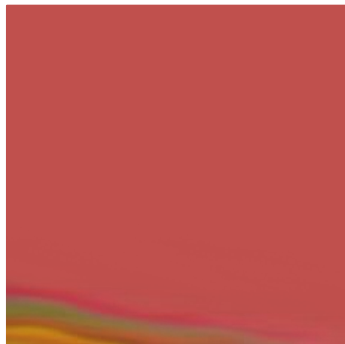
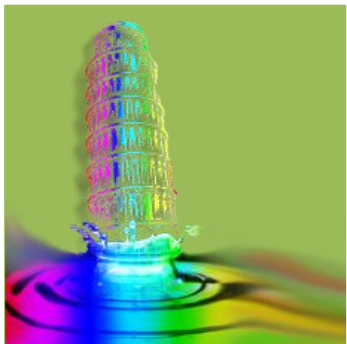
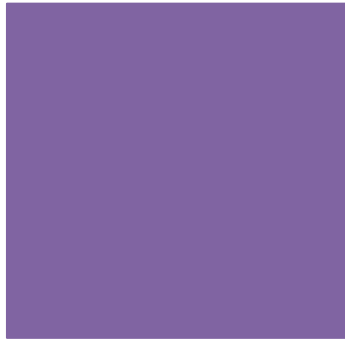




CENTRO E. PIAGGIO

Bioengineering and Robotics Research Center



# Phantom in oftalmologia

---

# + Phantom: definizione

Nell'ambito della bioingegneria, un phantom (in italiano fantoccio, anche se l'uso del termine inglese è invalso) può essere definito come 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

- Banco di prova per una tecnologia,
  - Ripetitività (stesse condizioni, breve periodo)
  - riproducibilità
- Formazione in chirurgia
  - no problemi etici,
  - sicurezza del paziente,
  - la gestione delle sale operatorie
  - la gestione del training



# + Phantom: classificazione

- Phantom **non-antropomorfi**, solo le proprietà fisiche e chimiche del tessuto di interesse, e le sue dimensioni di massima (come ad esempio lo spessore), sono riprodotte ma non la forma complessiva di un organo; un contenitore cilindrico riempito con un opportuno materiale può essere utilizzato simulare il torso di una persona;
- Phantom **antropomorfi**, che riproducono sia le proprietà che forma di organi e tessuti. Oggi, grazie allo sviluppo di tecnologie di prototipazione rapida di fabbricazione additiva, accoppiate con scansioni tomografiche del corpo umano, è possibile modelli fisici tridimensionali estremamente accurati ad un costo relativamente contenuto. Parallelamente, l'accresciuta capacità dei calcolatori consente di gestire GByte di dati, consentendo la costruzione di modelli virtuali del corpo umano estremamente realistici.

