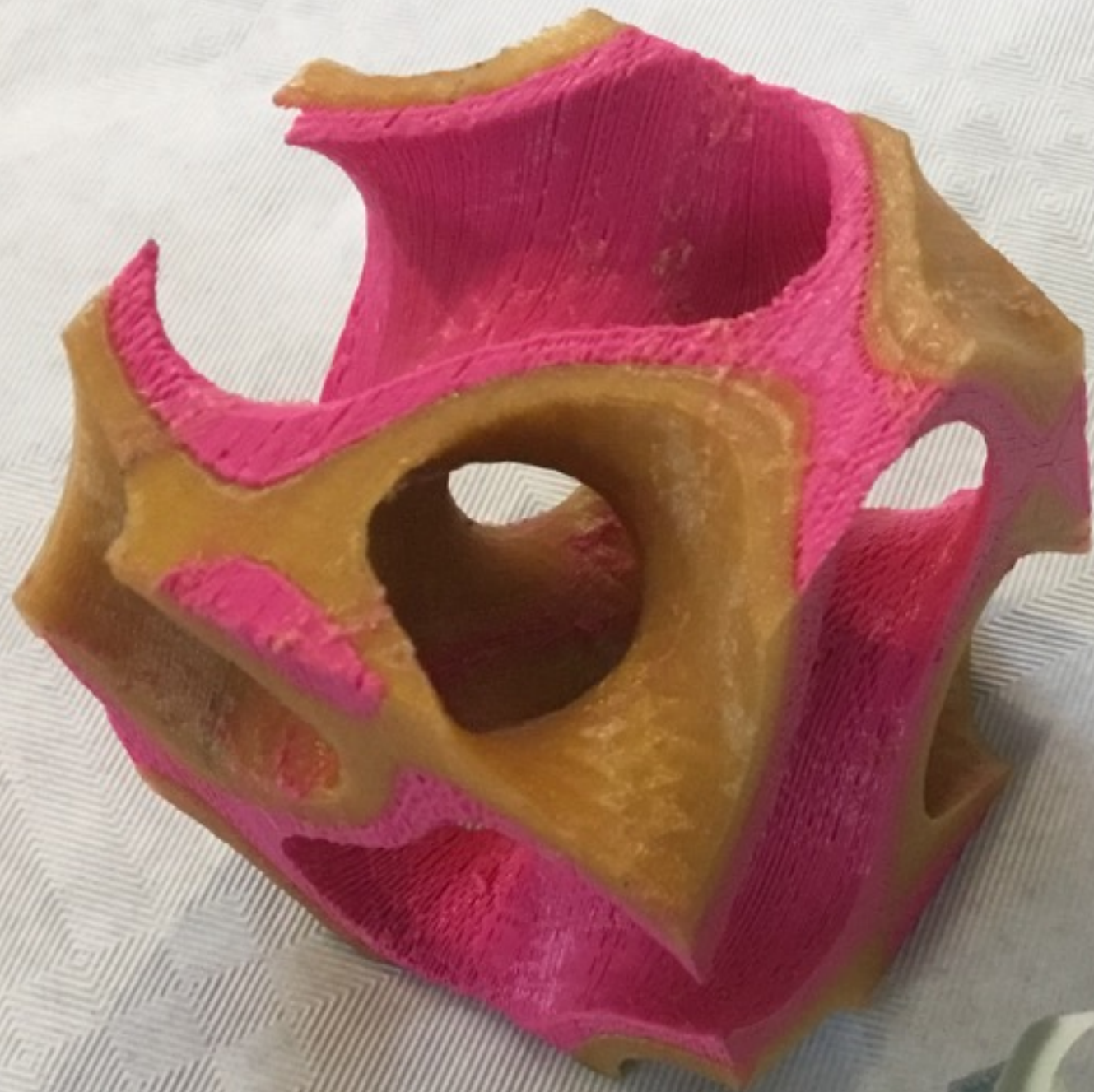
- they can be modeled but *not manufactured* with traditional means
- 3D printers open a whole new world of possibilities

