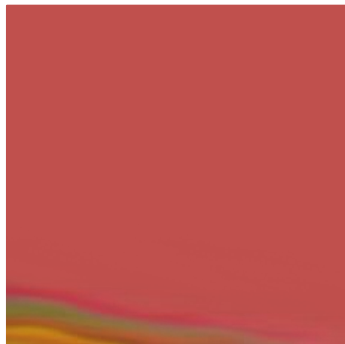
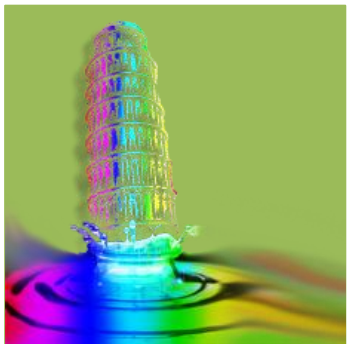
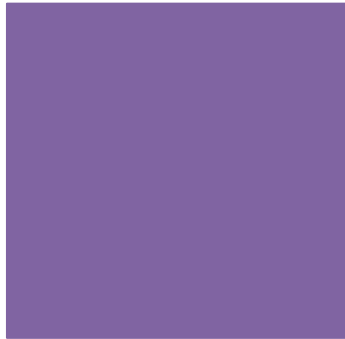


# Phantom in oftalmologia

---



[carmelo.demaria@centropiaggio.unipi.it](mailto:carmelo.demaria@centropiaggio.unipi.it)

Hand mit Ringen 1874



Eigenthum von Prof. Zehender  
Freiburg 73





# **I PHANTOM IN BIOINGEGNERIA**

# + Phantom

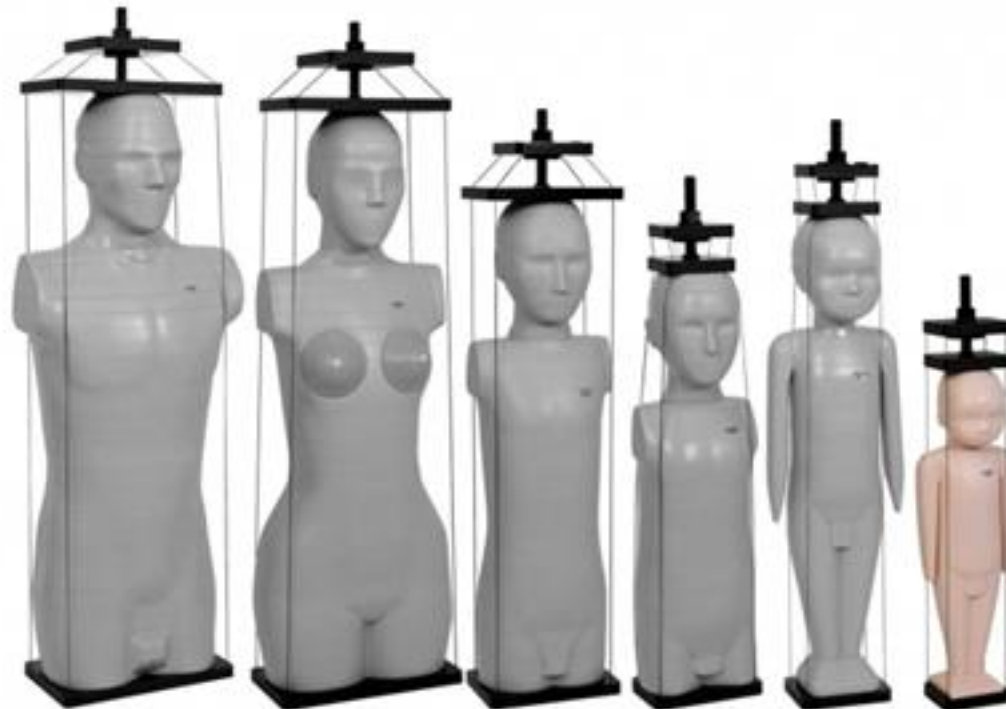
oggetto fatto ad **imitazione della figura umana**, o di una sua parte, utilizzando **materiali non viventi** per simulare una sua particolare proprietà fisica e o chimica, per lo sviluppo, la verifica di sicurezza, la calibrazione, e la formazione all'uso di dispositivi diagnostici, terapeutici o con altro scopo, che entrano in contatto con l'essere umano.



**APPLICAZIONI**

# + Applicazioni

- Banco di prova per una tecnologia
  - Ripetitività (stesse condizioni, breve periodo)
  - Riproducibilità



# + Applicazioni

- Formazione in chirurgia
  - no problemi etici,
  - sicurezza del paziente,
  - la gestione delle sale operatorie
  - la gestione del training





**CLASSIFICAZIONE**

# + Classificazione 1

## *Anatomia*

- Distretto anatomico di interesse
  - Tessuto, organo o parte del corpo



# + Classificazione 2

## *Geometria*

- Phantom **non-antropomorfi**:
  - Riproducono solo le proprietà fisiche e chimiche del tessuto di interesse, e le sue dimensioni di massima
- Phantom **antropomorfi**:
  - riproducono sia le proprietà che la forma di organi e tessuti.



# + Classificazione 2

## *Geometria*

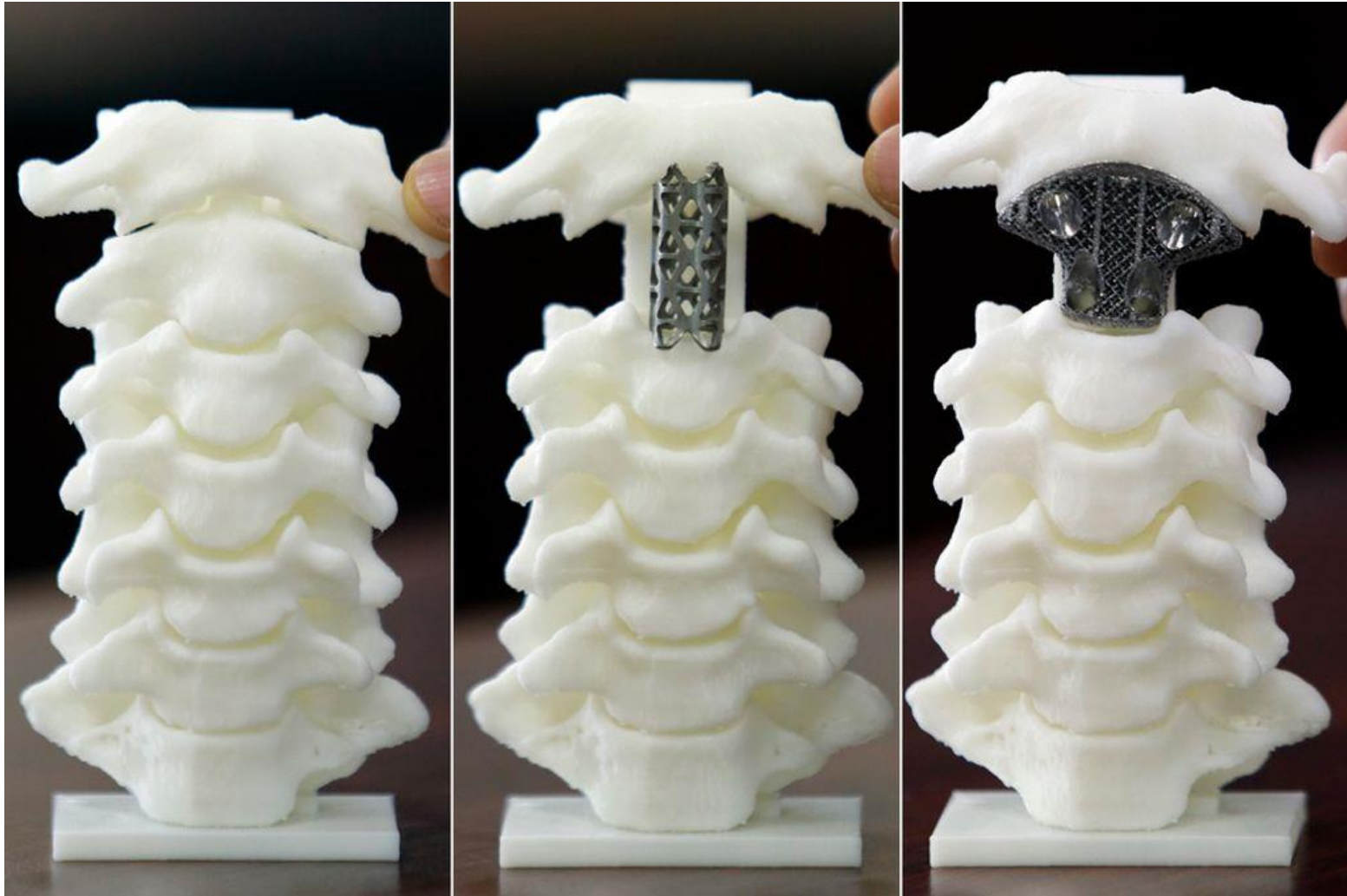


Standard Grade Solid Water, Gammex 457



# + Classificazione 2

## *Geometria – 3D printed Phantom*



# + Classificazione 3

## *Stato fisico*

- Phantom **fisici**,
  - modelli del corpo umano su cui effettuare test e misure utilizzando direttamente la strumentazione medica.
- Phantom **virtuali (o in silico)**,
  - modelli al computer del corpo umano, su cui è possibile agire attraverso le periferiche del computer stesso.



# + Phantom Fisici

- Suddivisibile sulla base dello stato dei materiali utilizzati in:
  - Phantom solidi
  - Phantom liquidi





# + Phantom virtuali

- Suddivisibile in:
  - Phantom interattivi
  - Phantom per il calcolo
    - probabilistici,
    - deterministici





# + Classificazione 2+3

## *Caratteristiche costruttive*

### Non-antropomorfi

### Antropomorfi

#### Fisici

Cilindri per misure  
dosimetriche

Manichini per  
cateterizzazione e per  
la chirurgia  
laparoscopica

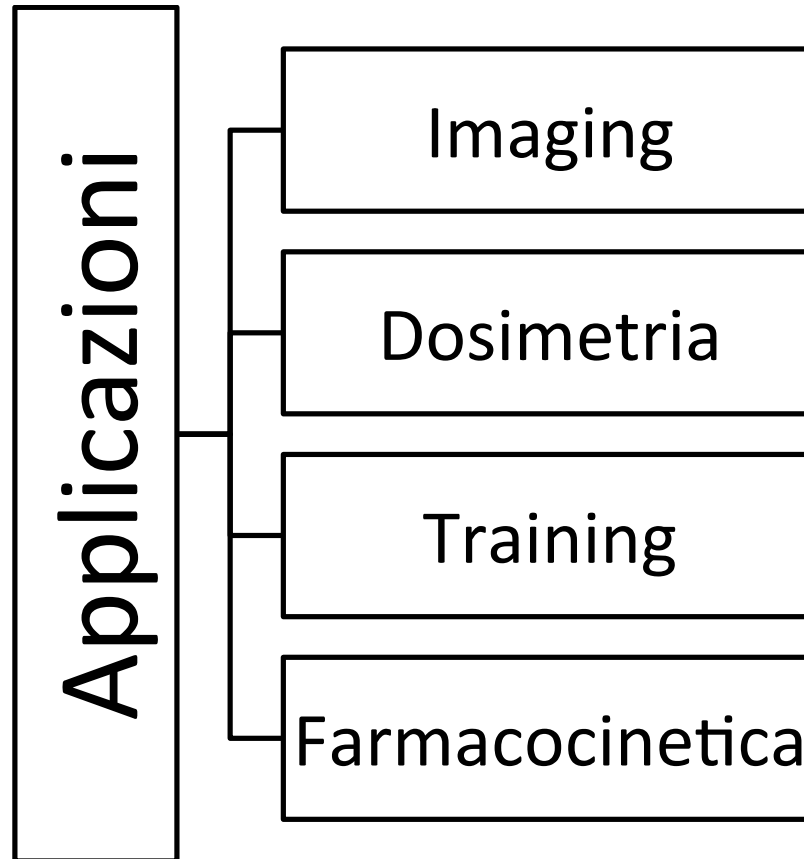
#### Virtuali

Modelli a geometria sferica,  
usati per validare la soluzione  
numerica con una soluzione  
analitica

