

# LA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO DI TRATTAMENTO

## TREATMENT PLANNING

Acquisizione le immagini del paziente nella geometria di trattamento

- ✓ Conoscere posizione, dimensioni e forma della ragione da trattare e degli organi a rischio
- ✓ Acquisire informazioni necessarie a calcolare con accuratezza adeguata la distribuzione di dose nel paziente
  - La variabilità' interpersonale
- ✓ Acquisire informazioni adeguate per ottimizzare il posizionamento



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

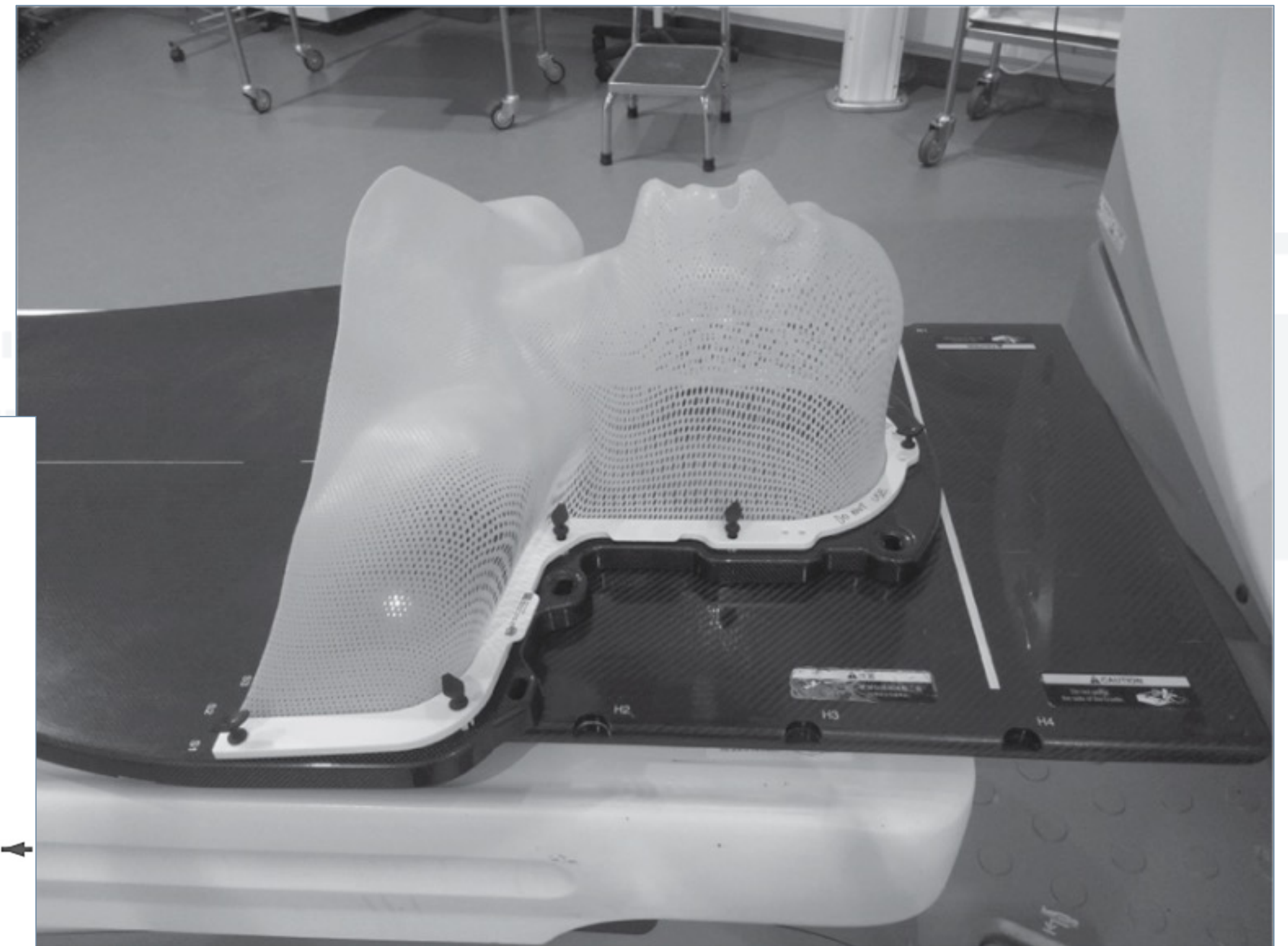
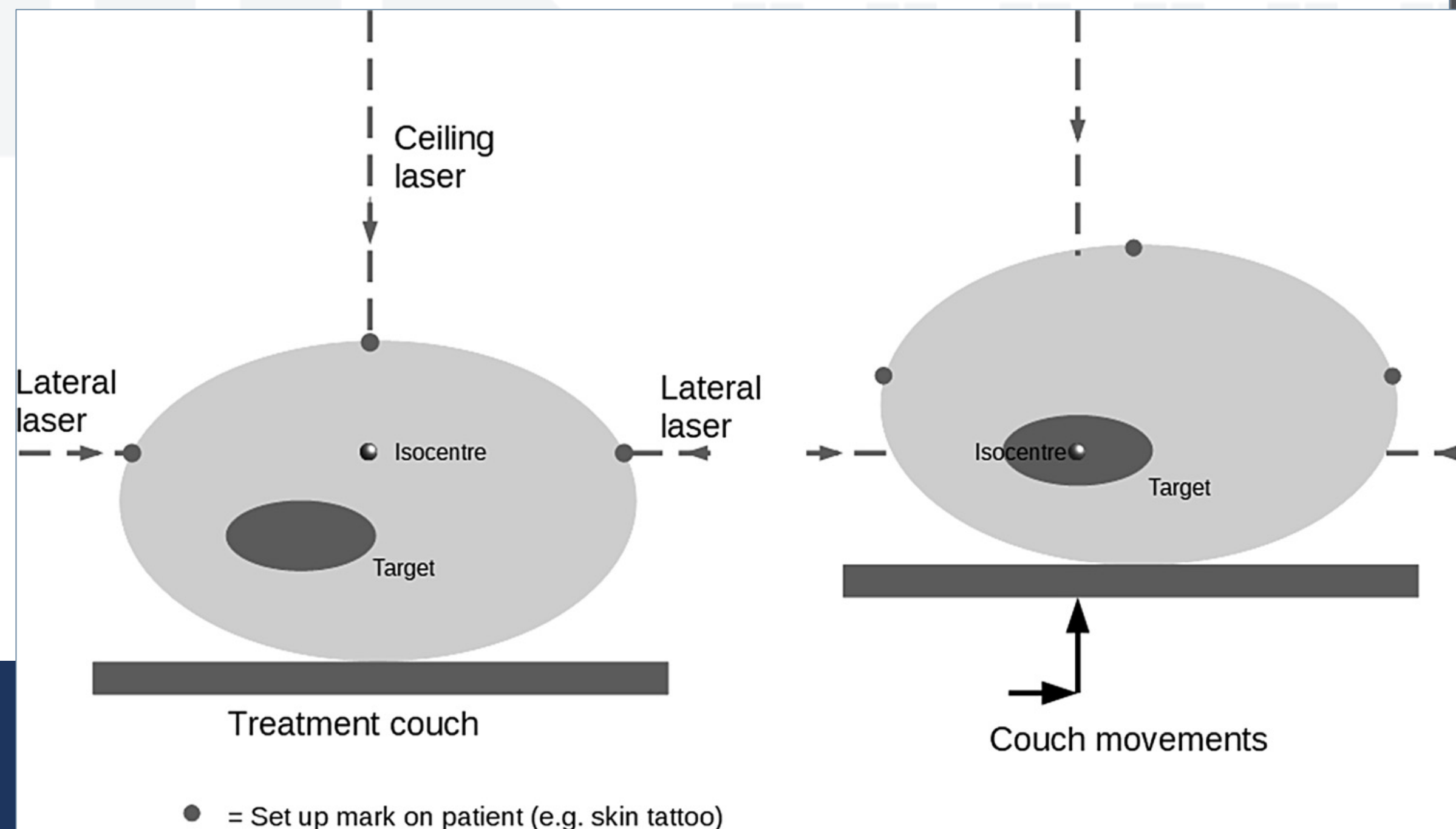


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# LA PREDISPOSIZIONE DEL PIANO DI TRATTAMENTO

## TREATMENT PLANNING

- ✓ Posizionamento e immobilizzazione
  - Riproducibilita' nelle sessioni ripetute
  - Marker radio-opachi (tatuaggi puntiformi)
- ✓ Posizionamento della zona da trattare all'isocentro della testata di trattamento



Rete termoplastica  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



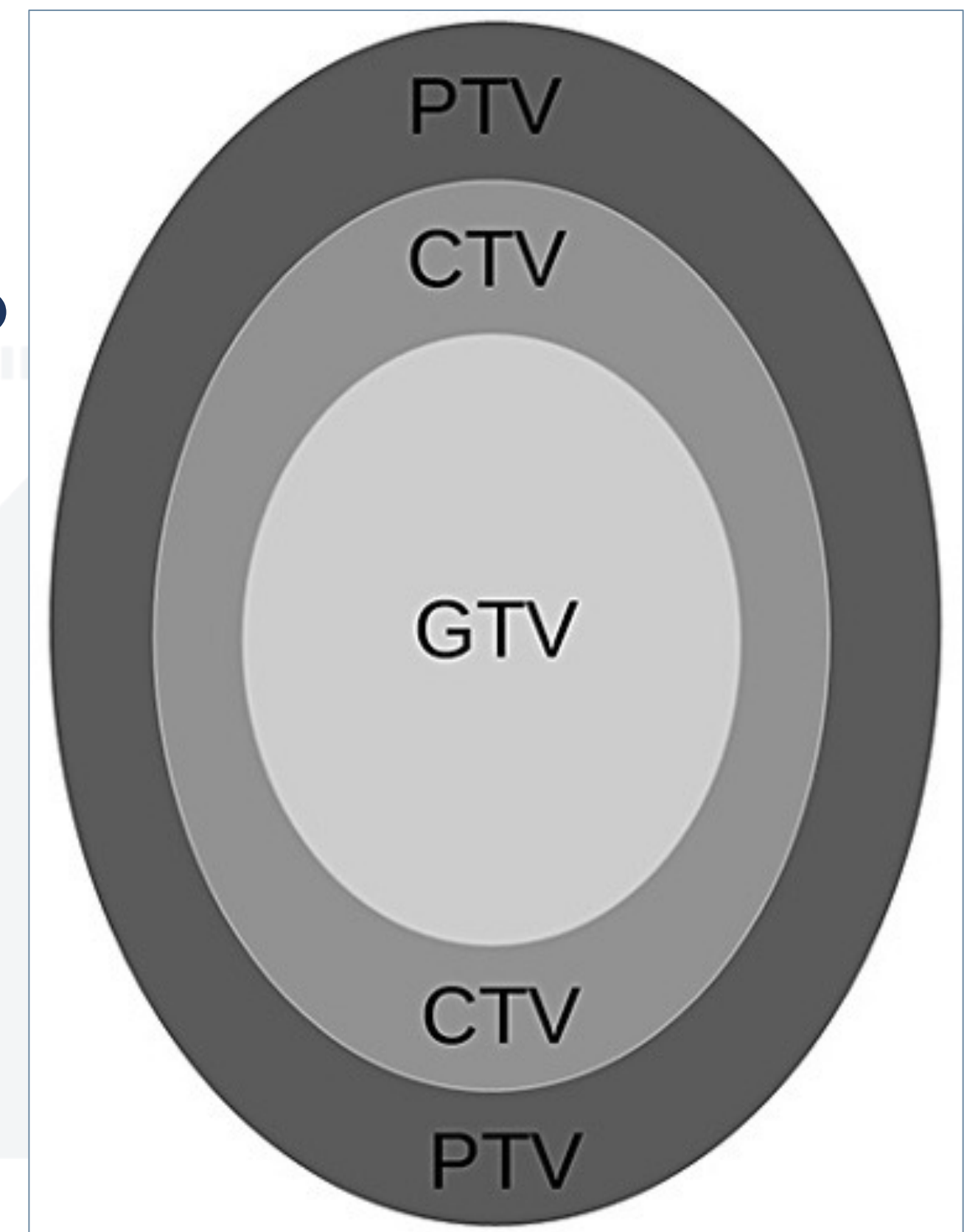
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# IL VOLUME DI TRATTAMENTO

## Treatment Target

Per determinare il volume da trattare si utilizzano tutte le possibili informazioni derivanti dalla clinica e dalle diverse tecniche di imaging

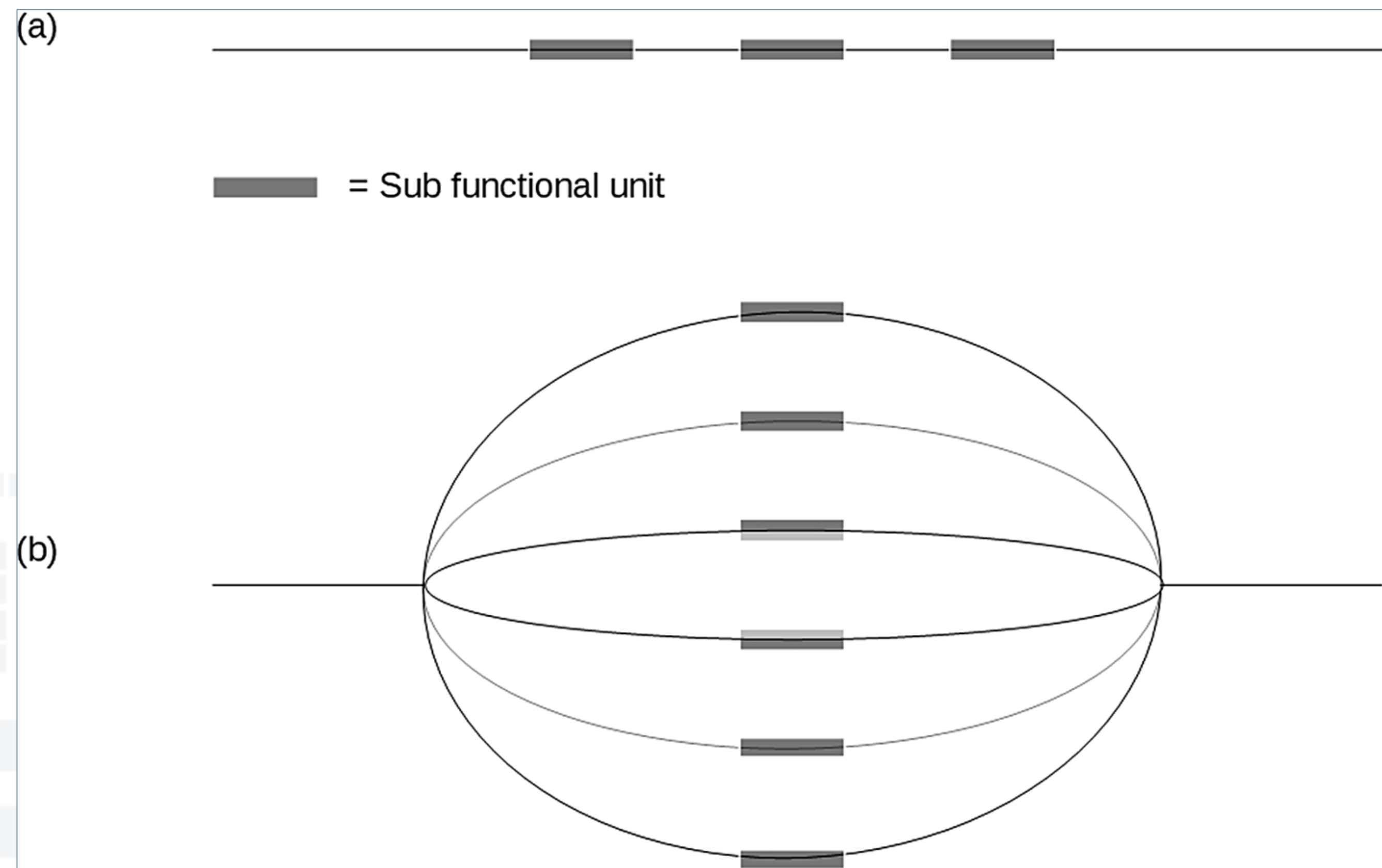
- CT, MRI, PET
- ✓ gross tumour volume (GTV)
  - L'incertezza a questo step peserà su tutto il trattamento
  - Incertezza clinica
  - Incertezza geometrica
- ✓ clinical target volume (CTV)
  - Più grande del GTV fino ad alcuni cm
- ✓ planning target volume (PTV)
  - Movimenti fisiologici
  - Incertezze nel sistema del linac



