

Argomenti della lezione

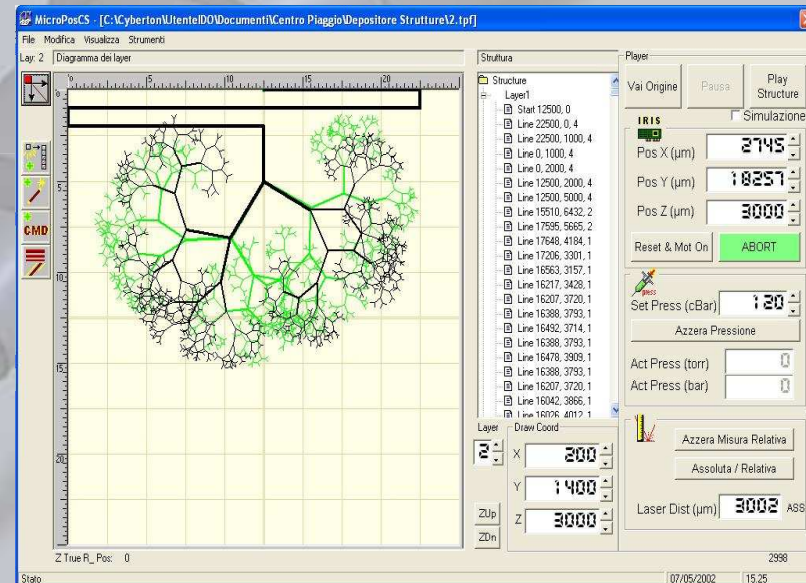
- Pressure Assisted Microsyringe (PAM)
 - Principio di funzionamento
 - Modello di estrusione
 - Caratterizzazione delle strutture realizzate
- Piston Assisted Syringe (PAM2)
- Laser
- Laser Ablation



PAM System



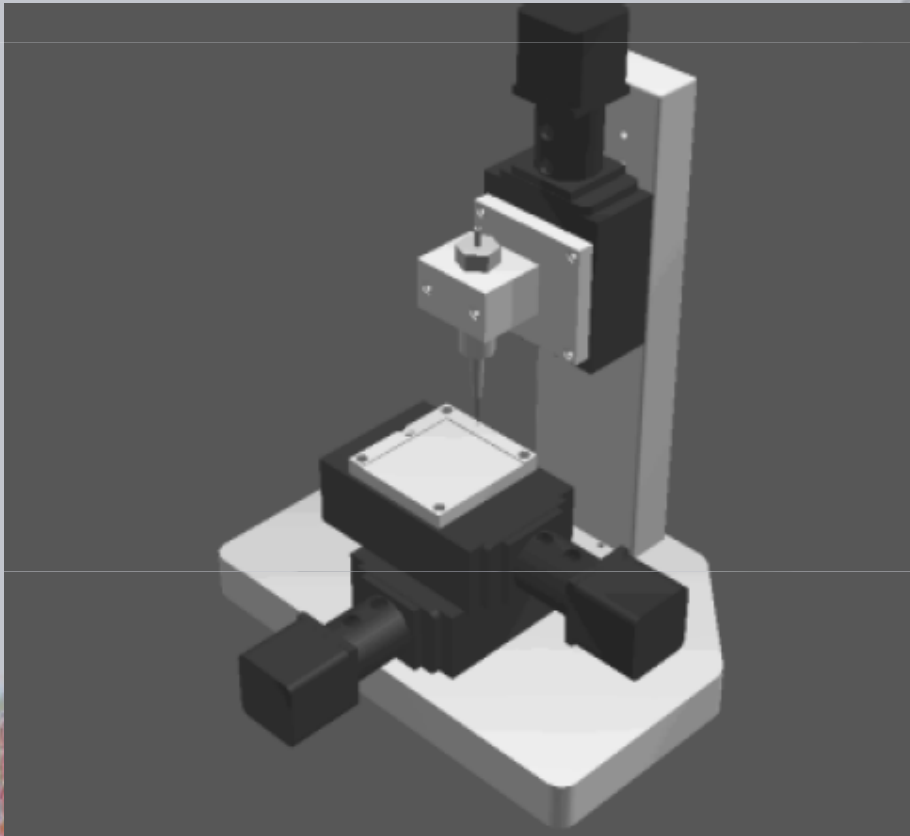
3-D micropositioner



Interfaccia Software:

- definizione pattern
- definizione dei parametri di fabbricazione
- controllo real-time dei parametri