Simulatori di chirurgia  
computer assistita

# + Classificazione 4

## *Applicazioni*



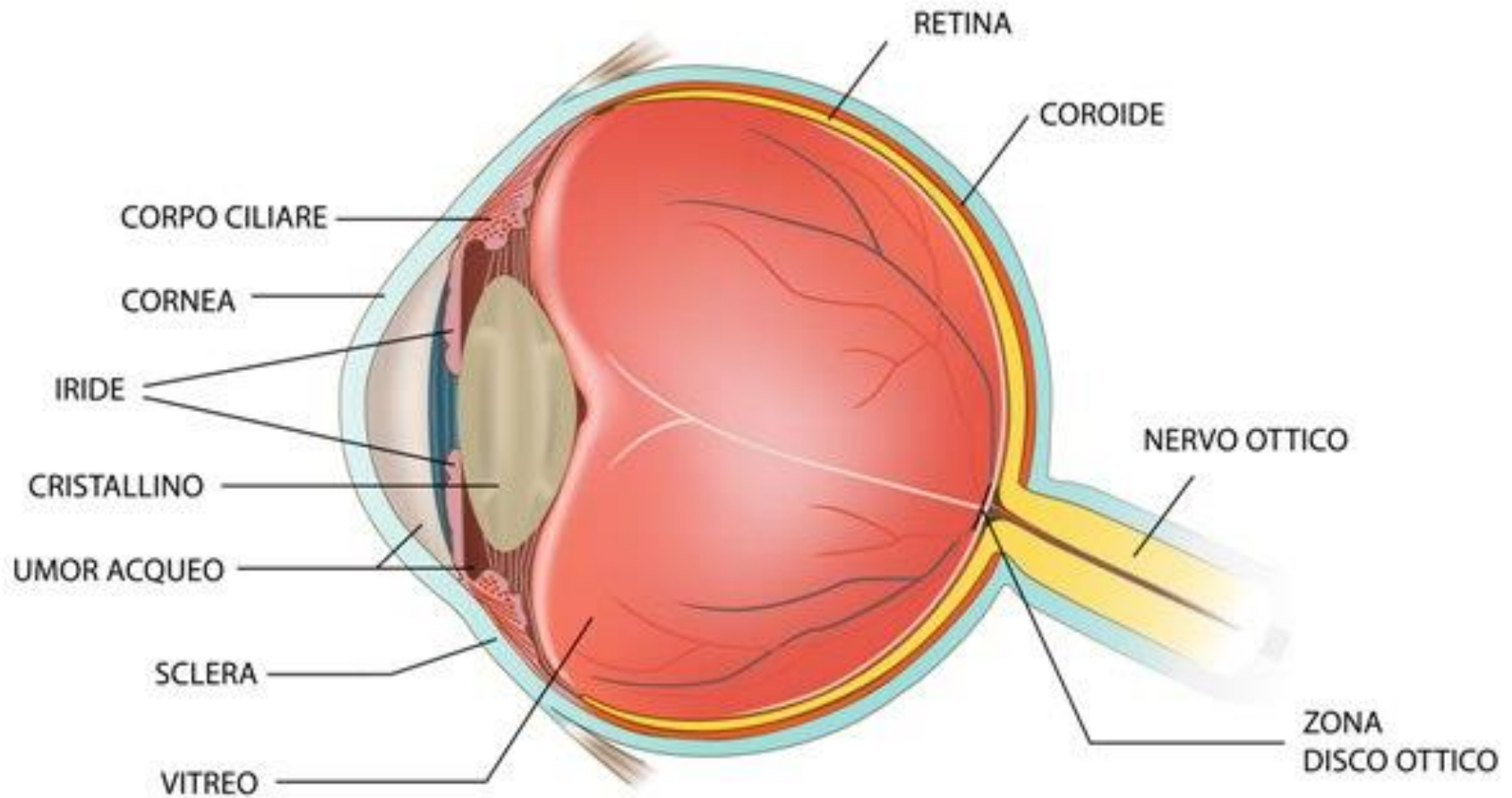
Progettare un phantom sulla base della sua applicazione

# **PHANTOM DI OCCHIO**



# Occhio

## *Struttura e funzioni*





# Occhio

## *Proprietà geometriche*



	Zona dell'occhio	Valore
<b>Raggio di Curvatura (mm)</b>	Cornea (superficie anteriore)	7.8
	Cornea (superficie posteriore)	6.2
	Sclera	12.7
	Cristallino (superficie anteriore)	9.2 – 12.2
	Cristallino (superficie posteriore)	5.4 – 12.2
	Retina	11.7
<b>Spessore (mm)</b>	Sclera	1
	Coroide (parte anteriore)	0.1
	Coroide (parte posteriore)	0.2
	Retina	0.1

# + Phantom di occhio

## *Caratteristiche generali*

- **struttura antropomorfa**, anche semplificata, approssimabile con una geometria a simmetria assiale, costituita da gusci concentrici;
- **stabilità dei materiali**, sia nel tempo (tecniche di conservazione, e possibilità di riuso), che in condizioni di esercizio (ad esempio sensibilità alla temperatura);
- **costo di fabbricazione contenuto.**



**PHANTOM PER IMAGING**

# + Imaging medico

- branca della medicina e dell'ingegneria che studia ed usa tecnologie e processi per creare una rappresentazione virtuale, bidimensionale o tridimensionale, di una parte di un organismo, non visibile dall'esterno, per l'analisi clinica e la pianificazione di un intervento.

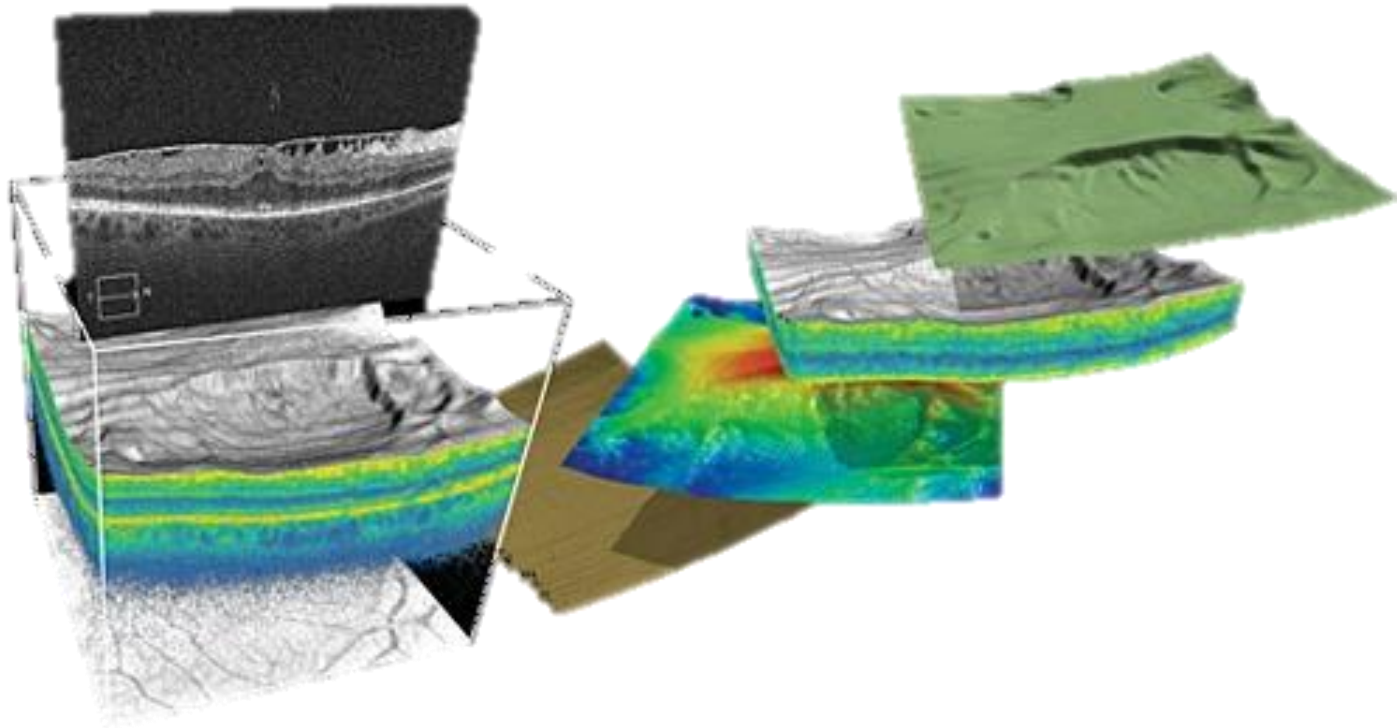




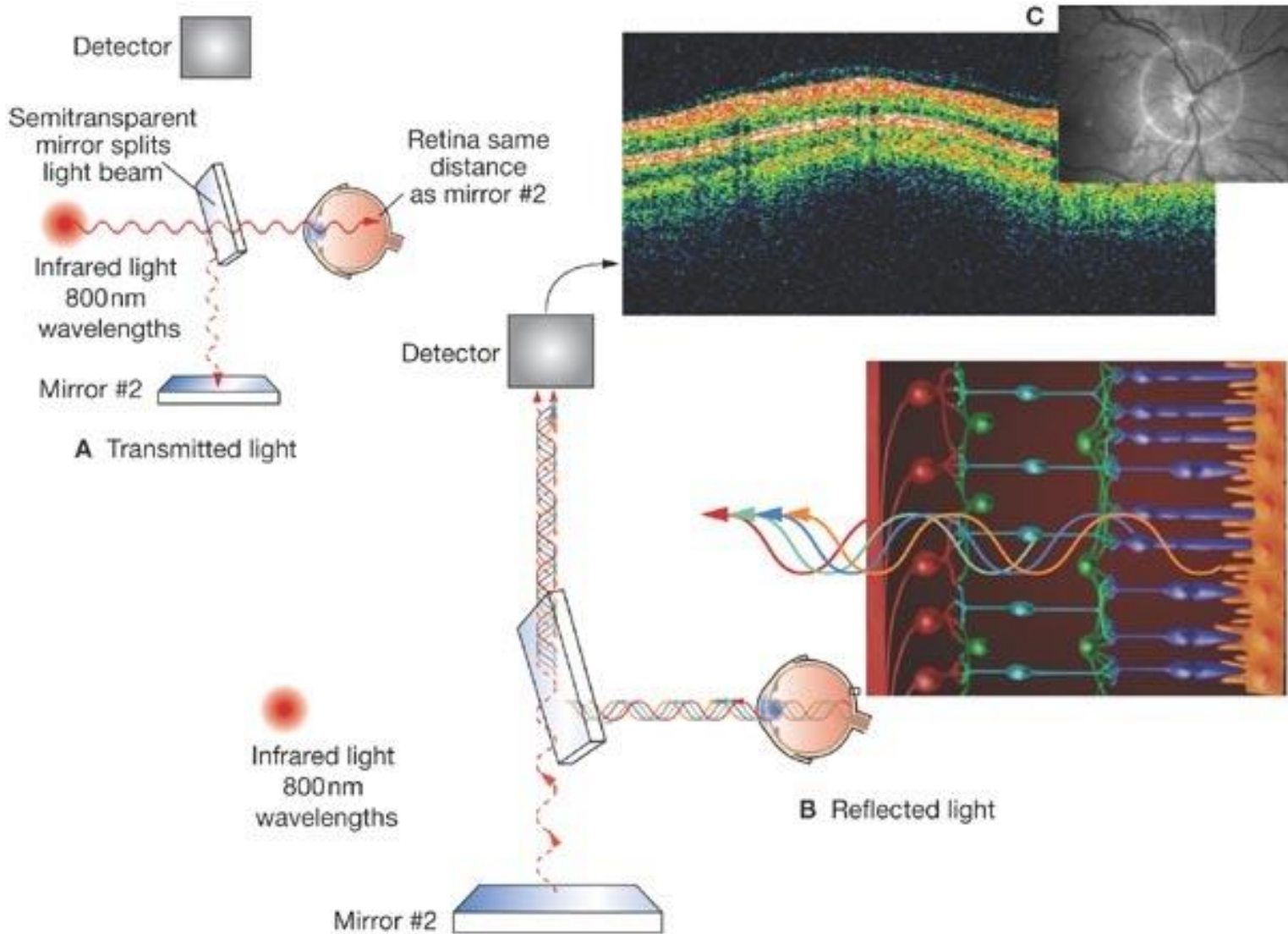


# Imaging

## *Optical coherence tomography*



# + Optical coherence tomography





# Optical coherence tomography

## *Parametri*



- **indice di rifrazione** (adimensionale): rapporto fra la velocità della radiazione elettromagnetica nel vuoto e la velocità all'interno di un materiale;
- **riflettanza** (adimensionale): rapporto tra l'intensità della l'onda elettromagnetica riflessa e l'intensità dell'onda elettromagnetica incidente;
- **coefficiente di attenuazione** ( $m^{-1}$ ): indica la riduzione di intensità dell'onda elettromagnetica (legge di Lambert-Beer).

