

# Fisica

**Leonello Servoli**

[Leonello.servoli@pg.infn.it](mailto:Leonello.servoli@pg.infn.it)

Tel.: 0039-348-3345847

# *Il Corso: istruzioni per l'uso*

- - **Corso:** lezioni di 3 ore, lunedì e venerdì, ottobre - dicembre (gennaio?)
- **La frequenza alle lezioni e' fortemente consigliata**
- **Lezioni in aula:**
  - a) presentazione al computer
  - b) uso della lavagna per esempi ed esercizi
- **Esami:**
  - a) **Scritto (obbligatorio):** ~ 6-9 blocchi di esercizi (o esercizi singoli). La durata della prova é 3 ore
  - b) **Orale (facoltativo) :** Si può sostenere la prova orale entro 1 anno dalla data della prova scritta; si parte dallo scritto, ma verte su tutto il programma;
  - c) **Voto:** media (ragionata) di scritto + orale

# *Il Corso: istruzioni per l'uso*

Se dovete (proprio) acquistare un libro, consiglio:

- D.Scannicchio, *Fisica biomedica*, 2a Edizione 2010, EdiSES, ISBN 9788879595582

Altri libri che io ritengo belli (in ordine alfabetico di primo autore):

- A.Giambattista, *Fisica generale*, McGraw-Hill, ISBN 978.88.386.6416.8
- D.Giancoli, *Fisica con Fisica Moderna*, 2a edizione, Casa Editrice Ambrosiana, ISBN 978-88-408-1414-8
- J.W.Kane - M.M.Sternheim, *Fisica applicata*, Edizione 2013, EMSI, ISBN 788886668880
- J.S. Walker, *Fondamenti di Fisica*, Pearson, ISBN 9788871925851

Nota 1: **questi testi non sono obbligatori, se avete già altri libri** (universitari o delle scuole superiori) venite a parlare con me

Nota 2: il programma d'esame e' quello svolto in aula (che si trova sulle trasparenze PDF scaricabili dal mio sito)

# *Il Corso: istruzioni per l'uso*

## *Aiuto e assistenza:*

- Durante l'intervallo e alla fine di ogni lezione
- Previo appuntamento email a [leonello.servoli@pg.infn.it](mailto:leonello.servoli@pg.infn.it) anche prima dell'inizio della lezione.
- Il mio ufficio e' in Via A. Pascoli, 5o piano, Dip. Fisica, Perugia

## Telefoni:

- 075-585-2706
- 348-3345847 (voce, SMS, no segreteria)

I file PDF sono scaricabili dal mio sito

**NON ASPETTATE L'ULTIMO MOMENTO, NON SIETE PIU'  
ALLE SCUOLE SECONDARIE !**

# *Il Corso: istruzioni per l'uso*

- State attenti a lezione!!!
- Se non volete stare attenti, non venite a lezione
- Se vi dico "questo e' fondamentale".....credetemi
- Non studiate sui file PDF, ma su un libro di testo
- Prima si studia la teoria e poi si applica negli esercizi
- Sfruttatemi, sono qui per insegnare (non per vedere quello che gia' sapete....)

Se supero l'esame, a che mi servirà DOPO Fisica?

Potete usarla per tutta la vita (professionale e non),  
**a partire da Fisiologia**

# *Il Corso: istruzioni per l'uso*

Le figure inserite in queste lezioni sono state tratte, tra l'altro, da:

- Borsa - Scannicchio, *Fisica con applicazioni in biologia e in medicina*, Unicopli
- Cromer, *Fisica per medicina, farmacia e biologia*, Piccin Editore
- Giambattista, *Fisica generale*, McGraw-Hill
- Giancoli, *Fisica* 2a edizione, CEI
- Kane - Sternheim, *Fisica Biomedica*, E.M.S.I.
- Serway & Jewett, *Principi di Fisica*, EdiSES
- Scannicchio, *Fisica biomedica*, EdiSES
- Walker, *Fondamenti di Fisica*, Pearson
  
- Gran parte delle animazioni sono tratte da:  
<http://www.ba.infn.it/~fisi2005/>

# *La fisica é una scienza naturale*

Le scienze naturali sono una rappresentazione culturale di quello che succede e quindi

- stanno nella mente dell'uomo;
- hanno bisogno di un criterio di verità.

Per esse il criterio di verità è il dato sperimentale.

La rappresentazione è corretta se descrive i dati sperimentali attuali e magari riesce a fare previsioni su quelli futuri.

# *La fisica é una scienza naturale*

La matematica è una scienza, anche se non è una scienza naturale.

Essa fornisce una rappresentazione culturale di oggetti inventati (numeri, figure geometriche, diagrammi, ect...)

Il criterio di verità è la logica.

# *La fisica é una scienza naturale*

*Una scienza naturale per definirsi tale, cerca di organizzare in maniera coerente e sistematica le conoscenze in un determinato settore, ossia cerca di rispondere alle seguenti domande:*

*→ Cosa succede;*

*→ Come succede;*

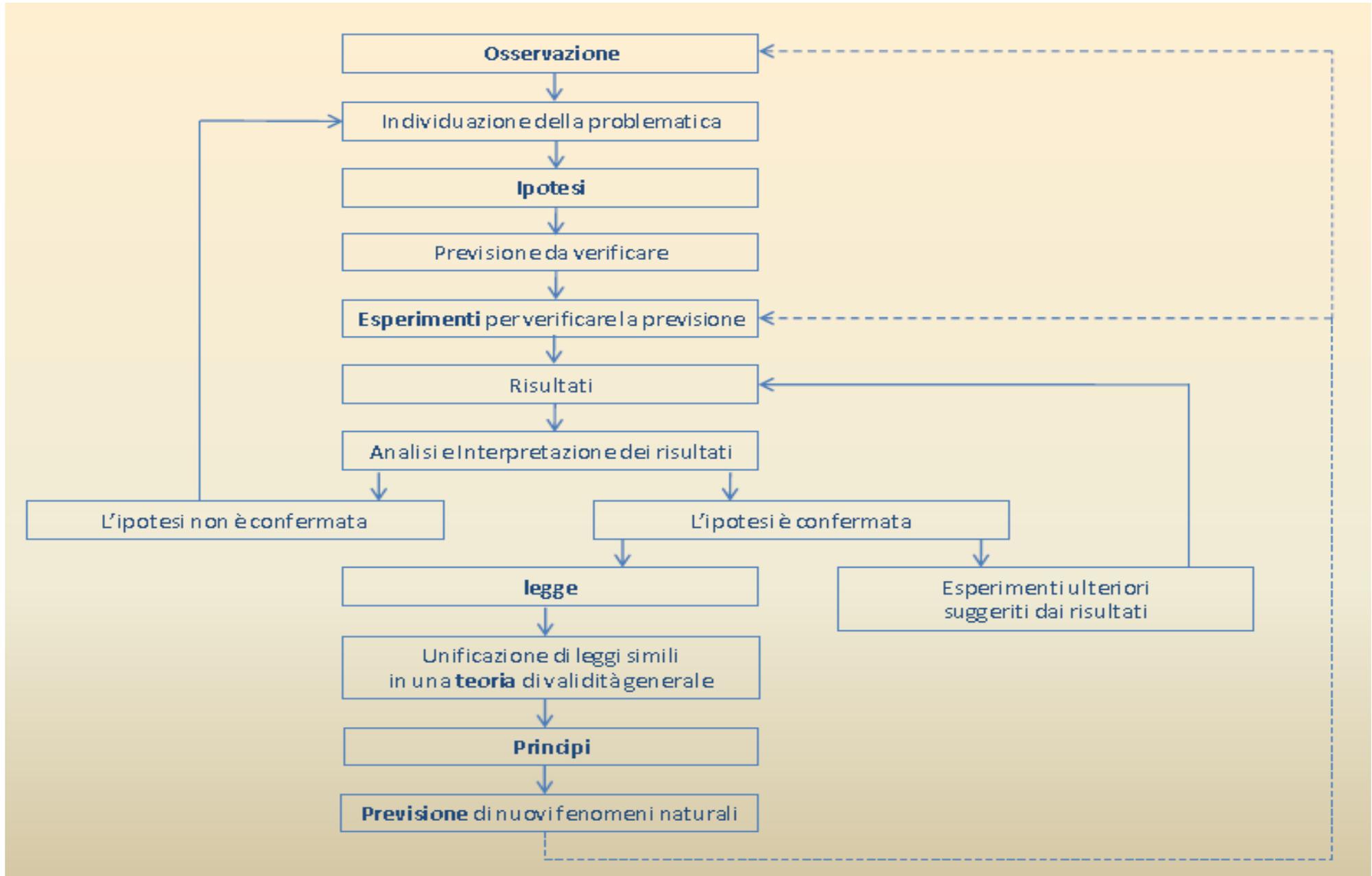
*→ Perché succede;*

# *La fisica é una scienza naturale*

*Affinché cosa succede diventi una scoperta scientifica occorre che siano superati con successo i seguenti tre punti:*

- 1) in un esperimento, alcuni dati sperimentali sembrano essere in disaccordo con i modelli universalmente accettati in quel momento;*
- 2) si considerano tutte le possibili sorgenti di errore, nell'esperimento in questione, ripetendo le misure con variazioni controllate delle condizioni sperimentali per essere ragionevolmente sicuri di trovarsi di fronte ad un evento riproducibile e non ad un evento casuale;*
- 3) tutti i laboratori che nel mondo si occupano della stessa scienza devono ricevere una descrizione completamente dettagliata delle procedure sperimentali usate e devono riprodurre esattamente gli stessi risultati ottenuti dall'esperimento scopritore.*

# La fisica é una scienza naturale



# *La fisica é una scienza naturale*

La realizzazione del *come succede* è un difficile equilibrio fra conservatorismo ed innovazione:

- 1) si cerca di spiegare la scoperta scientifica con la conoscenza pregressa;
- 2) si cerca di spiegare la scoperta scientifica con la conoscenza pregressa con modifiche;
- 3) si costruisce un nuovo modello che spieghi la scoperta scientifica e che contenga il modello vecchio e le sue spiegazioni.

# *La fisica é una scienza naturale*

## La teoria

*Il perché succede è rarissimo*

Elettrodinamica quanto-relativistica

Se non ci domandiamo perché la massa dell'elettrone è proprio 511 KeV

# La fisica é una scienza naturale

## Metodi e strategie

I metodi e le strategie di risoluzione dei problemi scientifici sono:

**Deduzione** → implica l'applicazione di conoscenze pregresse

**Induzione** → implica un ragionamento che parte da dati particolari forniti nel problema per giungere ad una conclusione generale

**Intuizione** → implica il procedere per tentativi ed errori

# *La fisica é una scienza naturale*

## La verità scientifica

La verità scientifica è storicizzata e falsificabile.

Emanuele Kant scopre che l'esistenza non è una categoria e quindi la scienza come attività intellettuale non può fornire

**prove ontologiche di esistenza**

# La fisica é una scienza naturale

## L'onere della prova (1)

Spesso si chiede allo scienziato di dimostrare che:

• i cellulari, gli elettrodotti ed i vaccini non sono pericolosi;

• il mostro di Loch Ness ed i marziani con dodici mani non esistono;

e quando la scienza rifiuta, correttamente, di rispondere in termini così assoluti, *si obietta che l'approccio scientifico è debole e quindi quello alternativo merita almeno la stessa dignità.*

# *La fisica é una scienza naturale*

## **L'onere della prova (2)**

In realtà si stanno chiedendo dichiarazioni scientifiche (spesso intendendo ontologiche) di non esistenza.

Al contrario l'onere della prova spetta a chi afferma che un certo fenomeno si verifica ed è **culturalmente disonesto** chiedere a chi è scettico in proposito di dimostrare che il fenomeno non c'è.

# La fisica é una scienza naturale

## L'onere della prova (3)

Consideriamo una "bufala" classica: si può dimostrare scientificamente che lo yeti non esiste?

No, si possono fornire argomentazioni che rendano molto improbabile la sua esistenza. Si può **induttivamente** argomentare che essendo stato cercato in lungo ed in largo e non essendo stato trovato, probabilmente non esiste, ma questo ragionamento *non esclude che in qualche caverna himalayana inesplorata non ci sia uno yeti particolarmente timido.*

# *La fisica é una scienza naturale*

## L'onere della prova (4)

Per dimostrare in assoluto che lo yeti non esiste bisognerebbe esplorare ogni anfratto dell'intero pianeta: una impresa impossibile e peraltro forse inutile, perché lo yeti potrebbe giocare a rimpiazzino cambiando nascondiglio.

**Per contro, per dimostrare che questa creatura  
esiste  
basterebbe trovarne un solo esemplare.**

# *La fisica é una scienza naturale*

## **L'onere della prova (5)**

**Attenzione alle generalizzazioni:  
il ragionamento induttivo, come  
tutte le attività scientifiche,  
richiede il**

***"cervello acceso"***

**Nella scienza niente è automatico.**

# La fisica é una scienza naturale

## L'onere della prova (6)

C'è un esempio storico. Per circa 1500 anni, da quando Giovenale parlò del cigno nero come la proverbiale *rara avis*, in Europa questo uccello divenne la metafora di tutto ciò che non poteva esistere.

Tutti i cigni osservati erano bianchi e quindi tutti i cigni sono bianchi.

Nel XVIII secolo gli esploratori europei scoprirono in Australia dei cigni neri.