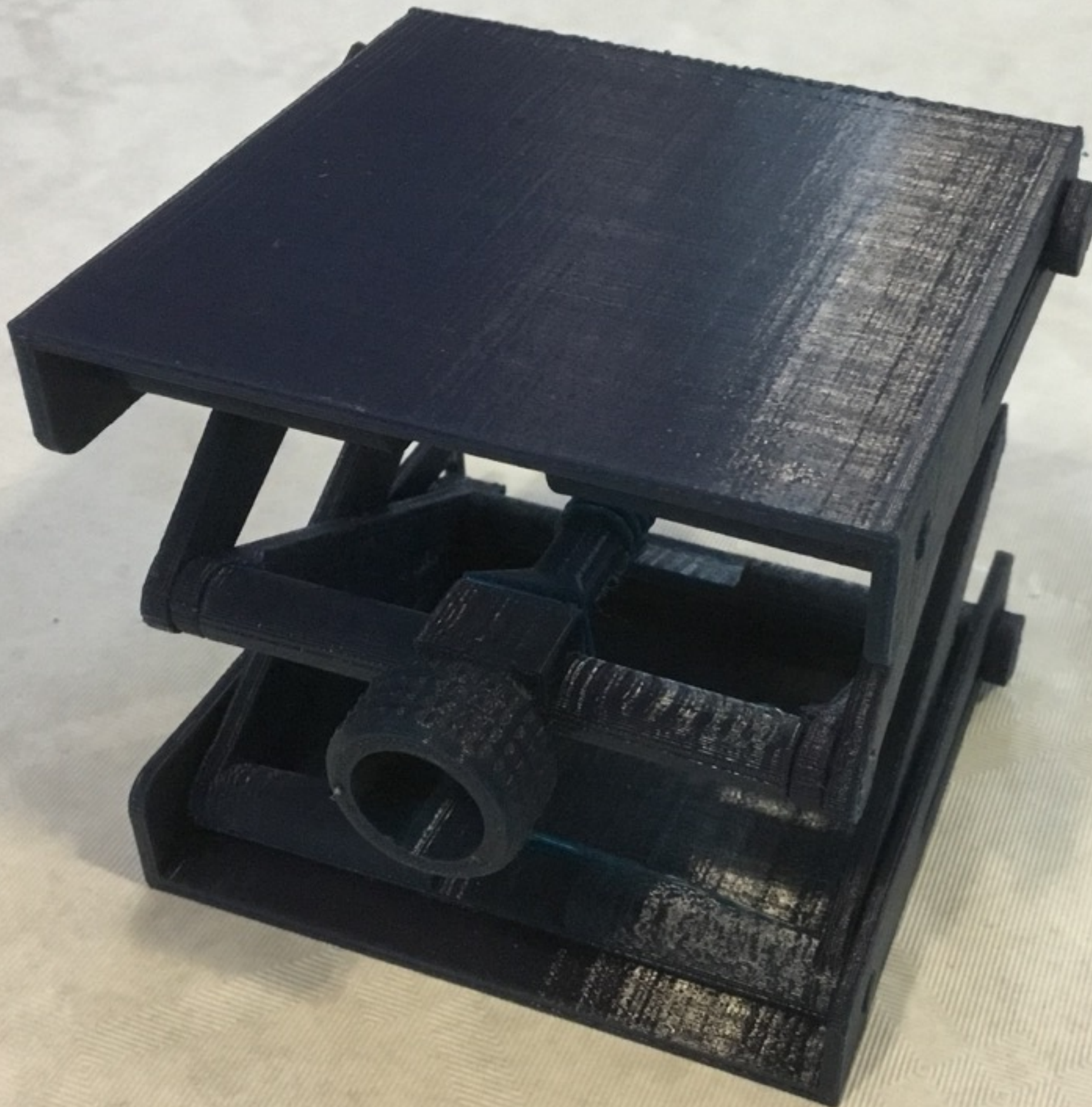
The gyroid is a complex cubic structure based on a surface that divides space into two separate volumes that are interpenetrating and contain various spirals. Pores and the superconducting material have structural dimensions of only around 10 nanometers, which could lead to entirely novel property profiles of superconductors.