QUESTI PARAMETRI SONO SOLITAMENTE FUNZIONI DELLA LUNGHEZZA D'ONDA DELL'ONDA ELETTROMAGNETICA!



# Optical coherence tomography

## *Parametri*

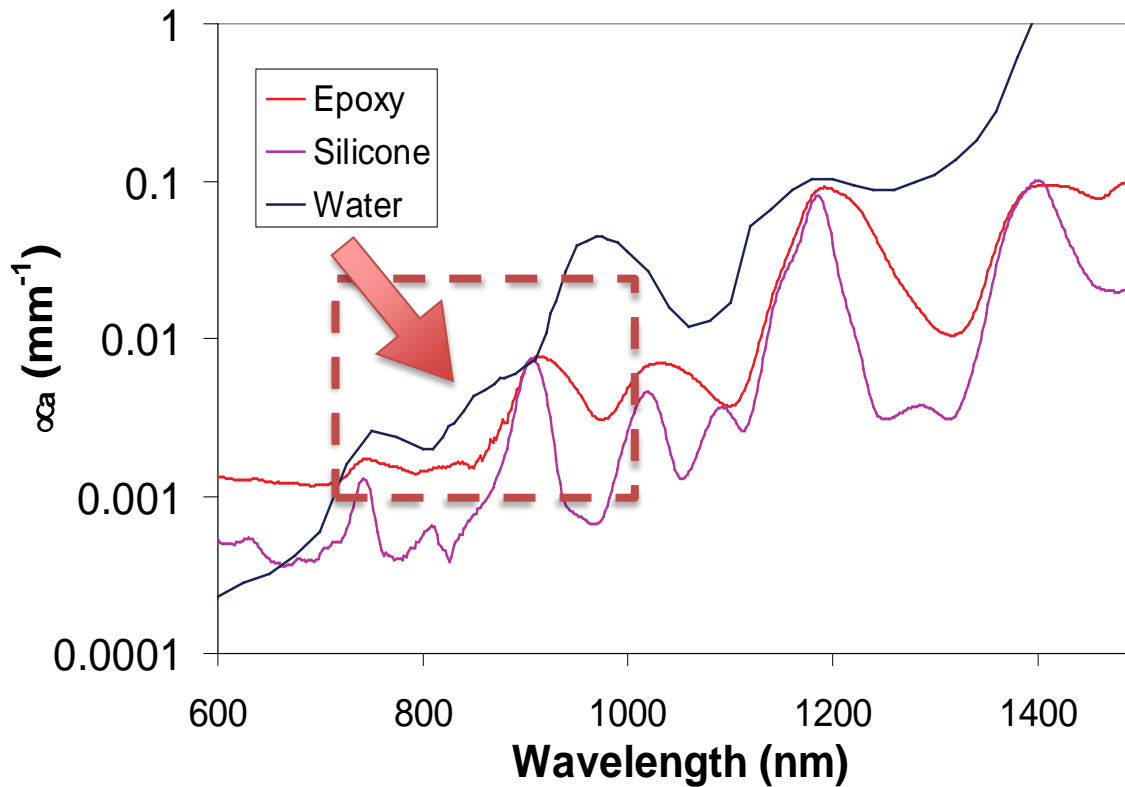


Zona dell'occhio	Indice di rifrazione (380 – 760 nm)
Cornea	1.377
Umor acqueo	1.337
Capsula del cristallino	1.380
Cristallino	1.437
Corpo vitreo	1.336



# Optical coherence tomography

## *Parametri*





# Optical coherence tomography

## *Materiali*



- Silicone (PDMS), con filler inorganici
  - Scatters: Microsfere di diossido di titanio, di silice, di allumina, e nanoparticelle d'oro
  - Materiale assorbente: Carbon black
- Gel di fibrina, con filler organici
  - Sangue
  - Grasso

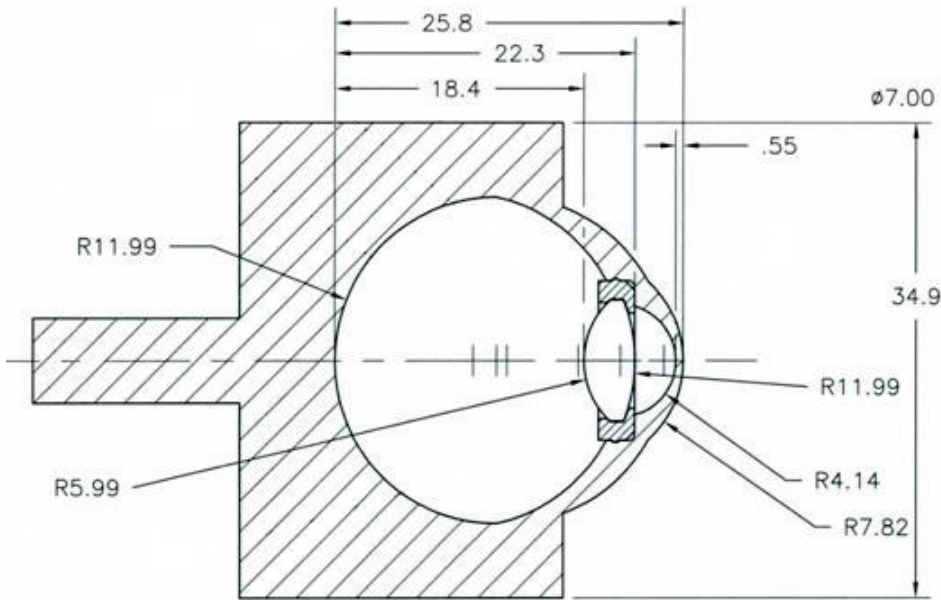
Kennedy F. et al. (2010). J. Biomed. Opt.

Lamouche G, et al. (2012). Biomedical Optics Express , 3, 1381-1398.

Agrawal A. et al. (2012). Biomedical Optics Express; 3(5):1116-26



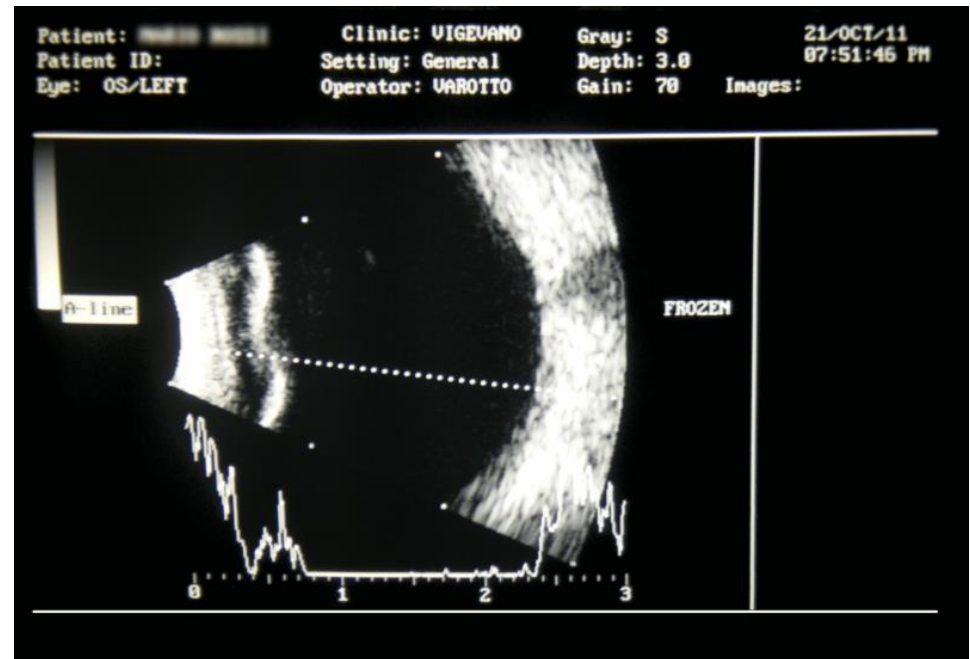
# Optical coherence tomography *Phantom*





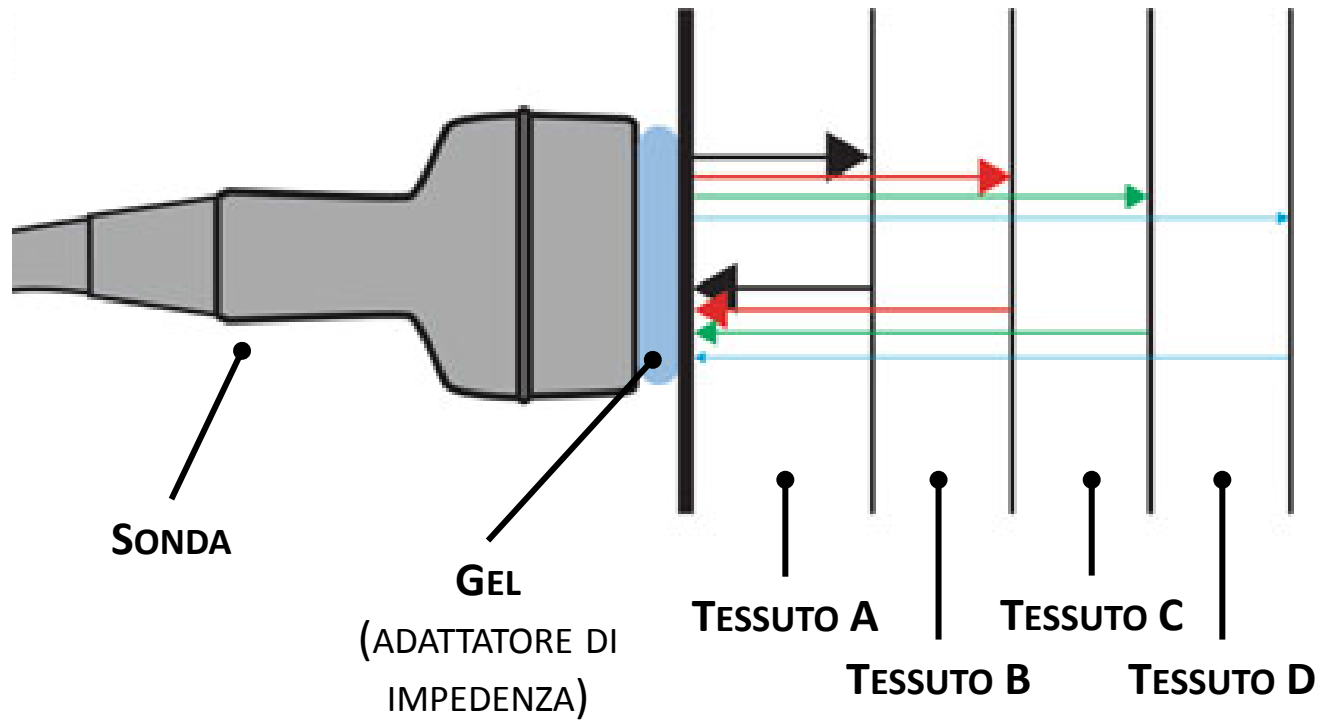
# + Imaging

## *Ecografia oculare*





# + Ecografia oculare



# + **Ecografia oculare**

## *Parametri*



<b>Frequenza (MHz)</b>	<b>Risoluzione (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Profondità di penetrazione (mm)</b>
<b>8-10</b>	200-500	30-40
<b>35-50</b>	20-60	5-8
<b>65</b>	5	1