# La fisica é una scienza naturale

## L'onere della prova (7)

Attenzione alle generalizzazioni

**MOLTIPLICAZIONE**

$$2 \times 2 = 4$$

$$\frac{3}{2} \times 3 = \frac{9}{2}$$

$$\frac{4}{3} \times 4 = \frac{16}{3}$$

$$\frac{5}{4} \times 5 = \frac{25}{4}$$

**ADDIZIONE**

$$2 + 2 = 4$$

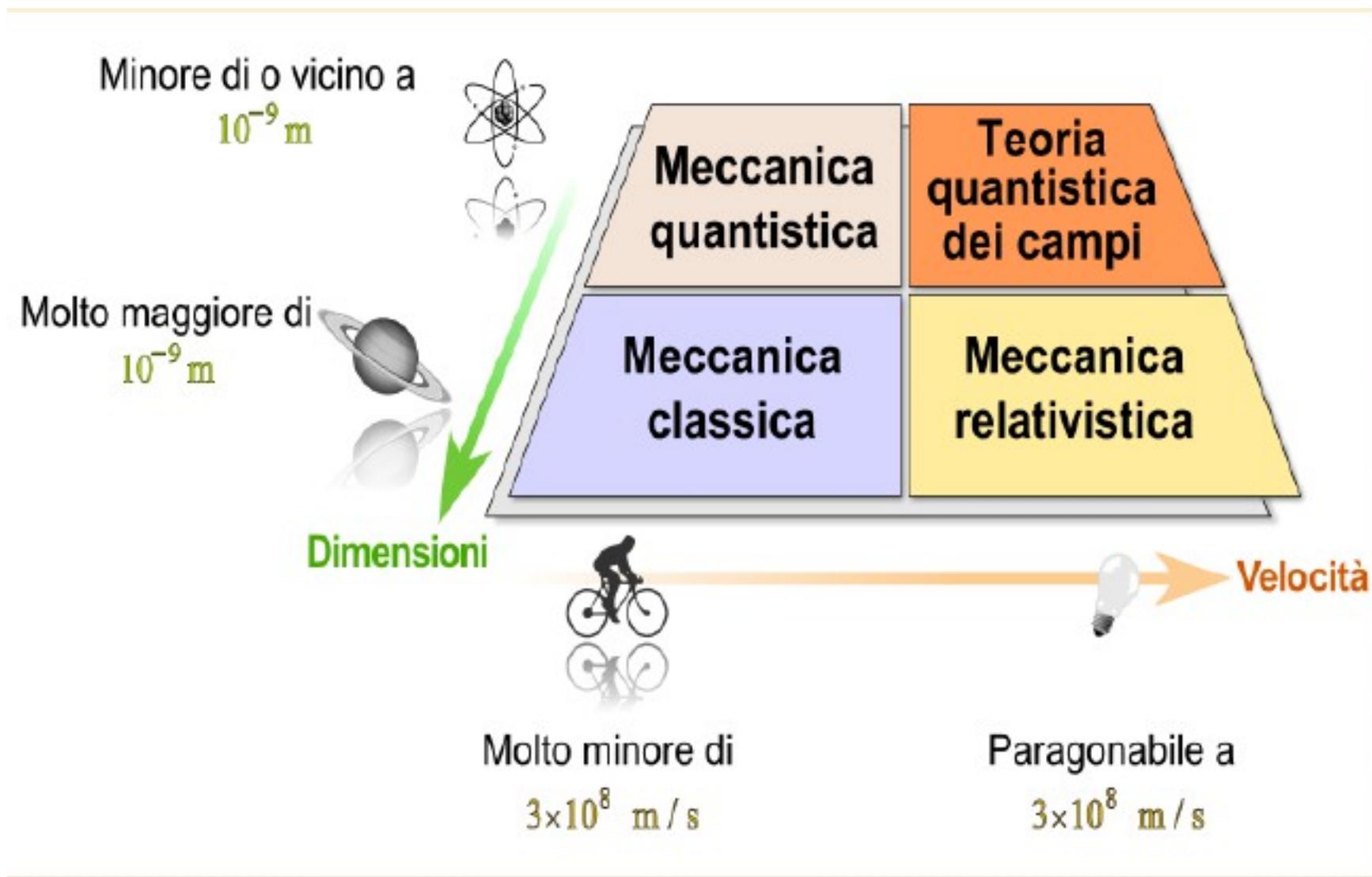
$$\frac{3}{2} + 3 = \frac{9}{2}$$

$$\frac{4}{3} + 4 = \frac{16}{3}$$

$$\frac{5}{4} + 5 = \frac{25}{4}$$

**La moltiplicazione é eguale all'addizione?**

# Domini della fisica



# *Domini della fisica*

## **Meccanica**

- Cinematica: studio del moto dei sistemi, indipendentemente dalle cause che generano il moto.
- Dinamica: studio del moto dei sistemi in relazione alle cause (forze) che lo generano.
- Statica: studio delle configurazioni di equilibrio dei sistemi e delle condizioni per cui tali configurazioni si realizzano.

## **Termodinamica**

Studio del comportamento macroscopico di sistemi termodinamici (sistemi complessi, costituiti da un grande numero di particelle, ovvero costituiti da un gran numero di gradi di libertà) per i quali i metodi della meccanica risultano inefficaci.

## **Elettromagnetismo**

Studio dei fenomeni e delle interazioni di natura elettrica e magnetica e delle loro connessioni.

*Acustica?* → *Meccanica ;*

*Ottica?* → *Elettromagnetismo ;*

# (Alcune) Applicazioni della Fisica in Medicina

I fondamenti:

→ Interazione di un agente fisico con il corpo/tessuti/molecole del corpo umano.

Applicazioni:

→ Diagnostica;

→ Terapia;

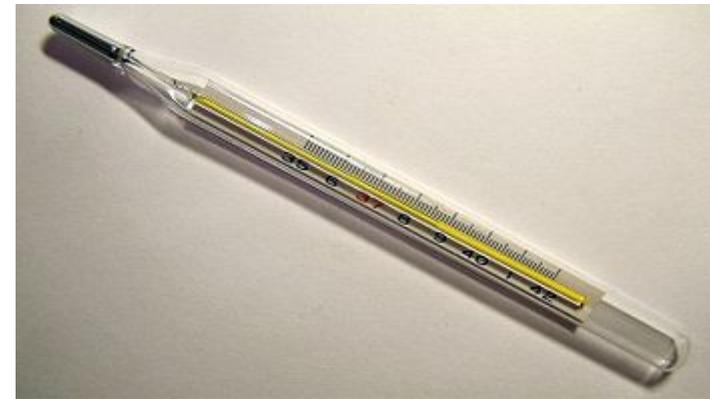
→ Dosimetria;

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

→ **Termometro** (Temperatura)

*Termometro a mercurio*

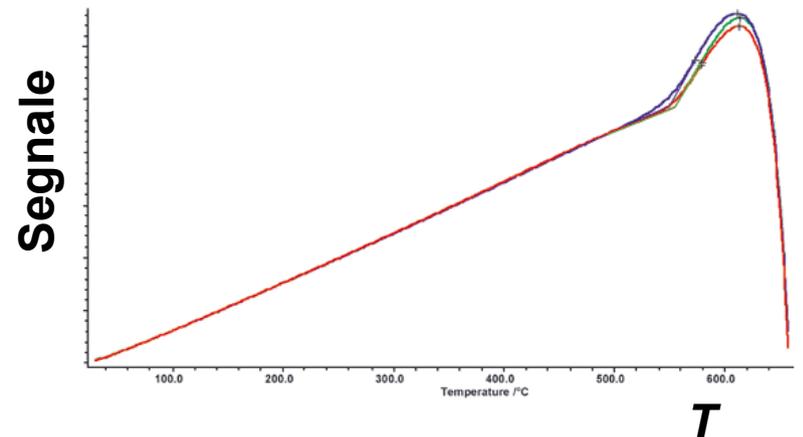


*Termometro da orecchio*



Grandezza fisica → Trasduttore → Segnale elettrico

*Taratura del dispositivo* →



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

→ Termometro

→ **Sfigmomanometro**

(Temperatura)

(Pressione)



**Modello Elettronico**



**Modello Analogico**

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

- Termometro
- Sfigmomanometro

→ **Elettrocardiografo**



(Elettrocardiogramma)



Informazione complessa,  
molto maggiore di un solo  
numero

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

- Termometro
- Sfigmomanometro
- Elettrocardiografo
- **Pulsiossimetro**



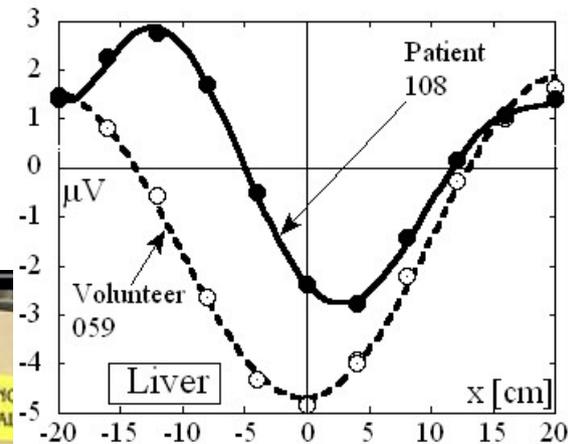
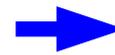
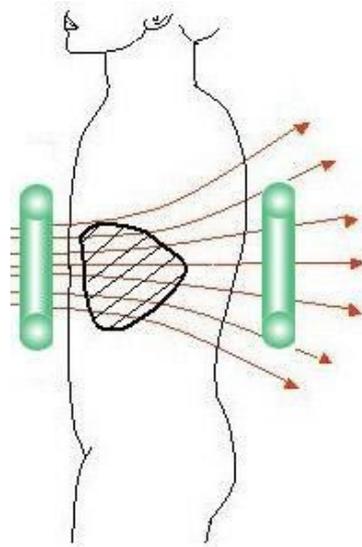
(Concentrazione ossigeno nel sangue)

**Tecniche non invasive e risposta in tempo reale**

# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Non imaging):

- Termometro
- Sfigmomanometro
- Elettrocardiografo
- Pulsiossimetro
- **Misure di concentrazione di ioni ferro nel fegato**  
Progetto MID - INFN  
e Ospedale Galliera (Ge)



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Diagnostica (Imaging):

- a raggi X (singola immagine - bidimensionale)
- tomografia computerizzata (ricostruzioni tridimensionali)
- imaging da isotopi interni al corpo umano
- risonanza magnetica
- ultrasuoni (ecografie)



# Radiografia bidimensionale

L'immagine del corpo da studiare viene realizzata **misurando l'attenuazione di un fascio di raggi X o  $\gamma$**  che lo attraversa.



**Prima radiografia della storia:  
la mano della moglie di Roentgen**

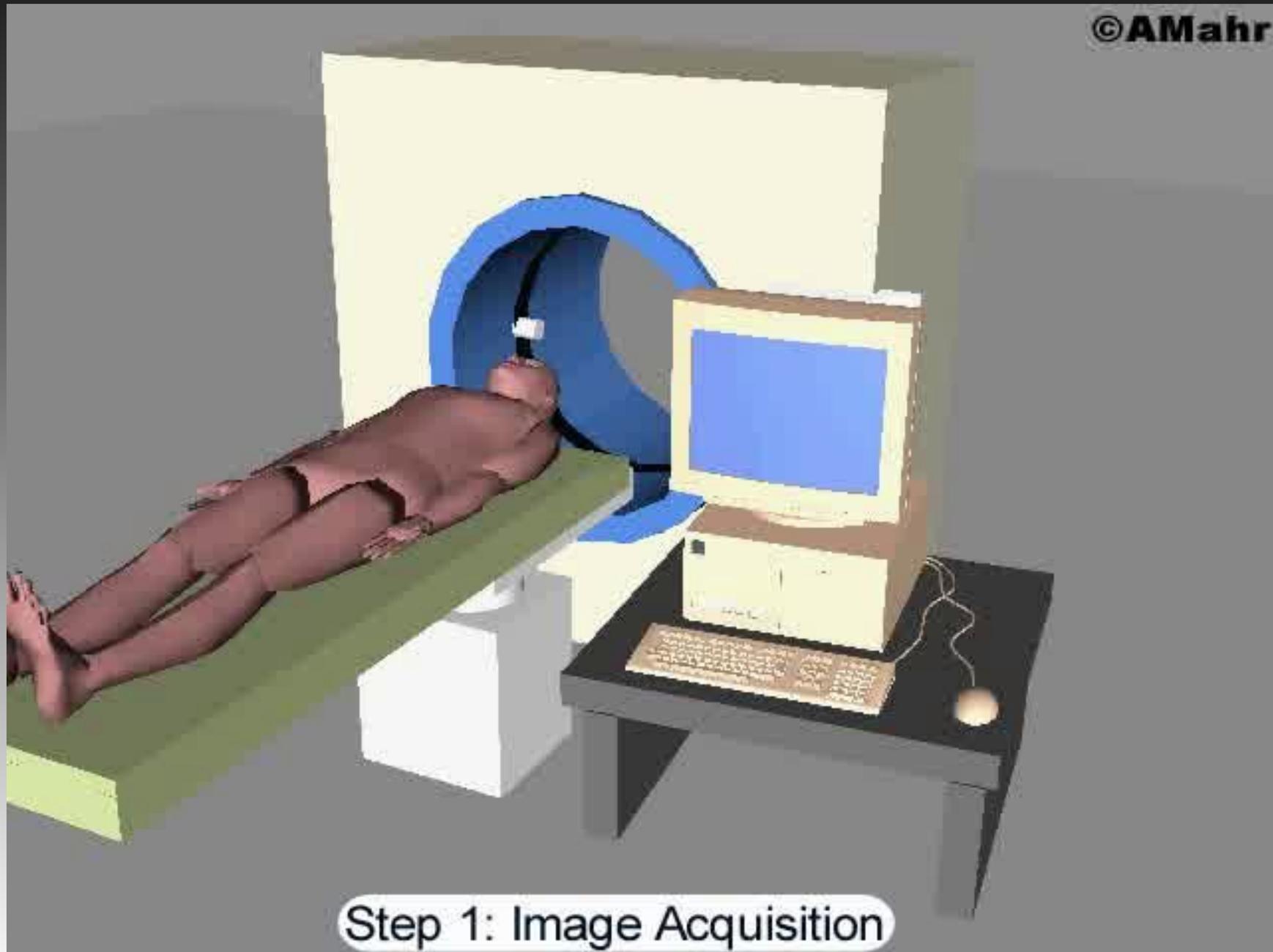


**Radiografia con rivelatori  
a semiconduttore**

A photograph of a GE LightSpeed CT scanner. The machine is white and grey, with a large circular opening in the center. A patient bed is extended from the right side of the machine. The GE logo and the text "LightSpeed" are visible on the left side of the machine. The background is a plain, light-colored wall.