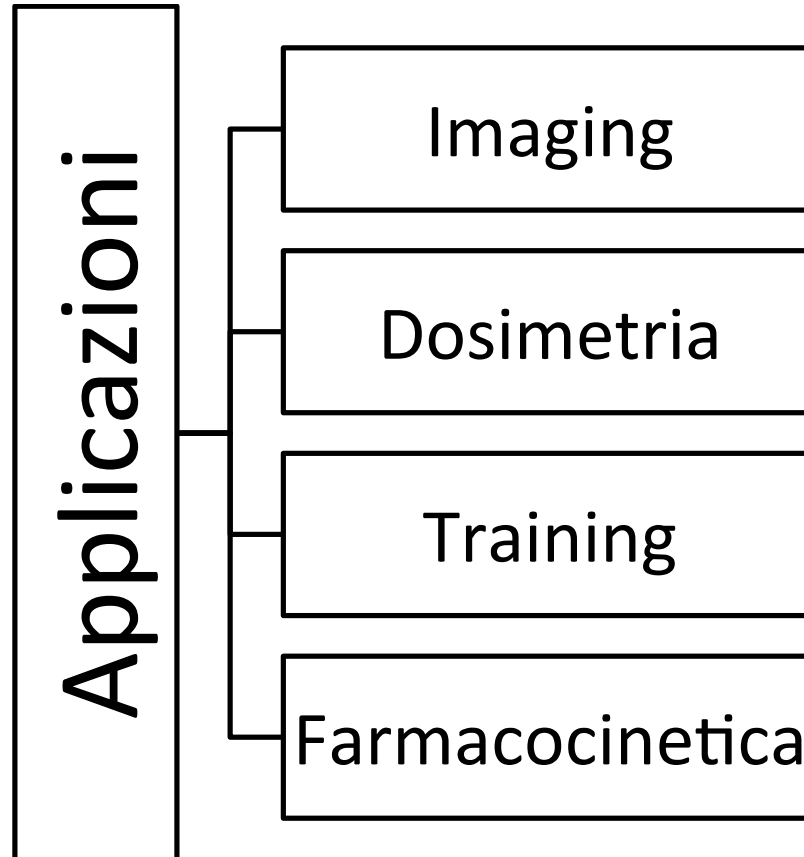
# + Phantom: classificazione

- Phantom **fisici**, ossia modelli del corpo umano su cui effettuare test e misure utilizzando direttamente la strumentazione medica. Questa categoria è ulteriormente suddivisibile sulla base dello stato dei materiali utilizzati in:
  - Phantom solidi
  - Phantom liquidi,
- Phantom **virtuali (o in silico)**, ossia modelli al computer del corpo umano, su cui è possibile agire attraverso le periferiche del computer stesso. In questa categoria si possono trovare:
  - Phantom interattivi
  - Phantom per il calcolo,
    - probabilistici,
    - deterministici