# + Ecografia oculare

## *Parametri*

- Velocità ultrasuoni

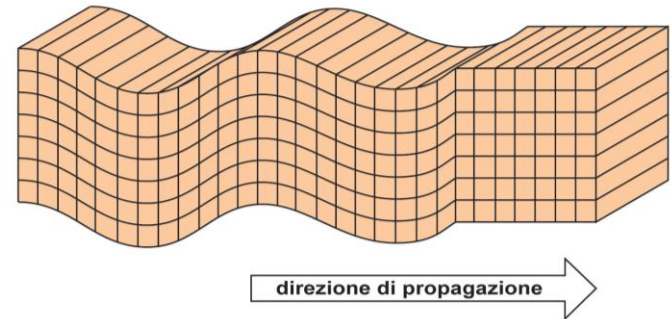
Solido

$$v_T = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad v_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)}}$$

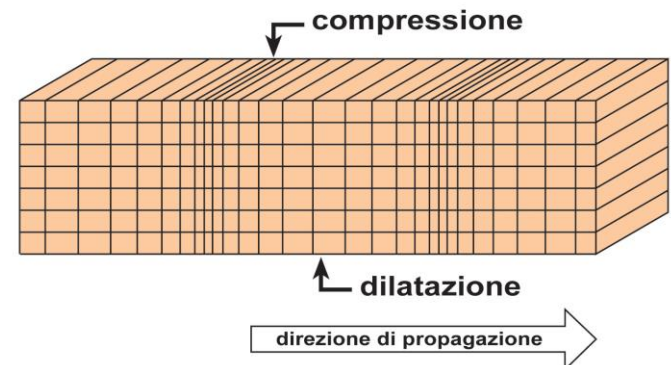
Liquidi

$$v_L = \sqrt{\frac{1}{\rho\beta}} \quad \beta = \left. \frac{\Delta V}{V} \frac{1}{\Delta P} \right|_{Q=0}$$

ONDA TRASVERSALE



ONDA LONGITUDINALE



# + Ecografia oculare

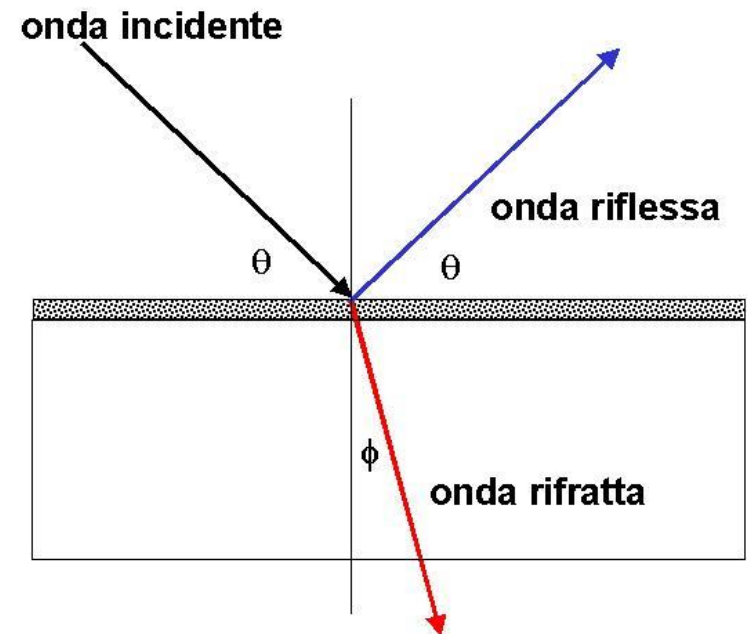
## *Parametri*

Impedenza acustica

$$Z = \rho v$$

Ampiezza onda riflessa

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$



# + Ecografia oculare

## *Parametri*



	Velocità (m s <sup>-1</sup> )	Z (10 <sup>6</sup> kg m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	α (dB cm <sup>-1</sup> )
<b>Umor vitreo</b>	1523	1.52	0.06
<b>Umor acqueo</b>	1532	1.50	0.06
<b>Cristallino</b>	1640-1673	1.84	0.78
<b>Tessuto adiposo</b>	1450	1.38	0.63
<b>Sangue</b>	1570	1.61	0.18
<b>Tessuti molli (val. medio)</b>	1540	1.63	0.7
<b>Acqua</b>	1480	1.48	0.002
<b>Aria</b>	330	4 · 10 <sup>-4</sup>	12

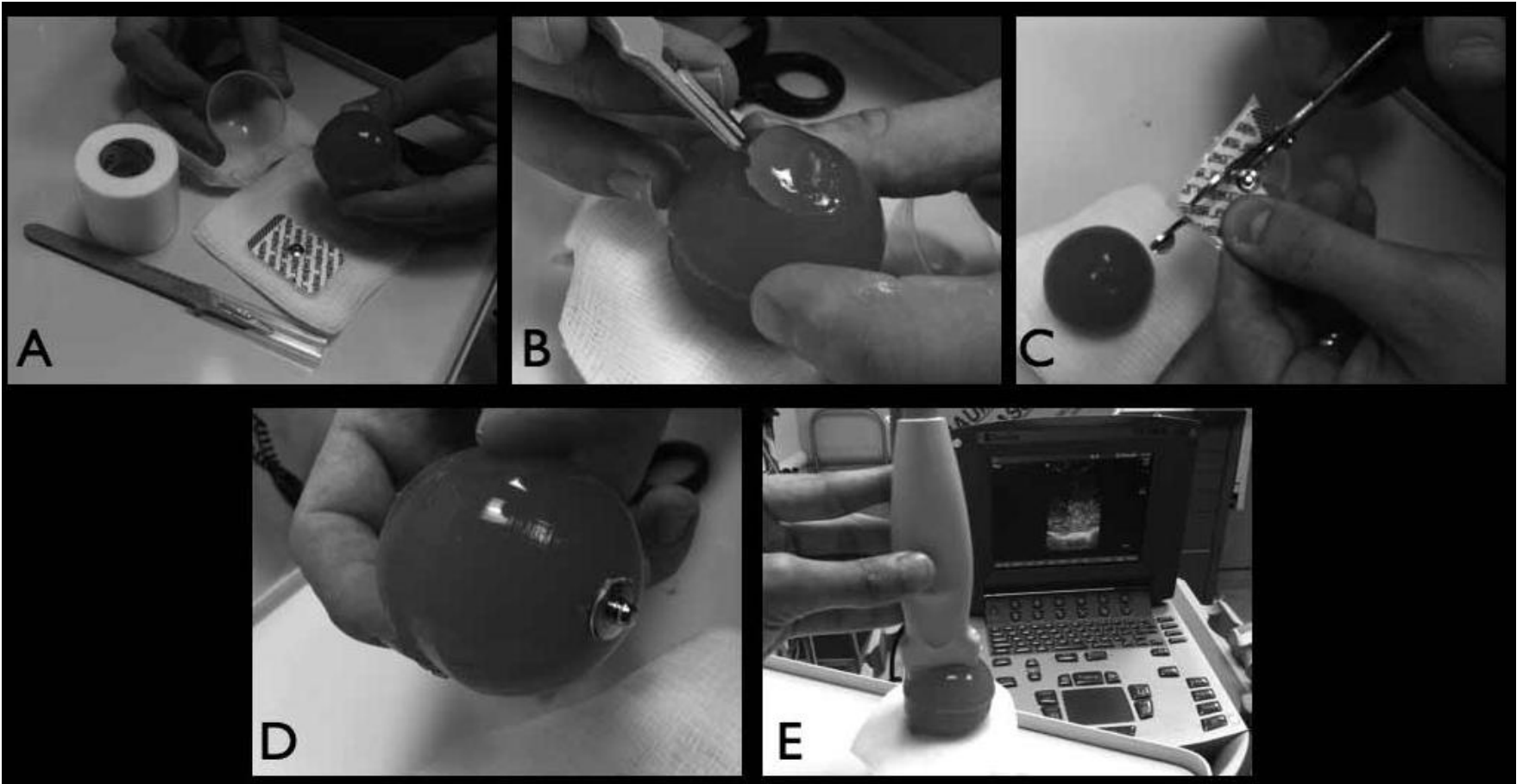
# + **Ecografia oculare**

## *Materiali*

- Gelatina mista a psillio
- Fluido iperecogeno (microbolle)



# + Ecografia oculare *Phantom*



# **PHANTOM PER DOSIMETRIA**



# + Dosimetria

- branca della fisica che si occupa del calcolo e della misura della quantità di energia assorbita dalla materia quando sottoposta ad un campo elettromagnetico





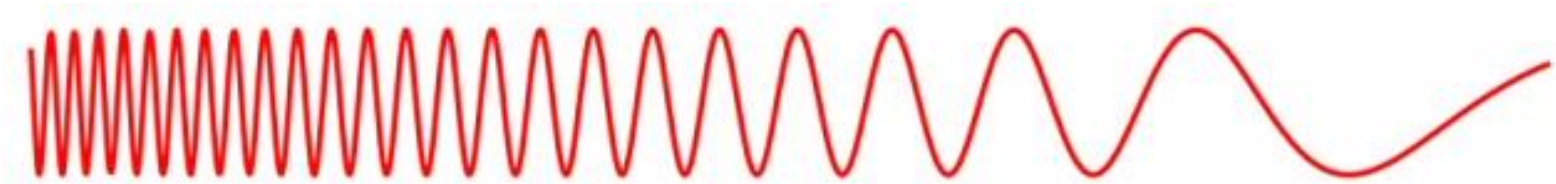
# Dosimetria

## *Principi*



- L'energia  $U$  associata ad un'onda elettromagnetica è direttamente proporzionale alla sua frequenza  $\nu$