# ORGANI A RISCHIO

## OAR

- ✓ La presenza di organi sani e radiosensibili sono il principale vincolo nello sviluppo del piano di trattamento
  - Limite superiore di dose
- ✓ Relativamente ai danni da radiazione gli OAR sono divisi in 2 gruppi relativamente alla unita' funzionali
  - In serie
    - midollo spinale
  - In parallel
    - polmone





*Providing guidance for over 90 years to the fields of radiation science, radiation medicine and radiation protection.*

HOME ABOUT ICRU ORGANIZATION ACTIVITIES REPORTS QUICK LINKS CONTACT US

# RADIATION SCIENCE: QUANTITIES, UNITS, AND RADIATION MEASUREMENT

## *ICRU Report 50, Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy*

*THIS REPORT SEEKS TO PROMOTE THE USE OF A COMMON LANGUAGE FOR SPECIFYING AND REPORTING THE DOSES IN RADIATION THERAPY, AS WELL AS THE VOLUMES IN WHICH THEY ARE PRESCRIBED.*



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

<https://www.icru.org/report/prescribing-recording-and-reporting-photon-beam-therapy-report-50/>



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# ABOUT ICRU

## OUR MISSION

To develop and promulgate internationally accepted recommendations on radiation related quantities and units, terminology, measurement procedures, and reference data for the safe and efficient application of ionizing radiation to medical diagnosis and therapy, radiation science and technology, and radiation protection of individuals and populations.

## HISTORY

The ICRU (originally known as the International X-Ray Unit Committee and later as the International Committee for Radiological Units) was conceived at the First International Congress of Radiology (ICR) in London in 1925 and officially came into being at ICR-2 in Stockholm in 1928. The primary objective was to propose a unit for measurement of radiation as applied in medicine. From 1950 the ICRU expanded its role significantly to embrace a wider field. Initially meetings were held every 3 years at ICR congresses (excluding the 13-year period encompassing World War II) with one physicist and one radiologist from each participating country having the right of attendance with the Chairman being nominated by the ICR host country. A permanent Commission was elected in 1953. L S Taylor (USA) served ICRU as a member [1928 - 1934] and then Secretary [1934 - 1953], first permanent Chairman [1953 - 1969] and then Honorary Chairman [1969 until his death in 2004]. Subsequent ICRU Chairmen have been: H O Wyckoff (USA) [1969 - 1985]; A Allisy (France) [1985 - 1997]; A Wambersie (Belgium) [1997 - 2006]; P M DeLuca, Jr (USA) [2006 - 2009]; and H-G Menzel (Germany) [2009 - 2018]. Vincent Grégoire (France) is the current Chairman.

## RECENT REPORTS

[ICRU Report 97, MRI-Guided Radiation Therapy Using MRI-Linear Accelerators](#)

[ICRU Report 96, Dosimetry-Guided Radiopharmaceutical Therapy](#)

[ICRU Report 95, Operational Quantities for External Radiation Exposure](#)

[ICRU Report 94, Methods for Initial-Phase Assessment of Individual Doses Following Acute Exposures to Ionizing Radiation](#)

[ICRU Report 93: Prescribing, Recording, and Reporting Light Ion Beam Therapy](#)

[More Reports](#)



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# LA PIANIFICAZIONE DEL TRATTAMENTO

Treatment planning system

La pianificazione del protocollo di procedure per applicare con precisione l'alta dose richiesta nel volume da trattare

- ✓ Il TPS e' un computer con un software dedicato per
  1. Importare le immagini con il paziente nella posizione da trattamento
  2. Definire il volume da trattare, il volume degli organi a rischio
  3. Acquisire la superficie del paziente e ricostruire un modello 3D dello stesso
  4. Calcolare la densità elettronica dalle immagini CT per poter calcolare la distribuzione 3D di dose



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# LA PIANIFICAZIONE DEL TRATTAMENTO

Treatment planning system

- ✓ Il TPS e' un computer con un software dedicato per
  - 5. Definire posizione, dimensioni e caratteristiche dei fasci incidenti per simulare la distribuzione di dose sul modello 3D del paziente
  - 6. Avere strumenti di calcolo per modificare la posizione e caratteristiche dei fasci, calcolare la distribuzione di dose ed ottimizzare il piano di trattamento secondo le indicazioni dell'oncologo
    - ❑ Dose target e dose agli OAR
  - 7. Possibilita' di sviluppare piu' piani di trattamento per confronto
    - ❑ Comodita' del paziente, numero di fasci, tempo complessivo etc
  - 8. Esportare il piano di trattamento scelto alla macchina di trattamento (linac)
    - ❑ Angolo del gantry, forma del fascio, unita' monitor, posizione del lettino et



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



# LA PIANIFICAZIONE DEL TRATTAMENTO

Treatment planning system

Il prodotto del piano di trattamento e' un file che viene esportato al sistema di controllo del linac

✓ Posizione del supporto paziente

Per ciascun fascio applicato

✓ Posizione del gantry

- Angolo

✓ Valore delle unita' monitor

✓ Controllo dei collimatori

- Forma del fascio

Linac e TPS sono sistemi indipendenti e' responsabilita' del fisico rendere coerente l'output del TPS e il sistema di controllo del linac



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



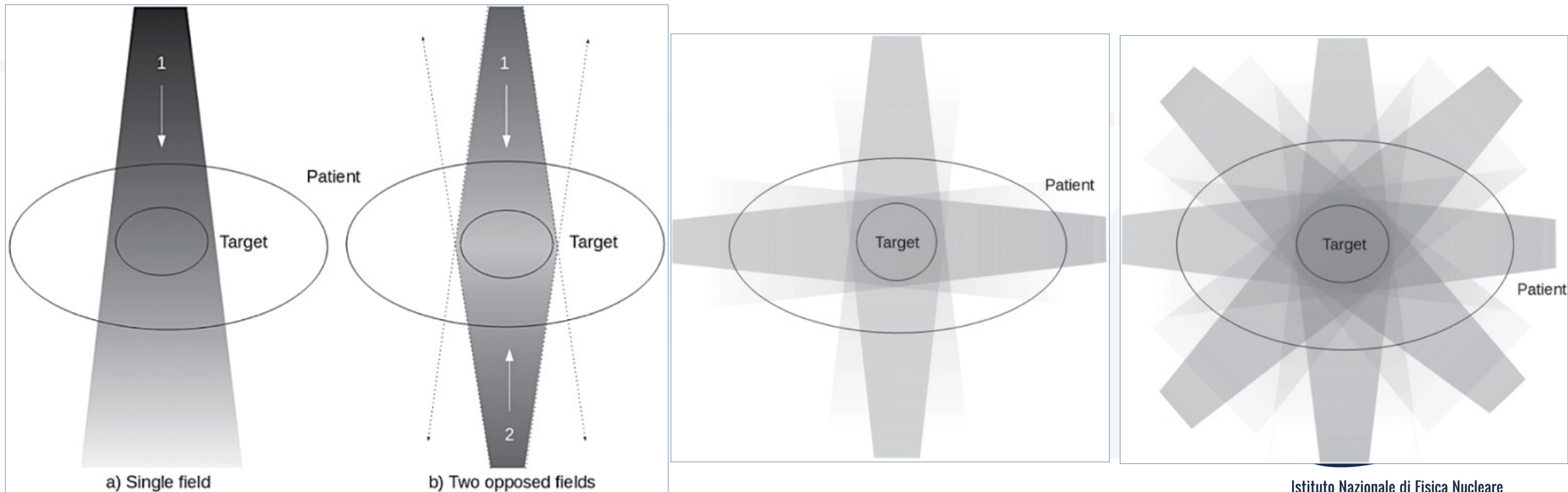
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# PIANI DI TRATTAMENTO SEMPLICI A FASCI SOVRAPPosti

Energia tipica 6-10 MV

## Obiettivo

- ✓ Rendere omogenea la dose sui target e risparmiare il piu' possibile i tessuti sani



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

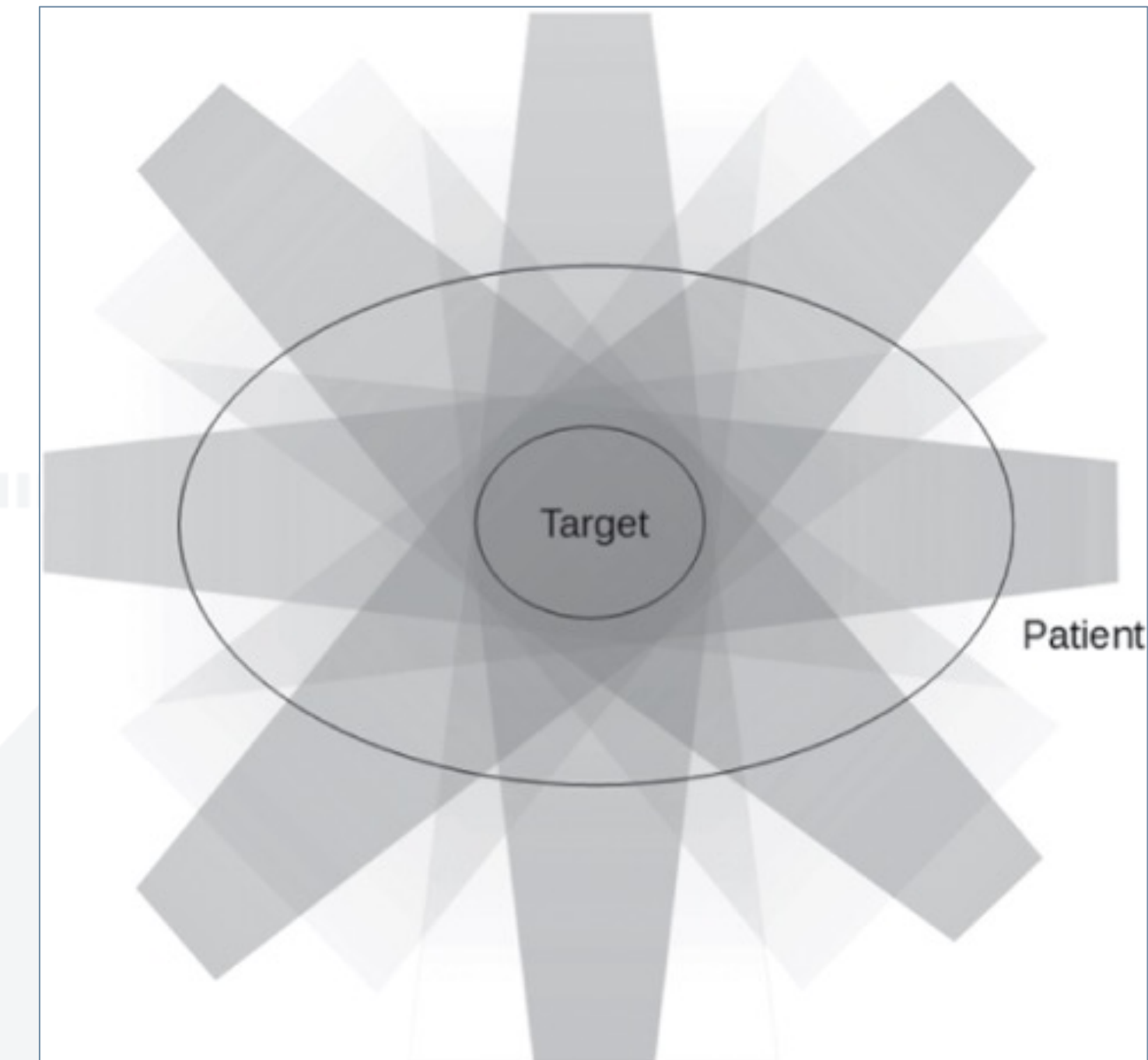
# PIANI DI TRATTAMENTO SEMPLICI A FASCI SOVRAPPOSTI

Energia tipica 6-10 MV

## Obiettivo

- ✓ Rendere omogenea la dose sui target e risparmiare il più possibile i tessuti sani
- ✓ L'estensione di questo esercizio porta alla terapia rotazionale
  - Arc therapy
- ✓ Energie maggiori di 10 MV possono essere necessarie per pazienti molto grossi
  - Centri specializzati