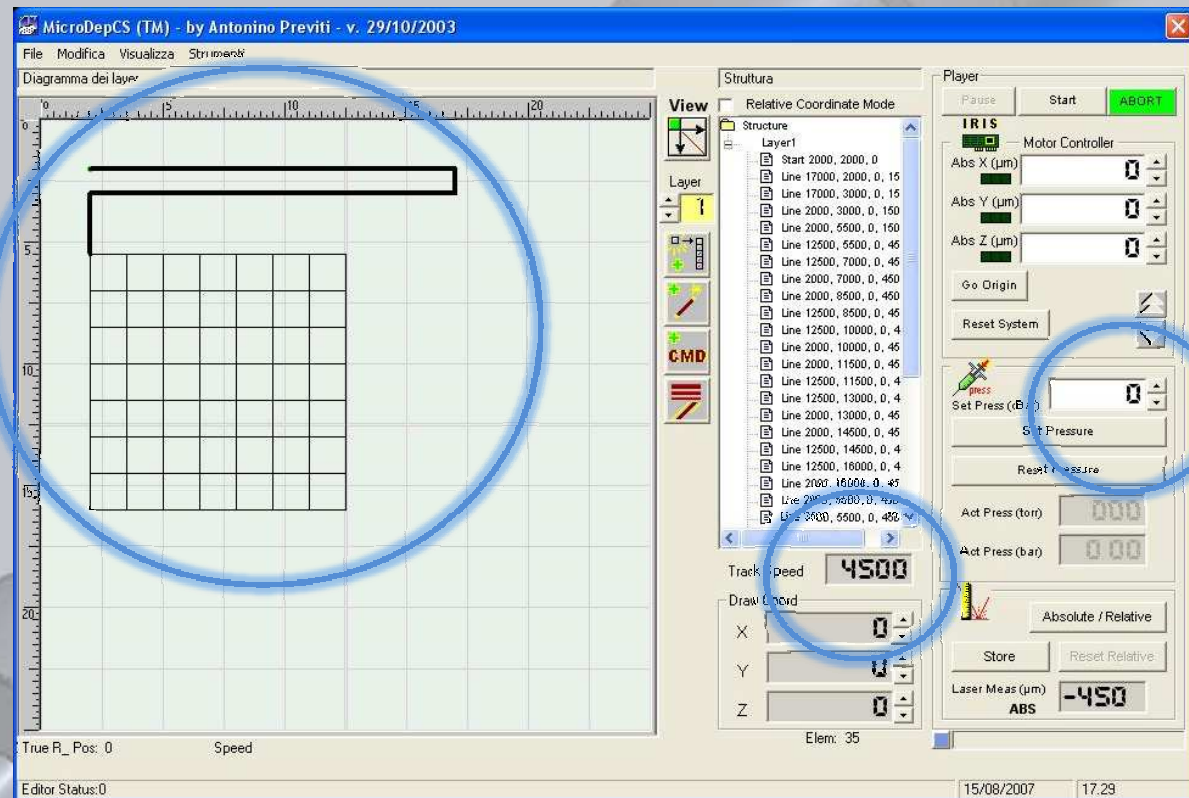
3-D Micropositioner



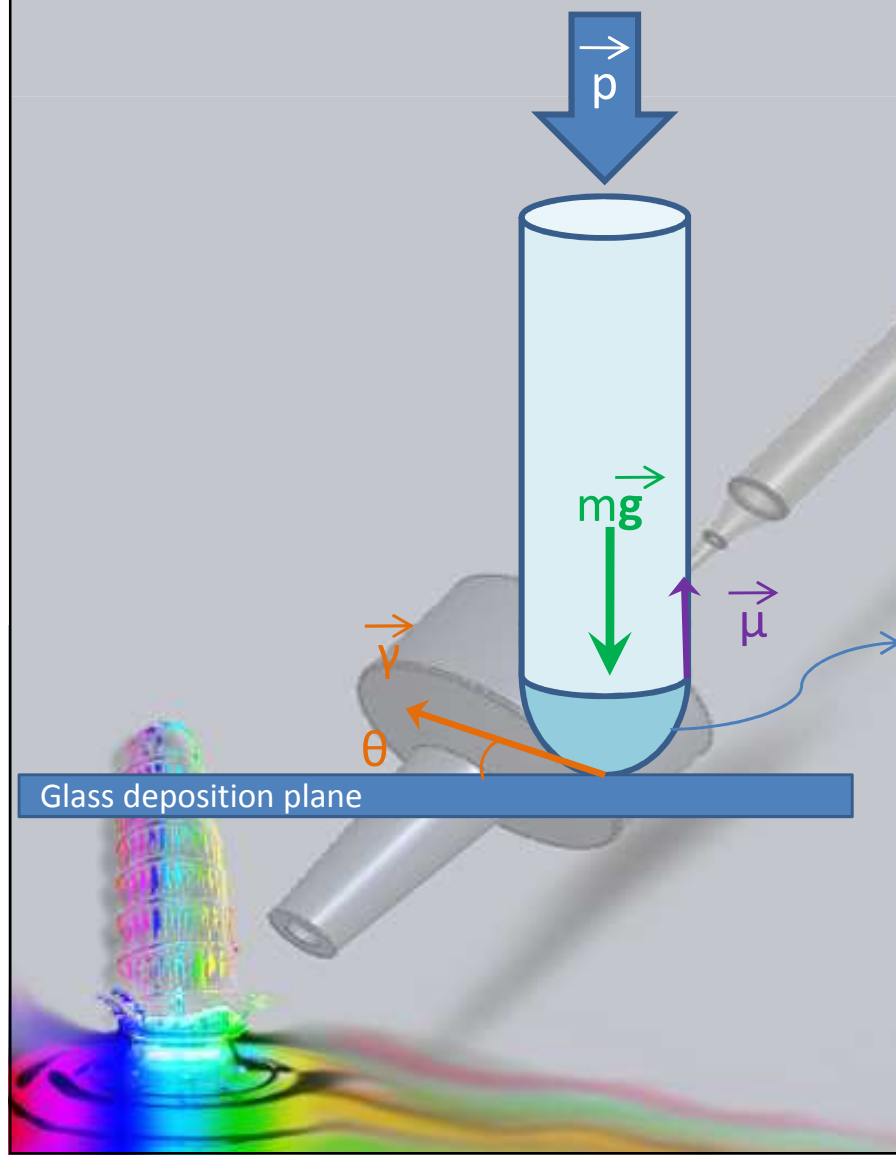
Caratteristiche di ogni asse:

- range spaziale del piano XY, ± 25 mm;
- velocità, 0-4.5 mm/s;
- risoluzione, 1 μ m.

Software Interface



Modello di estrusione (I)



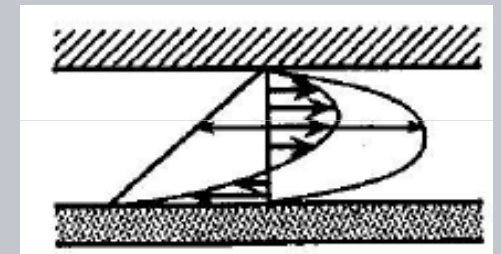
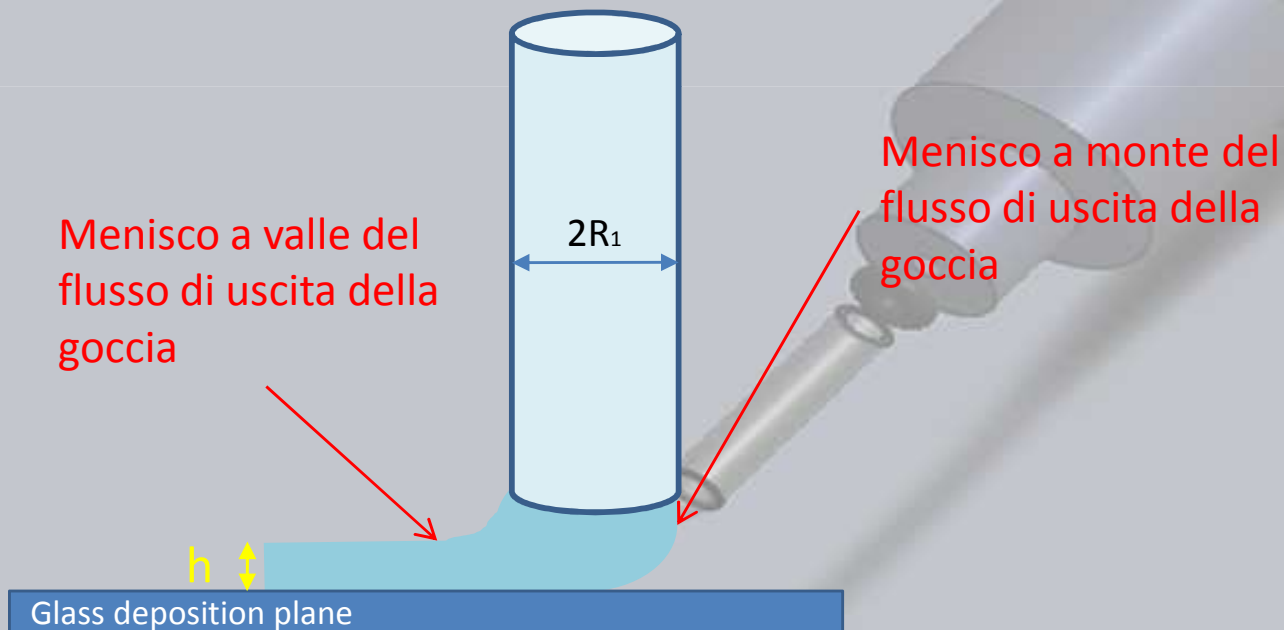
- pressione, p
- massa della goccia, m
- forze viscosi, μ
- tensione superficiale, γ (dipendente dall'angolo di contatto tra soluzione e superficie di vetro, θ)