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \quad U = h \cdot \nu$$





# Dosimetria

## *Principi*

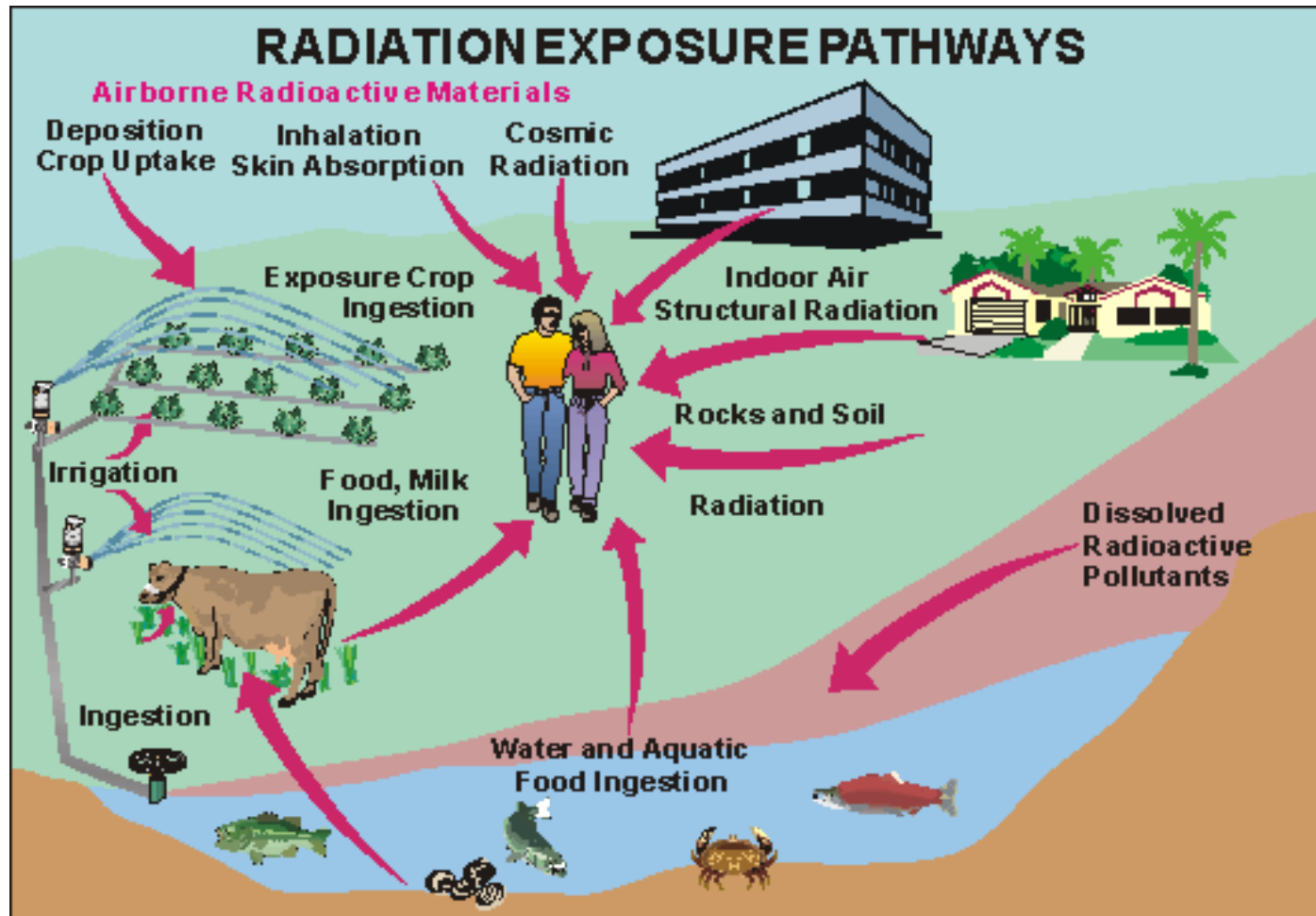


- Gli effetti della radiazione elettromagnetica sugli esseri viventi dipendono da:
  - la frequenza della radiazione,
  - la modalità di esposizione



# Dosimetria

## Principi





# Dosimetria

## *Principi*

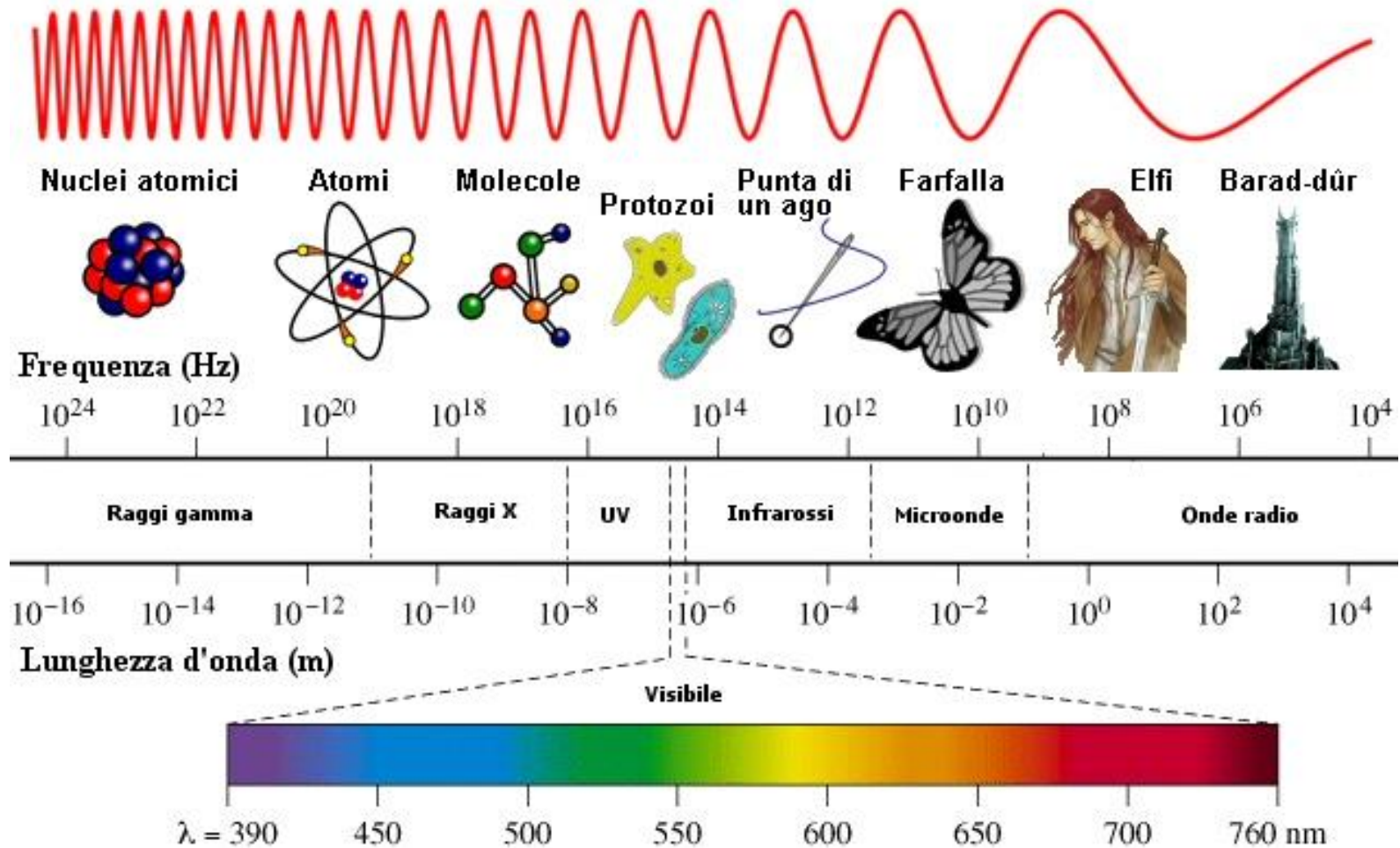


- **radiazioni ionizzanti** ( $> 3000$  THz): in grado di ionizzare direttamente la materia qualunque sia la loro intensità: possono quindi modificare le strutture molecolari, compreso il DNA, producendo effetti biologici a lungo termine.
- **radiazioni non ionizzanti**, ( $< 3000$  THz): non in grado di produrre ionizzazione nei materiali ad esse esposti ed il cui effetto biologico è legato all'induzione di correnti elettriche ed al riscaldamento a queste collegato.



# Dosimetria

## Principi

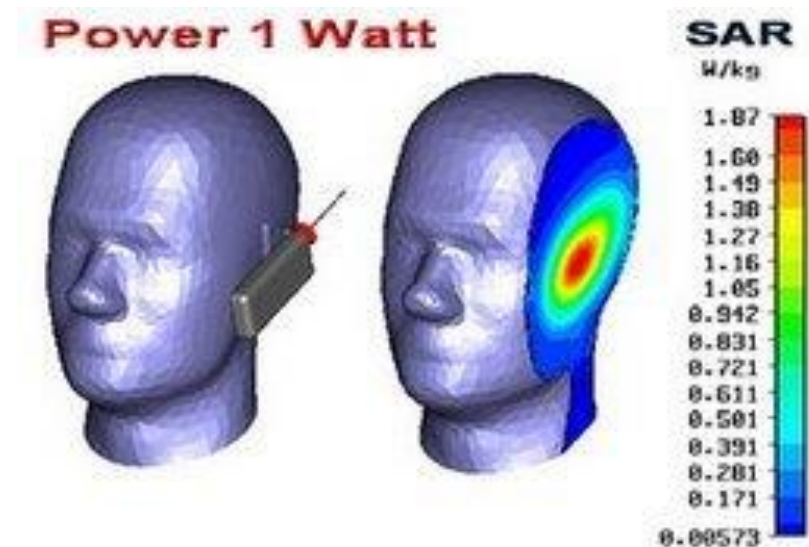




# Radiazioni non ionizzanti

## *Parametri*

- Gli effetti biologici sono collegati al SAR (W/kg, specific absorption rate)
- Per l'occhio il limite di SAR per un tessuto medio di 10 g è di 2 W/kg tra 0.5 e 3.5 GHz (ICNIRP)
- Importanza della geometria





# Radiazioni non ionizzanti

## *Parametri*

- La **permittività relativa**, che spiega il comportamento di un materiale dielettrico in presenza di un campo elettrico; è tipicamente una funzione complessa della frequenza.
- **Conducibilità** (S/m), che mette in relazione la densità di corrente elettrica con l'intensità del campo elettrico

$$SAR = \int_V \frac{\sigma E(r)}{\rho} dr$$

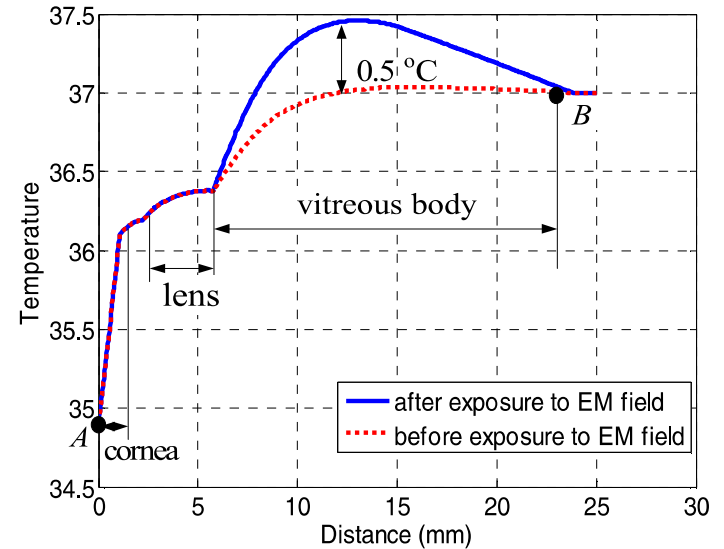
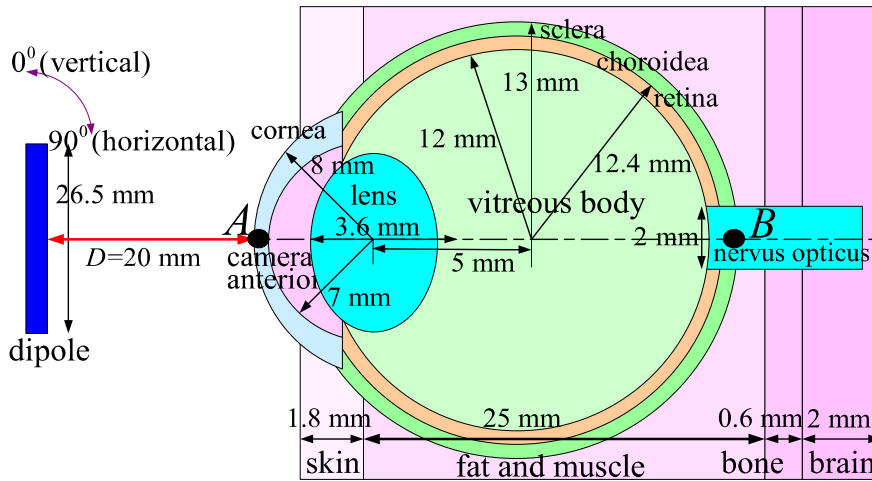






# Radiazioni non ionizzanti

## Phantom



$$\nabla \cdot (k\nabla T) + \rho SAR + A - B(T - T_b) = C\rho \frac{\partial T}{\partial t}$$



# Radiazioni non ionizzanti

## *Phantom*



---

Sezione		Materiale (%)		$\epsilon_r$	$\sigma$
<b>Bulbo oculare</b>	Acqua	Saccarosio	Cloruro di sodio	69	1.9
	89	10	1		
<b>Altri tessuti</b>		2-propanolo		4.0	0.2

---



# Radiazioni ionizzanti

## *Parametri*

- **dose assorbita** (J/kg o gray, Gy): energia che la radiazione cede alla materia per unità di massa;
- **dose equivalente** (sievert, Sv): energia che la radiazione cede alla materia per unità di massa e pesata per un opportuno coefficiente che dipende dal tipo di radiazione;
- **dose efficace** (sievert, Sv): oltre alla dose equivalente tiene conto, attraverso un opportuno coefficiente, del tipo di tessuto coinvolto.