**Tomografia Assiale  
Computerizzata  
(TAC)**

# Ricostruzione 3D con la TAC



3D  
Ex: 18731  
Se: 2  
Volume Rendering No cut

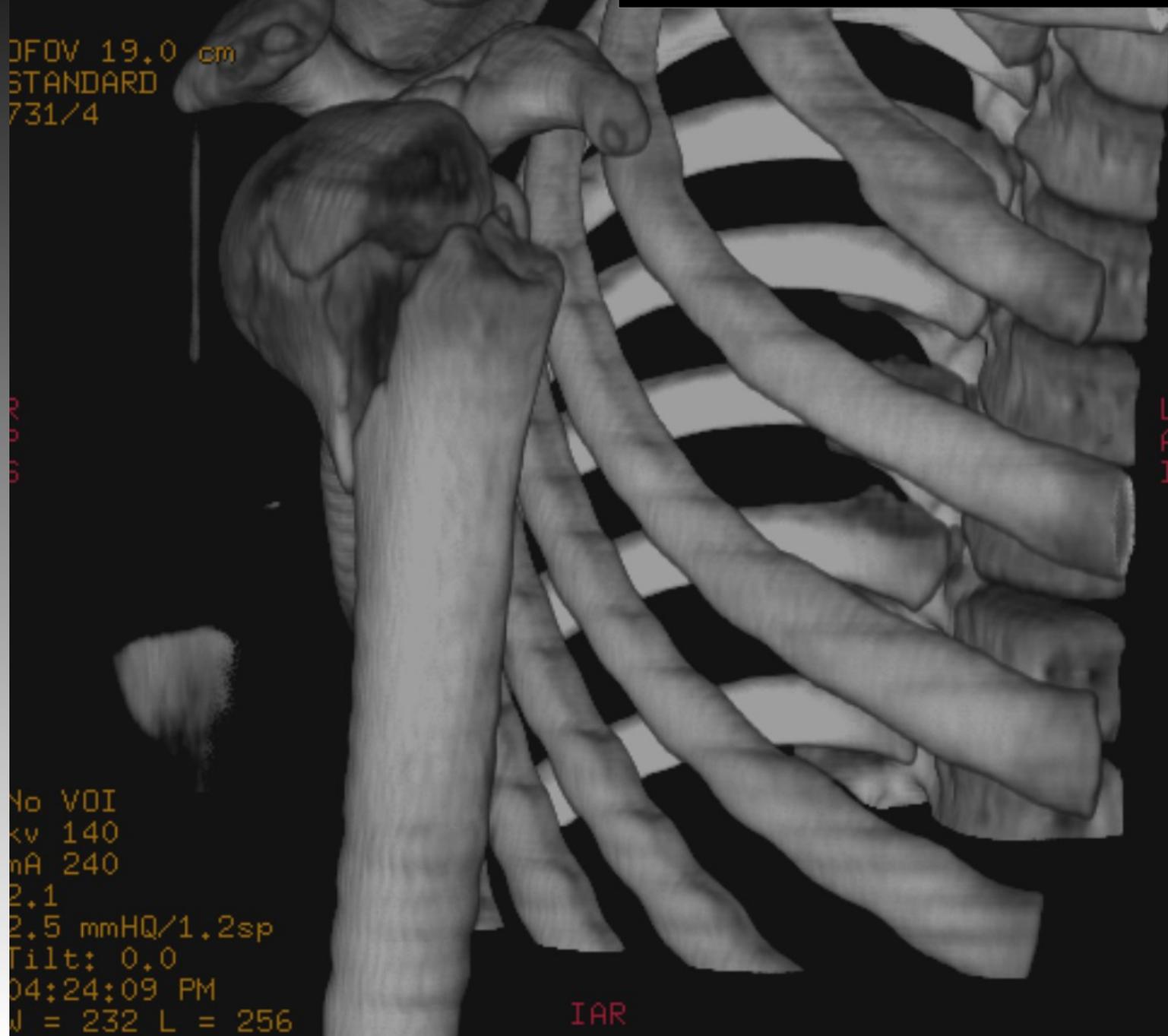
FOV 19.0 cm  
STANDARD  
731/4

No VOI  
kv 140  
mA 240  
2.1  
2.5 mmHQ/1.2sp  
Tilt: 0.0  
04:24:09 PM  
W = 232 L = 256

SPL

L  
R  
H  
I

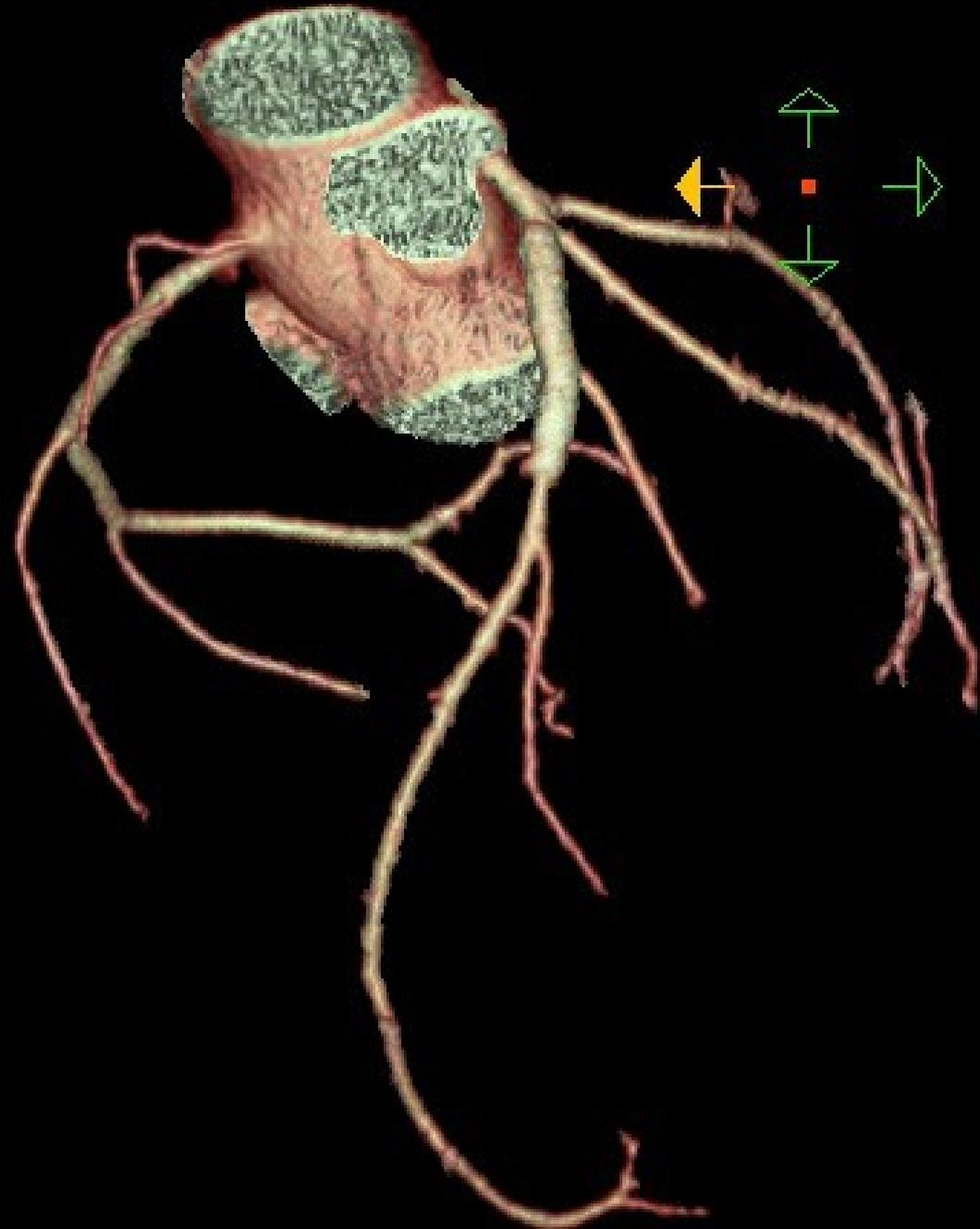
IAR



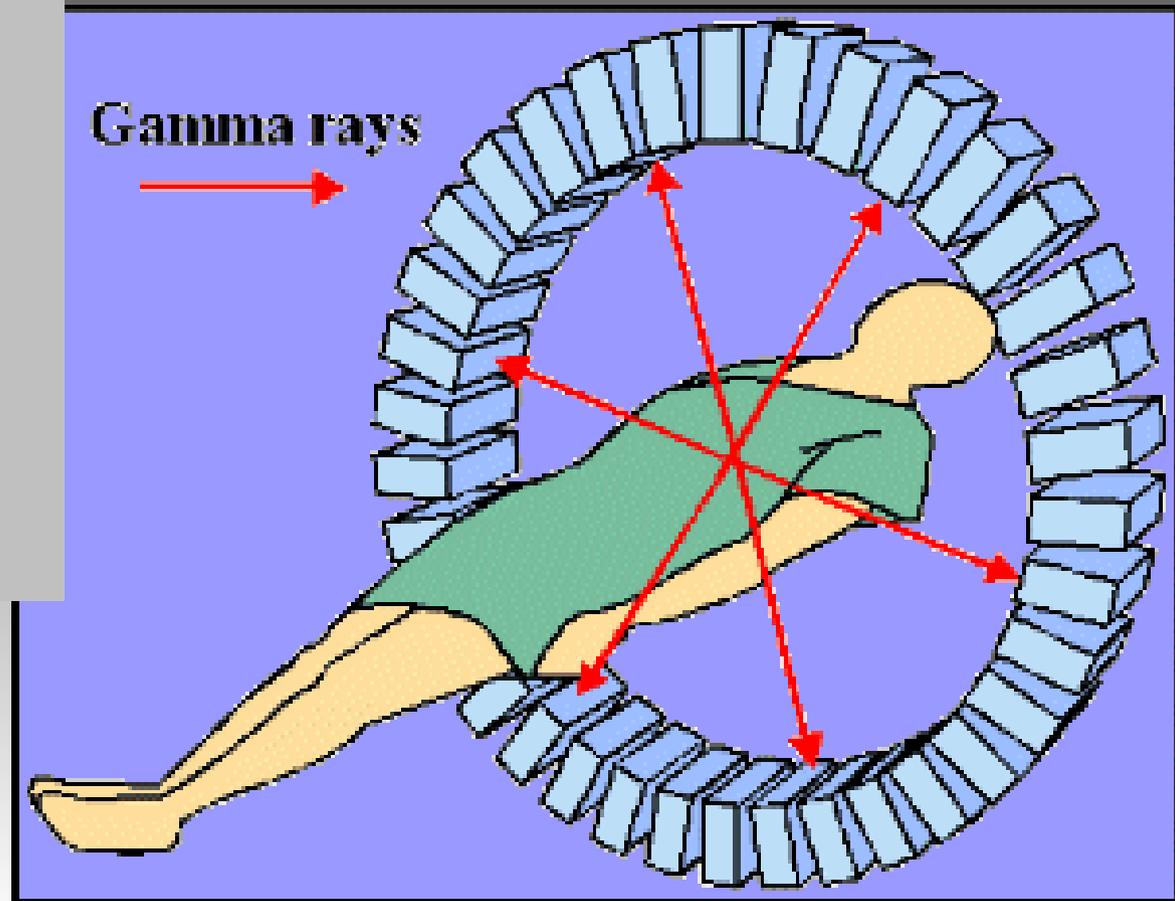
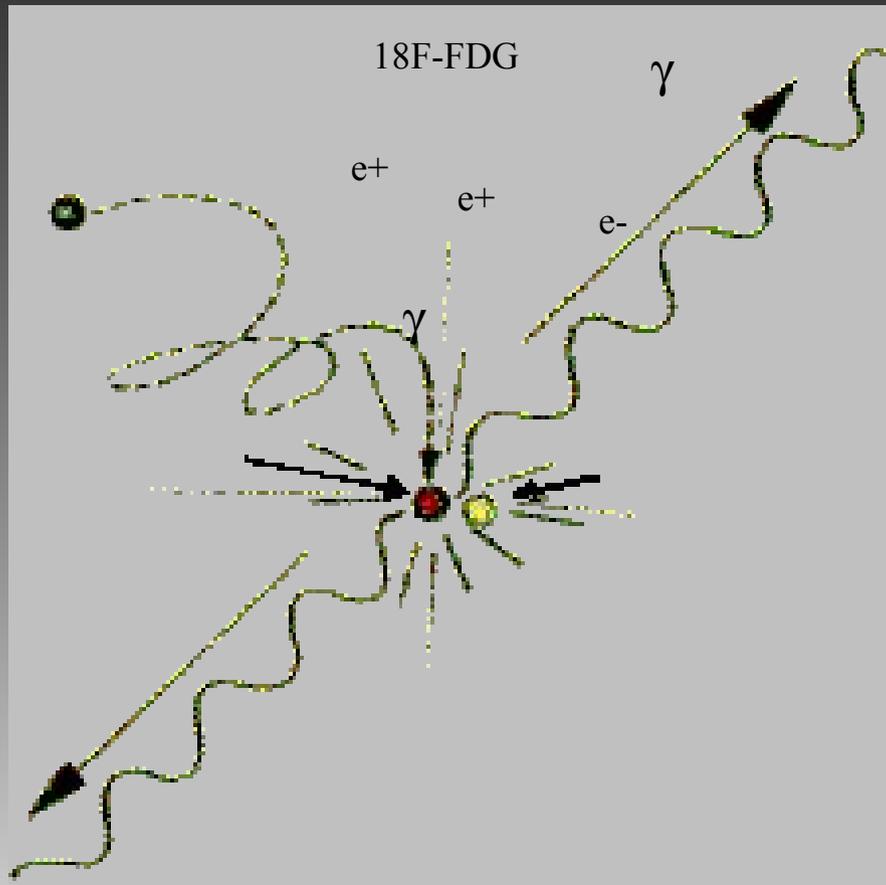
Ex:  
Se: 253  
Im: 1

Sep 26 2006  
04:37:41 PM

## La TAC in cardiologia



# Tomografia ad emissione di positroni (PET)



# La PET nella diagnosi dei tumori

PET whole body  
eseguita su un malato  
oncologico prima e dopo la  
chemioterapia