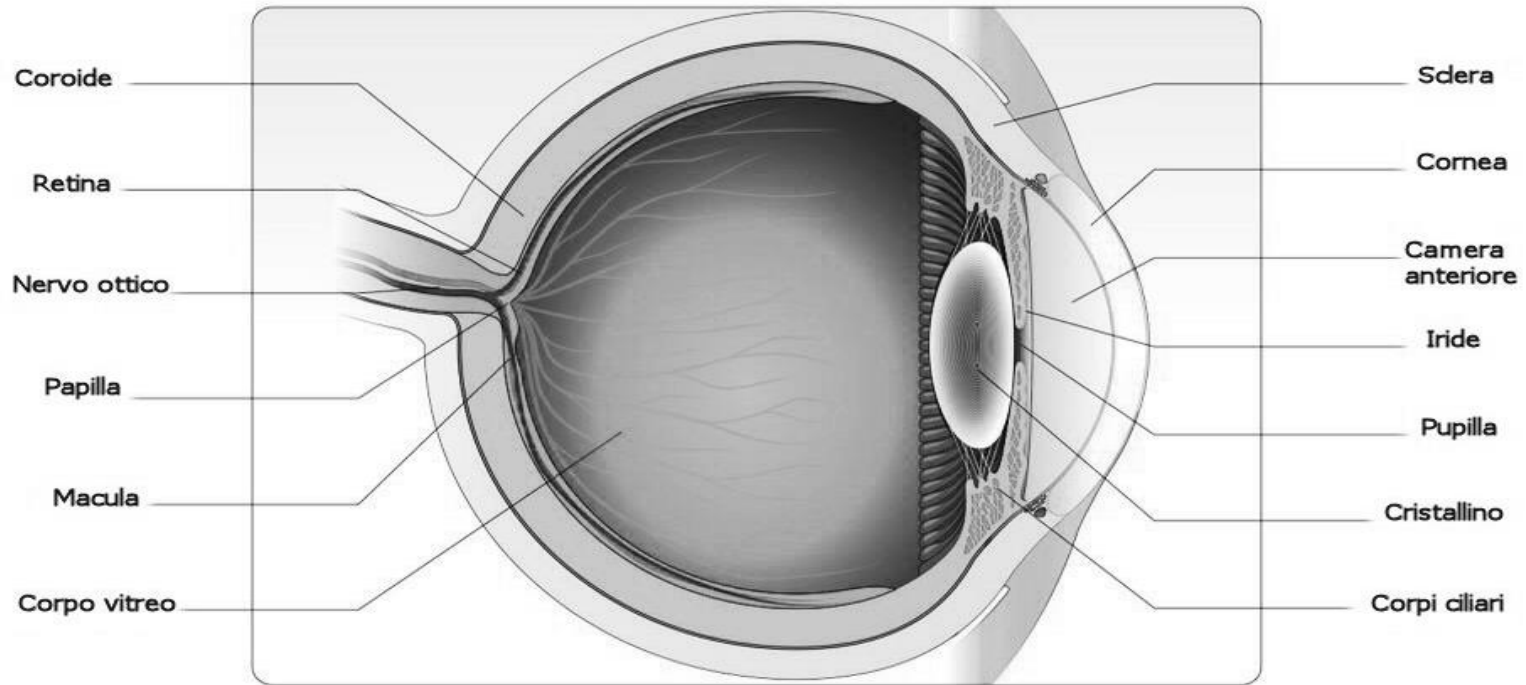
# + Phantom: classificazione

	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

# + Phantom: classificazione



# + Occhio: struttura e funzioni



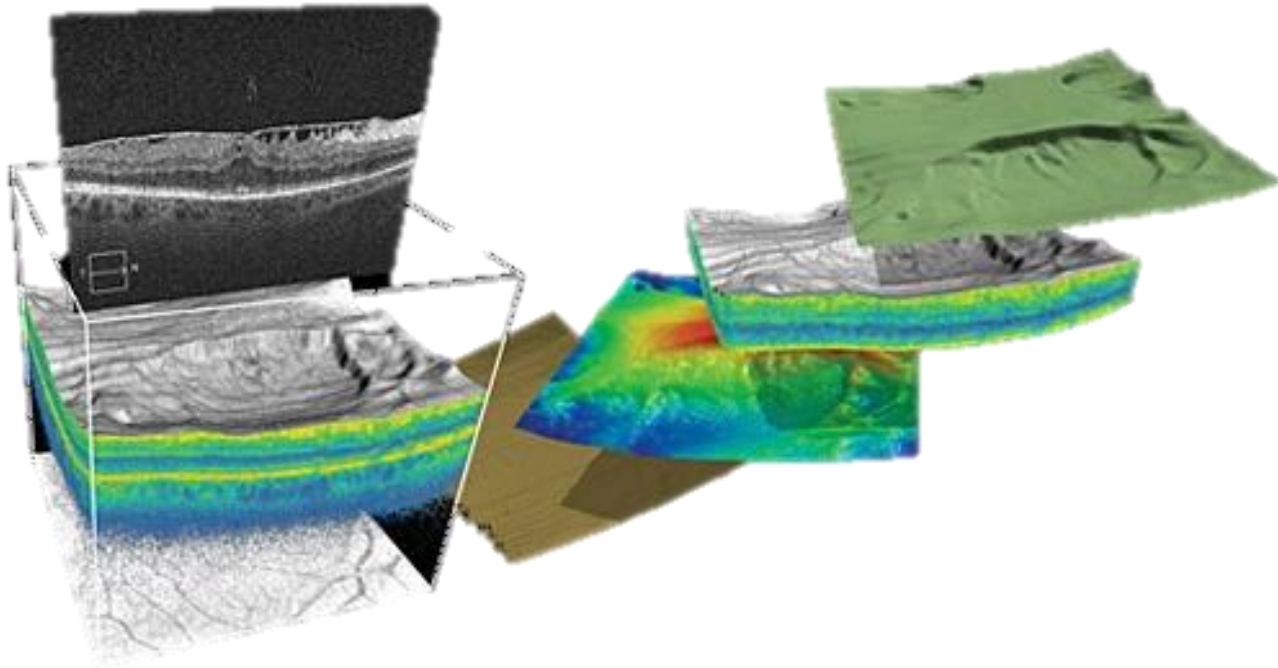


# + Occhio: proprietà geometriche

	Zona dell'occhio	Valore
Raggio di Curvatura (mm)	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
Spessore (mm)	Sclera	1
	Coroide (parte anteriore)	0.1
	Coroide (parte posteriore)	0.2
	Retina	0.1

# + Phantom di occhio: imaging

- Optical coherence tomography



# + Phantom di occhio: imaging

- Optical coherence tomography
  - l'indice di rifrazione (adimensionale), ossia il rapporto fra la velocità della radiazione elettromagnetica nel vuoto e la velocità all'interno di un materiale;
  - la riflettanza (adimensionale), ossia il rapporto tra l'intensità della l'onda elettromagnetica riflessa e l'intensità dell'onda elettromagnetica incidente;
  - il coefficiente di attenuazione (misurato in  $m^{-1}$ ), che indica la riduzione di intensità dell'onda elettromagnetica, solitamente ottenuto con un fitting mono-esponenziale in accordo con la legge di Lambert-Beer.

