

# Nuove Frontiere in Radioterapia Oncologica

Piattaforme tecnologiche per radioterapia e micro-radiochirurgia allo stato dell'arte: presente e futuro

**Pisa**

**ESTAR**

*15 novembre 2017*



# Agenda

- Introduzione ad Elekta
- Magnetic Resonance Radiation Therapy (MR/RT)
- Micro-radiochirurgia intracraniale adattativa
- High Definition Dynamic RadioSurgery (HDRS)
- Conclusioni

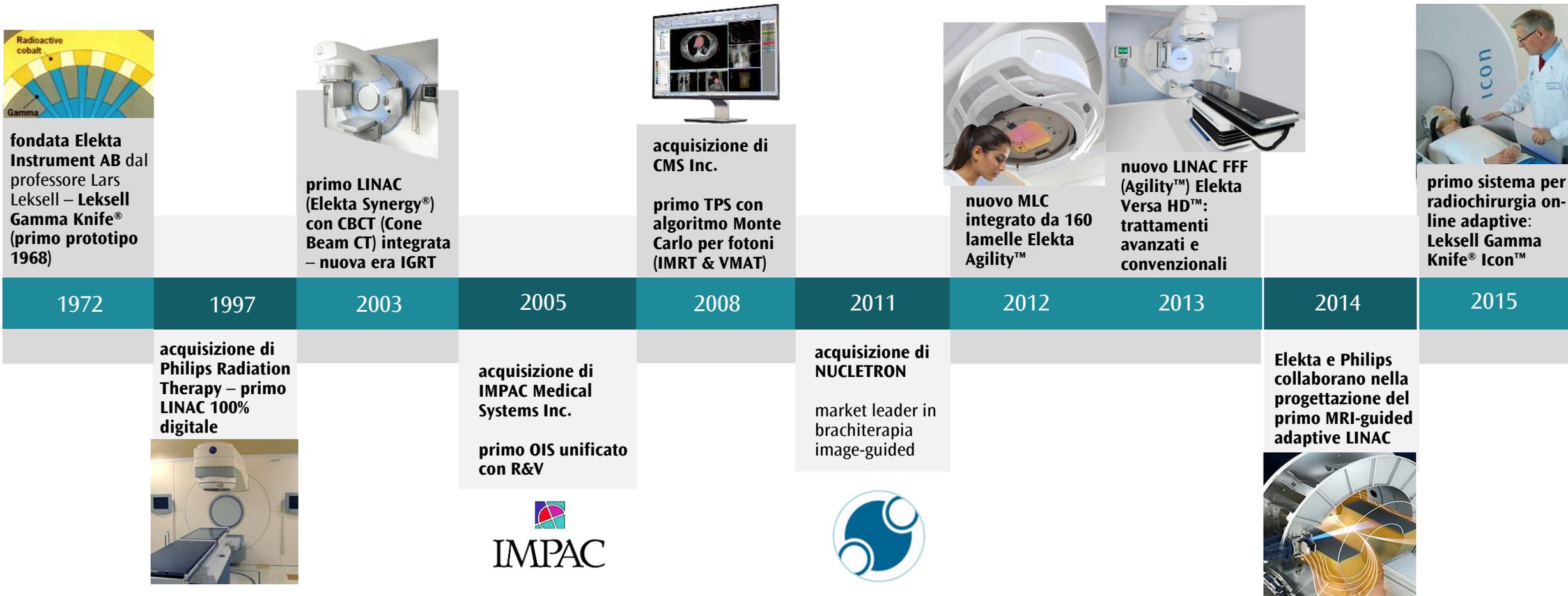


# Introduzione ad Elekta

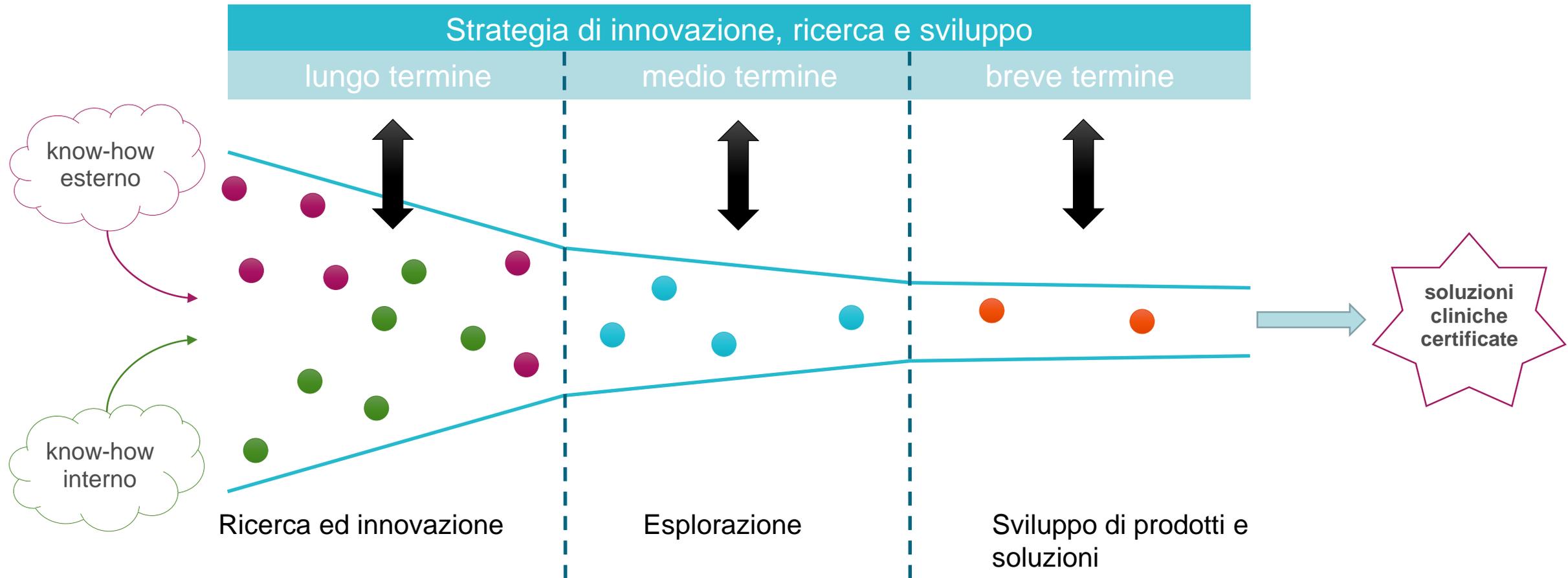
---

# Elekta: protagonista e pioniere in Radioterapia

SRS / SRT / SBRS / SBRT, IGRT, VMAT ... MRI-guided ART



# Elekta: innovazioni mediante consorzi clinici di ricerca e sviluppo



# Elekta: innovazioni mediante consorzi clinici di ricerca e sviluppo



**Elekta Spine Consortium**

**Customer Working Groups**

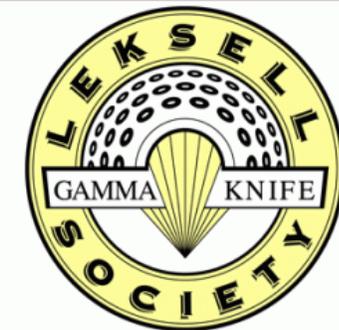


**Elekta Lung Research Group**

**Elekta MRI-Guided Radiation Therapy Consortium**



**Elekta Synergy® Research Group**



## ONCOLOGY INFORMATICS

RADIATION  
& MEDICAL  
ONCOLOGY

SURGERY

Solutions to manage the **oncology treatment pathway** and **related data** for the department/network, irrespective of choice of treatment & vendor.

EMR

REGISTRY

PARTICLE  
THERAPY

## TREATMENT SOLUTIONS

Solutions to provide **efficient** and **precise** treatments (from dose planning to QA & delivery) in cancer care and neurological diseases.