Prima della  
chemioterapia

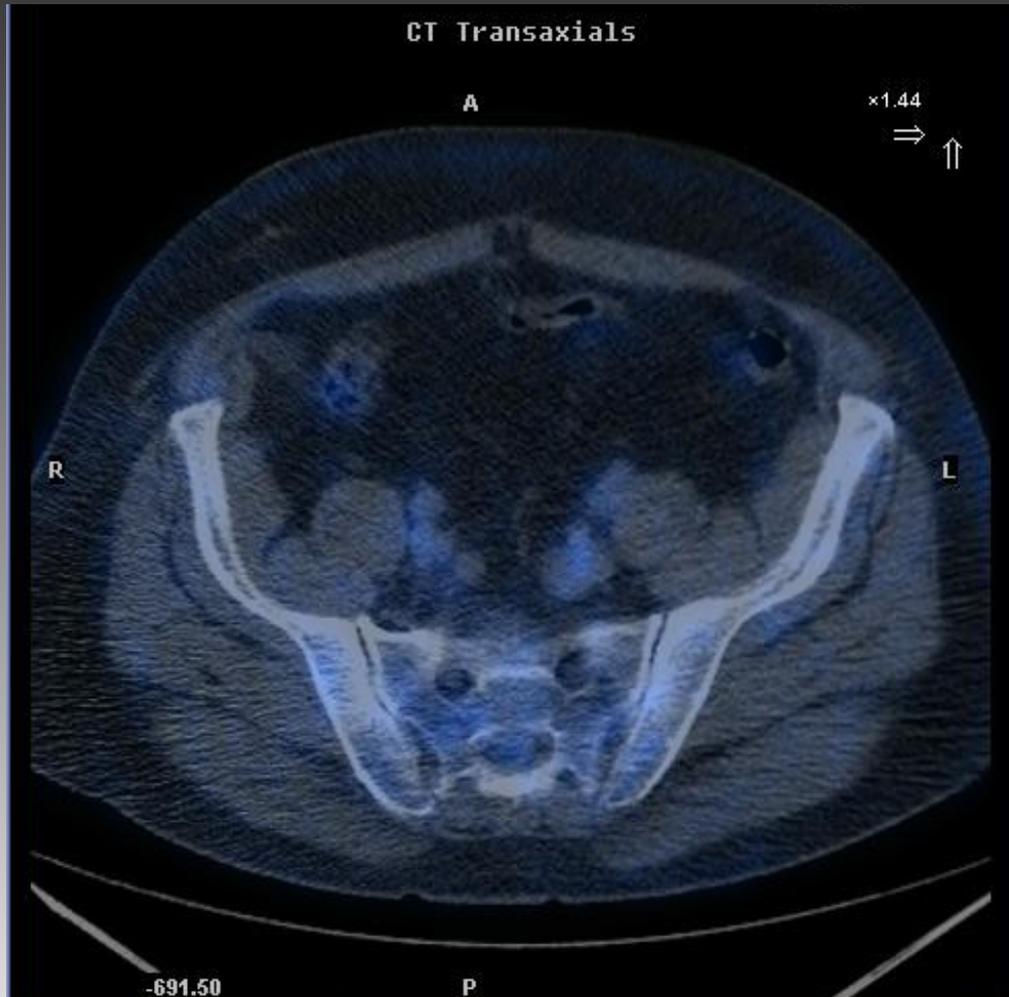


2 mesi dopo la  
chemioterapia



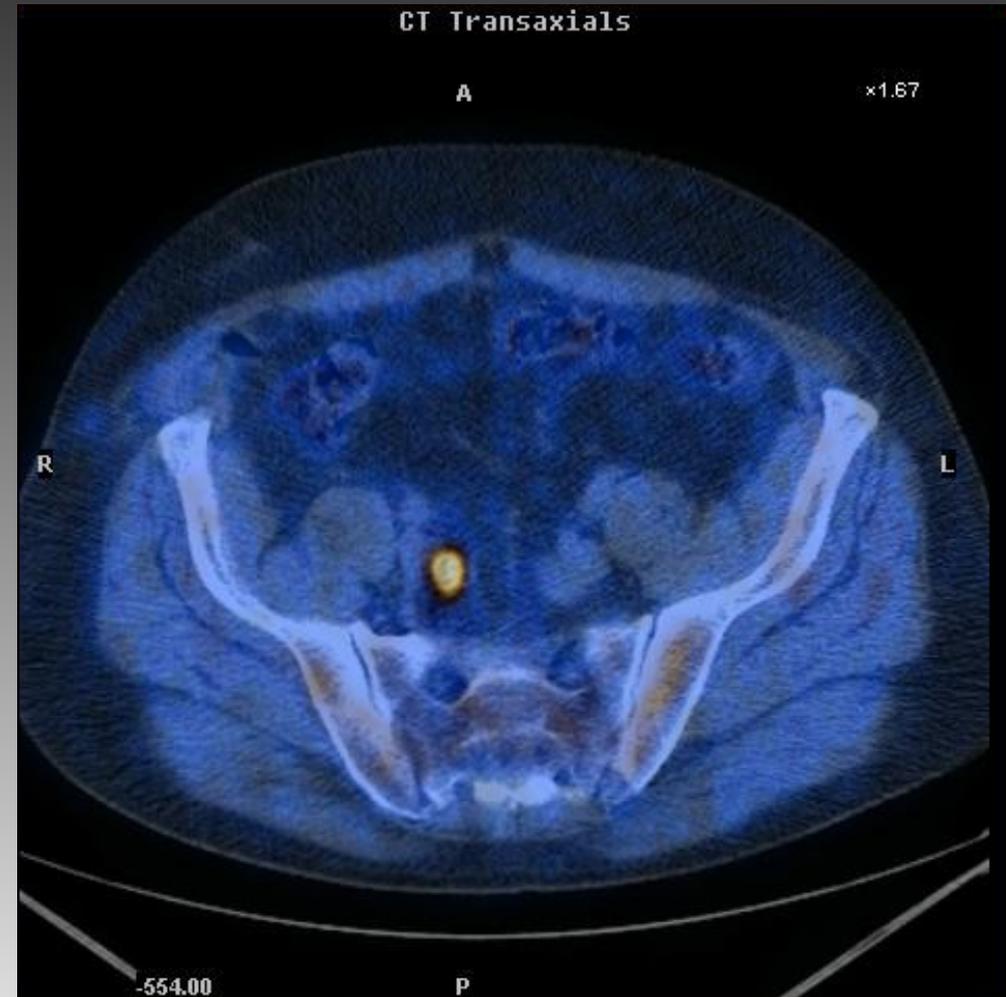
4 mesi dopo la  
chemioterapia

# Le nuove frontiere della PET nella diagnosi dei tumori



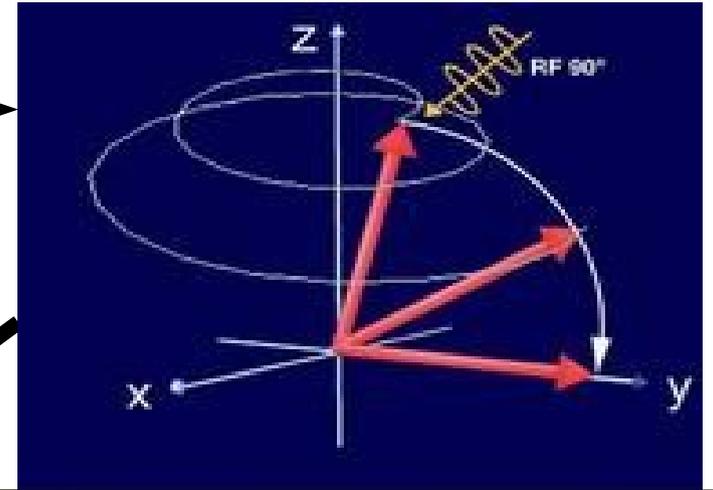
18F-FDG

Dr. A. Biggi – Cuneo

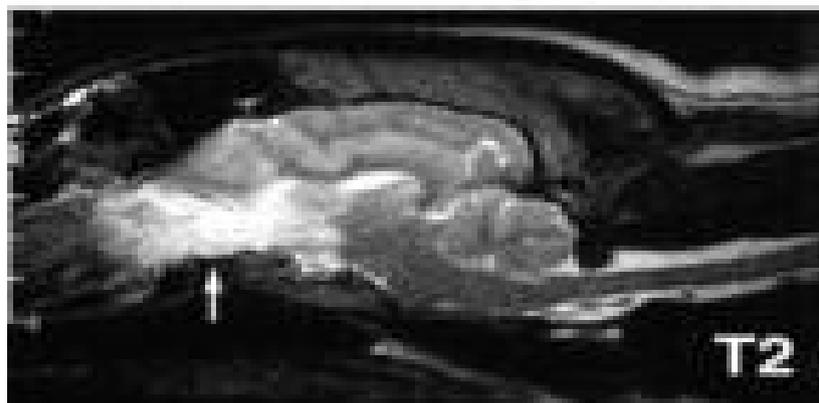
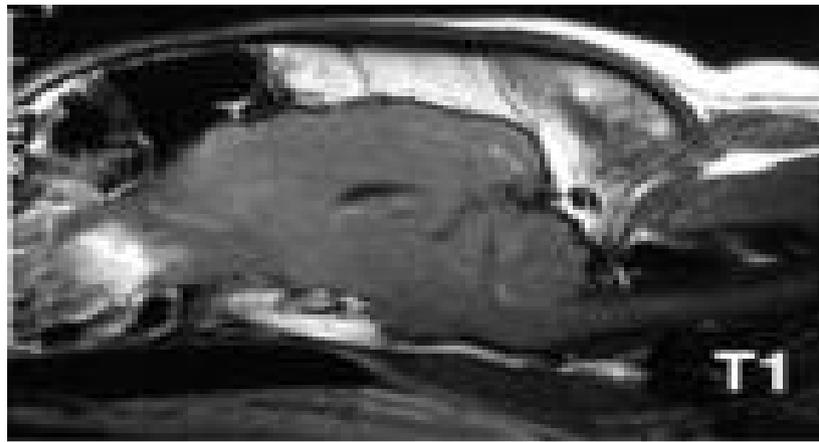


11C-Colina

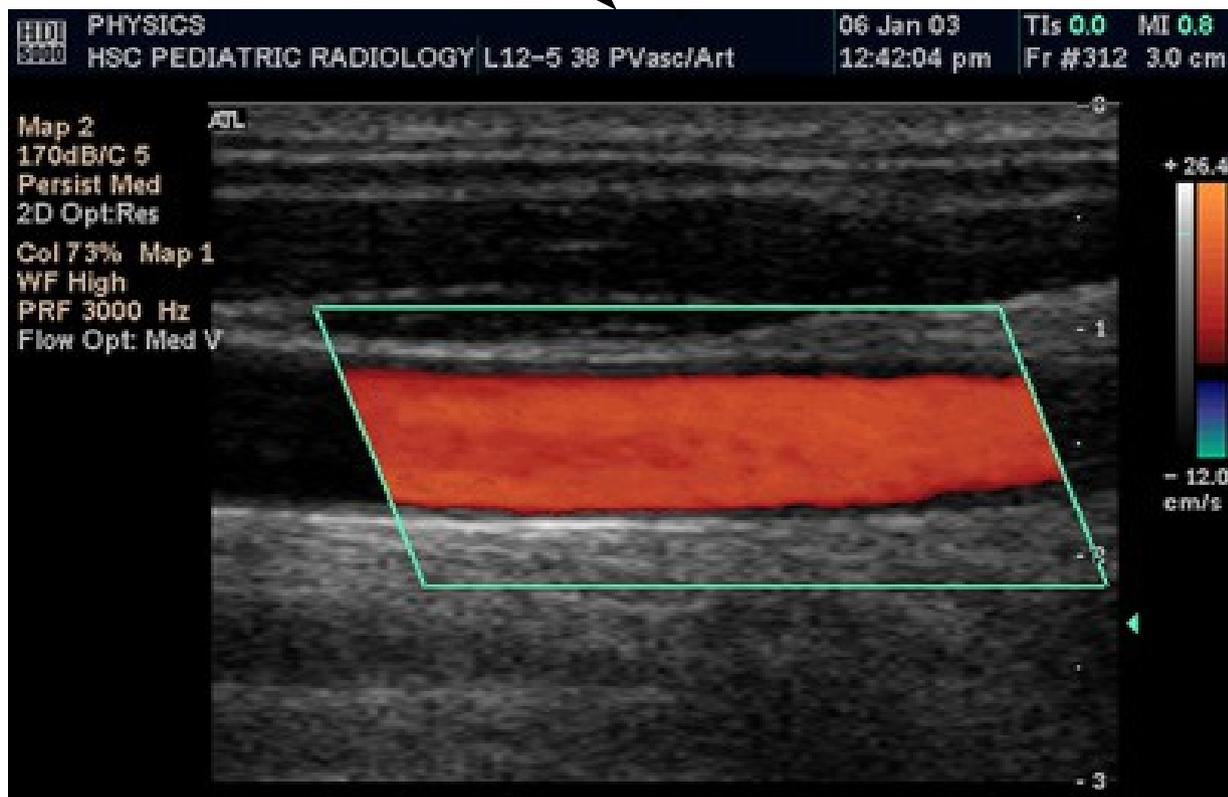
# Risonanza Magnetica



*Risonanza Magnetica dell'encefalo*



# Ecografia



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

Terapia:

- a fasci di raggi X (radioterapia);
- a fasci di elettroni (IORT);
- a fasci di adroni (protoni, ioni carbonio);
- radiofarmaci;
- risonanza magnetica;
- ultrasuoni;
- laser (correzione difetti visivi);

# IL problema della radioterapia

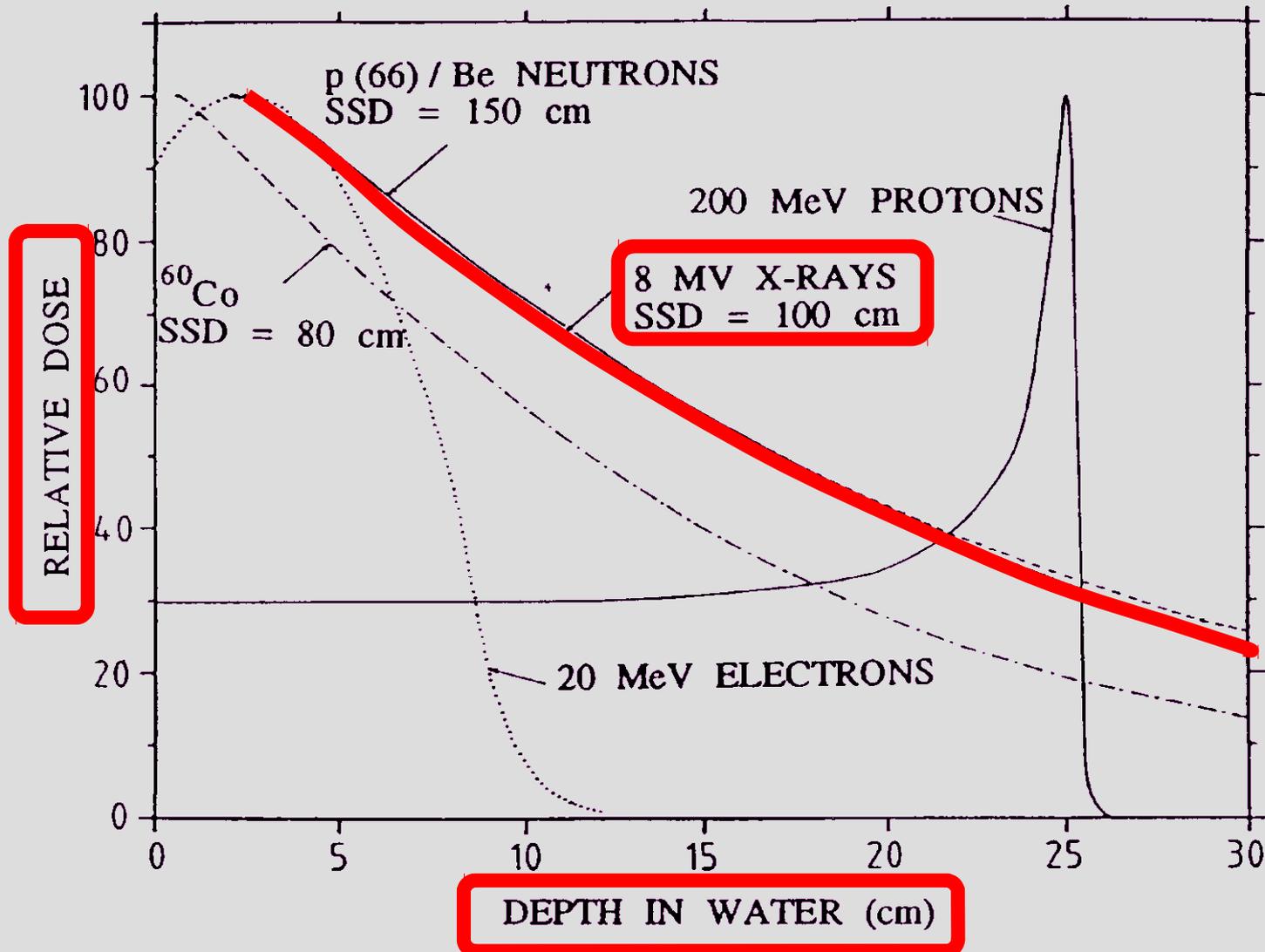
Come risparmiare i tessuti sani e distruggere quelli tumorali?