Goccia:

- massa, m
- volume, V
- densità, ρ

Modello di estrusione (II)

Si suppone una velocità relativa \mathbf{v} tra il capillare in vetro ed il piano di deposizione XY

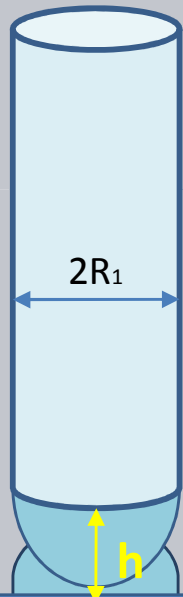


Moto risultante della goccia dovuto ai campi di velocità:

- Poiseuille, formazione della goccia nel capillare
- Couette, moto relativo tra capillare e piano di deposizione



Modello di estrusione (III)



Glass deposition plane

Bilancio di forze

$$mg + (p + p^*)S - \mu \frac{\partial v}{\partial x} 2\pi r h - \gamma \cos \theta 2\pi r = 0$$

$$m = \frac{2}{3} \pi r^3 \rho$$

$$S = \pi R_1^2$$

$$\vec{y} = \frac{m \vec{g}}{2\pi R_1}$$

$$\frac{2}{3} \pi r^3 \rho g + (p + p^*) \pi R_1^2 - \mu \frac{\partial v}{\partial x} 2\pi r h - \frac{2}{3} \pi r^3 \rho g \cos \theta 2\pi r = 0$$

Per semplificare l'analisi si passa in coordinate cartesiane, con $x = r \cdot \cos \phi$

Si può approssimare che la goccia rimanga sferica:

quindi $\phi = 2\pi$ e pertanto $dx = dr$

$$-\frac{2r^4 \rho g \cos \theta}{3R_1} + \frac{2}{3} r^3 \rho g - \mu \frac{\partial v}{\partial r} 2r h + (p + p^*) R_1^2 = 0$$

Modello di estrusione (IV)

Bilancio di energia

$$mgh + (p + p^*)V - 2\mu hv - 8\gamma\pi r^2 - \frac{1}{2}mv^2 = 0$$

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

$$V = \pi h R_1^2$$

$$\frac{2}{3}\pi r^3 \rho gh + (p + p^*)\pi h R_1^2 - 2\mu hv - 8\gamma\pi r^2 - \frac{2}{3}\pi r^3 \rho v^2 = 0$$

$$-\frac{8\pi\rho g}{3\pi R_1}\pi r^5 + \frac{2}{3}\pi\rho ghr^3 - \frac{2}{3}\pi\rho v^2 r^3 + (p + p^*)\pi h R_1^2 - 2\mu hv = 0$$

Modello di estrusione (V)

$$\begin{cases} \frac{2r^4 \rho g \cos \theta}{3R_1} + \frac{2}{3} r^3 \rho g - \mu \frac{\partial v}{\partial r} 2rh + (p + p^*) R_1^2 = 0 \\ \frac{8\pi \rho g}{3\pi R_1} \pi r^5 + \frac{2}{3} \pi \rho g h r^3 - \frac{2}{3} \pi \rho v^2 r^3 + (p + p^*) \pi h R_1^2 - 2\mu h v = 0 \end{cases}$$

$$Q = \frac{\pi R_1^4}{8\mu} \cdot \frac{dp}{dz}$$

$$Q = \frac{dV}{dt} = ah \frac{dl}{dt} = ahv$$

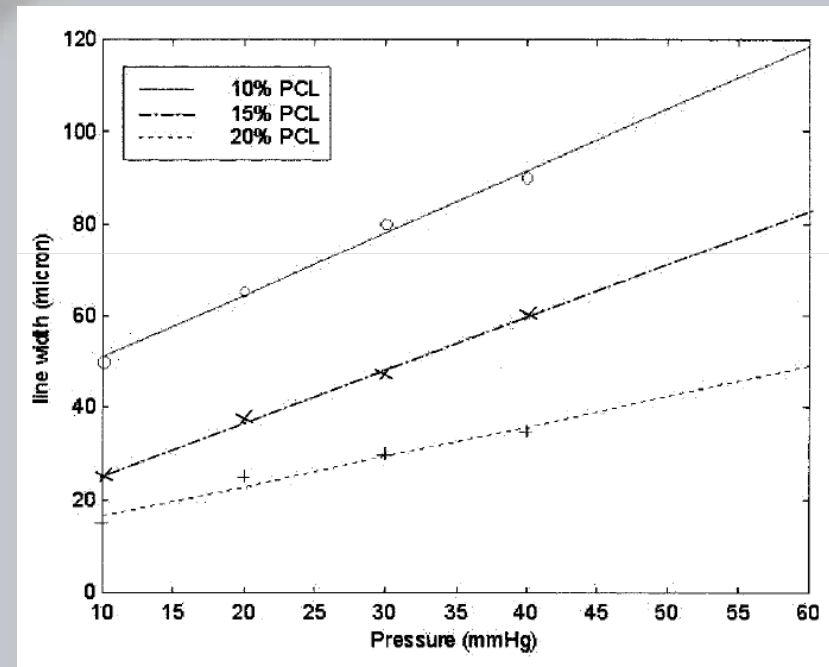
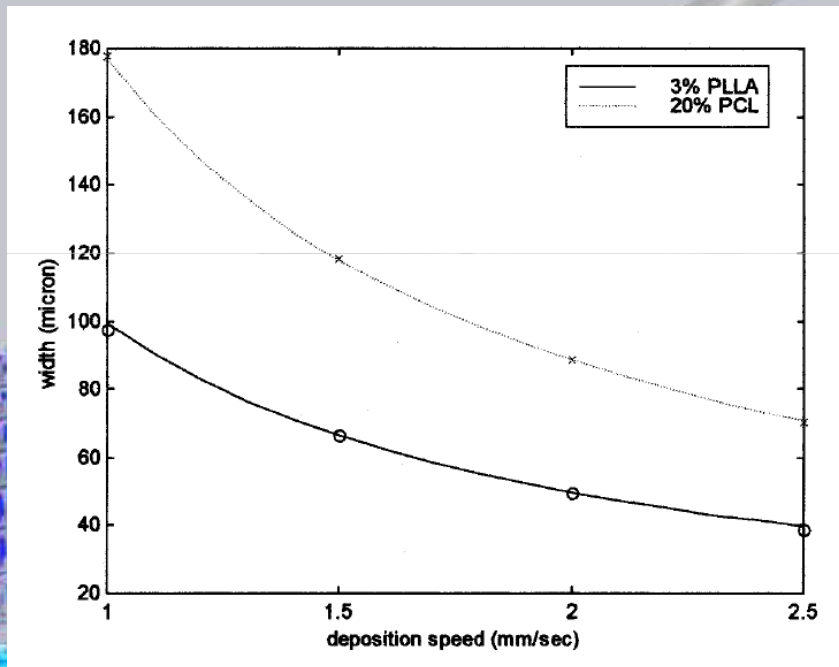
$$a = \frac{\pi R_1^4}{8\mu h h_1} \cdot \frac{(p + p^*)}{v}$$