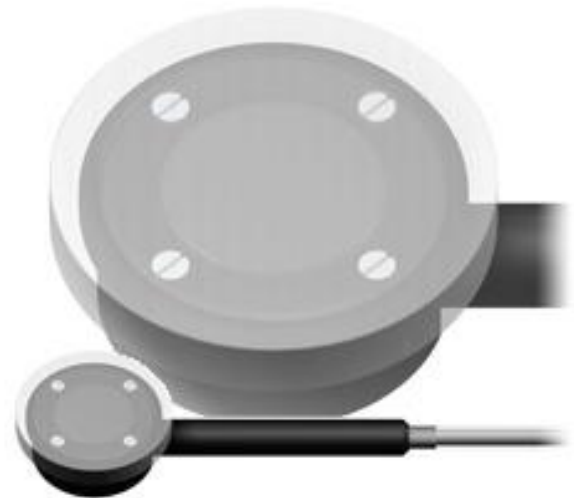




# Radiazioni ionizzanti

## *Phantom fisici*

- Materiali liquidi, geliformi o cerosi.
- Alloggiamento per i dosimetri (camere a ionizzazione, dosimetri termoluminescenti, film radiografici, etc)



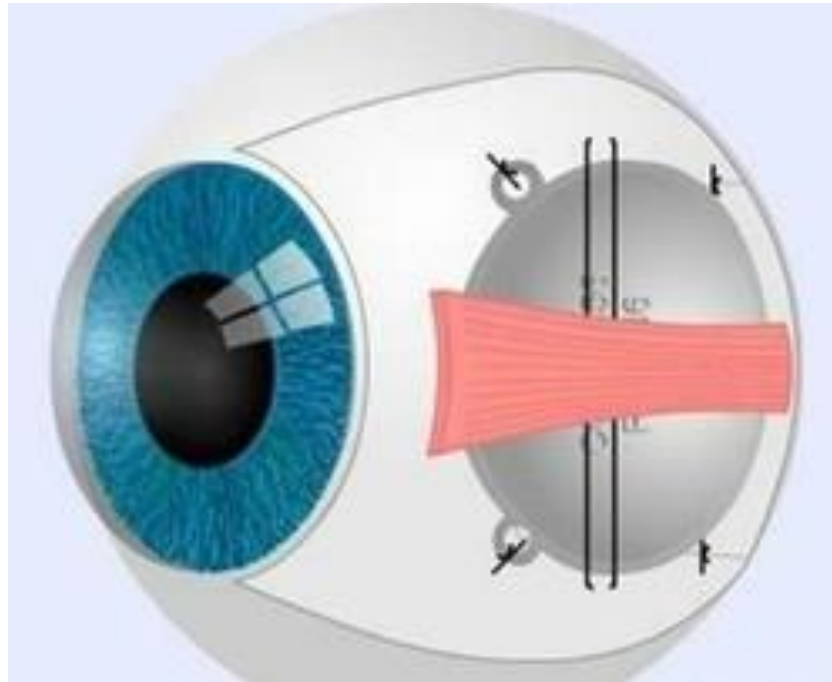


# Radiazioni ionizzanti

## *Phantom virtuali*



- Simulazioni con **Metodi Montecarlo** (brachiterapia, protonterapia)



Hastings WK. (1970). *Biometrika* , 57 (1), 97-109.

Gagne NL, Rivard MJ. (2013). *Appl Radiat Isot.* , 62-66.

Alghamdi A et al. (2007). *Phys Med Biol* , 52, 51-59.

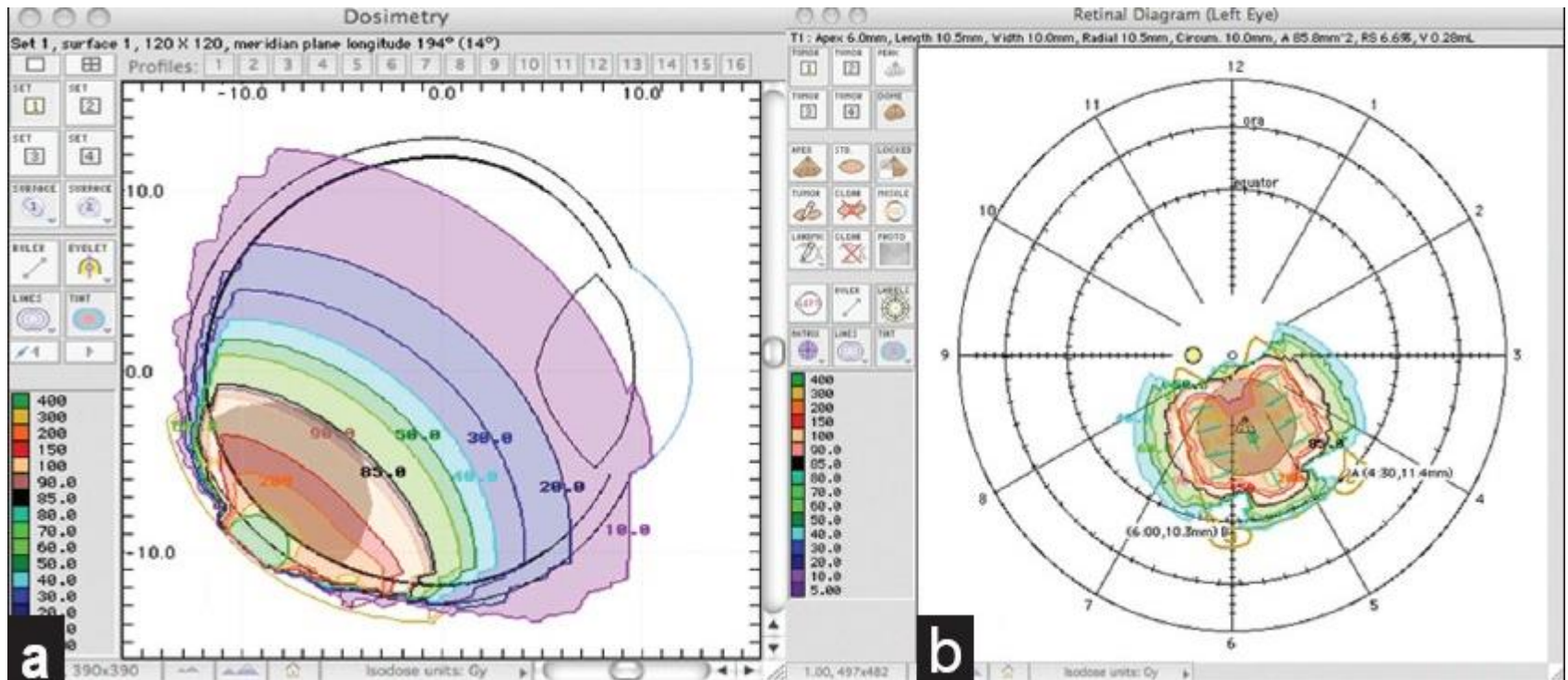
Devlin PM. (2007). In *Brachytherapy: applications and techniques*. Philadelphia.



# Radiazioni ionizzanti

## *Phantom virtuali*

- Simulazioni con **Metodi Montecarlo** (brachiterapia, protonterapia)