*Pero' pazienti e tumori non sono elissi concentriche*



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

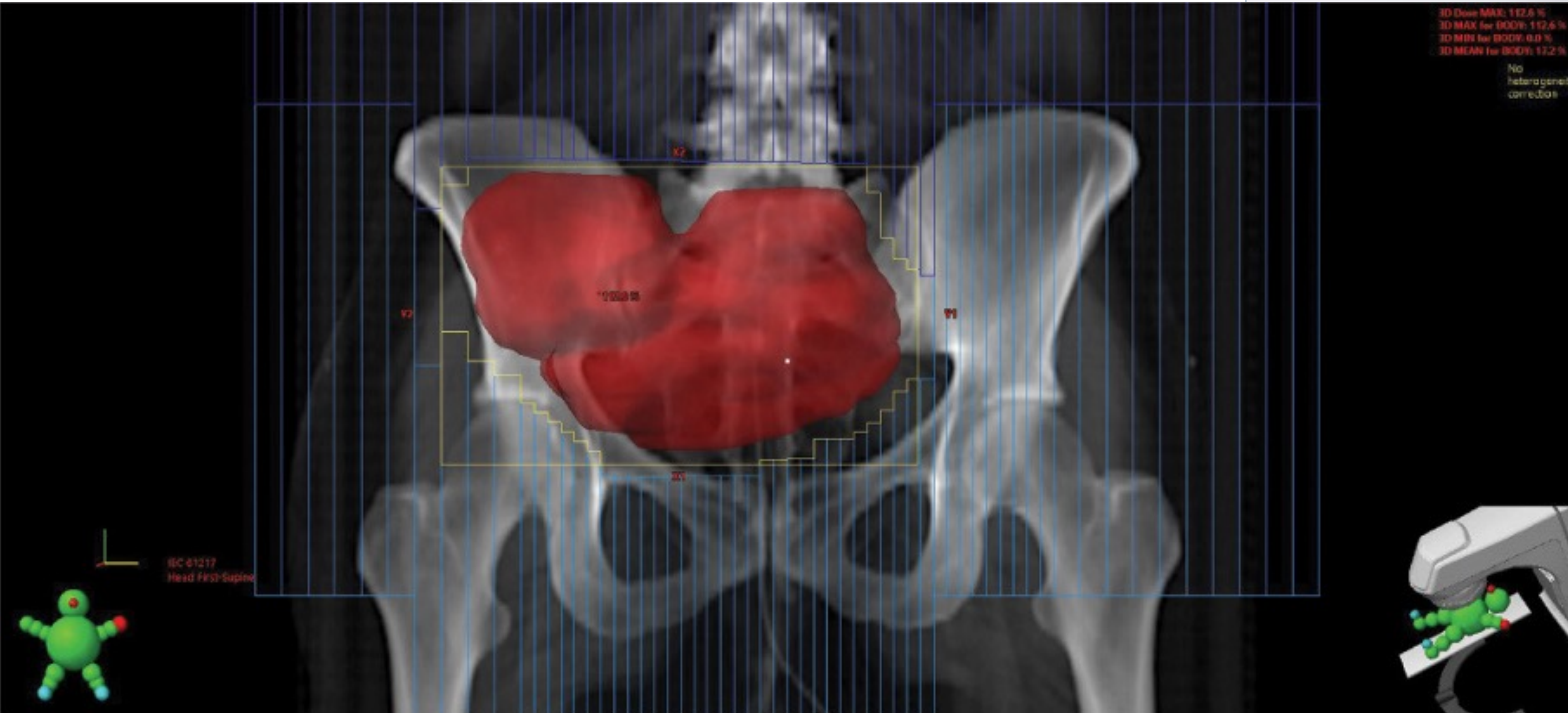
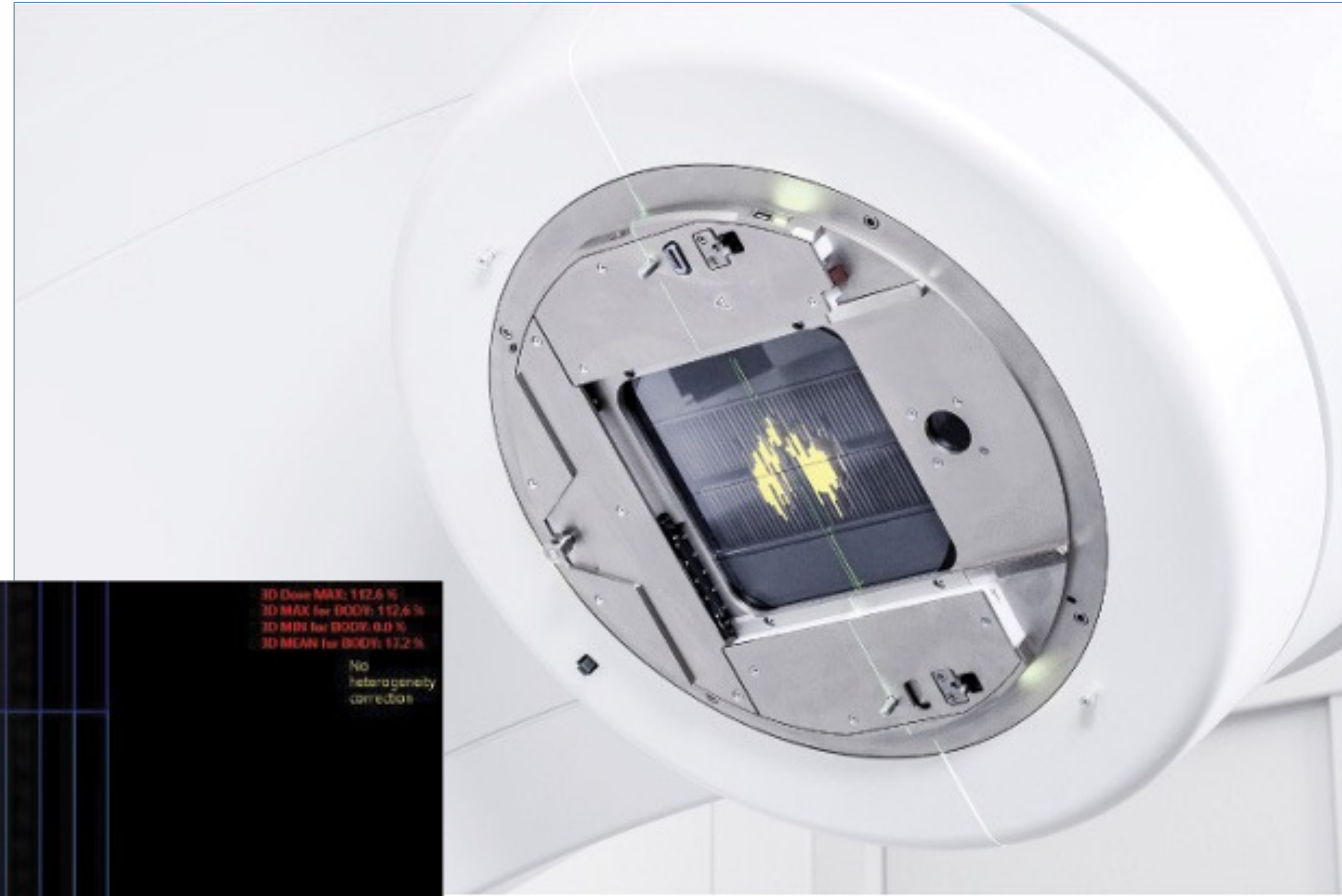


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# RADIOTERAPIA CONFORMAZIONALE

Il target volume puo' essere molto irregolare

- ✓ Collimatori a foglie
  - Multi Leaf Collimator



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



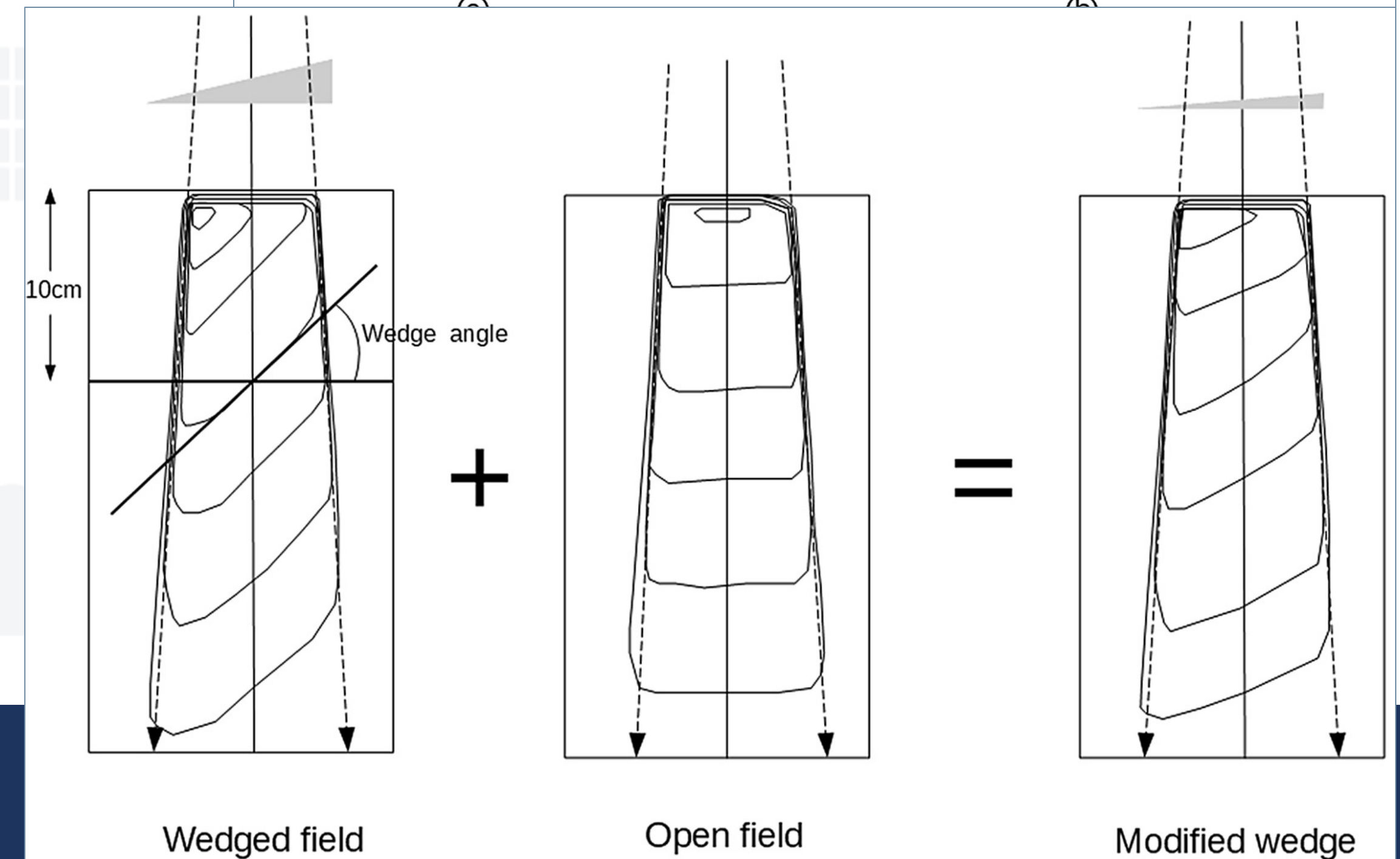
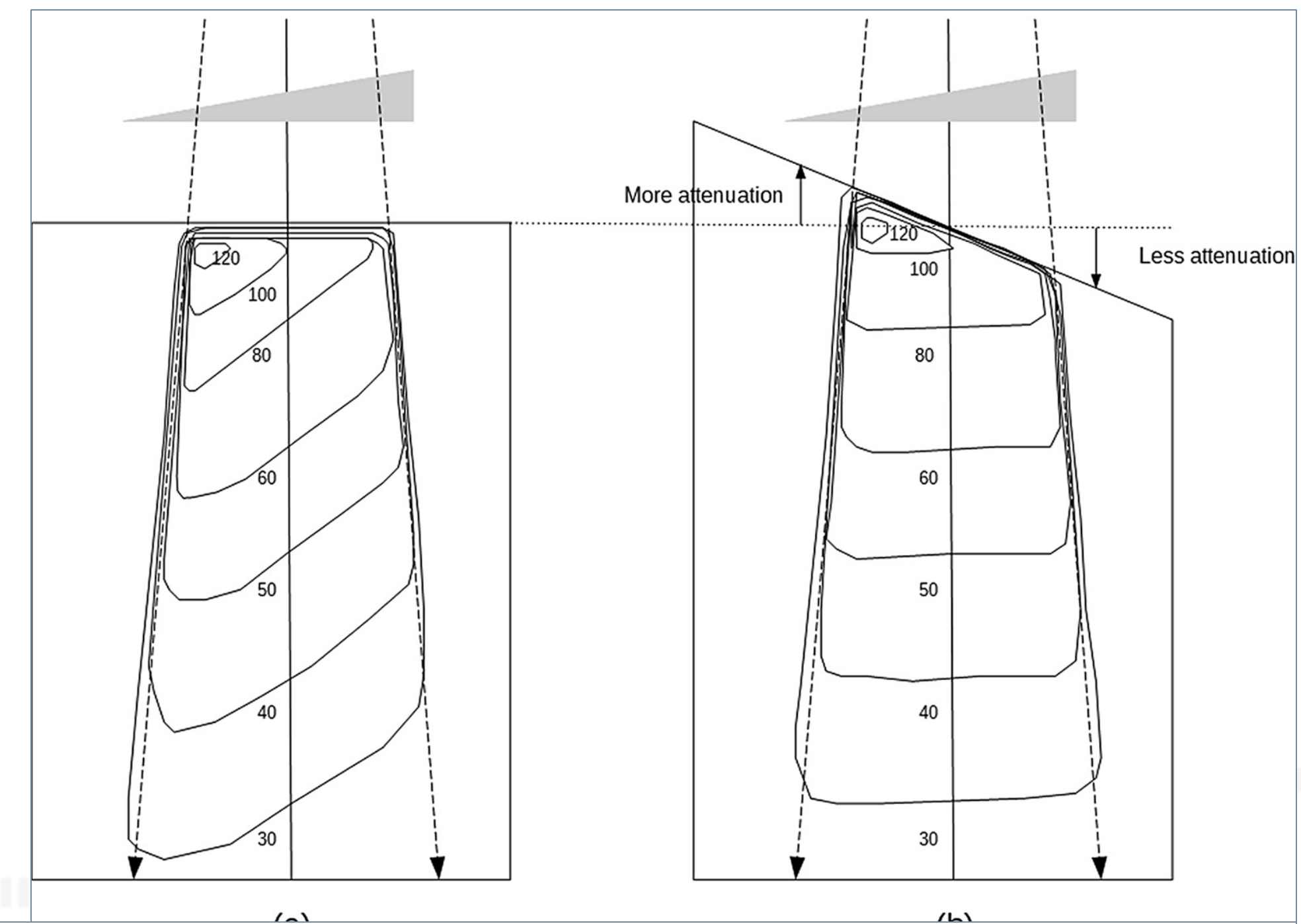
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# MODULARE L'INTESITA' DEL FASCIO