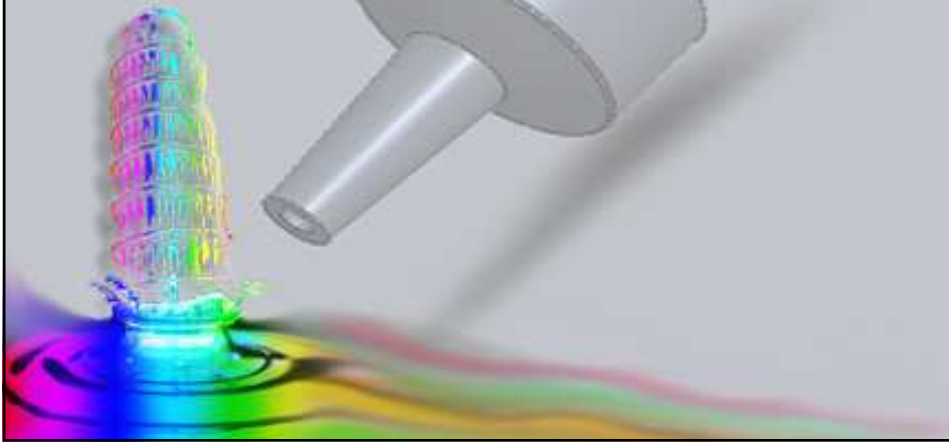
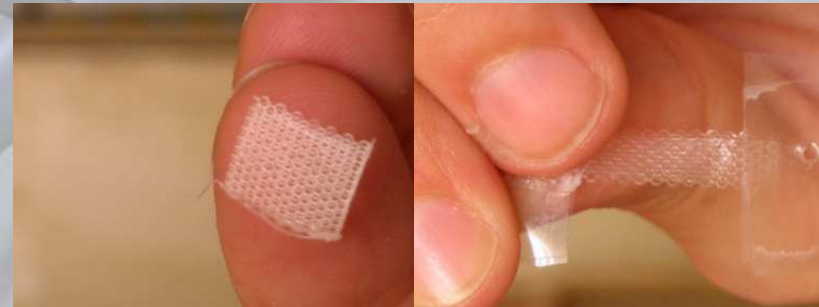
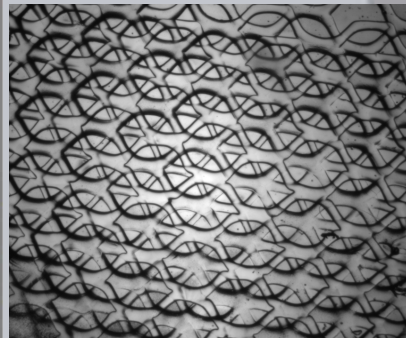
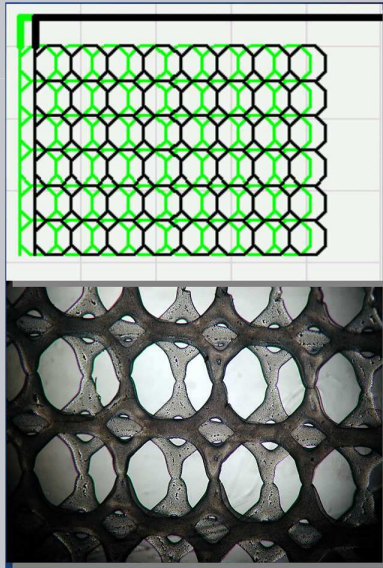
Caratterizzazione

È possibile eseguire pertanto una caratterizzazione della larghezza della linea deposta in funzione:

- della pressione
- della velocità del piano XY di deposizione

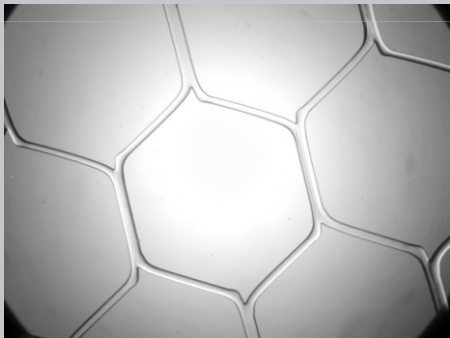


Esempi ed applicazioni

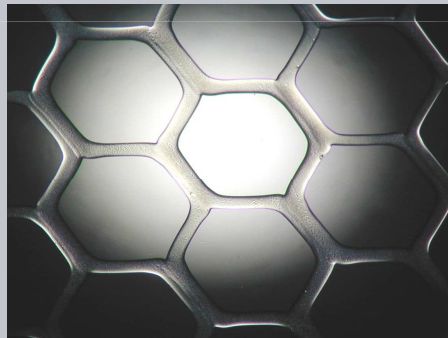


Topological Stimuli: neural tissue samples

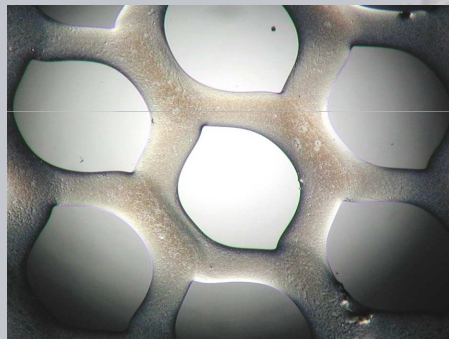
Hexagonal grid varying line width
and/or length of the hexagonal side