# **Magnetic Resonance Radiation Therapy (MR/RT)**

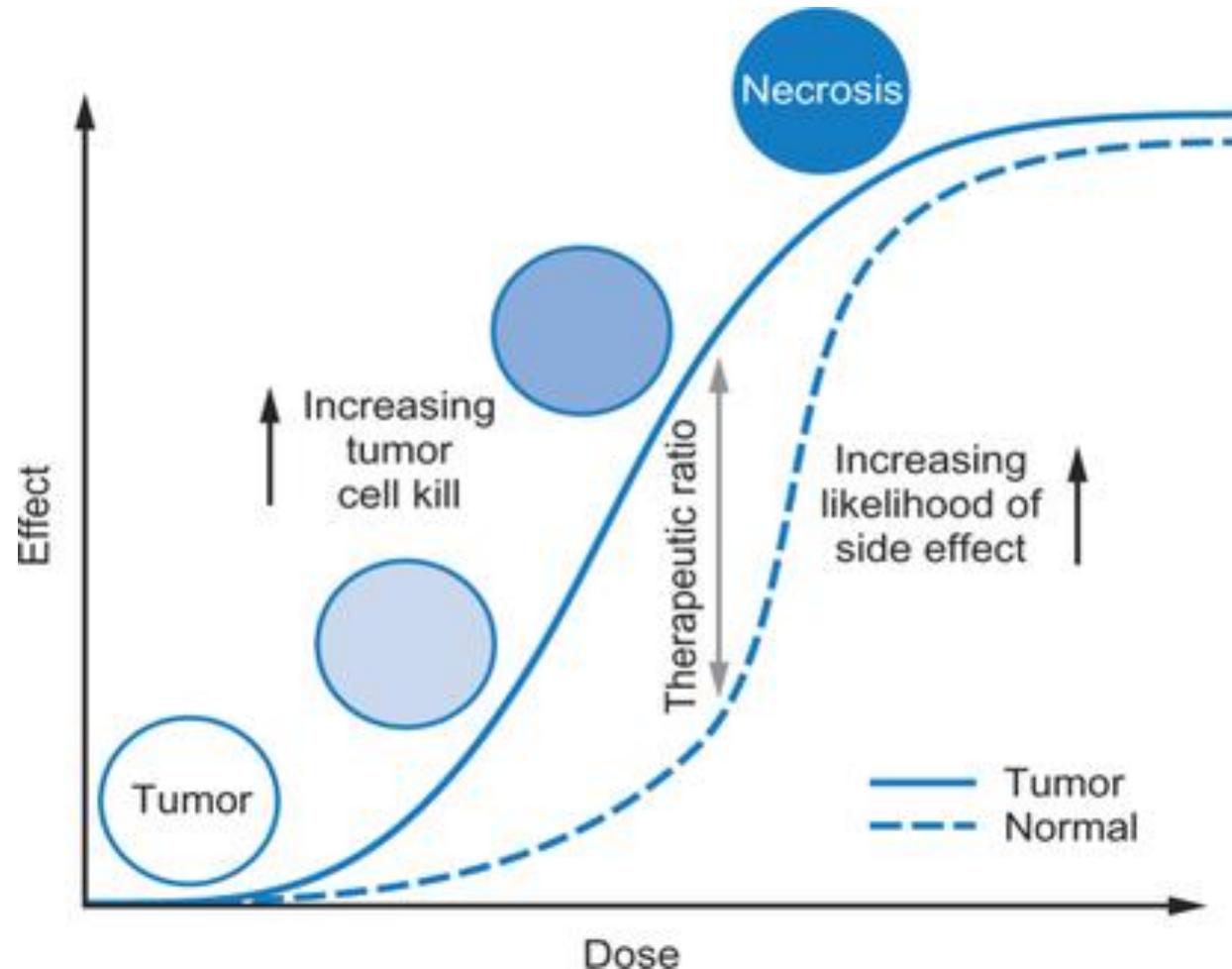
---

# Il razionale della Radioterapia

Massimizzare la finestra terapeutica

**OBIETTIVO:**  
massimizzare la  
Tumour Control  
Probability  
(TCP)

**OBIETTIVO:**  
minimizzare la  
Normal Tissue  
Complication  
Probability  
(NTCP)



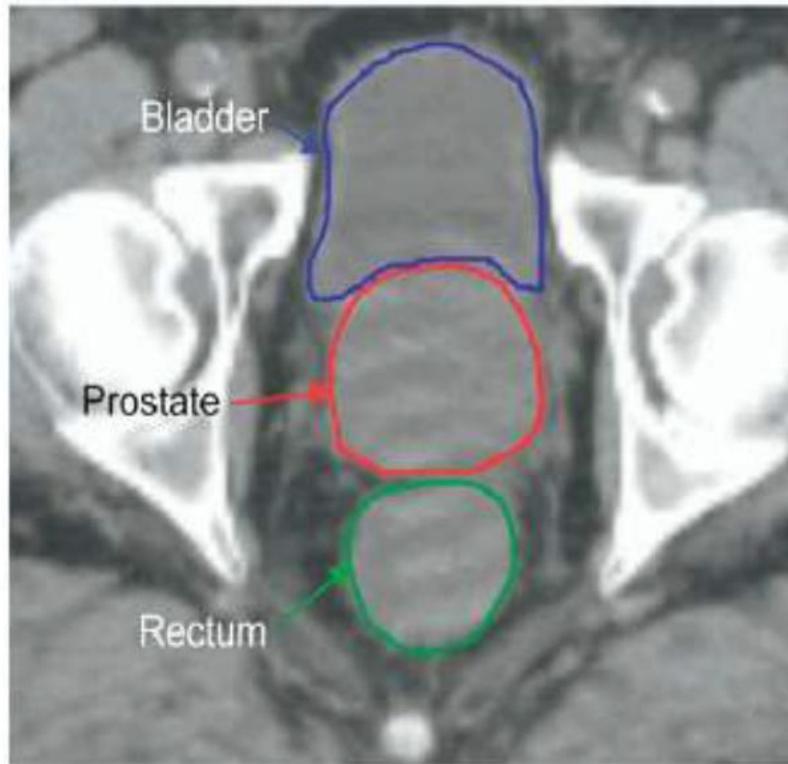
L'equilibrio TCP / NTCP è una misura dell'indice terapeutico, ma il danno