Conformare in profondita' le curve di isodose

Strumenti possibili

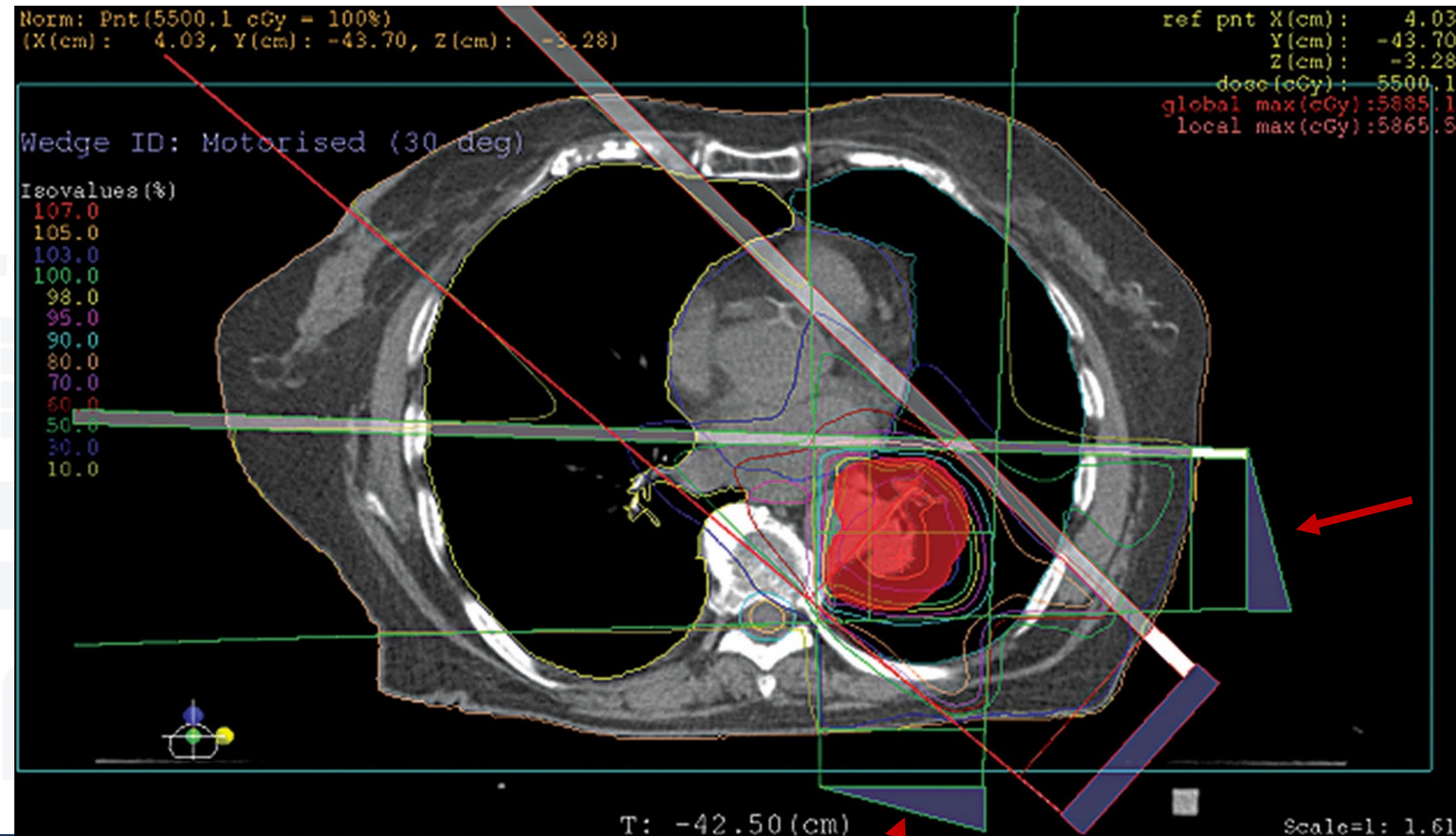
- ✓ Attenuatori a spessore variabile
  - wedge
- ✓ Fascio incidente non ortogonale alla superficie di incidenza
- ✓ La combinazione wedge e fascio diretto



# ESEMPIO DI DISTRIBUZIONE DI DOSE

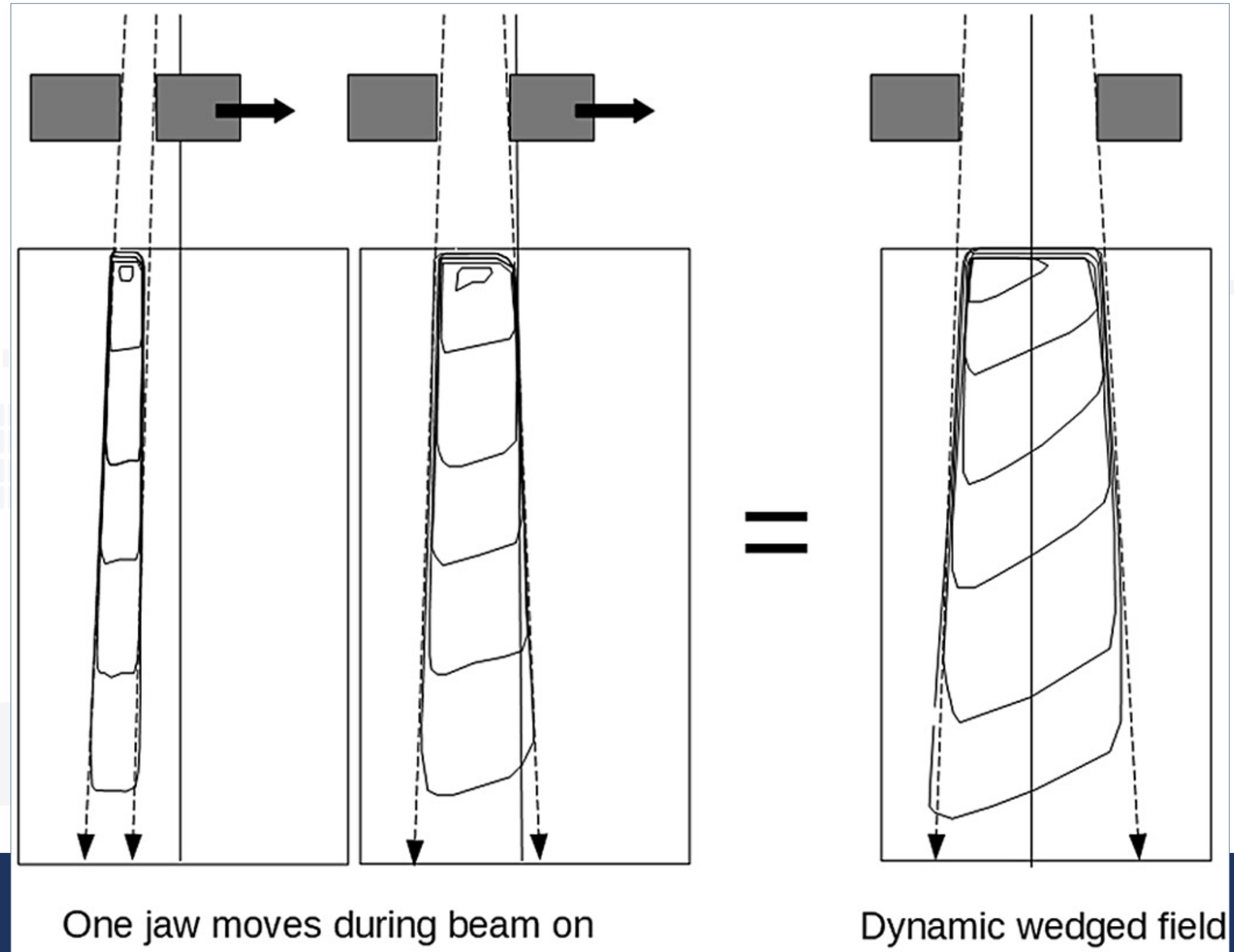
Fascio modulato usando

- ✓ **Wedges**
- ✓ fasci con vari angoli di incidenza
- ✓ Sezione del fascio definita con MLC
- ✓ Volume target omogeneamente irraggiato
- ✓ Organi a rischio ben risparmiati
  - Midollo
  - Cuore
  - Polmoni



# MODULARE L'INTESITA' DEL FASCIO

- ✓ I collimatori motorizzati permettono la modulazione del fascio senza l'uso di wedge
  - Movimento dei collimatori durante l'irraggiamento
- ✓ Il programma del TPS gestisce i movimenti dei collimatori



# INTENSITY MODULATED RADIATION THERAPY

IMRT

La radiazione e' depositata usando campi con fluenza nonuniforme



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



# CONFORMAZIONALE VS AD INTESITA' MODULATA

## ✓ Conformazionale

- I fasci in ingresso hanno intensità omogenea su tutta la superficie

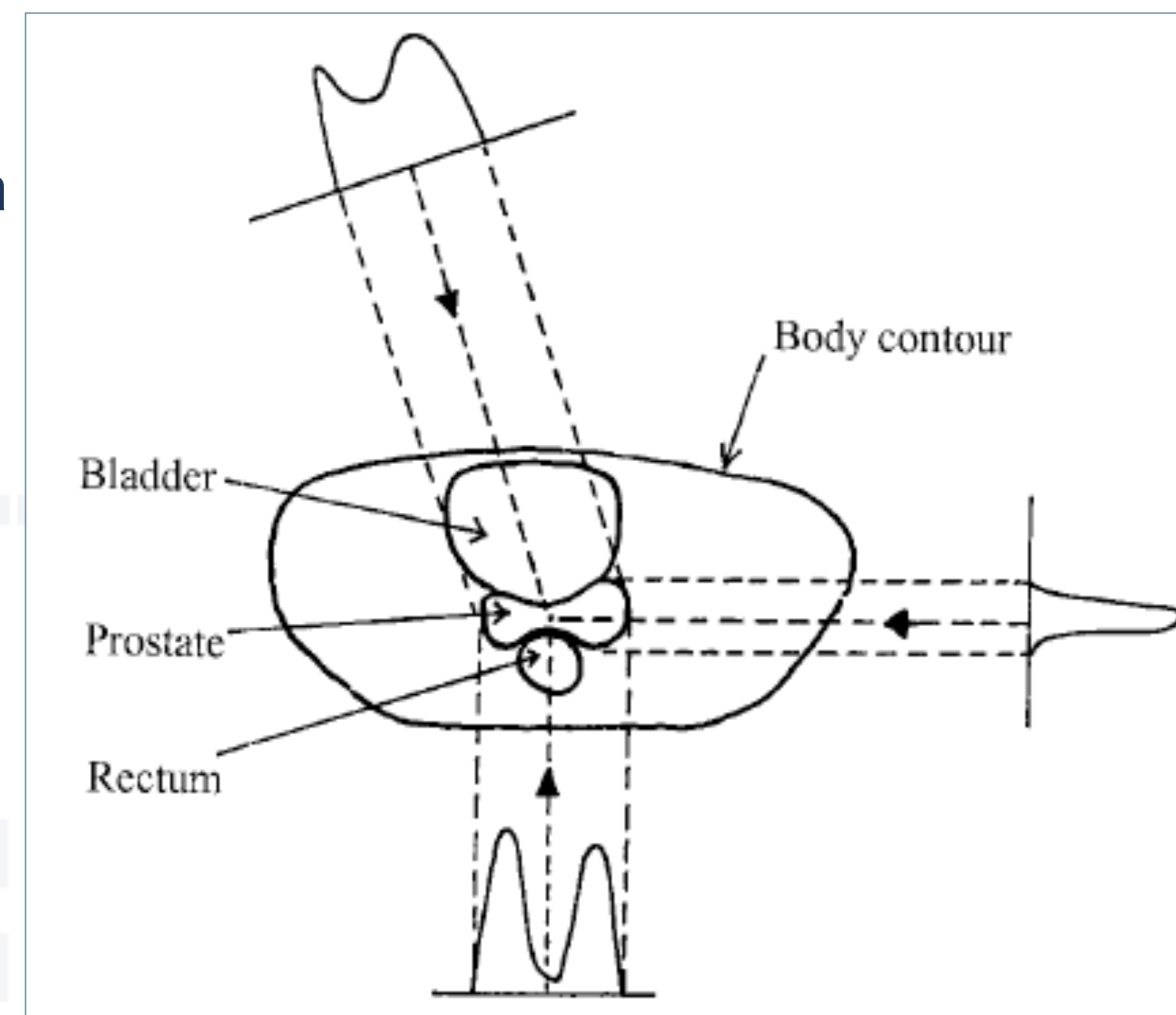
- A meno dei wedges

- Disomogeneità create dal diverso assorbimento dei distretti anatomici

## ✓ intensità modulata (IMRT)

- Realizza distribuzioni non uniformi di dose modulando in intensità il fascio utilizzando i MLC