Ossia: minimizzare la dose impartita ai tessuti sani, e soprattutto agli organi adiacenti alla zona tumorale, e come massimizzare l'efficacia della dose impartita alla massa tumorale.

Come portare la radiazione sul tessuto tumorale?

La deposizione in energia dei vari fasci terapeutici dipende dal tipo di radiazione ionizzante e dalla sua energia.

# Perchè l'acceleratore deve girare intorno al paziente ?



# IL problema della radioterapia

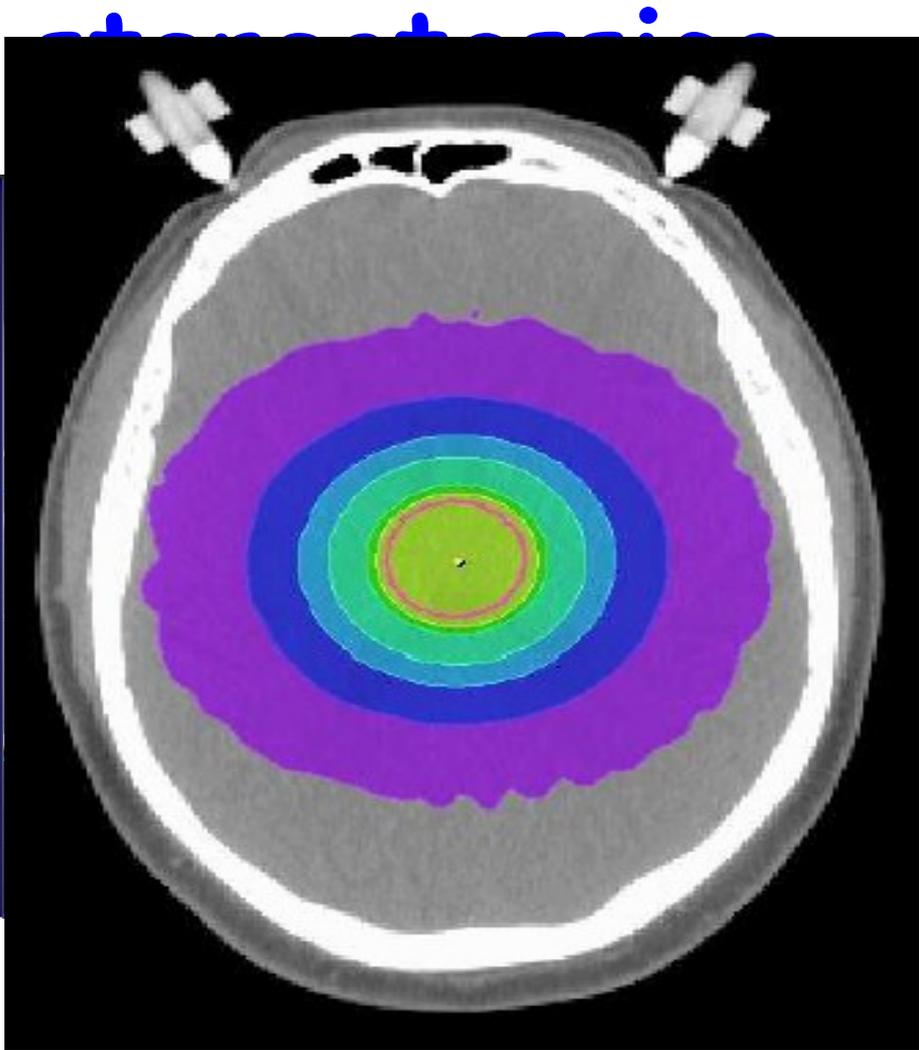
**Esempio: tecnica stereotassica: piccoli fascetti di raggi X, molto focalizzati e a bassa dose, che proveniendone da direzioni diverse (anche 100-1000) sommano la dose solo nella zona interessata.**

Molta dose nella zona  
Tumorale.

Piccola dose nelle zone  
non-tumorali circostanti.