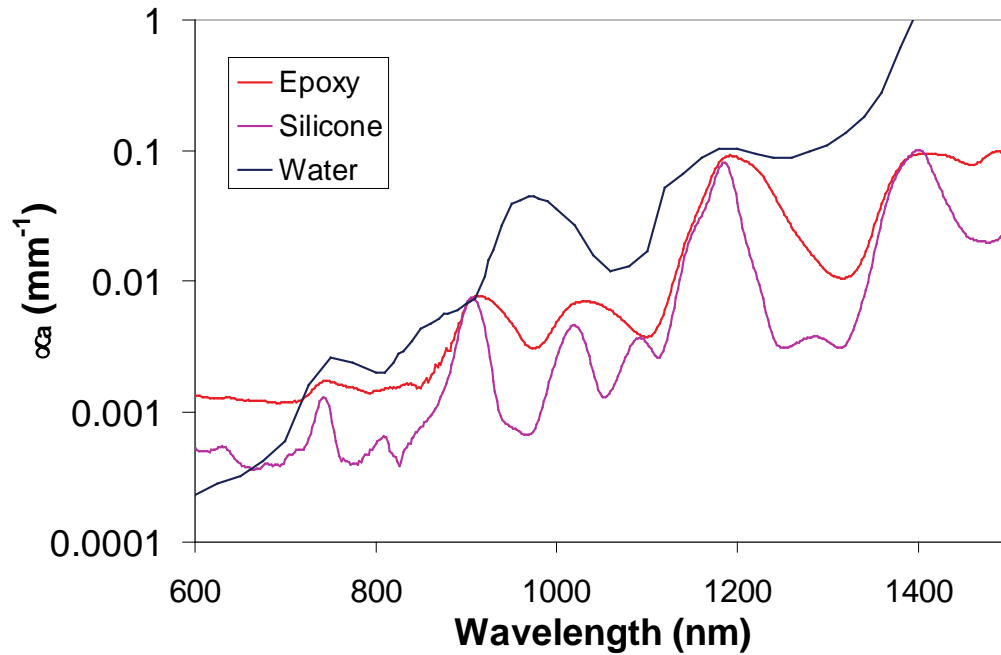
# + Phantom di occhio: imaging

- Optical coherence tomography

Zona dell'occhio	Indice di rifrazione
Cornea	1.377
Umor acqueo	1.337
Capsula del cristallino	1.380
Cristallino	1.437
Corpo vitreo	1.336