**PHANTOM PER  
TRAINING CHIRURGICO**

**MB**  
Manufactured  
under license with  
Milton Bradley  
Company  
U.S.A.

**eg**

EDITRICE  
GIOCHI  
MILANO

PER ETÀ  
DÀ 6 A 14 ANNI

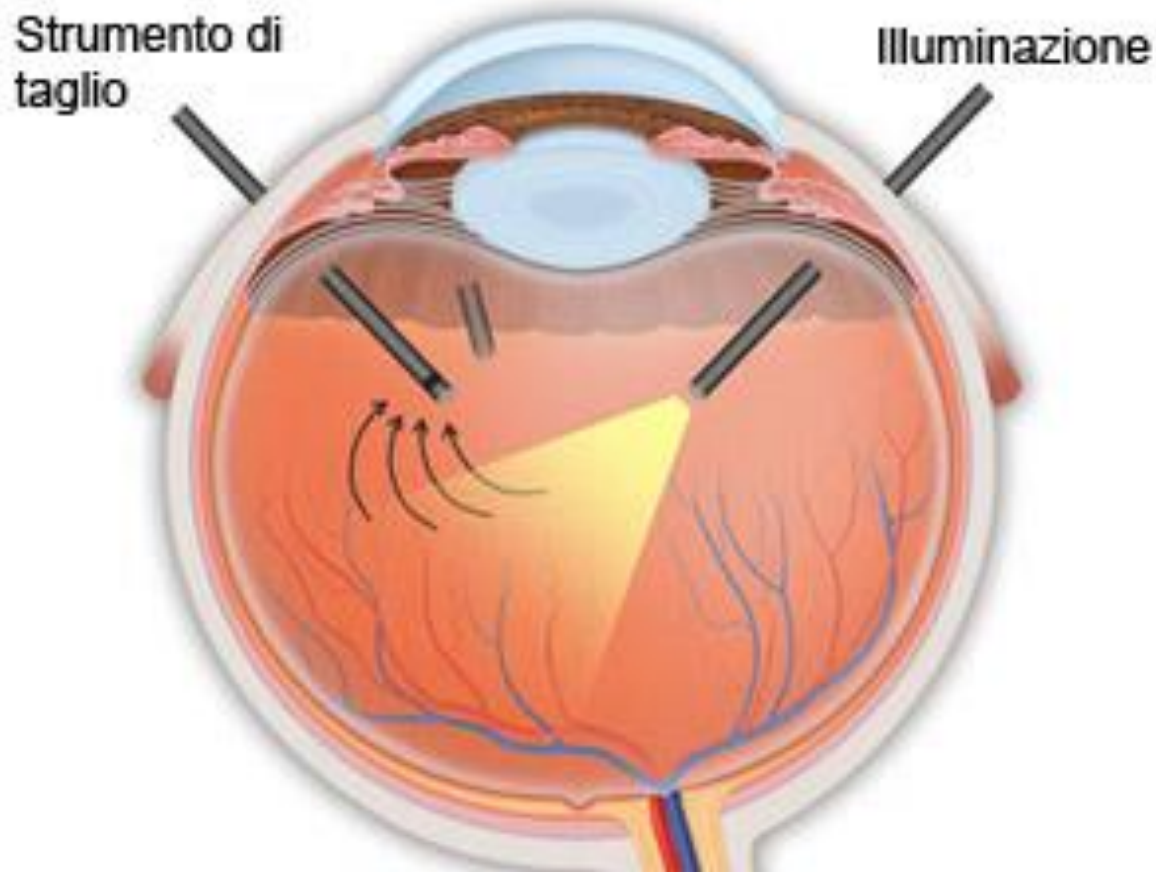


# L'ALLEGRO CHIRURGO

GIOCO ELETTRICO  
DI ASTUZIA E D'ABILITÀ



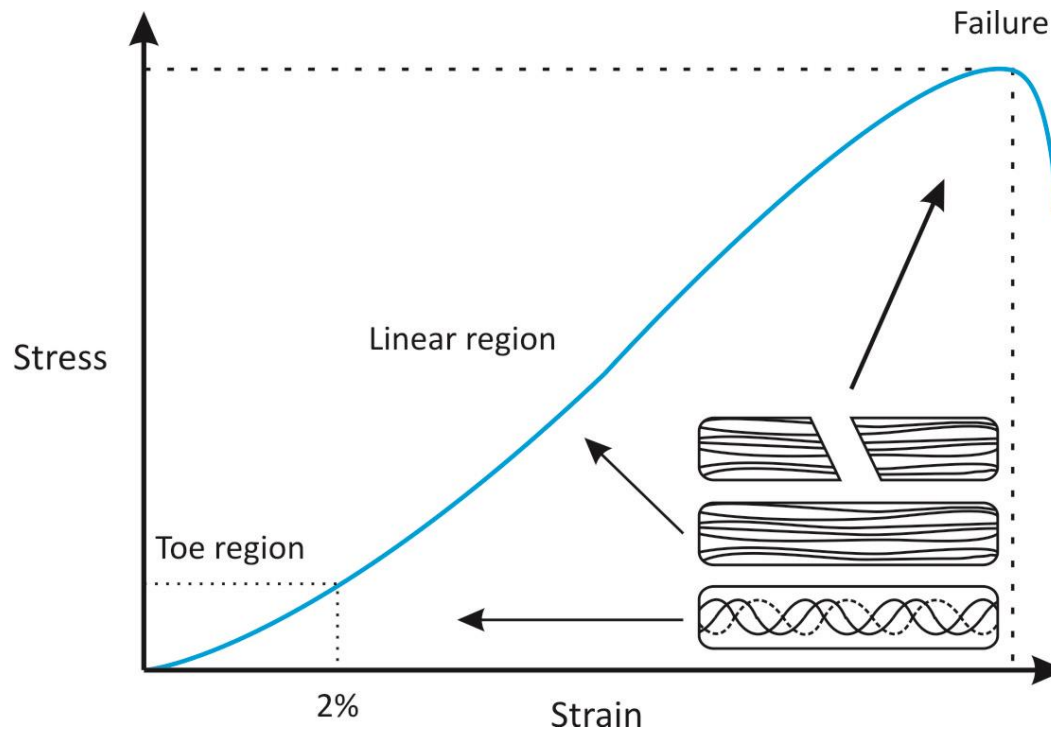
# + Vitrectomia





# Vitrectomia *parametri*

- Proprietà meccaniche
  - Elastiche



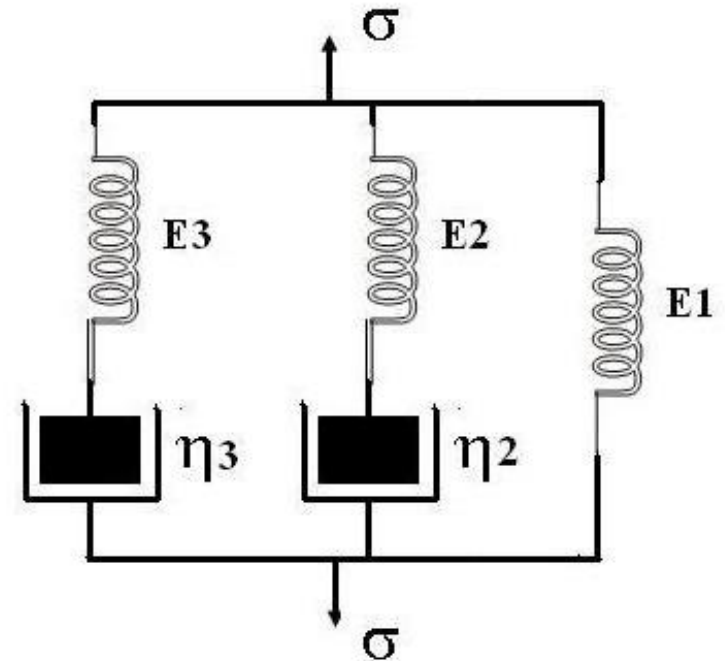
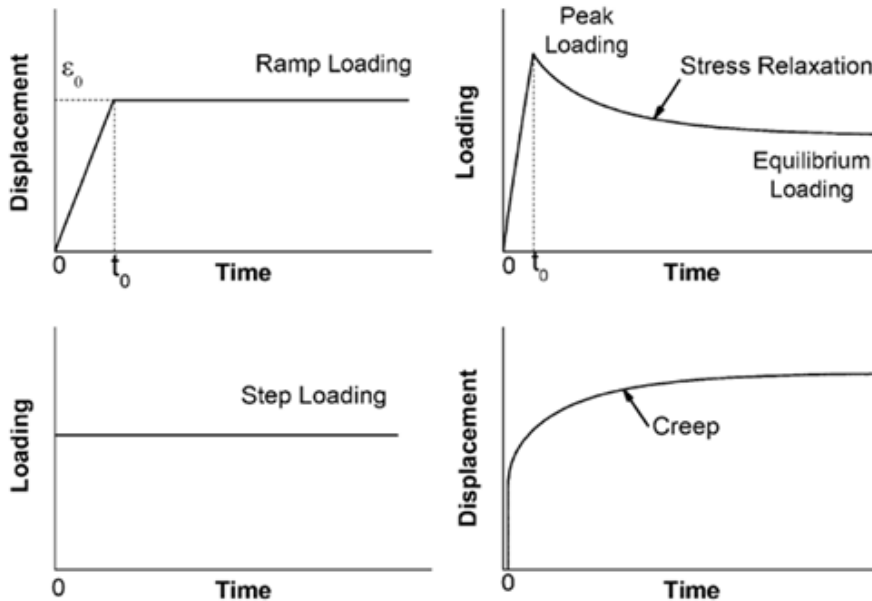
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$$





# Vitrectomia *parametri*

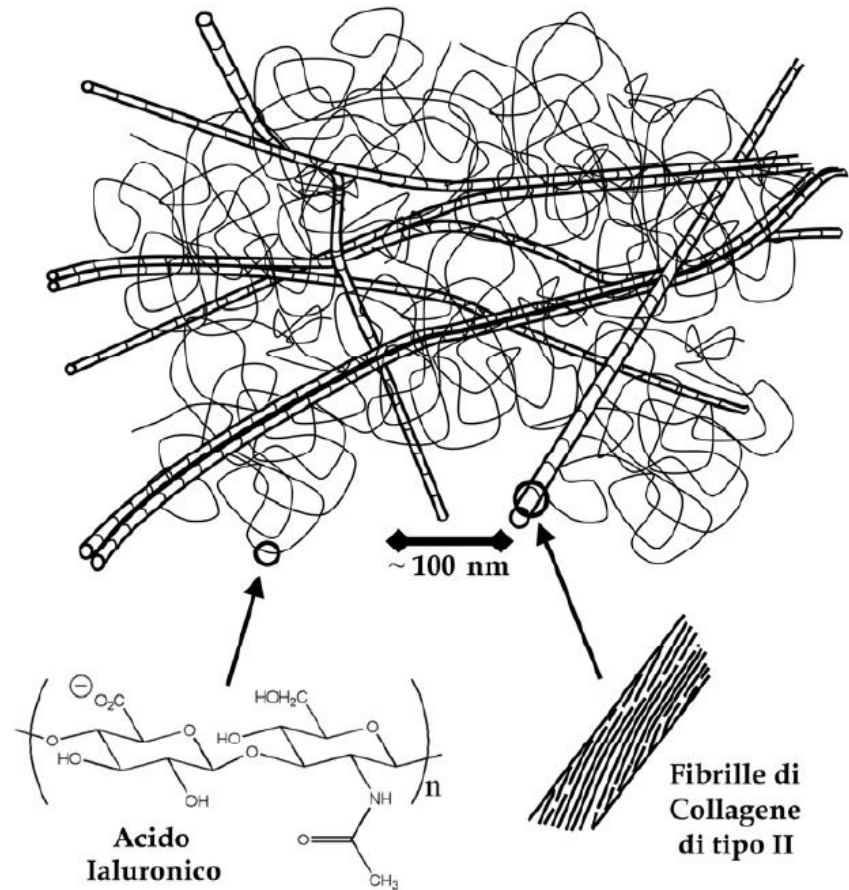
- Proprietà meccaniche
  - Viscoelastiche
    - Creep e stress relaxation





# Vitrectomia *parametri*

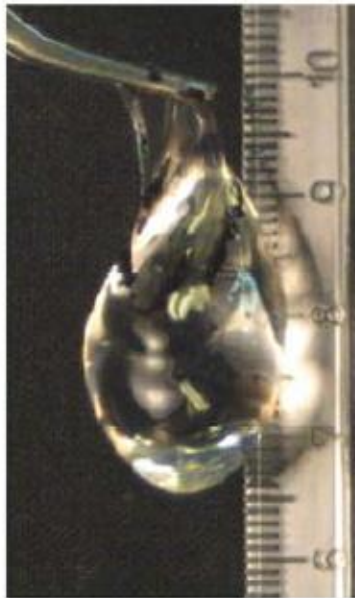
- Proprietà meccaniche
  - Reologia
    - Umor Vitreo





# Vitrectomia *parametri*

- Proprietà meccaniche
  - Reologia
    - Umor Vitreo



T = 1 min



T = 10 min



T = 30 min



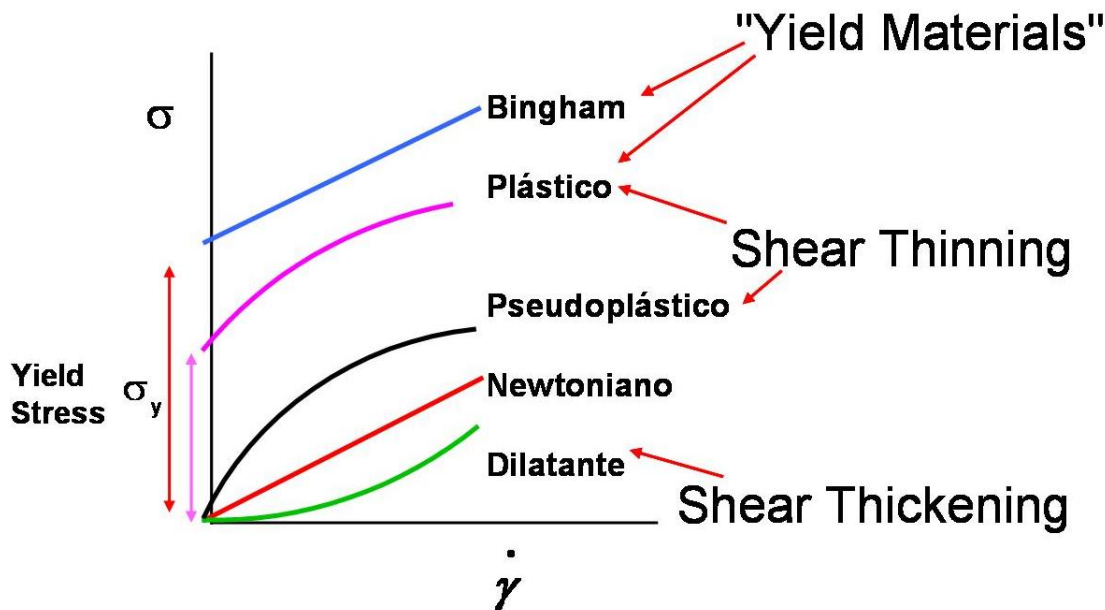
T = 90 min





# Vitrectomia *parametri*

- Proprietà meccaniche
  - Reologia
    - Umor Vitreo





# Vitrectomia

## *parametri*



---

Zona dell'occhio	Modulo elastico (MPa)
Sclera parte anteriore	$2.9 \pm 1.4$
Sclera parte posteriore	$1.8 \pm 1.1$
Coroide	$0.6 \pm 0.28$
Retina	$\approx 20 * 10^{-3}$

---

Eilaghi A et al. (2010). 18;43(9):1696-701

Friberg TR, Luce JW. (1988). Exp Eye Res. Sep;47(3):429-36.

Jones IL et al. (1992). Eye London Engl. , 6, 556-559.

Glass DH et al. (2007) Invest Ophthalmol Vis Sci. Sep;49(9):3919-26.