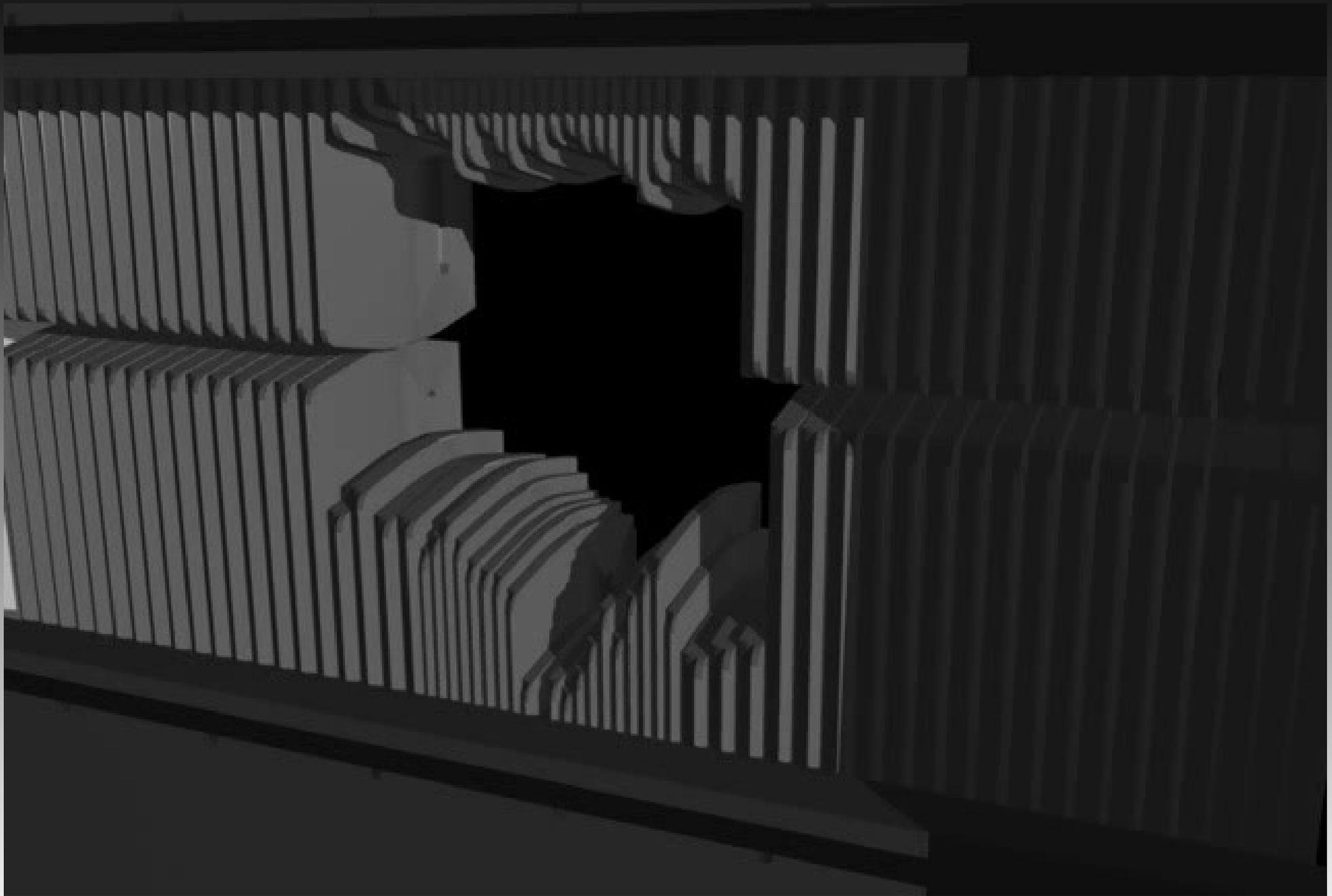
# Tecnica



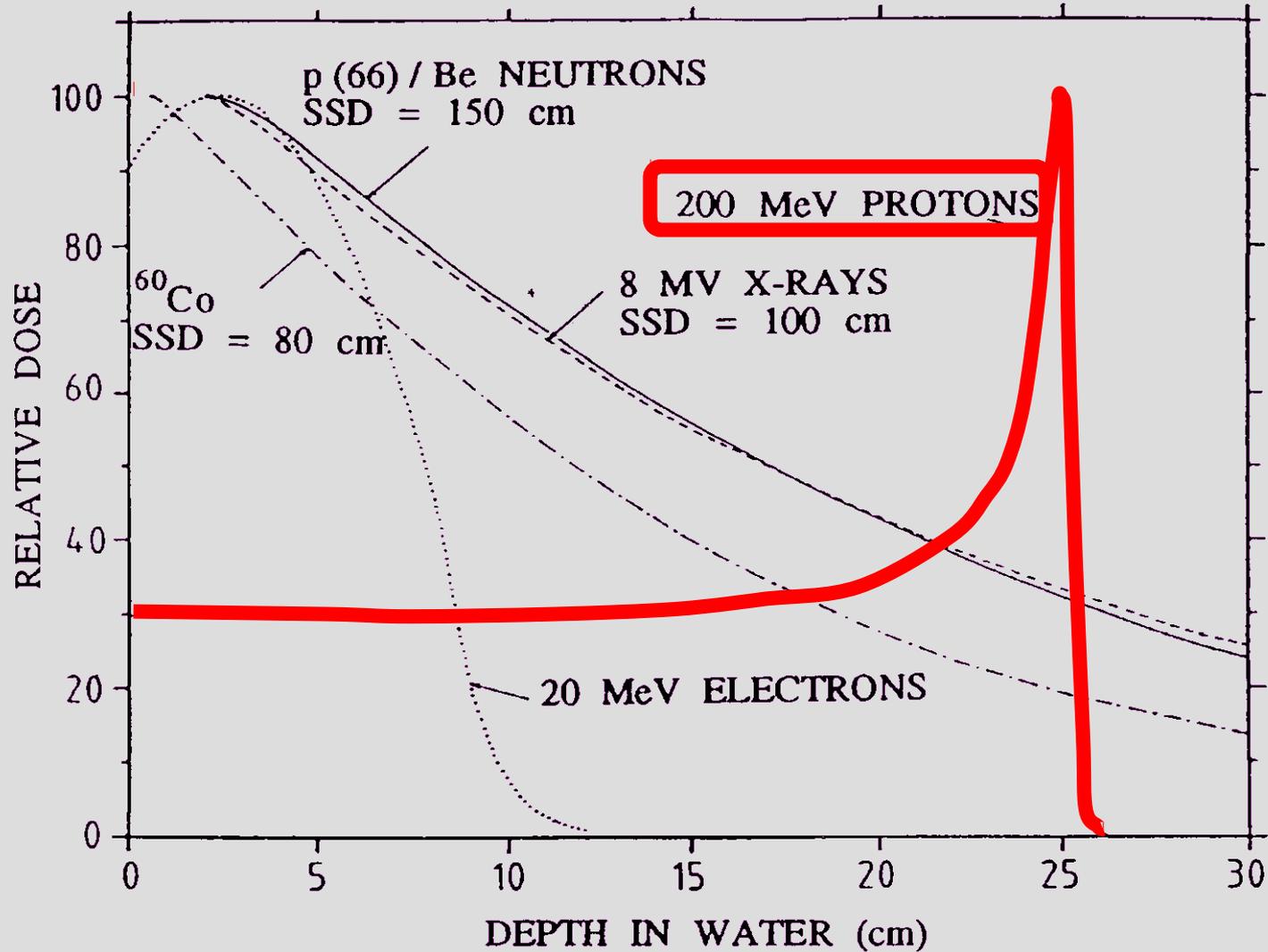
1 fascio

Fascetti che arrivano a 360°

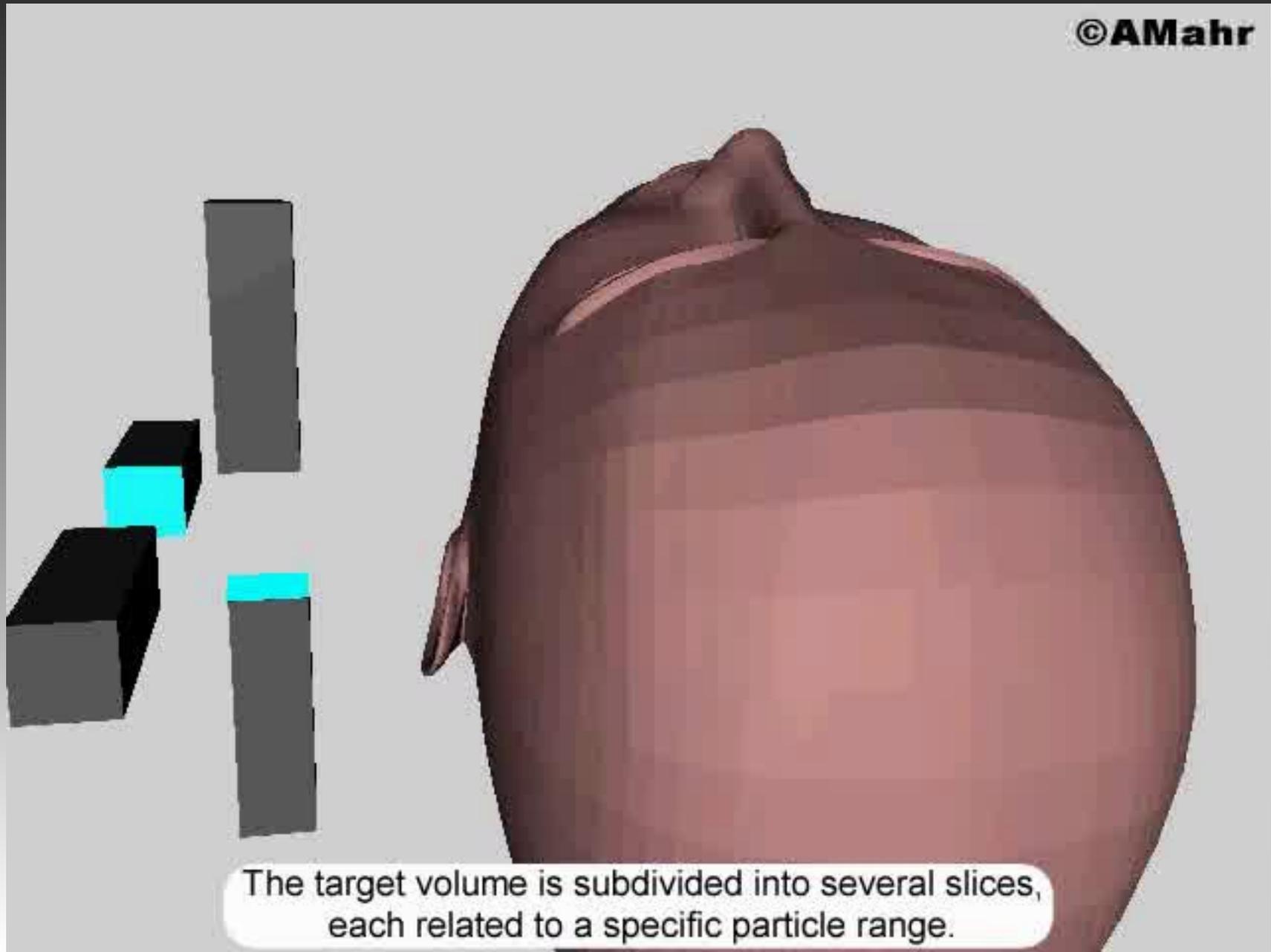
# Acceleratore lineare



# E se usassi gli adroni ?



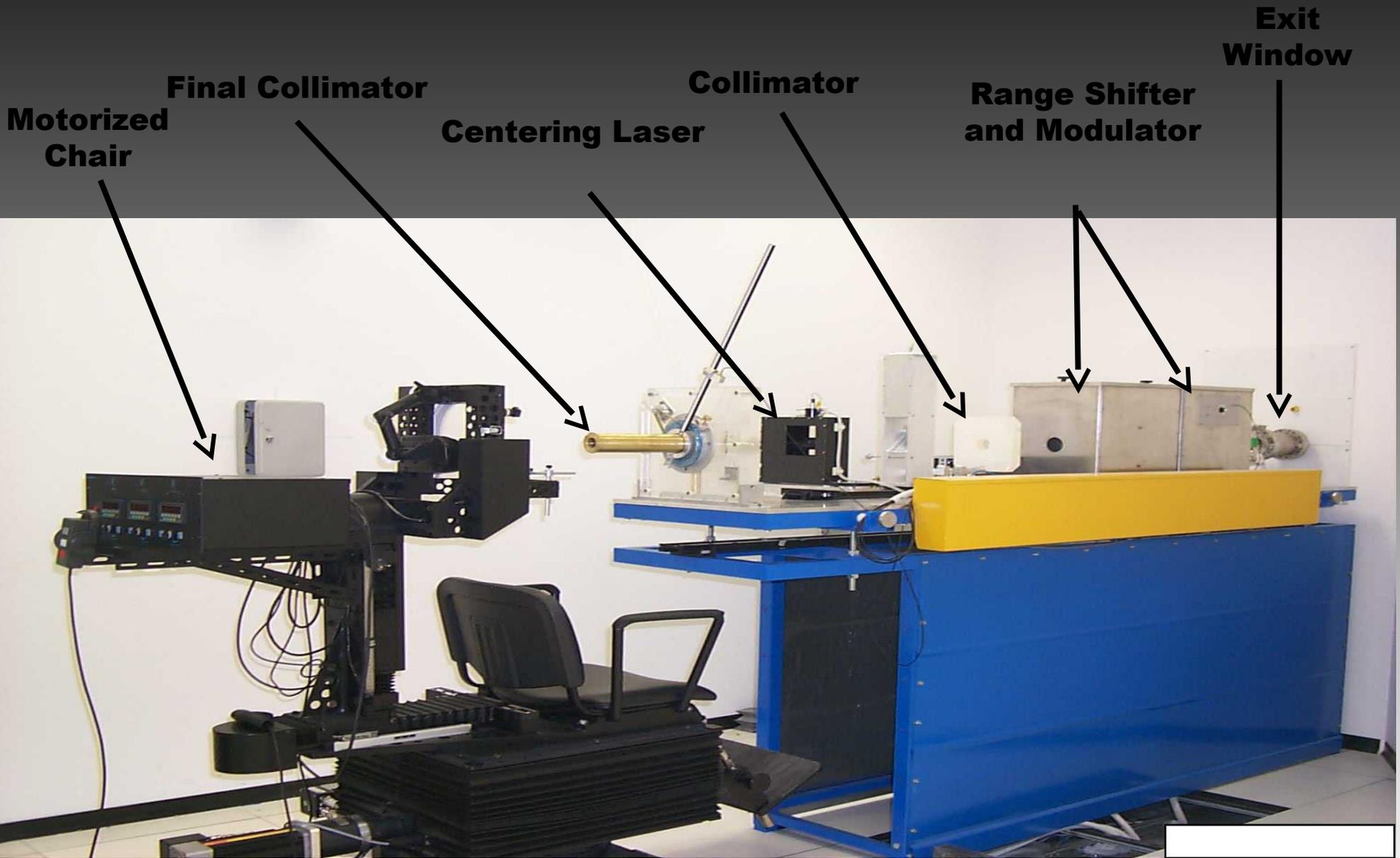
# Come si fa un trattamento con adroni

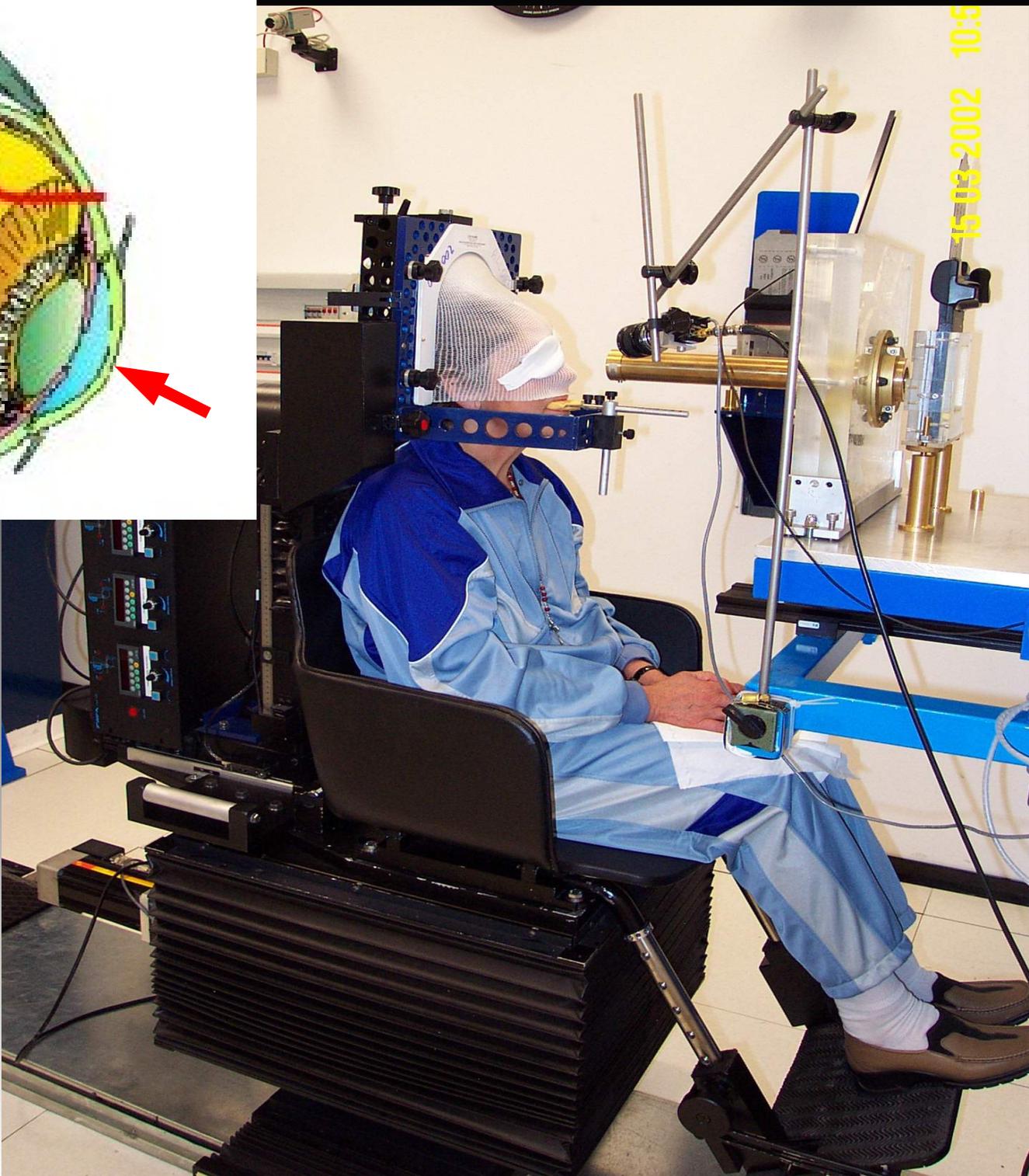
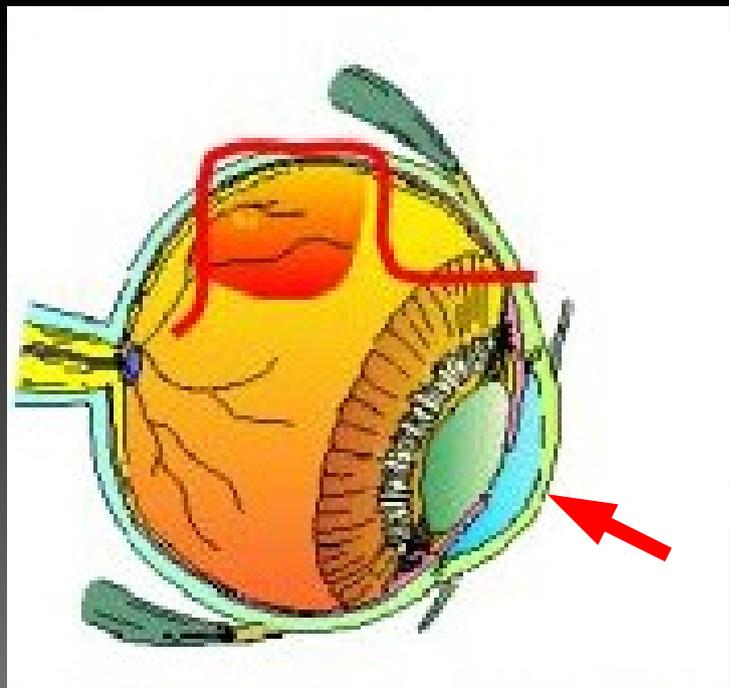


## **A Catania (LNS – INFN)**

- ✿ si usano Protoni (protonterapia)**
- ✿ si trattano patologie oculari**

# Proton Therapy Room





# Il CNAO a Pavia



**Inizio costruzione: 2007**



**Aprile 2010**

# Patologie trattate al CNAO nel periodo di sperimentazione clinica

## Protoni

1. Base del cranio e spina dorsale: cordoma e condrosarcoma
2. Meningioma
3. Carcinoma anaplastico della tiroide

## Ioni carbonio

1. Base del cranio e spina dorsale: cordoma e condrosarcoma
2. Capo/collo, pelvi, tronco: sarcoma dei tessuti molli
3. Capo/collo: tumori non mesenchimali
4. Tumori delle ghiandole salivari

**Mercoledì 21 settembre 2011  
sono iniziati i trattamenti  
del primo paziente**



# Applicazioni (alcune) della Fisica in Medicina

(assistenza alla) Terapia :