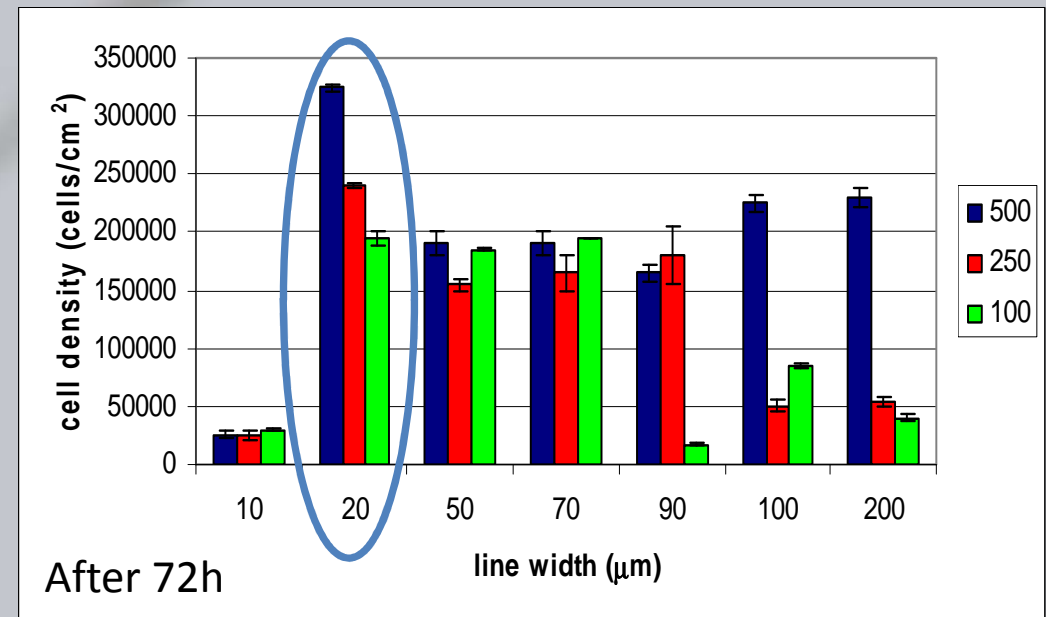
5 μm



10 μm

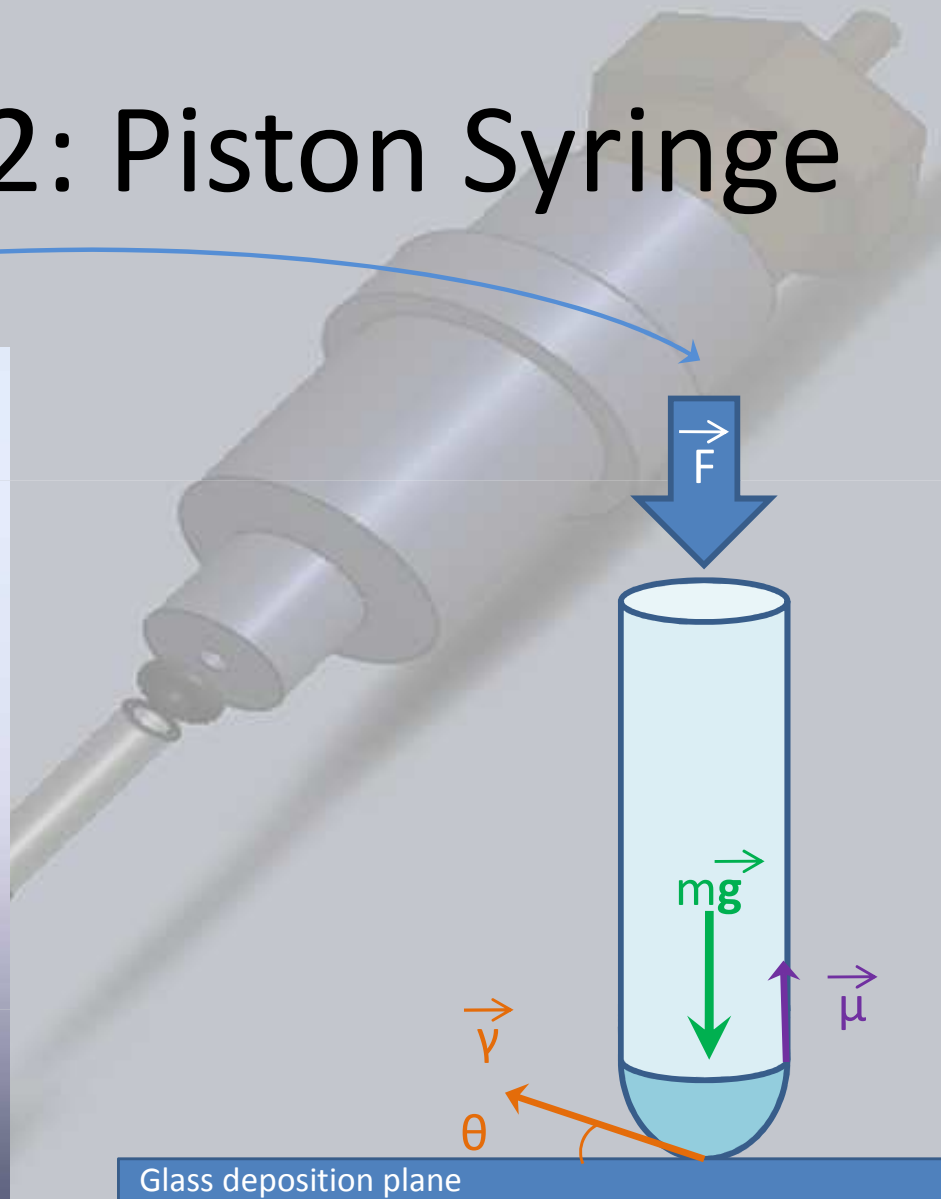
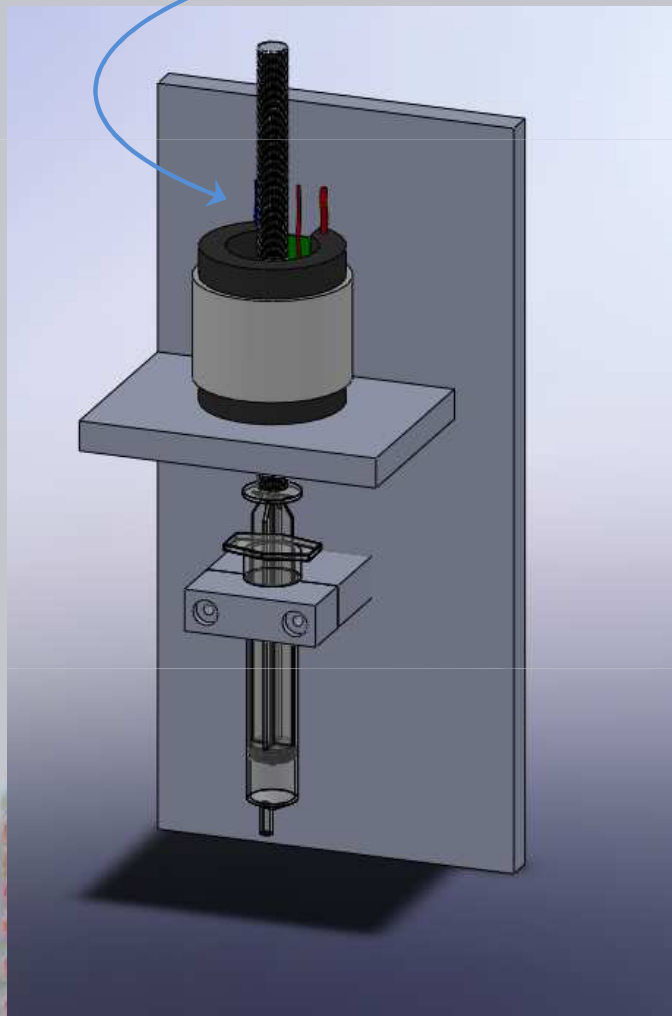