# + Phantom di occhio: imaging

- Optical coherence tomography



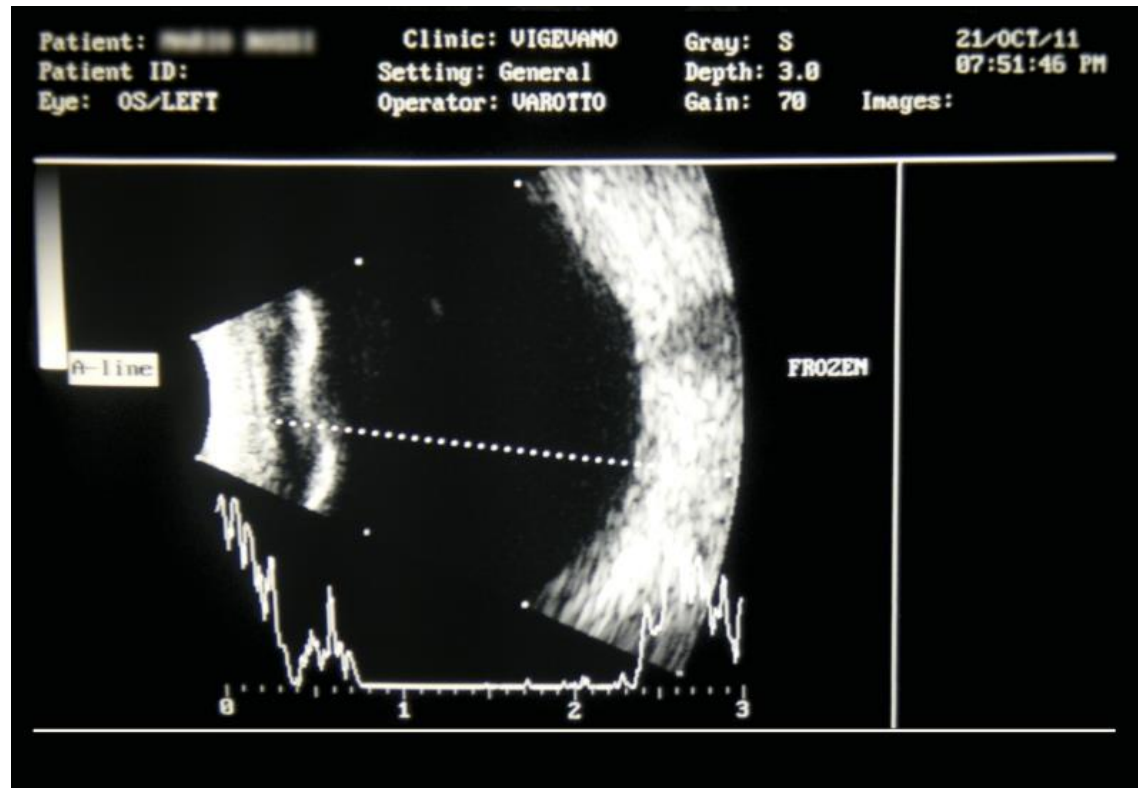
# + Phantom di occhio: imaging

- 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



# + Phantom di occhio: imaging

- Ecografia oculare



# + Phantom di occhio: imaging

- Ecografia oculare

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



# + Phantom di occhio: imaging

- Ecografia oculare
  - Velocità ultrasuoni

Solido

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

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

Liquidi

$$v_L = \sqrt{\frac{1}{\rho\beta}}$$

$$\beta = \frac{\Delta V}{V} \frac{1}{\Delta P} \Big|_{Q=0}$$

# + Phantom di occhio: imaging

- Ecografia oculare
  - Impedenza acustica

Impedenza acustica

$$Z = \rho v$$

Ampiezza onda riflessa

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

# + Phantom di occhio: imaging

- Ecografia oculare

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

# + Phantom di occhio: imaging

- Ecografia oculare
  - Materiali
    - Gelatina mista a psillio
    - Fluido iperecogeno