- Nell'esempio 2 fasci sono più intensi ai bordi e meno al centro

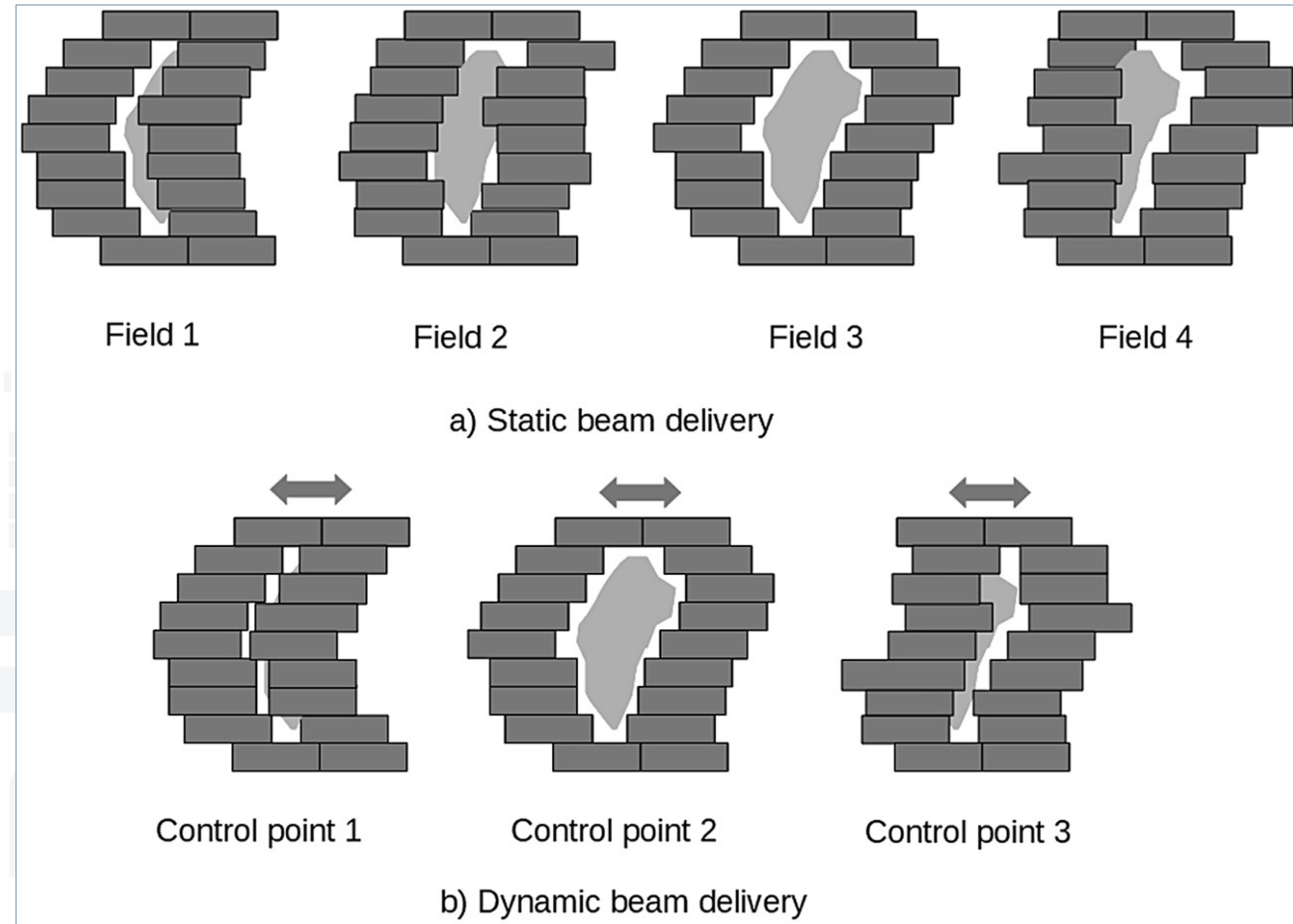


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

# USO STATICO E DINAMICO DEI MLC

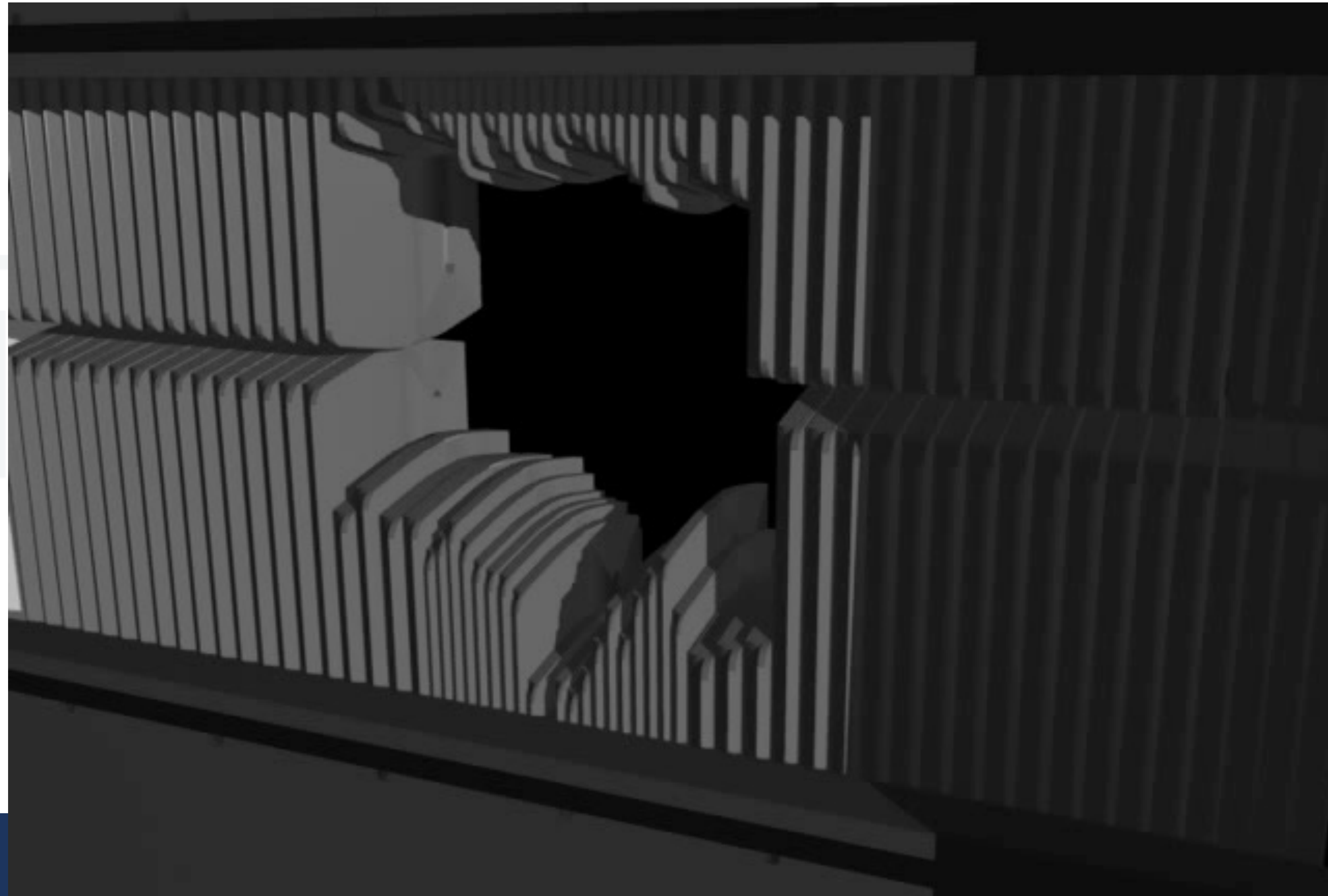
IMRT

- ✓ Cambia la complessita' del piano di trattamento
- ✓ Ridurre il tempo di trattamento



# TOMOTERAPIA

MLC

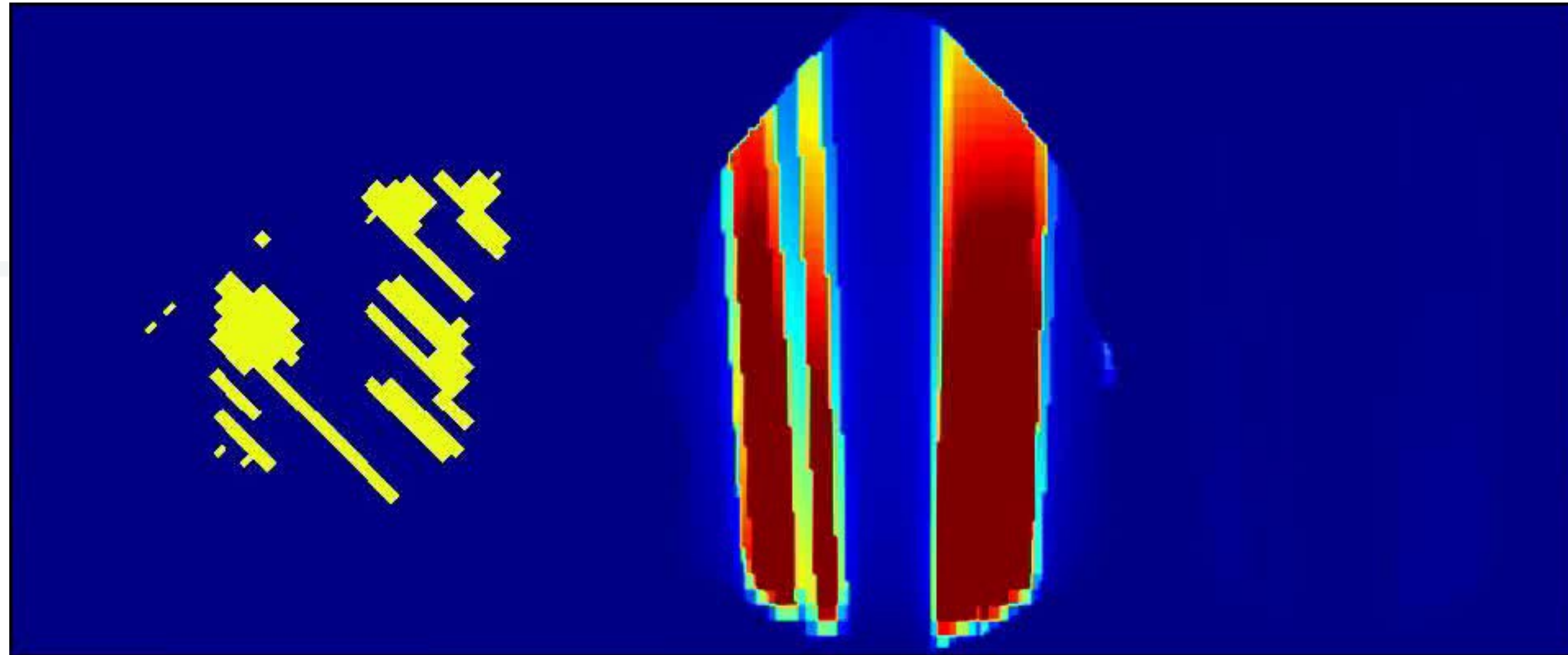


Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# IMRT IN TOMOTERAPIA



Collimatori

Fascio

Distribuzione  
di dose



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

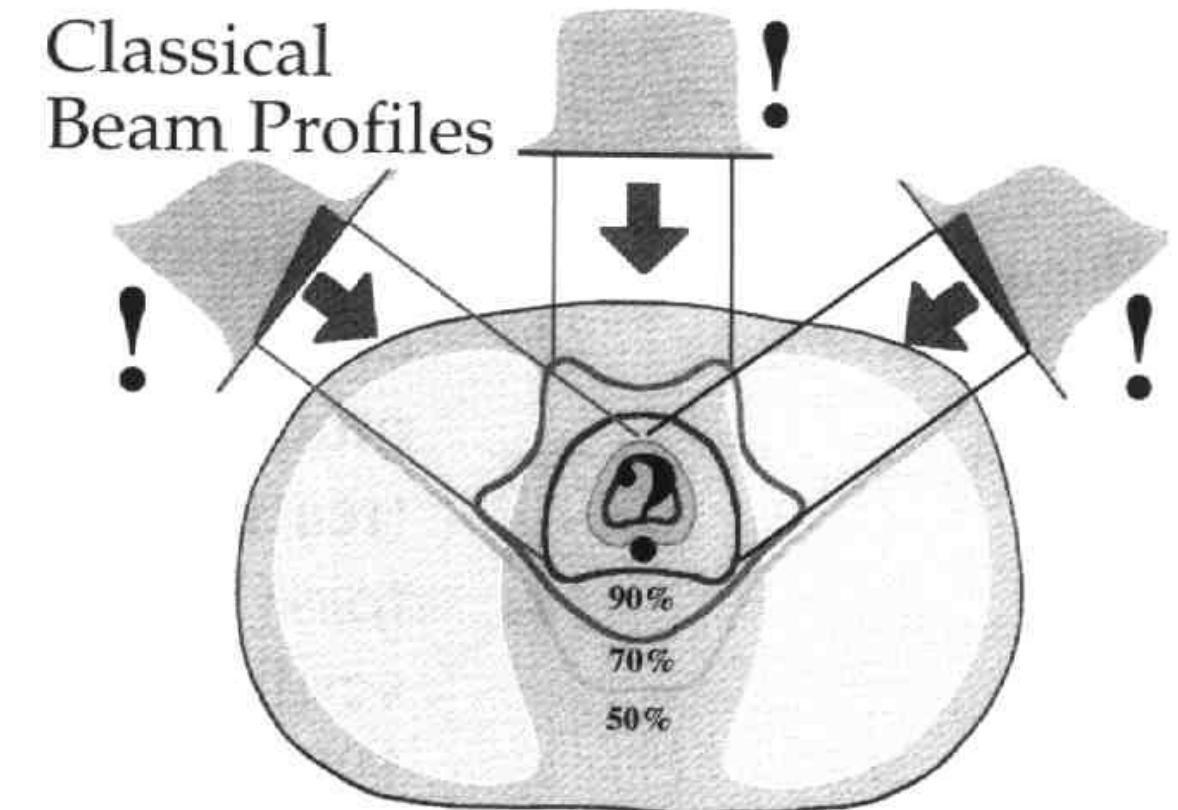


UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

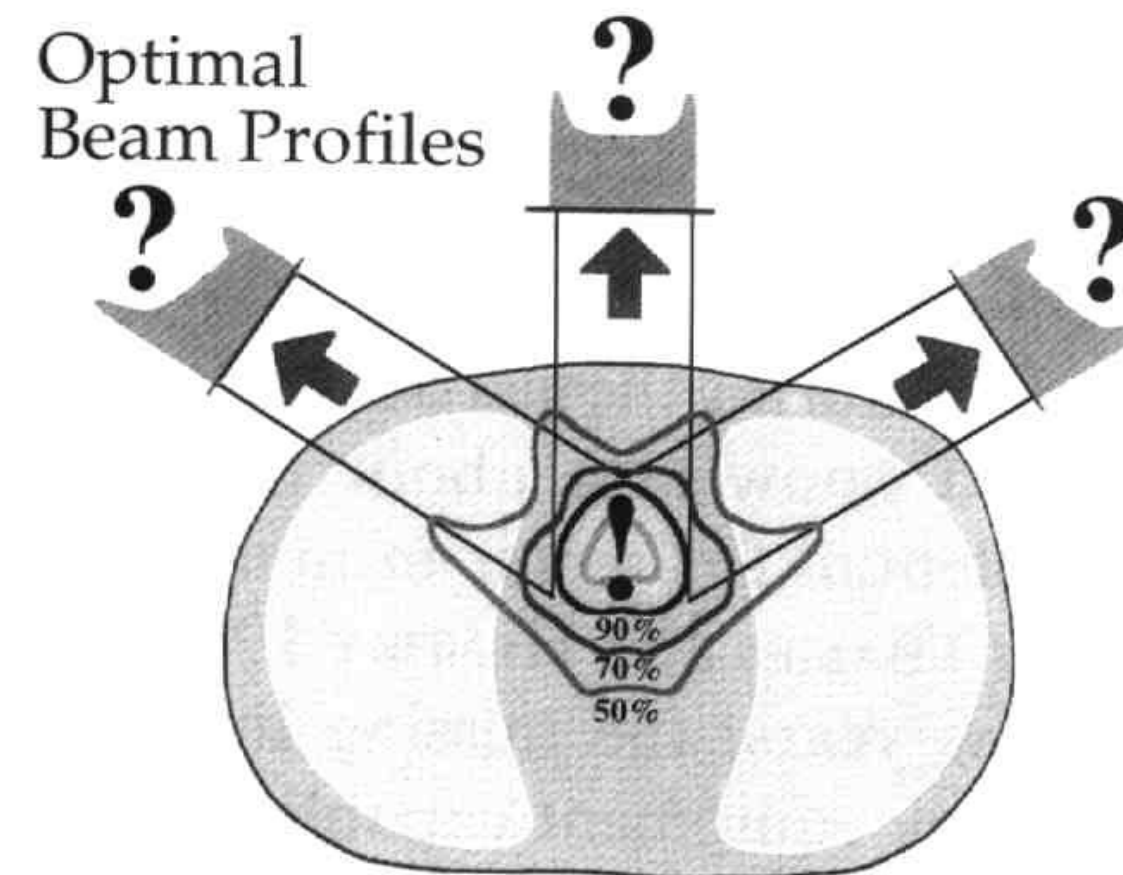
# INVERSE PLANNING IN IMRT

- ✓ Nel planning inverso si definiscono gli obiettivi e per via iterativa si cerca la soluzione che meglio li approssima
  - Ci sono troppe variabili per fare il calcolo manuale o comunque diretto
    - Centinaia di lamelle indipendenti
- ✓ Specifici algoritmi nel TPS
  - Definiti obiettivi (dose al tumore) e vincoli (limiti sugli OAR)
  - Si prevedono possibili compromessi
    - OAR in parallelo ad esempio