Impossible objects

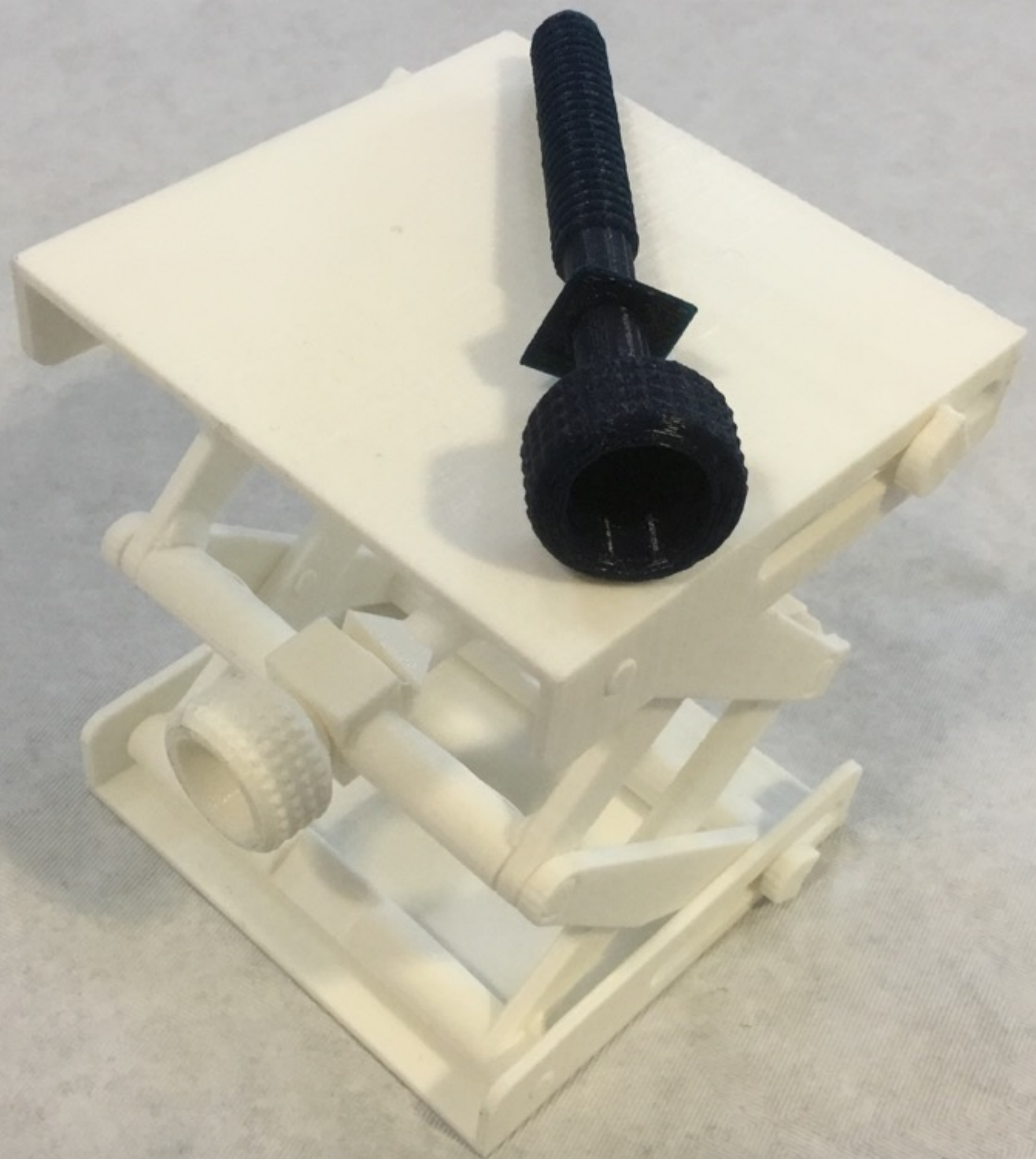






It
looks
easy...