30 μm

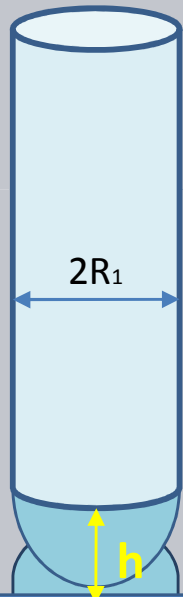


Cell dimensions

PAM2: Piston Syringe



Modello di estrusione (III)



Glass deposition plane

Bilancio di forze

$$mg + F - \mu \frac{\partial v}{\partial x} 2\pi r h - \gamma 2\pi r \cos\theta = 0$$

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

$$\vec{y} = \frac{m\vec{g}}{2\pi R_1}$$

$$\frac{2}{3}\pi r^3 \rho g + F - \mu \frac{\partial v}{\partial x} 2\pi r h - \frac{2}{3}\pi r^3 \rho g \frac{2\pi r \cos\theta}{2\pi R_1} = 0$$

Per semplificare l'analisi si passa in coordinate cartesiane, con $x = r \cdot \cos\phi$

Si può approssimare che la goccia rimanga sferica:

quindi $\phi = 2\pi$ e pertanto $dx = dr$

$$-\frac{2r^4 \rho g \cos\theta}{3R_1} + \frac{2}{3}r^3 \rho g - \mu \frac{\partial v}{\partial r} 2\pi r h + F = 0$$

Modello di estrusione (IV)

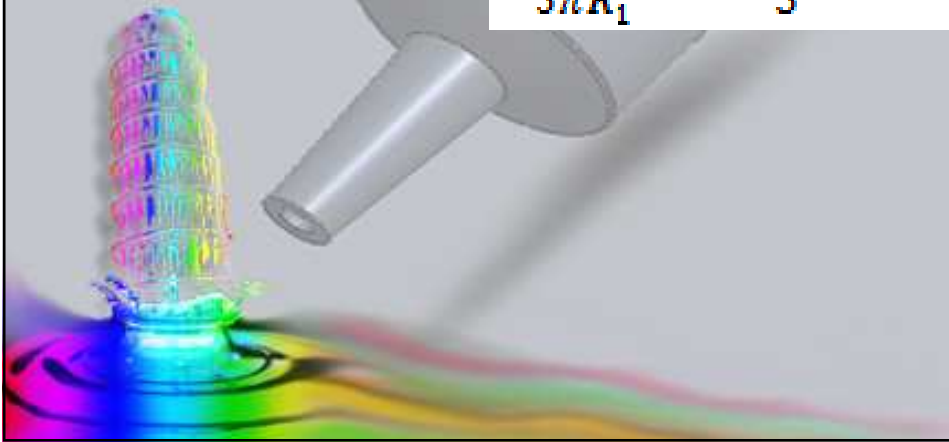
Bilancio di energia

$$mgh + FV - 2\mu hv - 8\gamma\pi r^2 - \frac{1}{2}mv^2 = 0$$

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

$$V = \pi h R_1^2$$

$$-\frac{8\pi\rho g}{3\pi R_1}\pi r^5 + \frac{2}{3}\pi\rho ghr^3 - \frac{2}{3}\pi\rho v^2 r^3 + F\pi h R_1^2 - 2\mu hv = 0$$



Modello di estrusione (V)

$$\begin{cases} \frac{2r^4 \rho g \cos \theta}{3R_1} + \frac{2}{3} r^3 \rho g - \mu \frac{\partial v}{\partial r} 2rh + F = 0 \\ \frac{8\pi \rho g}{3\pi R_1} \pi r^5 + \frac{2}{3} \pi \rho g h r^3 - \frac{2}{3} \pi \rho v^2 r^3 + F \pi h R_1^2 - 2\mu h v = 0 \end{cases}$$

$$Q = \frac{\pi R_1^4}{8\mu} \cdot \frac{dp}{dz}$$

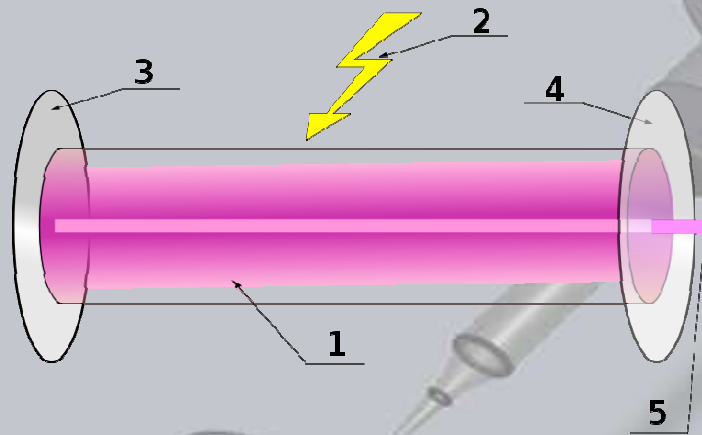
$$Q = \frac{dV}{dt} = ah \frac{dl}{dt} = ahv$$



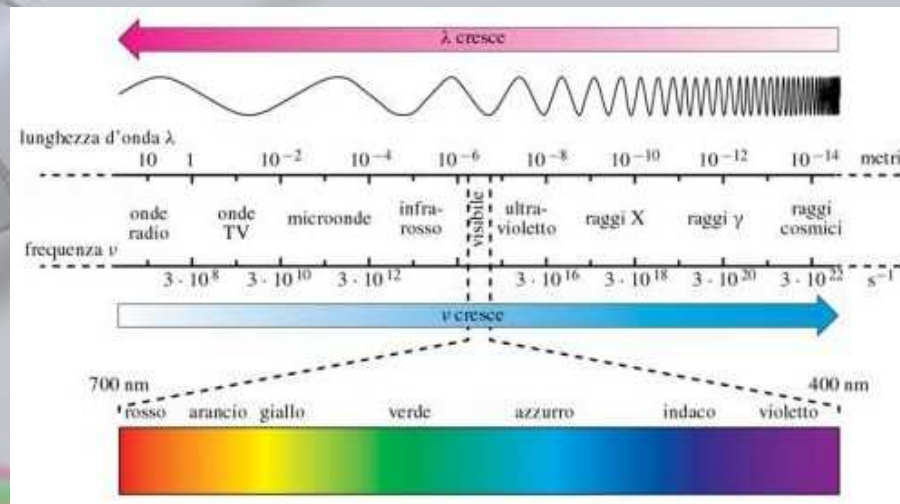
LASER

[Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation]

Dispositivo che genera, amplifica e direziona un fascio coerente e monocromatico di luce.