# + Phantom di occhio: dosimetria

- Energia associata ad un'onda elettromagnetica

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

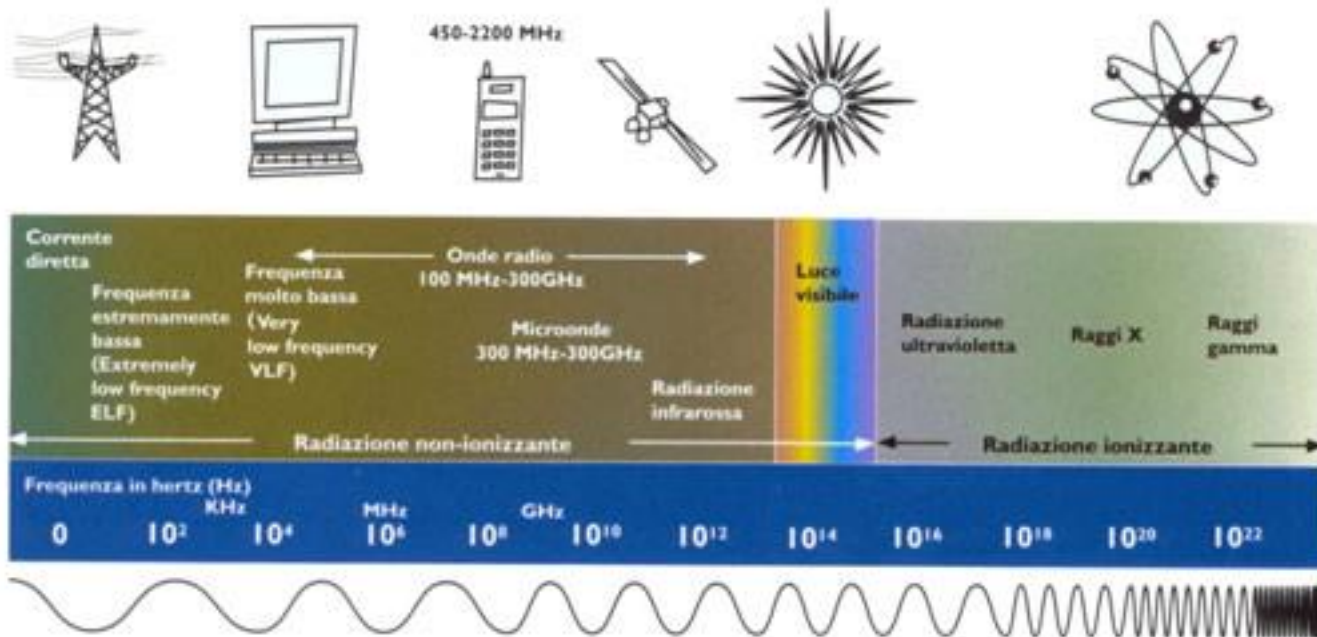
# + Phantom di occhio: dosimetria

- Gli effetti della radiazione elettromagnetica sugli esseri viventi dipendono principalmente da due fattori:
  - la frequenza della radiazione, ovvero il tipo, che ne determina l'energia trasportata dalla radiazione stessa;
  - la modalità di esposizione, cioè l'intensità della radiazione, la durata dell'esposizione, che determinano l'energia depositata dalla radiazione, e le parti del corpo esposte.

# + Phantom di occhio: dosimetria

- Per quanto riguarda la frequenza della radiazione si usa distinguere tra:
  - **radiazioni ionizzanti**, di frequenza sufficientemente alta da essere in grado di ionizzare gli atomi della sostanza esposta; comprendono raggi X e raggi gamma, hanno frequenza molto alta ( $> 3000$  THz) e sono 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**, caratterizzati da una frequenza inferiore ai 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.

# + Phantom di occhio: dosimetria



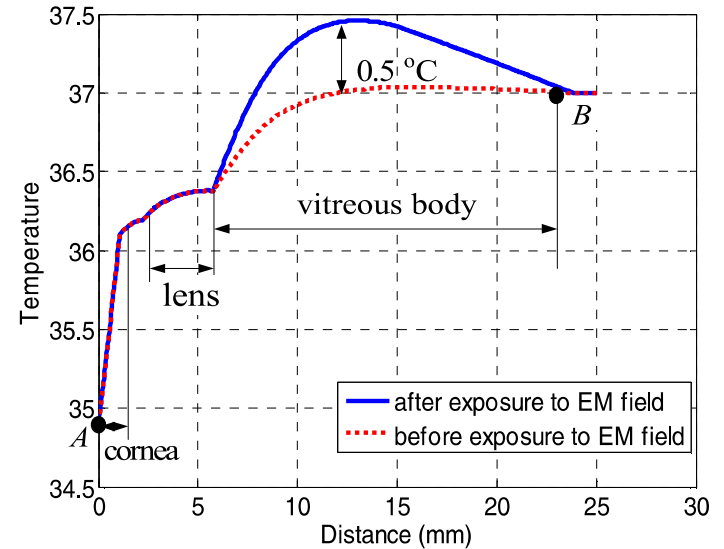
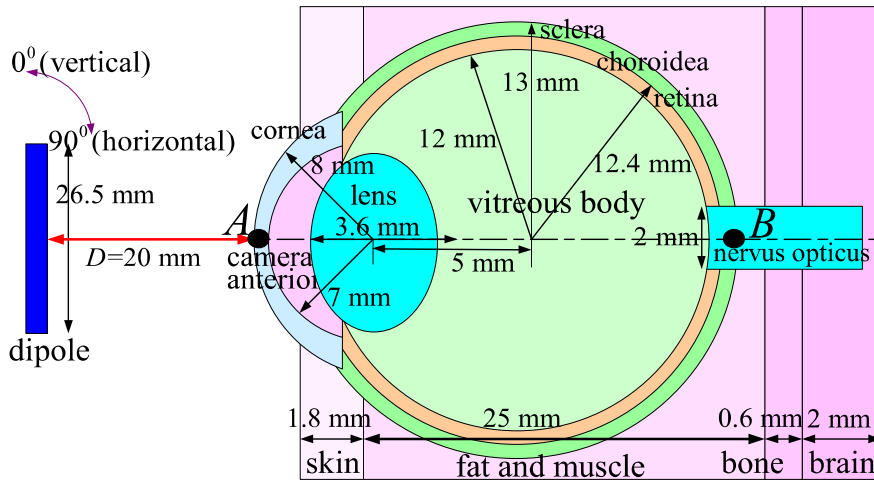