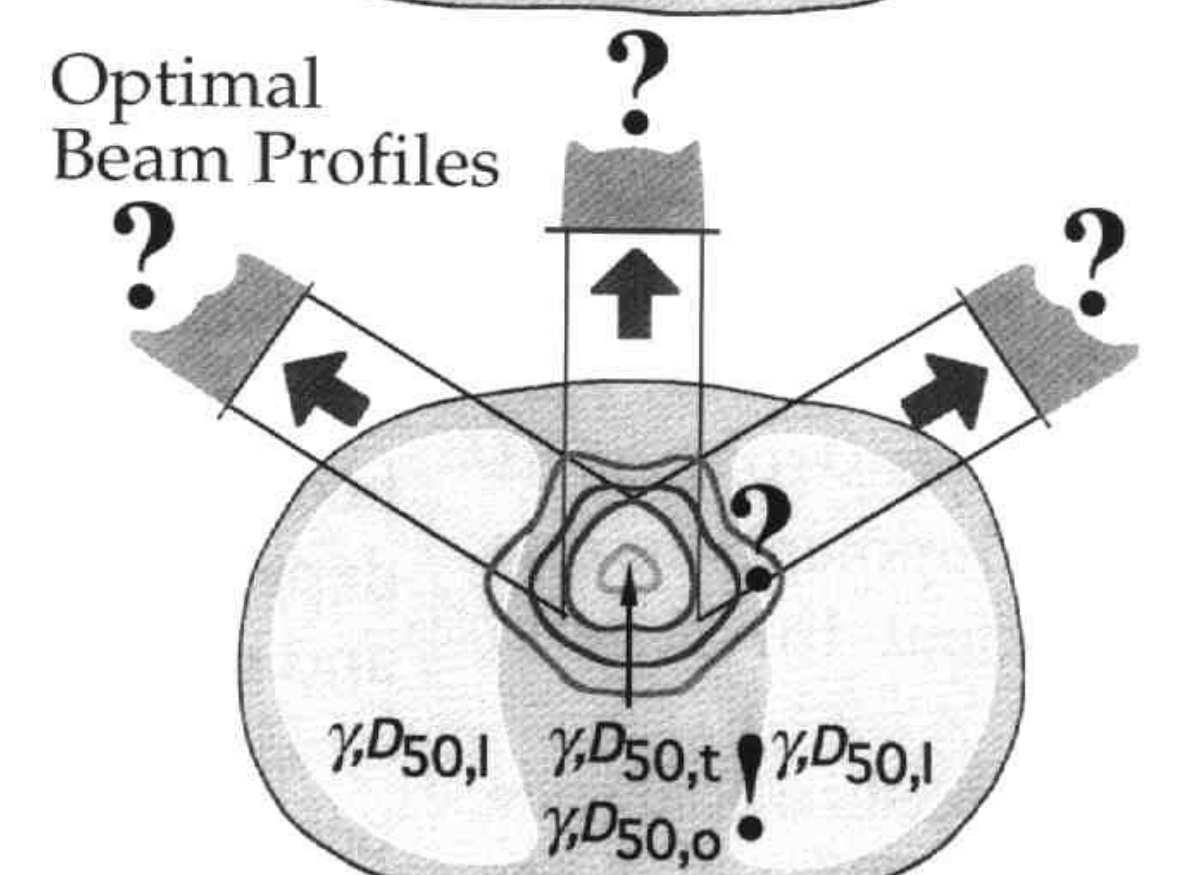
Forward Calculation:



Inverse Calculations:



Physical objective function



Biological objective function

# INVERSE PLANNING APPROACH

## Examples of Inverse Planning Objectives for a Head and Neck Plan

Structure Name		Constraint	Dose [Gy]
PTV	98% of volume	Receives more than	55.8
PTV	95% of volume	Receives more than	57.0
PTV	Median dose	Is	60.0
PTV	Dose maximum	Is less than	63.0
Spinal cord	Maximum dose (to 0.1cc)	Is less than	44
Parotid glands	Mean dose	Is less than	24
Optic nerve	Maximum dose	Is less than	48

In this example the prescribed target dose is 60 Gy to be delivered over 30 treatment fractions.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



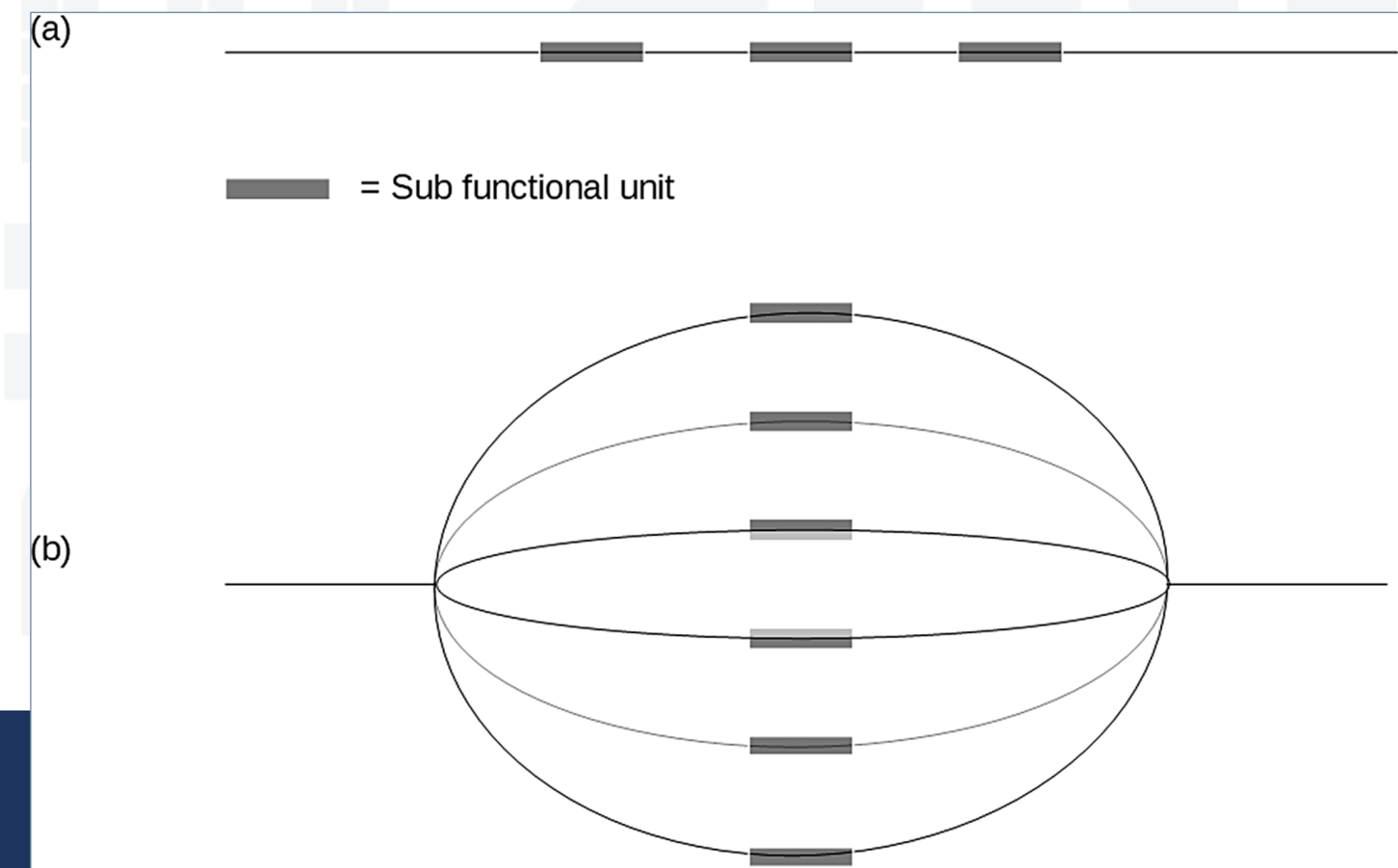
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# VALUTAZIONE DEL PIANO DI TRATTAMENTO

## Check list ICRU50

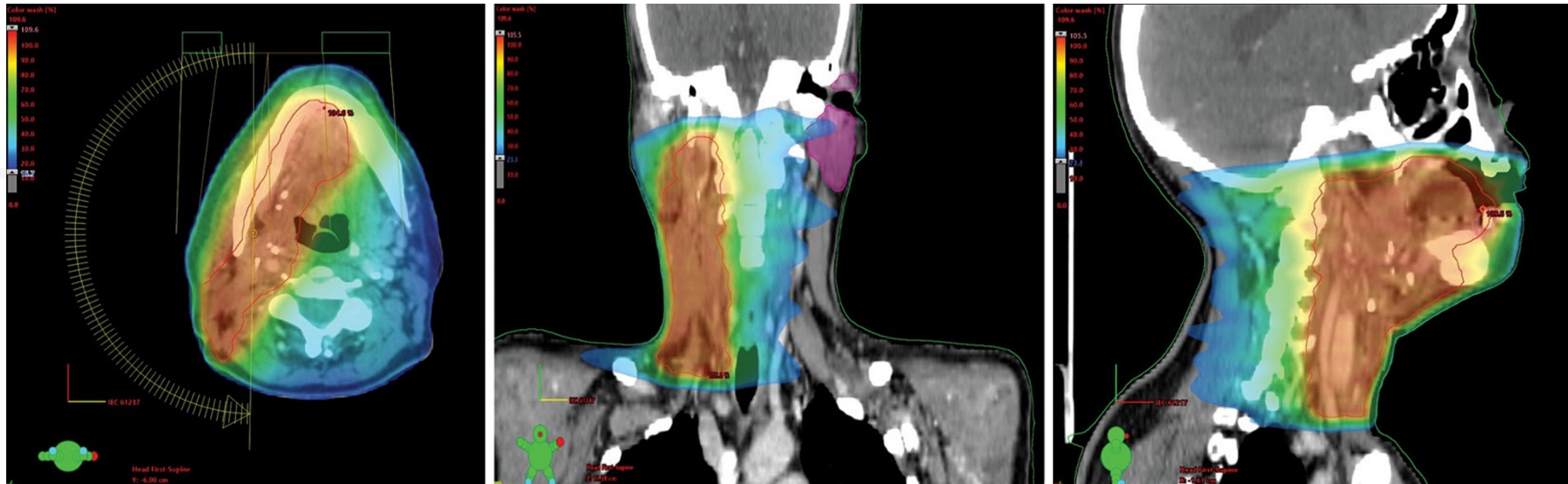
Il piano di trattamento e' l'esito di una ottimizzazione numerica: va valutato prima di venire accettato

- ✓ Uniformita' della dose sul PTV
  - 95%–107% dove 100% e' la dose all'isocentro
  - Verifica su tutti le fette
- ✓ Adeguatezza della dose su TUTTO il PTV
  - La curva di isodose del 95% contorna il PTV
- ✓ Valutazione della dose su gli organi a rischio
  - Seriali o in parallelo ?



# VALUTAZIONE DEL PIANO DI TRATTAMENTO

Volumetric modulated arc therapy (VMAT)



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



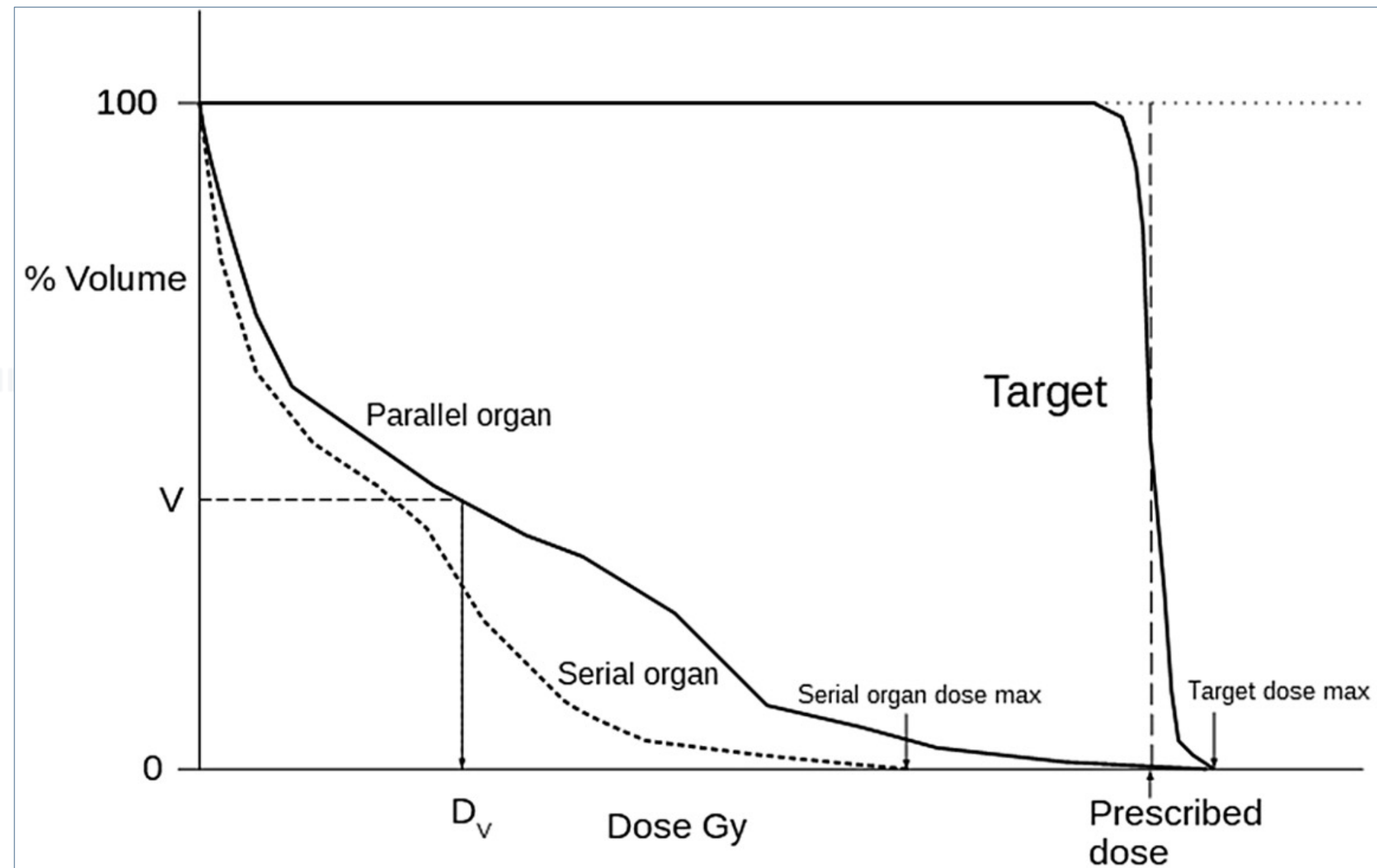
UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