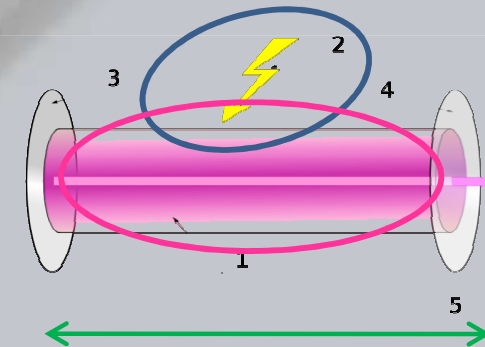
1. Mezzo ottico attivo
2. Energia fornita al mezzo ottico
3. Specchio
4. Specchio riflettente
5. Fascio in uscita



Schema di funzionamento

Per funzionare un laser ha bisogno principalmente di:

- Sorgente di innesco, per la generazione di energia
- Mezzo ottico, per le emissioni di elettroni
- Risonatore ottico, per amplificare e direzionare il fascio



Il fascio luminoso in uscita possiede una propria lunghezza d'onda λ , una fase ϕ ed una polarizzazione;

L'energia associata al fascio è funzione della frequenza dell'onda ($\nu = c/\lambda$) e dell'amplificazione ottenuta nel risonatore ottico.



$$E = h\nu$$

Frequenze di emissione

LASER TYPE	WAVELENGTH (Nanometers)
Argon Fluoride	193
Xenon Chloride	308 and 459
Xenon Fluoride	353 and 459
Helium Cadmium	325 - 442
Rhodamine 6G	450 - 650
Copper Vapor	511 and 578
Argon	457 - 528 (514.5 and 488 most used)
Frequency doubled Nd:YAG	532
Helium Neon	543, 594, 612, and 632.8
Krypton	337.5 - 799.3 (647.1 - 676.4 most used)
Ruby	694.3
Laser Diodes	630 - 950
Ti:Sapphire	690 - 960
Alexandrite	720 - 780
Nd:YAG	1064
Hydrogen Fluoride	2600 - 3000
Erbium:Glass	1540
Carbon Monoxide	5000 - 6000
Carbon Dioxide	10600

Sono strettamente correlate al *mezzo ottico*

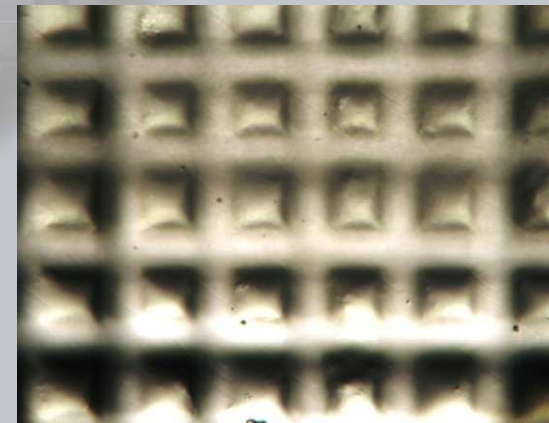
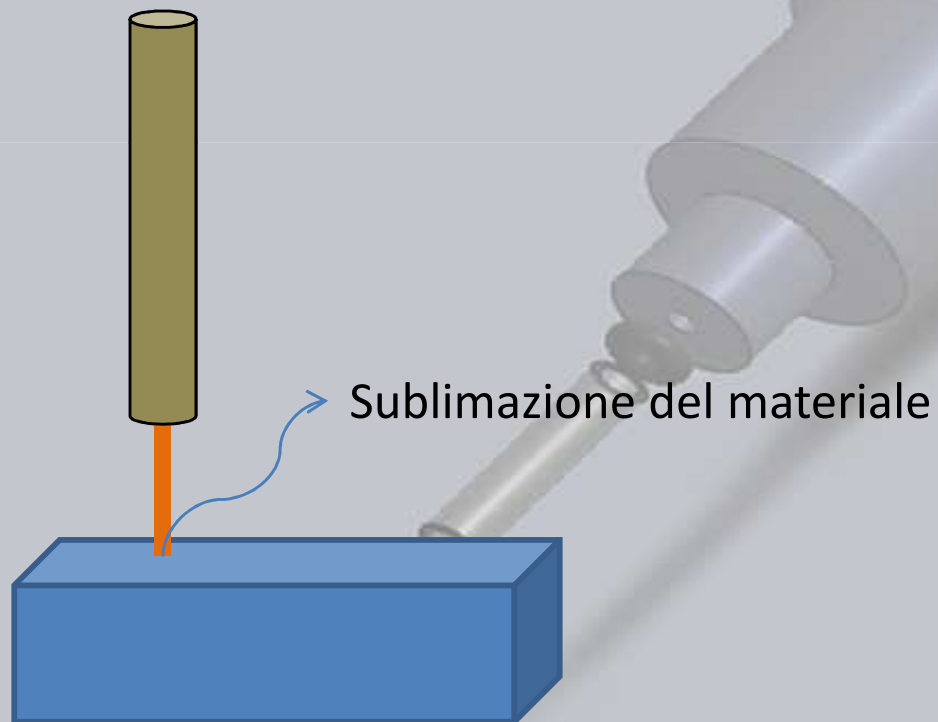


- Sorgente d'innescio: ~~filamento elettrico~~ (laser diodi) ~~incandescenti~~ (flashlight) o diodo a giunzione p-n (laser diodi) 6 μm
- $\lambda = 1064 \text{ nm}$
- Potenza associata al fascio: da pochi mW fino a GW (valore continuo)
- Potenza associata al fascio fino a 20MW

Laser ablation
(tecnica layer-by-layer sottrattiva)

Laser sintering
(tecnica layer-by-layer additiva)

Laser Ablation

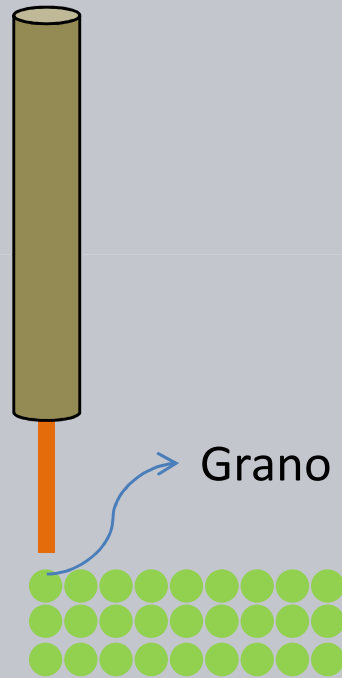


Risoluzione spaziale delle strutture realizzate:

- potenza del laser
- temperatura di sublimazione del materiale
- costante conduttività termica del materiale