# Vitrectomia

## *materiali*

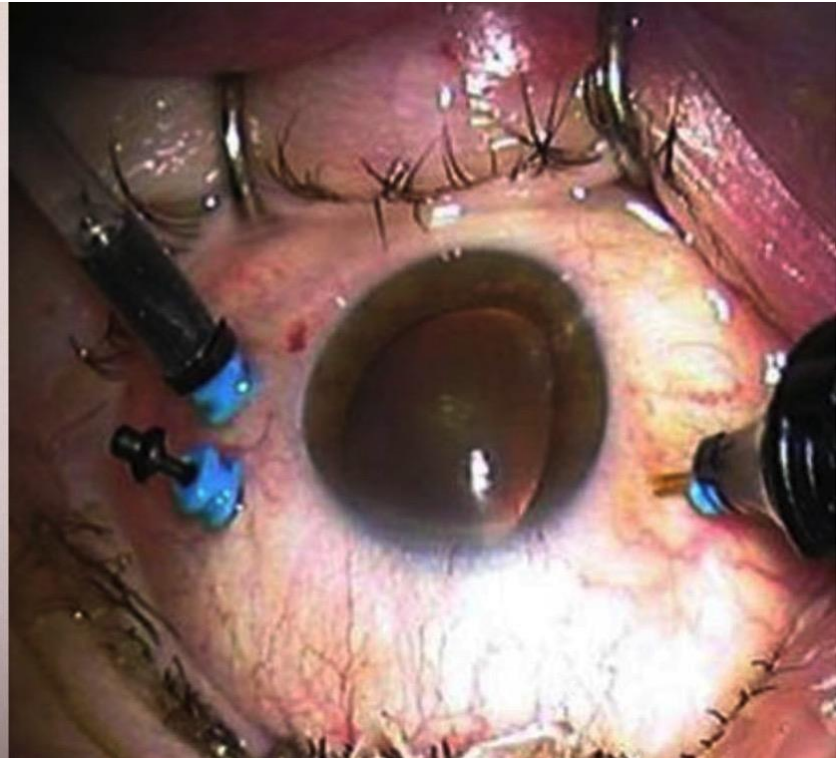
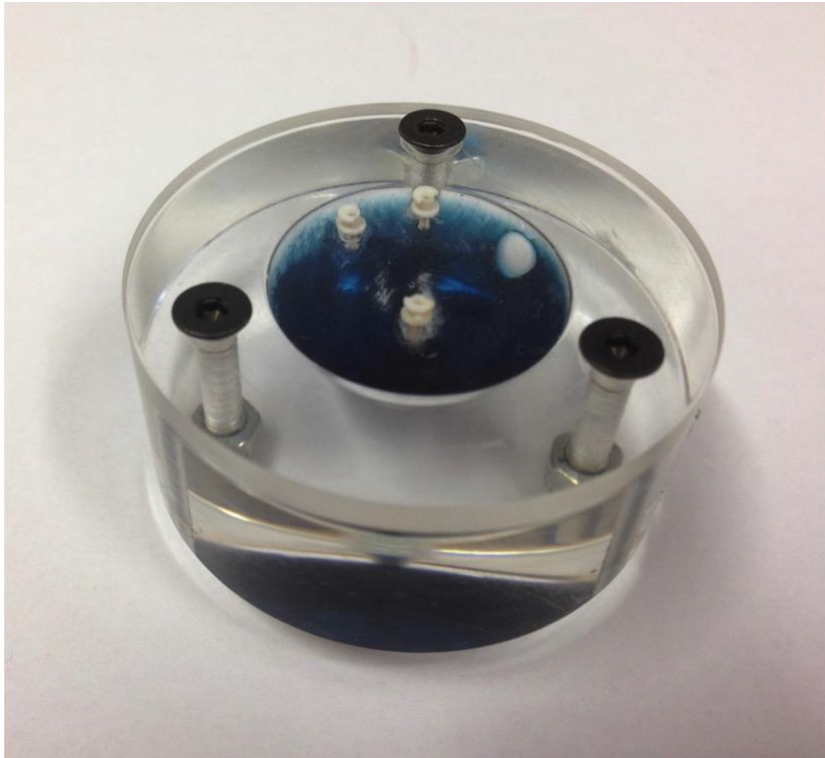


Zona dell'occhio	Materiale
Sclera	5% (p/v) policaprolattone in cloroformio
Coroide	PDMS
Retina	4% (p/v) di gelatina in acqua deionizzata crosslinkata con 0.2% (p/v) di genipin
Umor vitreo	31.5% (p/v) di alcol polivinilico in acqua deionizzata + 2.5% di gelatina in acqua deionizzata



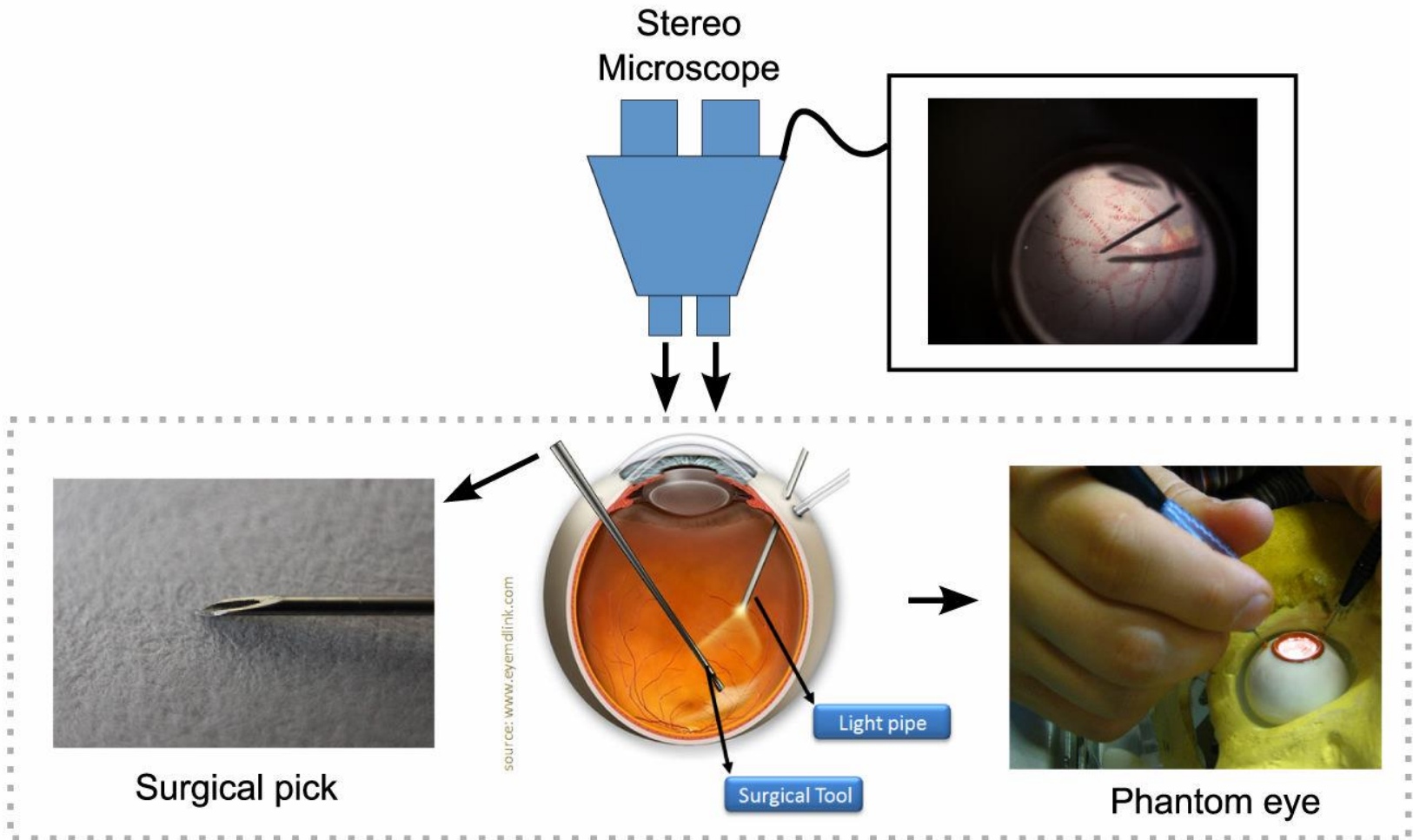


# Vitrectomia *Phantom*





# Vitrectomia *Phantom*



**PHANTOM PER FARMACOCINETICA**

# + La farmacocinetica

- Branca della farmacologia che studia quantitativamente l'assorbimento, la distribuzione, il metabolismo e l'eliminazione di farmaci.



# + Farmacocinetica

## *principi*

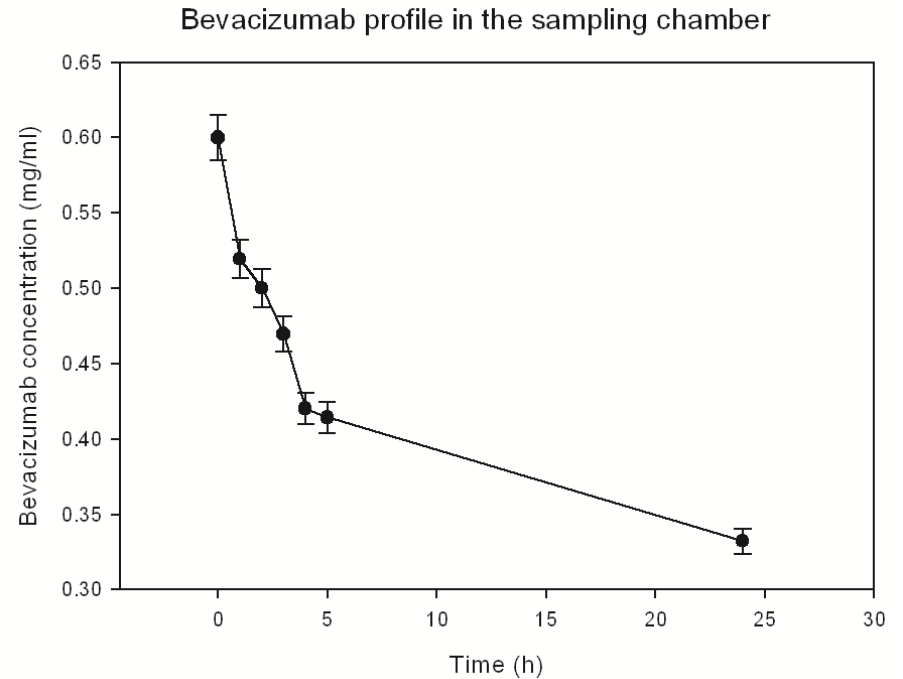
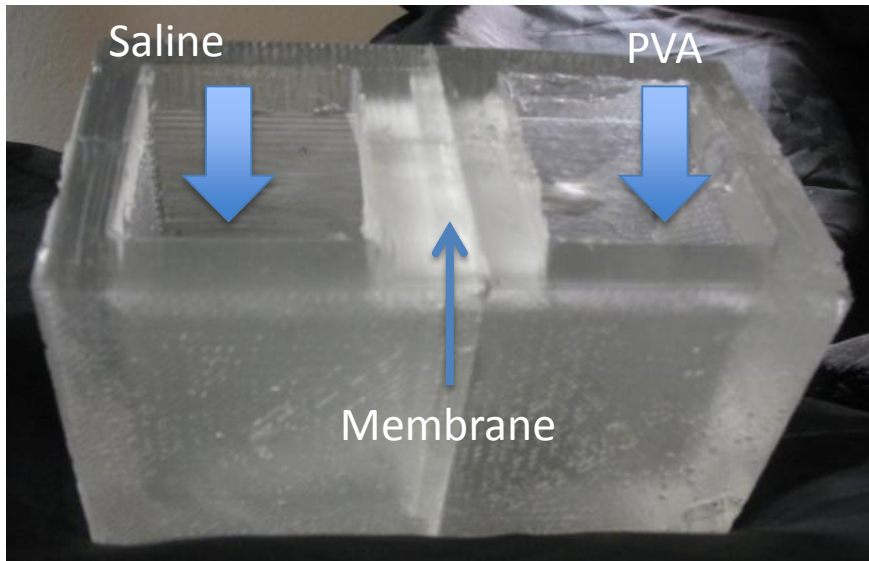
- Umor vitreo: tessuto avascolare

Legge di Fick  $\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C$



# + Farmacocinetica *Phantom*

- Misure di diffusione



**CONCLUSIONI**

# + Conclusioni

- La progettazione di un phantom richiede:
  - Una profonda conoscenza delle proprietà fisico/chimiche del tessuto di interesse
  - Ergonomia ed usabilità
  - Costi contenuti





# + Conclusioni

- Ad oggi non esiste un phantom oculare ideale, cioè che possa essere utilizzato indifferentemente per qualunque tipo di misura o operazione chirurgica.
- Determinate proprietà desiderate si ottengono a discapito di altre (proprietà ottiche vs proprietà meccaniche).
- La soluzione migliore sembra essere l'utilizzo di phantom diversi a seconda del loro campo di applicazione.