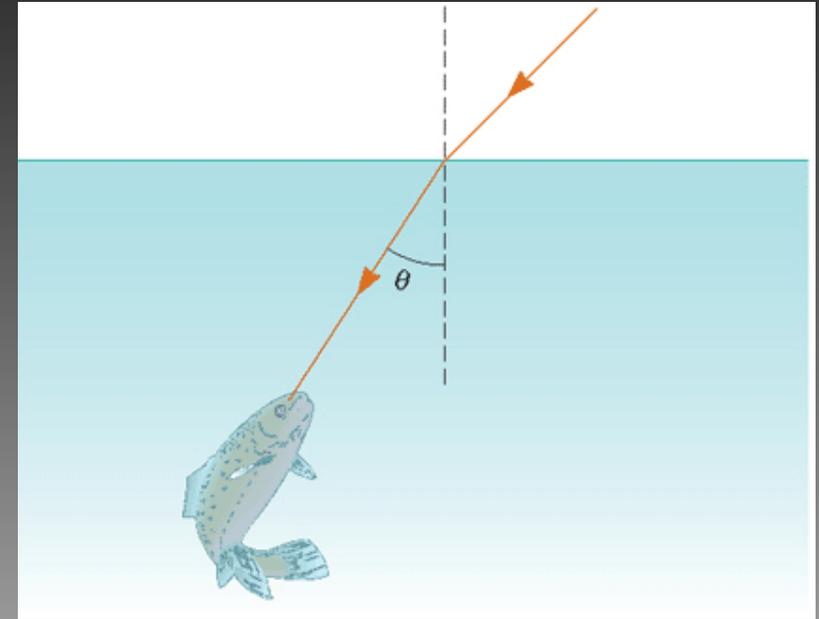
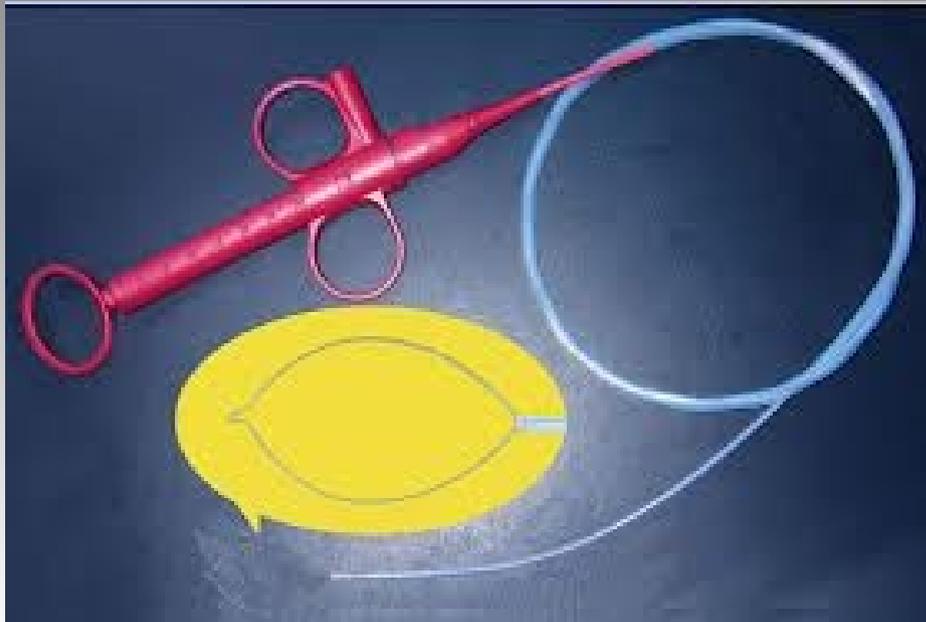
Quando è necessario operare all'interno del corpo senza una operazione invasiva, e quindi servono immagini per guidare il medico:

- Endoscopia;
- Radiologia Interventistica (fasci di raggi X);
- Biopsie alla prostata (ecografie);
- etc.....

# L'endoscopia

Fibre ottiche

→ Riflessione totale



→ Legge di Snell

→ Rifrazione

# Endoscopia virtuale

**colon**

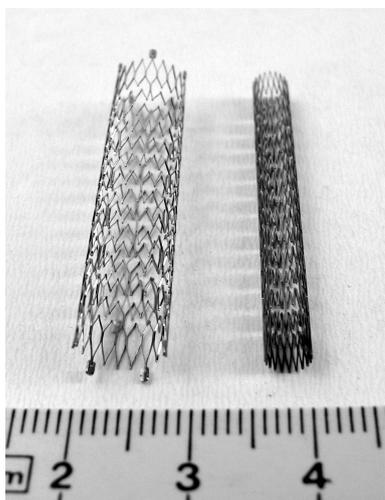


# Radiologia Interventistica

## Indicazioni cliniche

- ☢ Aneurismi dell'aorta addominale ed endoprotesi
- ☢ Coronarografie, PTCA
- ☢ Steno-ostruzioni e ricanalizzazioni arteriose

## Stent vascolari



L. Servoli

Stray Radiation  
in  
 $\mu\text{Sv per Gy}\cdot\text{cm}^2$

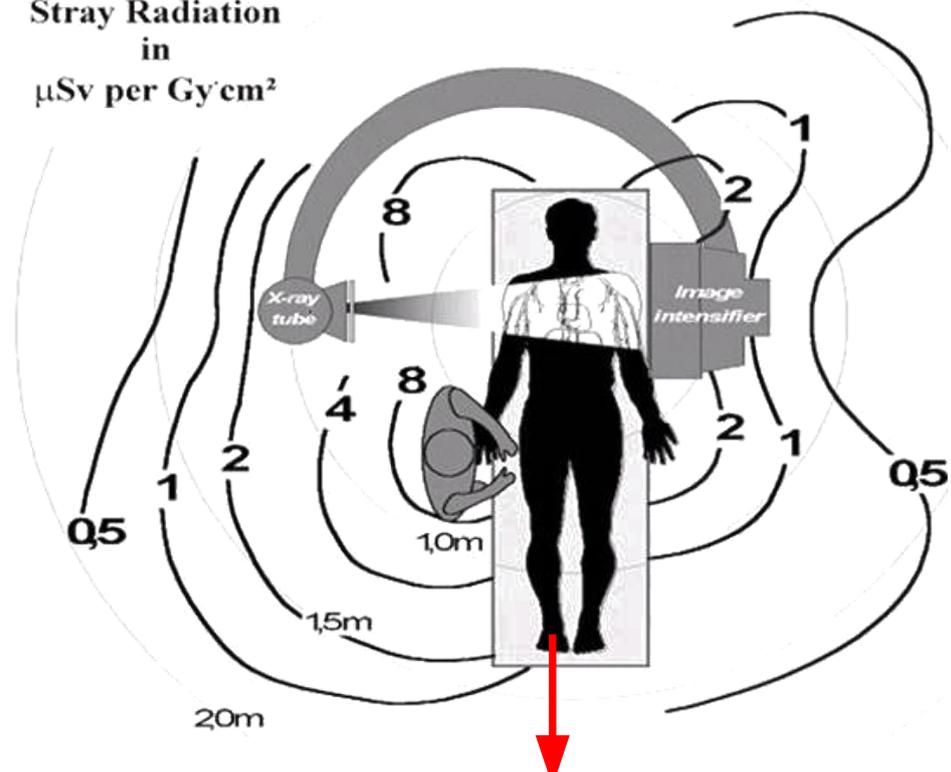


Immagine dei vasi

Posizionamento nella regione interessata all'intervento

# *La fisica é una scienza naturale*

*Studio delle leggi fondamentali della natura:*

- *Definizione di Equazioni matematiche per i modelli;*
- *Confronto tra **Teoria** ed **Esperimento**, ossia tra predizioni di comportamento, e misure del comportamento stesso.*

# GRANDEZZE FISICHE

1. Grandezze fisiche
2. Grandezze fondamentali e derivate
3. Sistemi di unità di misura
4. Multipli e sottomultipli
5. Ordini di grandezza



# Grandezze fisiche

Definizione operativa:

Grandezza fisica  $\rightarrow$  Proprietà misurabile

|                            |                                       |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Sensazione di caldo/freddo | NO (soggettiva, diversa per ciascuno) |
| Temperatura                | SÌ (oggettiva, uguale per tutti)      |

Es.

Misura di una grandezza:

- mediante un **dispositivo sperimentale**
- in confronto con un'altra grandezza omogenea di riferimento costante e riproducibile

Espressione

di una grandezza:

numero + unità di misura

rapporto tra misura e campione di riferimento

# Unità di misura

## Misura di una grandezza:

- mediante un **dispositivo sperimentale**
- in confronto con un'altra grandezza omogenea di riferimento **costante e riproducibile**

## Espressione di una grandezza:

**numero + unità di misura**

rapporto tra misura e campione di riferimento

Es.

## Lunghezza di un corpo:

### Procedere all'operazione di misura mediante uno strumento

Es. misuratore A: 3 "spanne"; misuratore B: 4 "spanne"

### Confrontare il risultato con un campione fisso, preso come unità di misura

"spanna" misuratore A = 20 cm  $\rightarrow$  3 "spanne" = 60 cm

"spanna" misuratore B = 15 cm  $\rightarrow$  4 "spanne" = 60 cm **uguale!**



## MAI dimenticare l'unità di misura!

Dire "un corpo è lungo 24" **non ha senso.**

Dire "la densità dell'acqua è 1" **non ha senso.** ...e dirlo all'esame...



# Grandezze fondamentali e derivate

## Fondamentali

*concetti intuitivi  
indipendenti l'uno dall'altro  
non definibili in termini  
di altre grandezze*

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Lunghezza             | [L] |
| Massa                 | [M] |
| Tempo                 | [t] |
| Intensità di corrente | [i] |
| Temperatura assoluta  | [T] |

## Derivate

*definibili in termini  
delle grandezze fondamentali  
mediante relazioni analitiche*

|            |                       |   |
|------------|-----------------------|---|
| Superficie | (lungh.) <sup>2</sup> | [L] <sup>2</sup>                        |
| Volume     | (lungh.) <sup>3</sup> | [L] <sup>3</sup>                        |
| Velocità   | (lungh./tempo)        | [L] [t] <sup>-1</sup>                   |
| Acceleraz. | (veloc./tempo)        | [L] [t] <sup>-2</sup>                   |
| Forza      | (massa·acc.)          | [L] [M] [t] <sup>-2</sup>               |
| Pressione  | (forza/sup.)          | [L] <sup>-1</sup> [M] [t] <sup>-2</sup> |

*In generale:* ..... [L]<sup>a</sup>[M]<sup>b</sup>[t]<sup>c</sup>[i]<sup>d</sup>[T]<sup>e</sup>

# Sistemi di unità di misura

*Stabilire un sistema di unità di misura =  
fissare le grandezze fondamentali  
e il valore dei loro campioni unitari*

| Sistema                           | [L]  | [M]                   | [t]                 | [i]                 | [T]                    |
|-----------------------------------|--|-----------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
|                                   | lungh.   | massa                 | tempo               | intens.<br>corrente | temper.<br>assoluta    |
| <b>MKS (SI)</b><br>Internazionale | <b>m</b><br>metro  | <b>kg</b><br>chilogr. | <b>s</b><br>secondo | <b>A</b><br>ampère  | <b>°K</b><br>gr.kelvin |
| <b>cgs</b>                        | <b>cm</b><br>centim.   | <b>g</b><br>grammo    | <b>s</b><br>secondo | <b>A</b><br>ampère  | <b>°K</b><br>gr.kelvin |
| <b>Sistemi pratici</b>            | <b>vari esempi</b>  |                       |                     |                     |                        |

# Sistemi di unità di misura

## ESEMPI DI UNITA' PRATICHE

|           |                                   |
|-----------|-----------------------------------|
| Lunghezza | angstrom, anno-luce               |
| Tempo     | minuto, ora, giorno, anno         |
| Volume    | litro                             |
| Velocità  | chilometro/ora                    |
| Pressione | atmosfera, millimetro di mercurio |
| Energia   | elettronvolt, chilowattora        |
| Calore    | caloria                           |
| .....     | .....                             |

## Fattori di conversione:

MKS  $\rightarrow$  cgs

1 m =  $10^2$  cm

1 kg =  $10^3$  g

cgs  $\rightarrow$  MKS

1 cm =  $10^{-2}$  m

1 g =  $10^{-3}$  kg

MKS, cgs  $\rightarrow$  pratici  
e viceversa

proporzioni con fattori numerici noti

# Multipli e sottomultipli

## Formazione dei multipli e dei sottomultipli delle unità SI.

|   | <i>fattore di moltiplicazione</i>      | <i>prefisso</i> | <i>simbolo</i> |   |
|---|--|-----------------|----------------|---|
| Alcuni prefissi, anteposti ai simboli delle unità SI, permettono di esprimere i multipli e i sottomultipli secondo quanto riportato nella tabella qui a fianco. | 1 000 000 000 000 000 000 = $10^{18}$  | exa             | E              |   |
|   | 1 000 000 000 000 000 = $10^{15}$      | peta            | P              |   |
|   | 1 000 000 000 000 = $10^{12}$          | tera            | T              |   |
|   | 1 000 000 000 = $10^9$                 | giga            | G              |   |
|   | 1 000 000 = $10^6$                     | mega            | M              |   |
|   | 1 000 = $10^3$                         | kilo            | k              |   |
|   | 100 = $10^2$                           | etto            | h              |   |
|   | 10 = $10^1$                            | deca            | da             |   |
|   | <b>multipli</b>                        |                 |                |   |
|   | <b>sottomultipli</b>                   | 0,1 = $10^{-1}$ | deci           | d |
|   | 0,01 = $10^{-2}$                       | centi           | c              |   |
|   | 0,001 = $10^{-3}$                      | milli           | m              |   |
|   | 0,000 001 = $10^{-6}$                  | micro           | $\mu$          |   |
|   | 0,000 000 001 = $10^{-9}$              | nano            | n              |   |
|   | 0,000 000 000 001 = $10^{-12}$         | pico            | p              |   |
|   | 0,000 000 000 000 001 = $10^{-15}$     | femto           | f              |   |
|   | 0,000 000 000 000 000 001 = $10^{-18}$ | atto            | a              |   |

Esempi:

|                          |               |
|--------------------------|---------------|
| 1 mm = 1 millimetro      | = $10^{-3}$ m |
| 1 GW = 1 gigawatt        | = $10^9$ W    |
| 1 $\mu$ F = 1 microfarad | = $10^{-6}$ F |
| 1 ns = 1 nanosecondo     | = $10^{-9}$ s |

# Ordini di grandezza

Per esprimere brevemente grandezze fisiche grandi o piccole:  
numero a 1,2,3 cifre +  
unità di misura con multiplo/sottomultiplo (di 3 in 3)

$$57800 \text{ g} = 5.78 \cdot 10^4 \text{ g} = 5.78 \cdot (10^1 \cdot 10^3) \text{ g} = 57.8 \text{ kg}$$

$$57.8 \text{ kg} = 57.8 \cdot 10^3 \text{ g} = 5.78 \cdot 10^4 \text{ g}$$

Es.

$$0.0047 \text{ g} = 4.7 \cdot 10^{-3} \text{ g} = 4.7 \text{ mg}$$

$$0.00047 \text{ g} = 4.7 \cdot 10^{-4} \text{ g} = 4.7 \cdot (10^2 \cdot 10^{-6}) \text{ g} = 470 \text{ } \mu\text{g}$$

Per confrontare grandezze  
“infinitamente” grandi o piccole:  
**Ordine di grandezza =**  
potenza di 10 più vicina  
al numero considerato

Atomo di idrogeno:

raggio atomo:  $10^{-10} \text{ m}$

raggio nucleo:  $10^{-15} \text{ m}$

$$\rightarrow 10^{-10} \text{ m} / 10^{-15} \text{ m} = 10^5$$

L'atomo di idrogeno è 100000 volte  
più grande del suo nucleo!

Es.