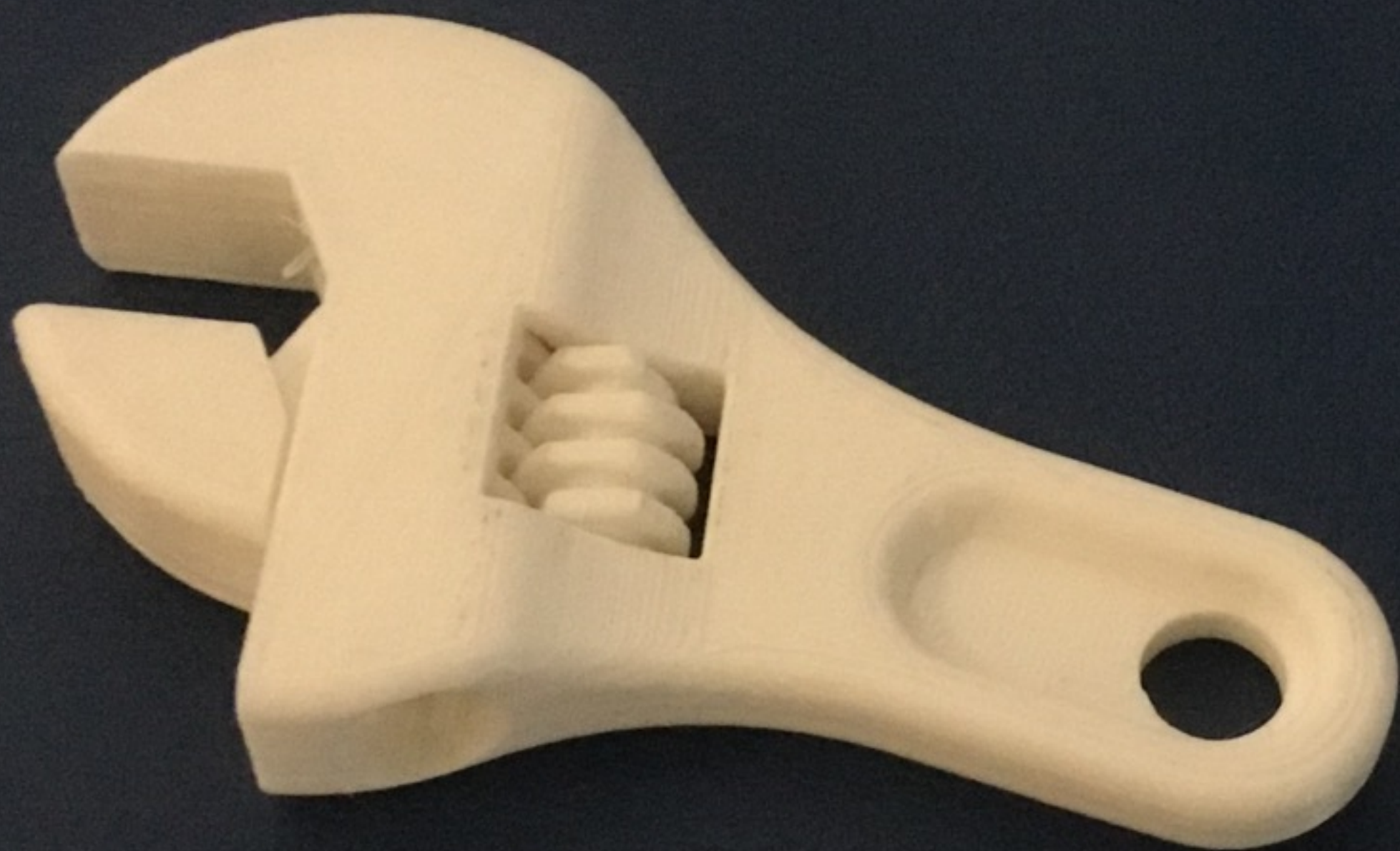
One
single
print!

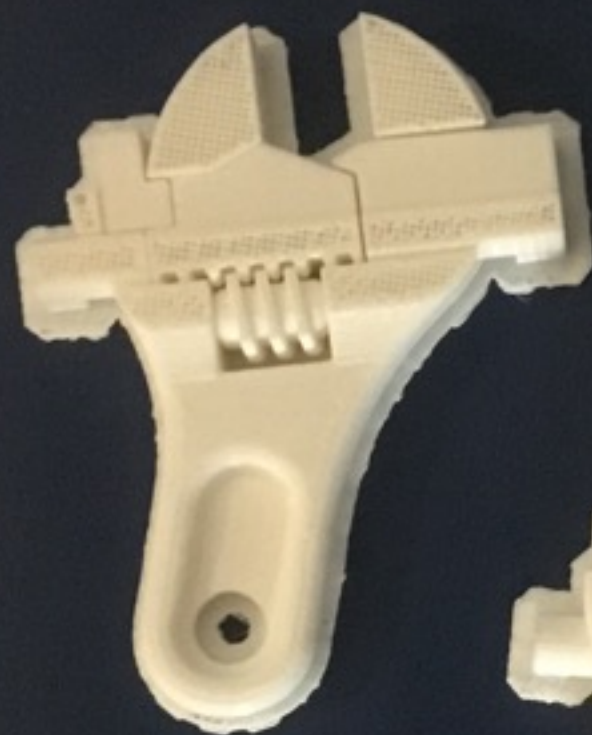












One
single
print!