ai tessuti sani non può essere completamente evitato, perché le dosi necessarie per ottenere il controllo del tumore si sovrappongono quasi sempre alle regioni anatomiche sane.

La migliorata capacità di imaging e le moderne tecniche di trattamento possono ridurre al minimo i danni ai tessuti normali e portare ad un miglioramento dell'indice terapeutico.

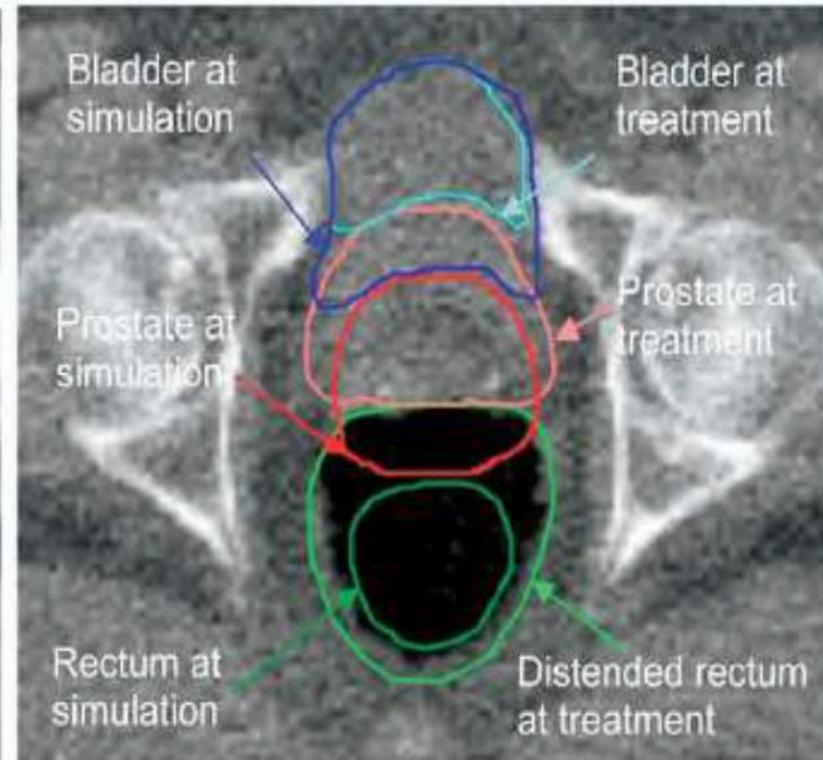
# Perché IGRT (Image Guided Radiation Therapy)?