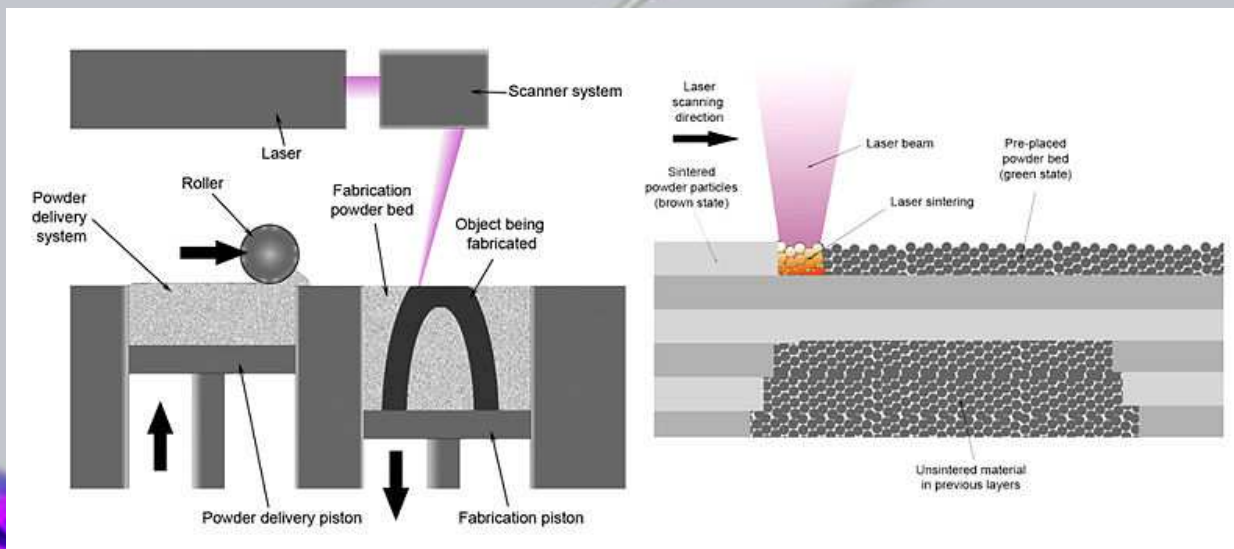


Laser Sintering



Risoluzione spaziale:

- dimensione dei grani di materiale
- temperatura di fusione del materiale
- costante conduttività termica



Berry *et al* 1997

Modello emissione LASER (I)

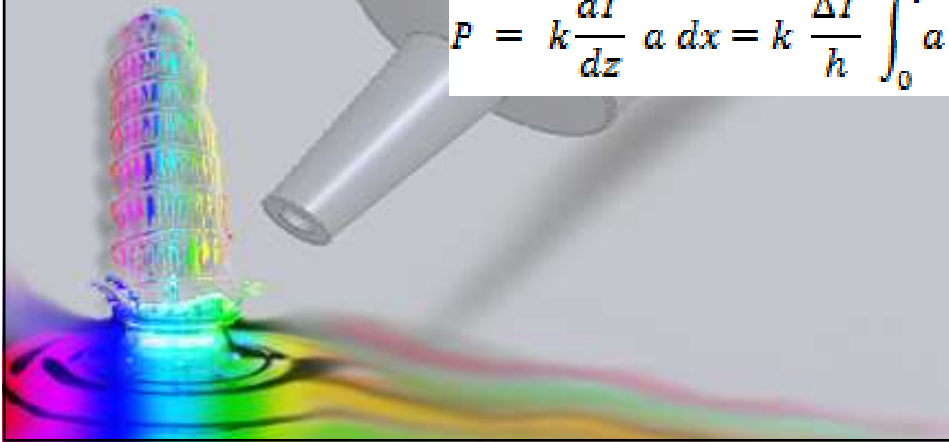
$$J_u = -k \frac{dT}{dz}$$

[W/m²]

k, costante conduttività termica [W /mK], caratteristica di ciascun materiale

$$P = J_u S$$

$$P = k \frac{dT}{dz} a dx = k \frac{\Delta T}{h} \int_0^l a dx = k \frac{\Delta T}{h} a l$$



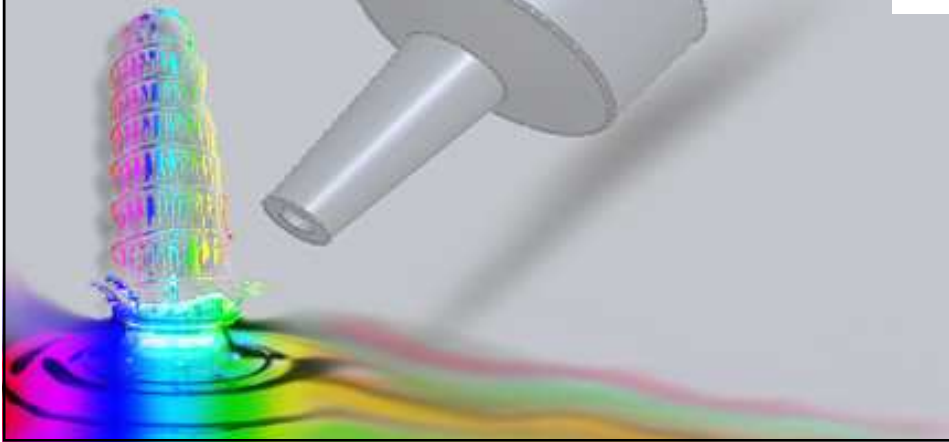
Modello emissione LASER (II)

$$\alpha = \frac{P h}{k l \Delta T}$$

$$\Delta T = T_{\text{sublimazione polimero}} - T_{\text{ambiente}}$$

Caso con velocità relativa v tra fascio LASER e piano XY

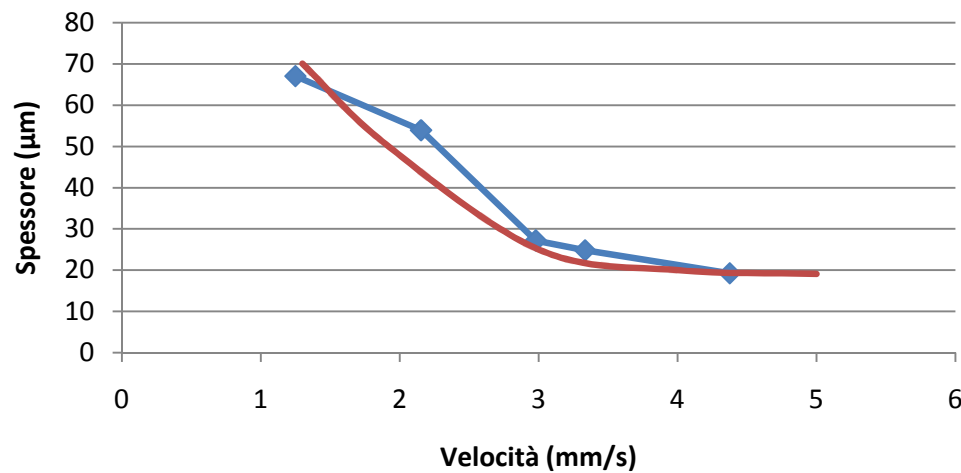
$$\alpha = \frac{P h}{k v t \Delta T}$$



Modello emissione LASER (III)

$P = 2W$

PCL 20%



Agarosio 1%