# + Phantom di occhio: dosimetria

- Radiazioni non ionizzanti
  - SAR: specific absorption rate
  - ovvero la potenza specifica assorbita per unità di massa (W/kg).
  - Parametri importanti:
    - 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**, che mette in relazione la densità di corrente elettrica con l'intensità del campo elettrico

# + Phantom di occhio: dosimetria

- Radiazioni non ionizzanti



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

# + Phantom di occhio: dosimetria

- Radiazioni non ionizzanti

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

# + Phantom di occhio: dosimetria

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

# + Phantom di occhio: dosimetria

- Radiazioni ionizzanti
  - Phantom fisici
    - materiali liquidi, geliformi o cerosi.
    - In questo modo possono alloggiare facilmente i dosimetri (camere a ionizzazione, dosimetri termoluminescenti, film radiografici, etc) in modo da quantificare la dose all'interno del phantom.
  - Phantom virtuali
    - Simulazioni con **Metodi Montecarlo** (brachiterapia, protonterapia)

# + Phantom di occhio: training chirurgico

- Proprietà meccaniche
  - Elastiche

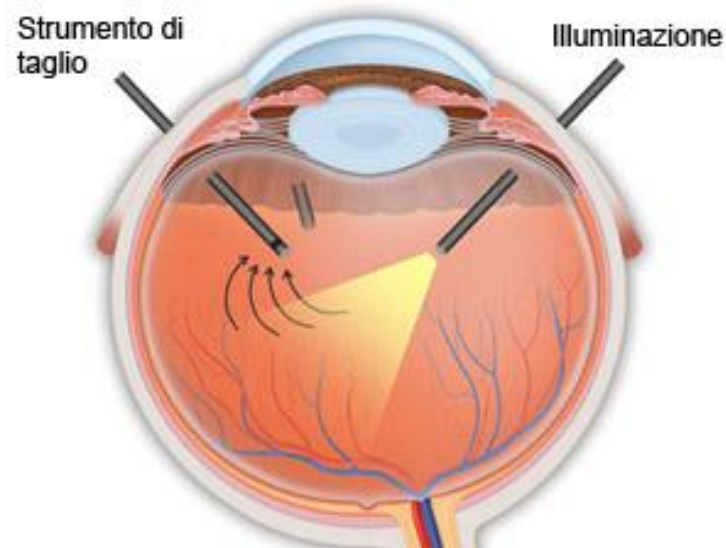
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\Delta l/l_0}$$