# ISTOGRAMMI DOSE-VOLUME

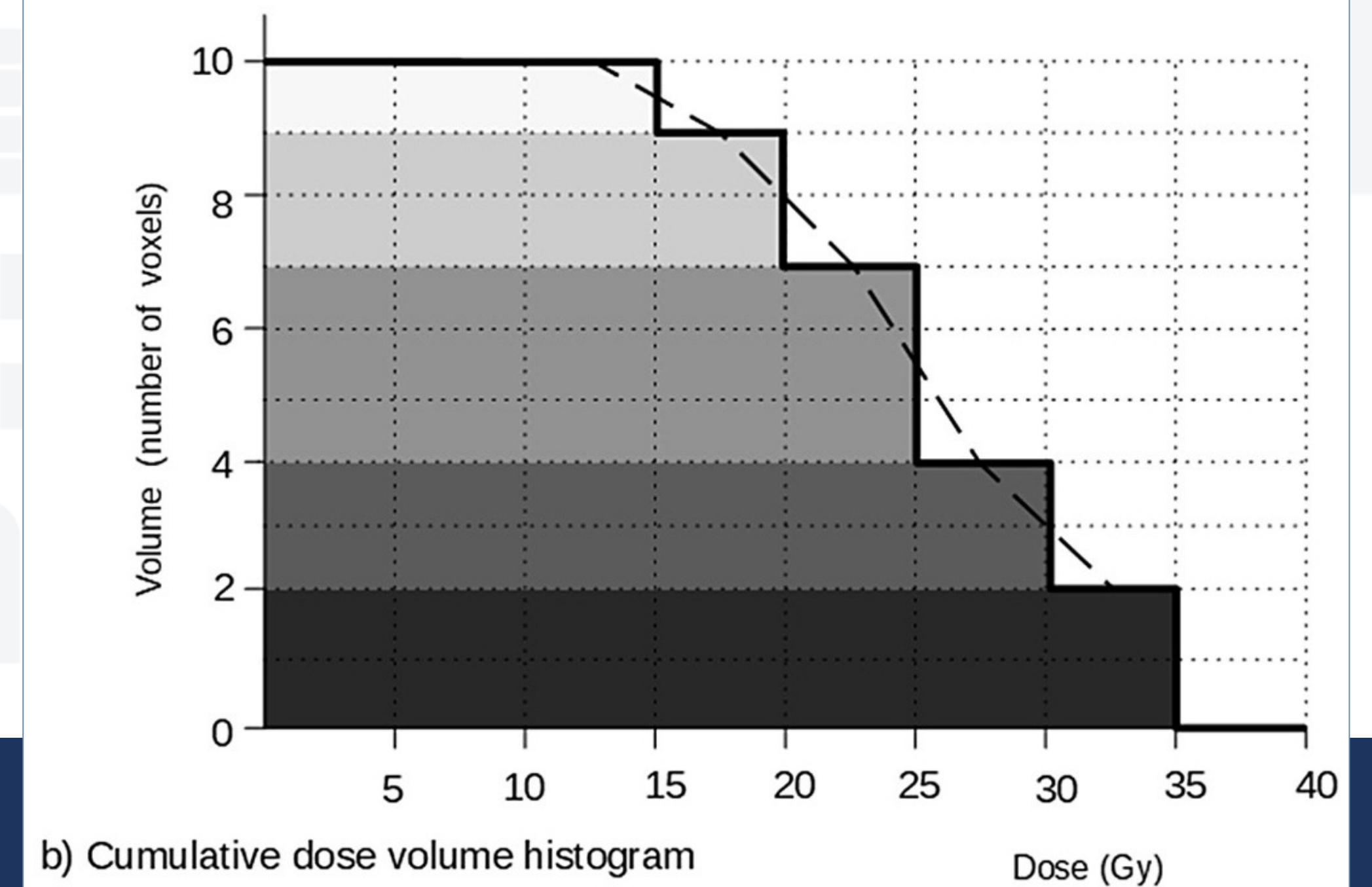
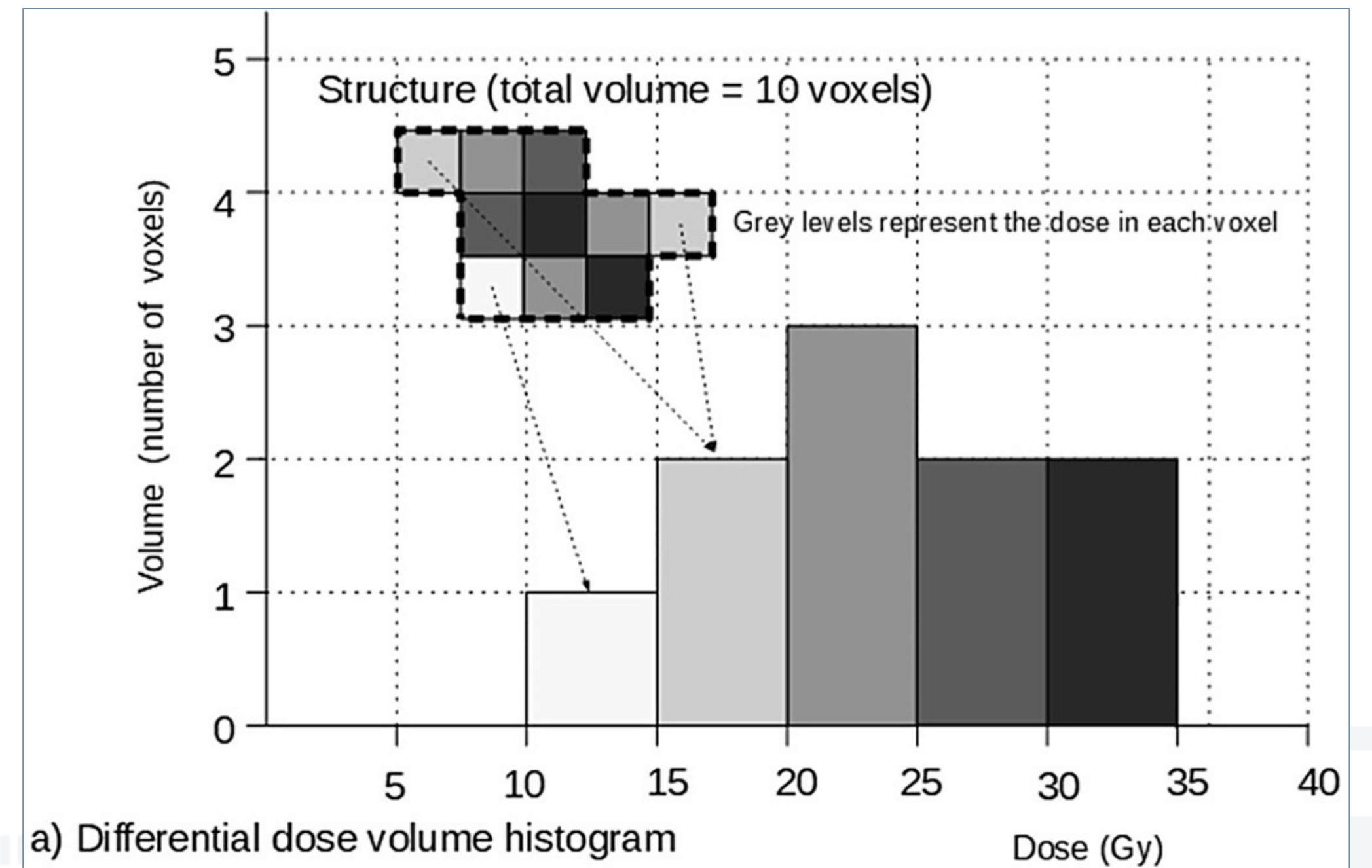
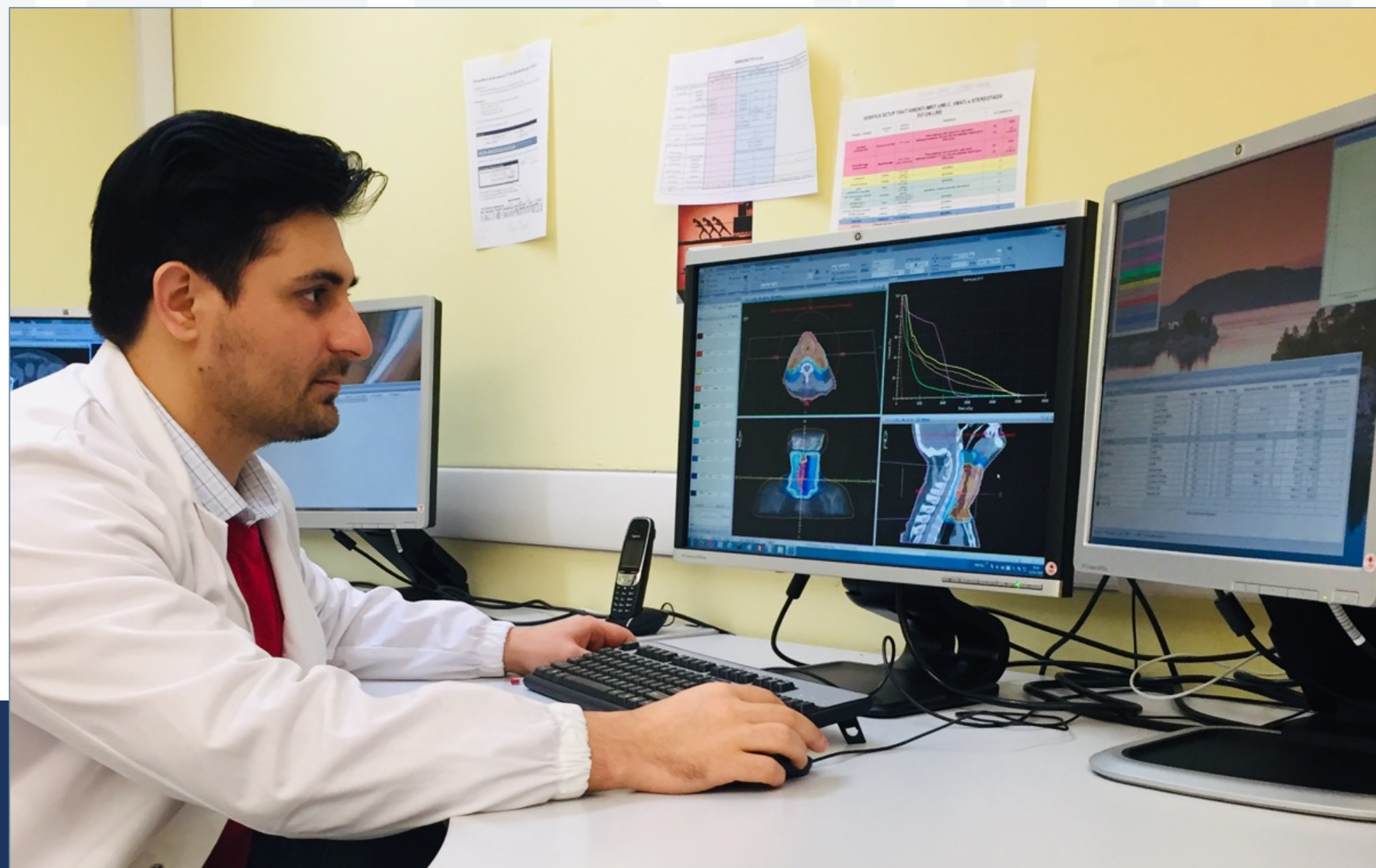
DVH dose volume histogram

- ✓ Ogni istogramma e' relativo a una struttura
- ✓ Rappresenta in funzione della dose la percentuale del volume che riceve almeno quella dose
  - Rappresentazione 2D di una distribuzione 3D
  - Riassume informazione sul volume da trattare e sugli organi a rischio
  - Deve esser calcolato su tutto il volume irraggiato
    - Delineati PTV e OAR su tutte le fette



# COSTRUZIONE DEI DVH

- ✓ Suddivisione del volume dell'organo in sottovolumi
- ✓ Calcolo della dose per ciascun volumetto
- ✓ Istogramma differenziale
- ✓ Calcolo dell'istogramma cumulativo



# VERIFICA DI TRATTAMENTO

Definito il trattamento questo viene simulato su un oggetto test contenente una matrice di sensori e verificato al linac



# VERIFICA DI TRATTAMENTO

✓ Definito il trattamento questo viene simulato su un oggetto test contenente una matrice di sensori e verificato al linac

se dose misurata e attesa non coincidono, entro le incertezze note

✓ Non corretta calibrazione delle UM

✓ MLC mal posizionato

- I motori dei MLC sono abbastanza veloci ?

✓ Errore nel piano di trattamento

✓ Errore nell'file di trasferimento del piano di trattamento

✓ Errore del posizionamento del fantoccio/paziente



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# LA SCELTA DEL PIANO DI TRATTAMENTO

## Choice of Treatment Type

Treatment Site	Options	Comments
Within skin or superficial layers	kV X-rays or low energy electrons	Simple, single field treatments, with beam shaping using applicators and lead cut-outs.
First few centimetres within the body	Electrons	Simple, single field treatments, with beam shaping using an electron applicator attached to the treatment head and shaped lead or metal alloy inserts.
At depth within the body	MV photons	Multiple field (conformal and IMRT) treatments, beam shaping with MLC and beam modulation with wedges or MLC; or arc (VMAT) treatments, beam shaping and modulation with MLC.
Whole body	MV photons	Patient at extended treatment distance.
Whole body (skin)	Electrons	Multiple field treatments at extended distance.

# MANTERE ALTA LA QUALITA' DEL TRATTAMENTO

Movimenti fisiologici e evoluzione nel tempo del trattamento

- ✓ Image guided radio therapy IGRT
  - CT acquisita sul tavolo di trattamento e aggiustamento fine fatto frazione per frazione
- ✓ Respiratory gated
  - Sincronizzazione del trattamento con il respire
    - (vedi prossime slides)
- ✓ Adaptive treatment techniques
  - E' una sfida per l'attuale radioterapia



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# TOTAL BODY IRRADIATION

Distribuzione omogenea di dose

- ✓ Due irraggiamenti laterali
- ✓ Volumi d'acqua per ottenere la distribuzione omogenea della dose
  - Polmoni non assorbono ....
- ✓ Aumentata distanza sorgente-paziente oppure movimento automatico del lettino
- ✓ In preparazione al trapianto di midollo
  - Leucemia, linfoma



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# IMAGING PRE-TRATTAMENTO

## La TAC perche'

- ✓ Immagini tomografiche cioe' 3D
- ✓ Segmentazione dell'intero volume di interesse ad alta risoluzione spaziale
- ✓ Possibilita' di convertire il segnale in distribuzione di densita' elettronica

## La TAC pre-trattamento (detta simulatore CT)

- ✓ Piu' spazio per il paziente
- ✓ Tavolo piatto
- ✓ Luci di allineamento laser di precisione



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE



# STANDARD DICOM

Digital Imaging Communications in Medicine

- ✓ Lo standard internazionale di trasmissione, comunicazione, archiviazione e elaborazione e visualizzazione delle immagini mediche
- ✓ Permette lo scambio sicuro di immagini mediche tra apparecchi di diversi produttori
- ✓ Prevede l'integrazione di tutte le informazioni associate alle diverse modalità di imaging, dei dati paziente e dell'operatore. Inoltre contiene i parametri per la visualizzazione ottimale
- ✓ E' in continua evoluzione

<https://www.dicomstandard.org>



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# MOVIMENTI FISIOLGICI

I movimenti possono essere:

- ✓ Eliminati
- ✓ Ridotti
- ✓ Introdotti nel piano di trattamento

esempio

- ✓ Ciclo cardiaco
- ✓ Ciclo respiratorio
- ✓ Contrazioni dell'apparato digerente