# Lunghezza

- ... Cubito, ... Piede, ... Spanna, ... Pollice.....
- Dal 1793: metro (dal greco *metron*, misura)
  - 1/10.000.000 distanza Polo Nord-equatore
  - Barra Pt-Ir
  - Distanza percorsa dalla luce nel vuoto in  $1/299792458$  s

# Ordini di grandezza: esempi di lunghezze

## Alcune lunghezze

## valore in m

|                                       |                                 |                                    |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| - dist. del corpo celeste più lontano | $10^{25}$ m                     | (10000 miliardi di miliardi di km) |
| - distanza della stella più vicina    | $3.9 \cdot 10^{16}$ m           | (40000 miliardi di km)             |
| - anno-luce                           | $9.46 \cdot 10^{15}$ m          | (9000 miliardi di km)              |
| - distanza Terra-Sole                 | $1.49 \cdot 10^{11}$ m = 149 Gm | (150 milioni di km)                |
| - distanza Terra-Luna                 | $3.8 \cdot 10^8$ m = 380 Mm     | (400000 km)                        |
| - raggio della Terra                  | $6.38 \cdot 10^6$ m = 6.38 Mm   | (6000 km)                          |
| - altezza del Monte Bianco            | $4.8 \cdot 10^3$ m = 4.8 km     | (5 km)                             |
| - altezza di un uomo                  | $1.7 \cdot 10^0$ m = 1.7 m      |                                    |
| - spessore di un foglio di carta      | $10^{-4}$ m = 100 $\mu$ m       | (1/10 di mm)                       |
| - dimensioni di un globulo rosso      | $10^{-5}$ m = 10 $\mu$ m        | (1/100 di mm)                      |
| - dimensioni di un virus              | $10^{-8}$ m = 10 nm             | (100 angstrom)                     |
| - dimensioni di un atomo              | $10^{-10}$ m                    | (1 angstrom)                       |
| - dimensioni di un nucleo atomico     | $10^{-15}$ m                    | (1/100000 di angstrom = 1 fermi)   |

# Tempo

● Fino al 1956: giorno solare medio composto di  $24 \times 60 \times 60 = 86400$  s

● Dal 1956:

- secondo: tempo occorrente alla radiazione emessa da un atomo di  $^{133}\text{Cs}$  per completare 9192631700 oscillazioni



# Ordini di grandezza: esempi di tempi

## Alcuni tempi

## valore in s

|  |                               |   |
|--|-------------------------------|---|
| - stima dell'età dell'Universo         | $4.7 \cdot 10^{17} \text{ s}$ | <i>(15 miliardi di anni)</i>                    |
| - comparsa dell'uomo sulla Terra       | $10^{13} \text{ s}$           | <i>(300000 anni)</i>                            |
| - era cristiana                        | $6.3 \cdot 10^{10} \text{ s}$ | <i>(2000 anni)</i>                              |
| - anno solare                          | $3.15 \cdot 10^7 \text{ s}$   |   |
| - giorno solare                        | $8.64 \cdot 10^4 \text{ s}$   |   |
| - intervallo tra due battiti cardiaci  | $8 \cdot 10^{-1} \text{ s}$   | <i>(8/10 di sec.)</i>                           |
| - periodo di vibraz. voce basso        | $5 \cdot 10^{-2} \text{ s}$   | <i>(2/100 di sec.)</i>                          |
| - periodo di vibraz. voce soprano      | $5 \cdot 10^{-5} \text{ s}$   | <i>(50 milionesimi di sec.)</i>                 |
| - periodo vib. onde radio (FM 100 MHz) | $10^{-8} \text{ s}$           | <i>(10 miliardesimi di sec.)</i>                |
| - periodo di vib. raggi X              | $10^{-18} \text{ s}$          | <i>(1 miliardesimo di miliardesimo di sec.)</i> |

# Massa

- kilogrammo (kg....NON Kg, per favore !)
- Non e' basato su una quantita' fisica naturale
- Massa del un cilindro di Pt-Ir di Sevres
- Massa: proprieta' intrinseca e immutabile di un oggetto
- Peso: dipende da massa e accelerazione di gravita'



# Ordini di grandezza: esempi di masse

## Alcune masse

## valore in kg

|                               |                          |   |
|-------------------------------|--------------------------|---|
| - massa dell'Universo (stima) | $10^{55}$ kg             |   |
| - massa del Sole              | $1.98 \cdot 10^{30}$ kg  | (2000 miliardi di miliardi di miliardi di kg) |
| - massa della Terra           | $5.98 \cdot 10^{24}$ kg  | (6 milioni di miliardi di miliardi di kg)     |
| - massa di un uomo            | $7 \cdot 10^1$ kg        | (70 kg)                                       |
| - massa di un globulo rosso   | $10^{-16}$ kg            | (100 milionesimi di miliardesimo di g)        |
| - massa del protone           | $1.67 \cdot 10^{-27}$ kg | (1.6 milionesimi di miliardesimo di g)        |
| - massa dell'elettrone        | $9.1 \cdot 10^{-31}$ kg  | miliardesimo di g)                            |

## Sistema internazionale

| Grandezza fondamentale                      | Unità SI    |         |  |
|---|-------------|---------|--|
|   | Nome        | Simbolo | Definizione  |
| Intervallo di tempo<br>(Tempo)              | secondo     | s       | Intervallo di tempo che contiene 9.192.631.770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione fra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133.   |
| Lunghezza                                   | metro       | m       | Lunghezza percorsa dalla luce nel vuoto nell'intervallo di tempo $1 / 299.792.458$ s.  |
| Massa                                       | kilogrammo  | kg      | Massa di un campione di platino-iridio conservato nel laboratorio di pesi e misure di Sevres.  |
| Temperatura termodinamica                   | kelvin      | K       | Frazione $1/ 273,16$ della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.  |
| Intensità di corrente elettrica             | ampere      | A       | Intensità di corrente elettrica che, mantenuta costante in due conduttori rettilinei, paralleli, di lunghezza infinita, di sezione circolare trascurabile e posti alla distanza di 1 m l'uno dall'altro nel vuoto, produce tra i due conduttori la forza di $2 \times 10^{-7}$ N su ogni metro di lunghezza. |
| Intensità luminosa                          | candela     | cd      | Intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza pari a $540 \cdot 10^{12}$ hertz e che ha un'intensità di radiazione in quella direzione di $1/683$ watt per steradiante.  |
| Quantità di sostanza                        | mole        | mol     | Quantità di sostanza di un sistema che contiene tante entità elementari quanti sono gli atomi in 0,012 kg di carbonio 12. Le entità elementari devono essere specificate e possono essere atomi, molecole, ioni, elettroni, ecc. ovvero gruppi specificati di tali particelle                                |
| <i>Grandezze fondamentali supplementari</i> |             |         |  |
| Angolo piano                                | radiante    | rad     | Angolo piano al centro che su una circonferenza intercetta un arco di lunghezza uguale a quella del raggio   |
| Angolo solido                               | steradiante | sr      | Angolo solido al centro che su una sfera intercetta una calotta di area uguale a quella del quadrato il cui lato ha la lunghezza del raggio  |

## Il radiante

$$s = R \Rightarrow \theta = 1 \text{ rad}$$

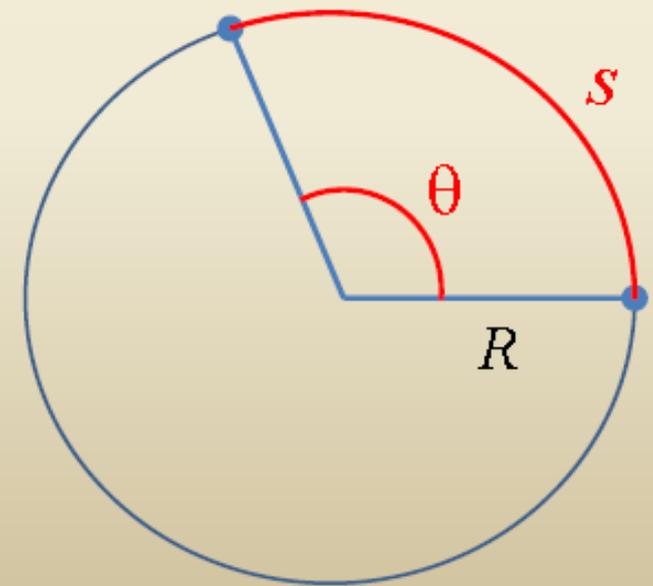
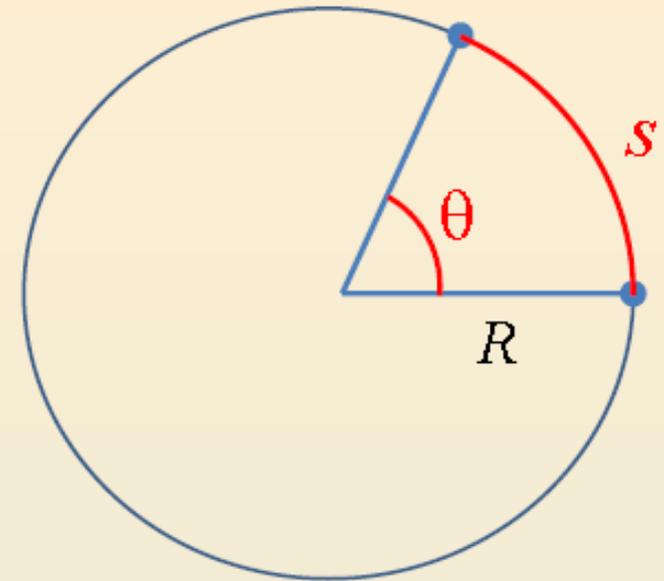
## Misura degli angoli in radianti

$$\theta(\text{radianti}) = \frac{s}{R}$$

$$\text{angolo giro: } \theta = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi$$

$$\text{angolo piatto: } \theta = \frac{2\pi R / 2}{R} = \pi$$

$$\text{angolo retto: } \theta = \frac{2\pi R / 4}{R} = \frac{\pi}{2}$$



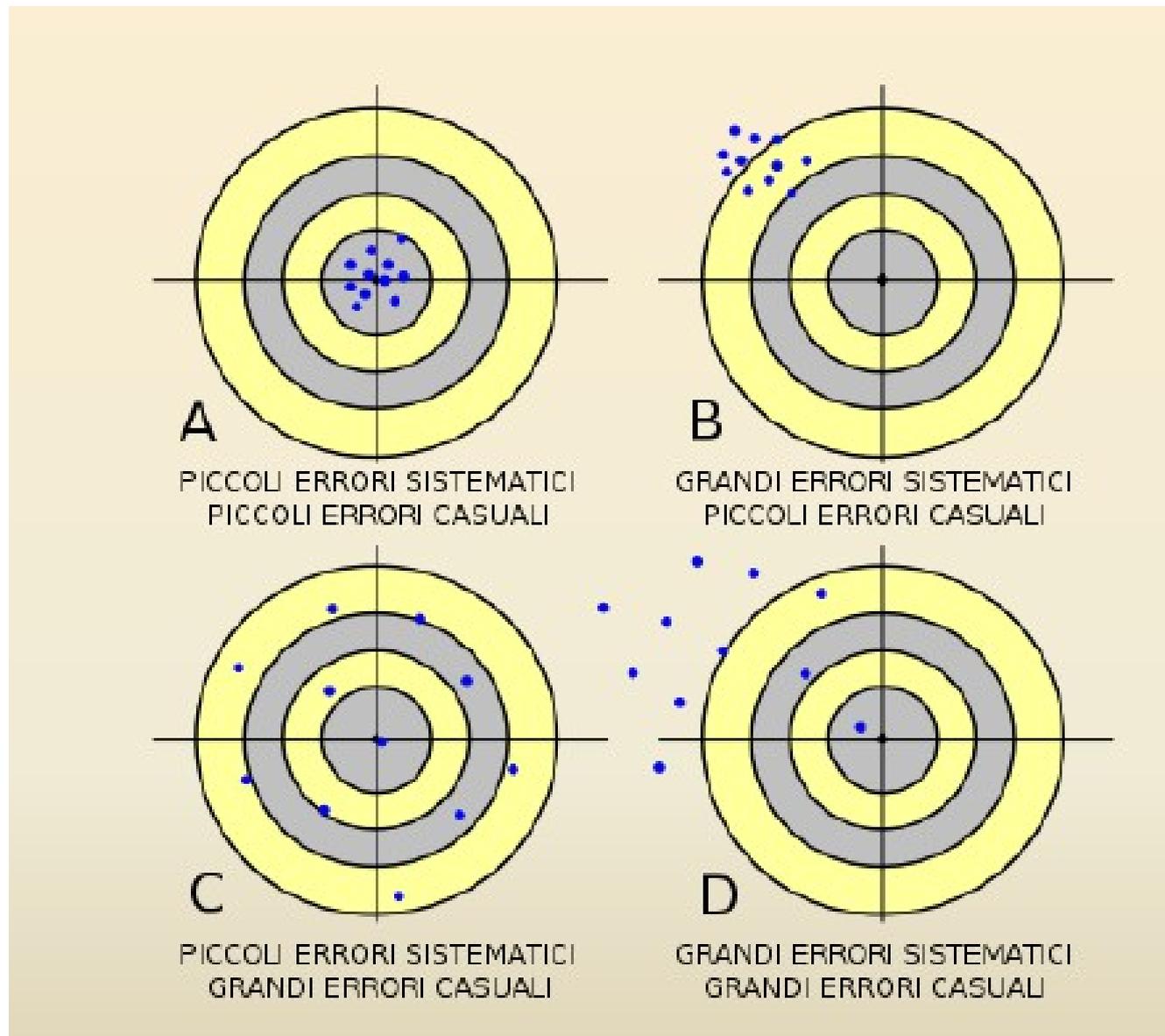
# Equazioni Dimensionali

## Equazione dimensionale

Le funzioni che legano le grandezze derivate ( $A, B, \dots$ ) alle grandezze fondamentali ( $F_1, F_2, F_3, \dots$ ) sono funzioni omogenee rispetto alle grandezze fondamentali, cioè possono esprimersi come il prodotto delle grandezze fondamentali elevate ad esponenti interi positivi o negativi. Ciò viene descritto formalmente mediante l'equazione dimensionale della grandezza derivata  $A$ :

$$[A] = [F_1^{n_1} F_2^{n_2} F_3^{n_3} \dots] \quad \text{Esempi: velocità ed accelerazione} \quad [v] = [L^1 T^{-1}] \quad [a] = [L^1 T^{-2}]$$

# *Errori Sistematici e Casuali*



# Medie e Dispersioni

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_N}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

*Media aritmetica*

$$\xi_i = X_i - \bar{X}$$

*Scarto della i-ma misura*

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \xi_i^2}$$

*Deviazione Standard*

# *La perdita di informazione!!!*