- Viscoelastiche
  - Creep e stress relaxation
- Reologia
  - Umor Vitreo



# + Phantom di occhio: training chirurgico

- Vitrectomia



# + Phantom di occhio: training chirurgico

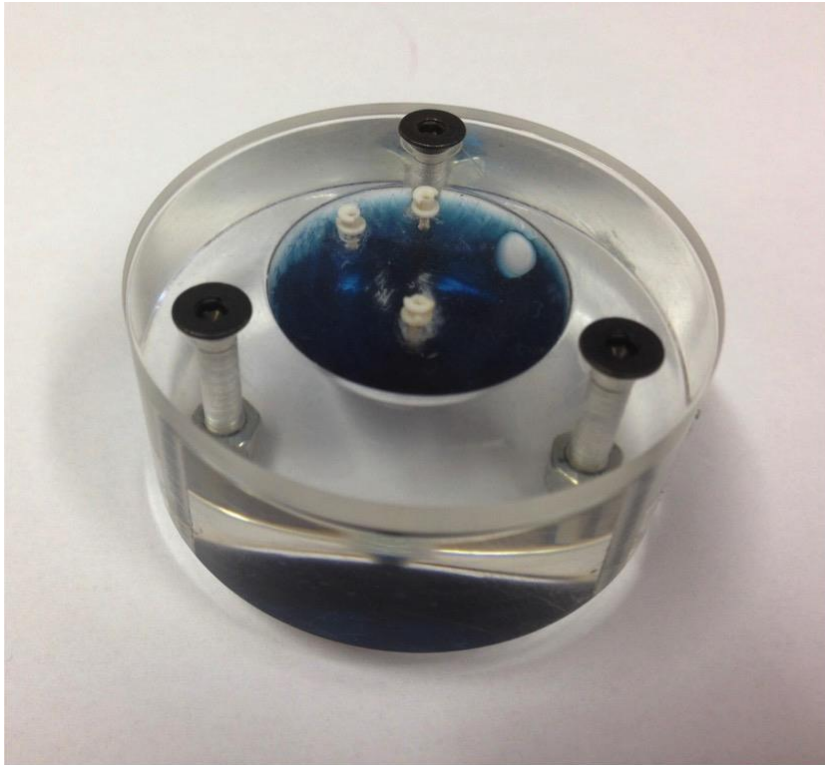
Zona dell'occhio	Modulo elastico (MPa)
Sclera parte anteriore	$2.9 \pm 1.4$
Sclera parte posteriore	$1.8 \pm 1.1$
Coroide	$0.6 \pm 0.28$
Retina	$\approx 20 \cdot 10^{-3}$



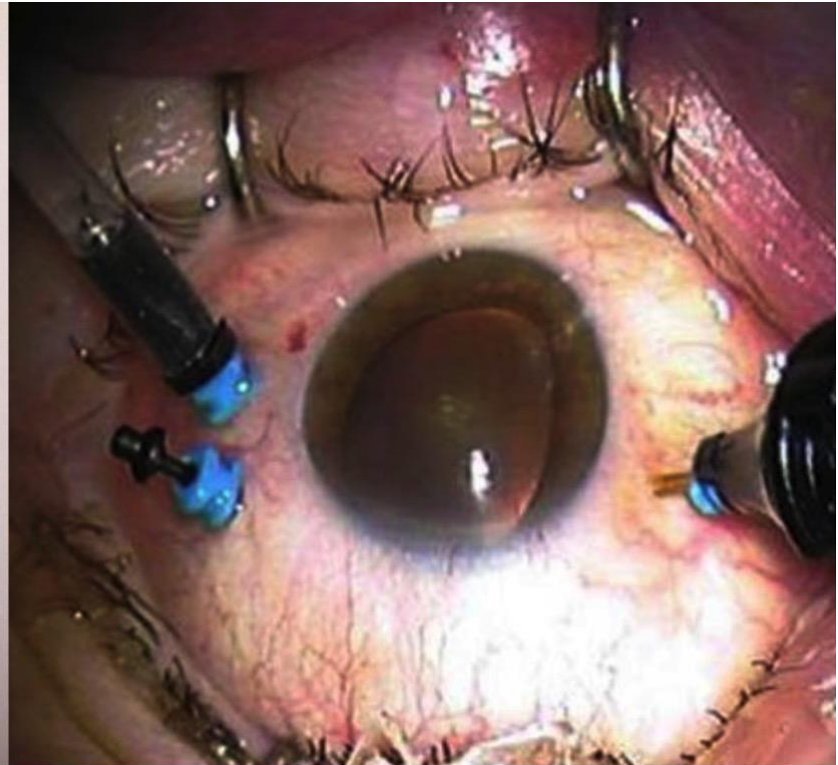
# + Phantom di occhio: training chirurgico

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

# + Phantom di occhio: training chirurgico



(a)



(b)

# + Phantom di occhio: farmacocinetica

- Umor vitreo: tessuto avascolare
  - Legge di Fick

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



# + Phantom di occhio: farmacocinetica

- Phantom per misure di diffusione