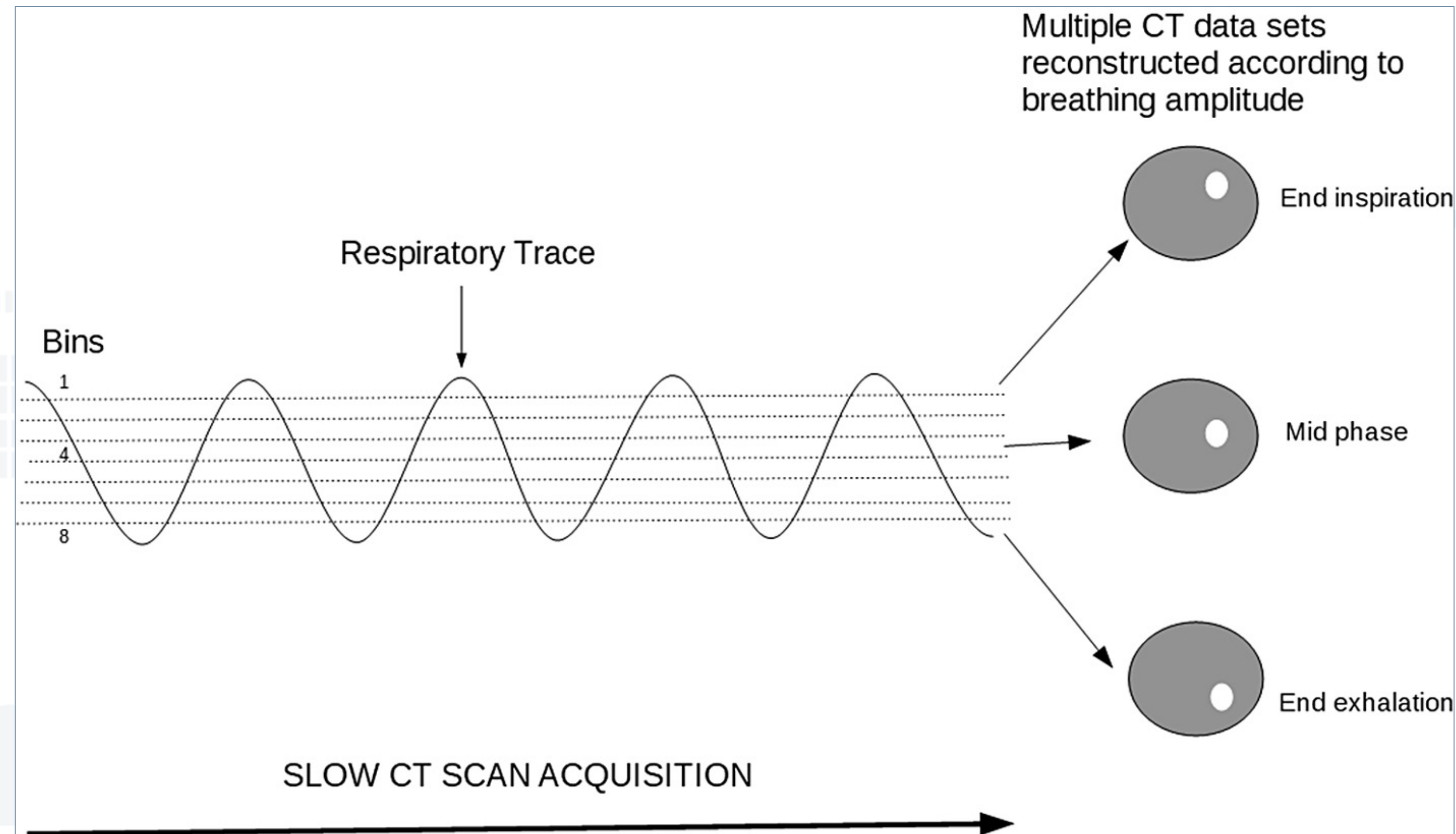
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI TRIESTE

# MOVIMENTI RESPIRATORI

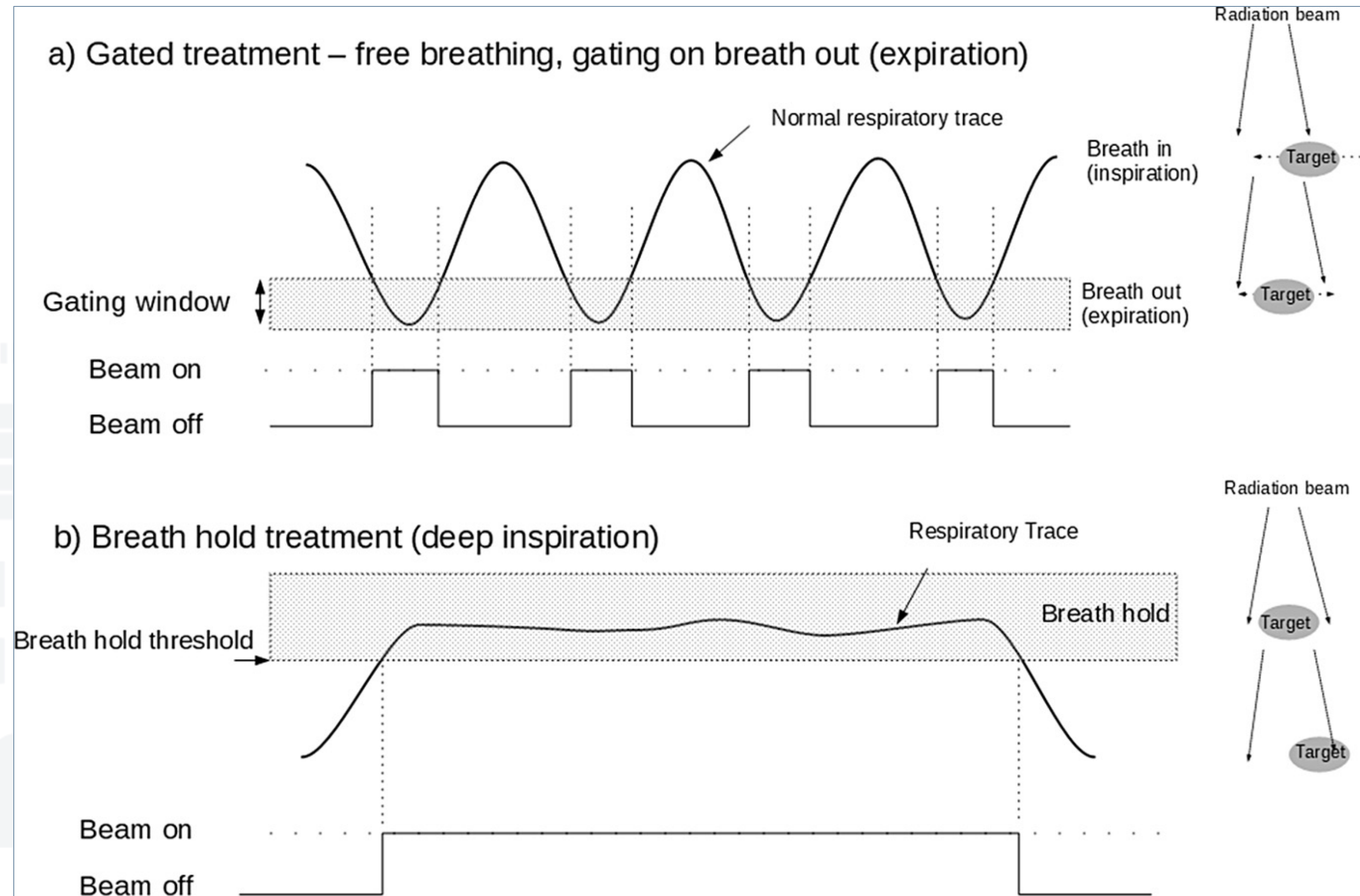
- ✓ Imaging pre-trattamento in 4D per studiare il movimento respiratorio
- ✓ Immagini acquisite con continuita' durante la respirazione normale
  - Le fasi del ciclo respiratorio misurate con una cintura addominale o con la spirometria
- ✓ Si delineano PTV e OAR sulle immagini in tutte le fasi



# MOVIMENTI RESPIRATORI

## Diverse strategie di trattamento

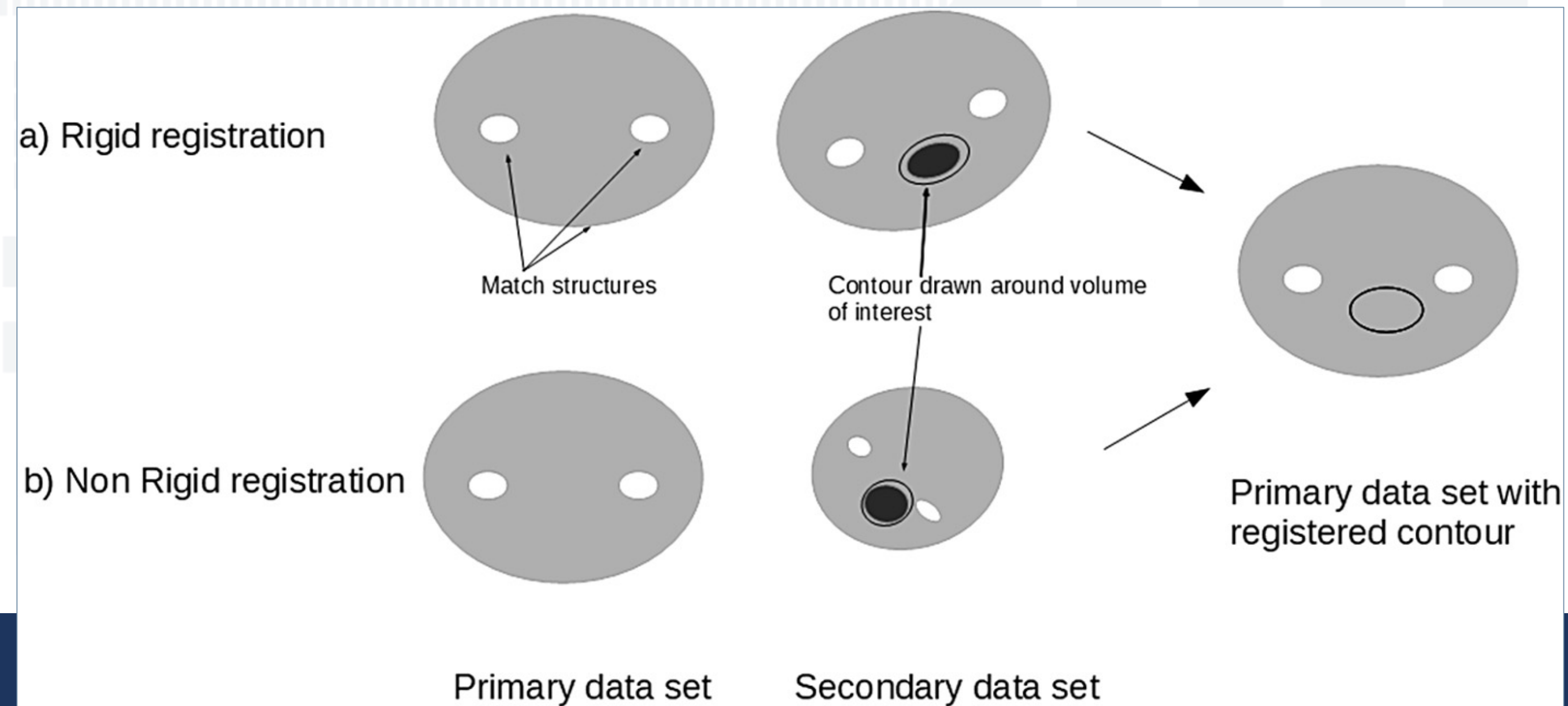
- ✓ In apnea
- ✓ Con sincronizzazione
  - Cioe' si usa solo la fase di espirazione
- ✓ Il fascio 'rincorre' il tumore
  - cyberknife



# RECENTI SVILUPPI

- ✓ Usare sia le immagini CT che MRI
  - In MRI maggiore contrasto tra i tessuti molli
    - MRI magnetic resonance imaging
- ✓ Il problema della registrazione delle immagini

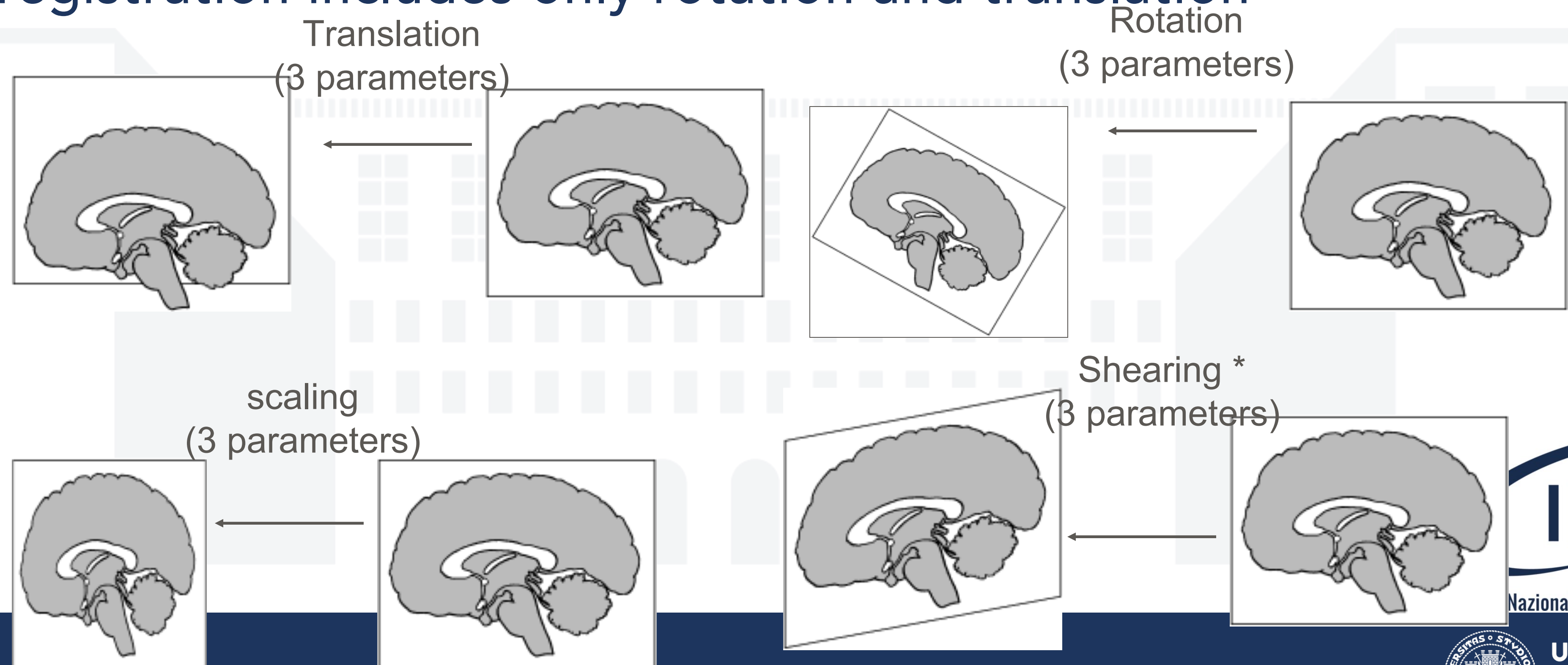
- Nell'esempio si vuol usare il data set secondario per selezionare il volume di interesse
- Il problema e' che le due immagini possono richiedere trasformazioni non lineari per la loro registrazione



# AFFINE REGISTRATION

An affine transform can include rotation, scaling, shearing and translation

Rigid registration includes only rotation and translation



\*

Shearing slides one edge of an image along the X or Y axis, creating a parallelogram