Is one CT before treatment good enough for planning and entire treatment?

Patient #2. Simulation CT

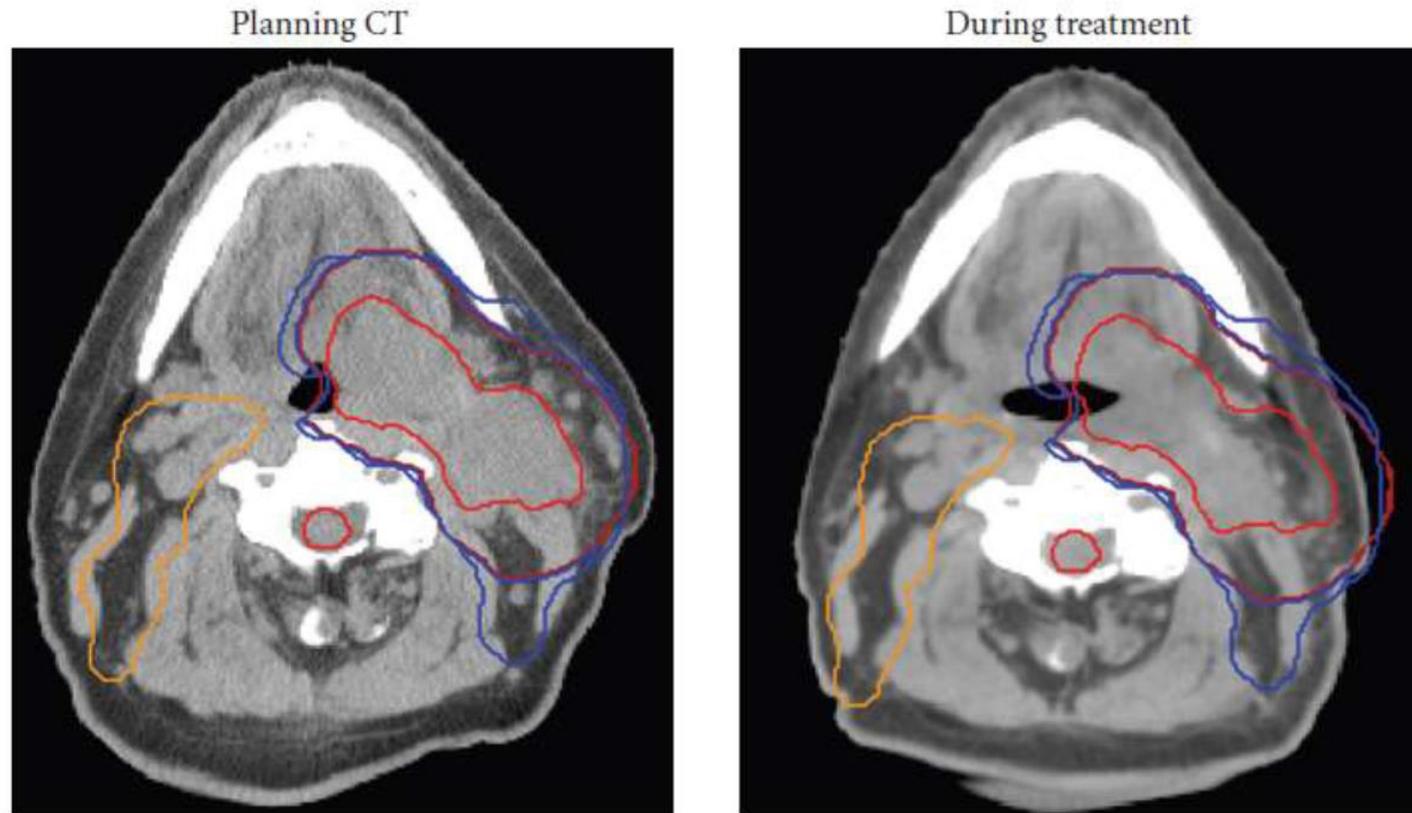


Patient #2. Treatment day MVCT



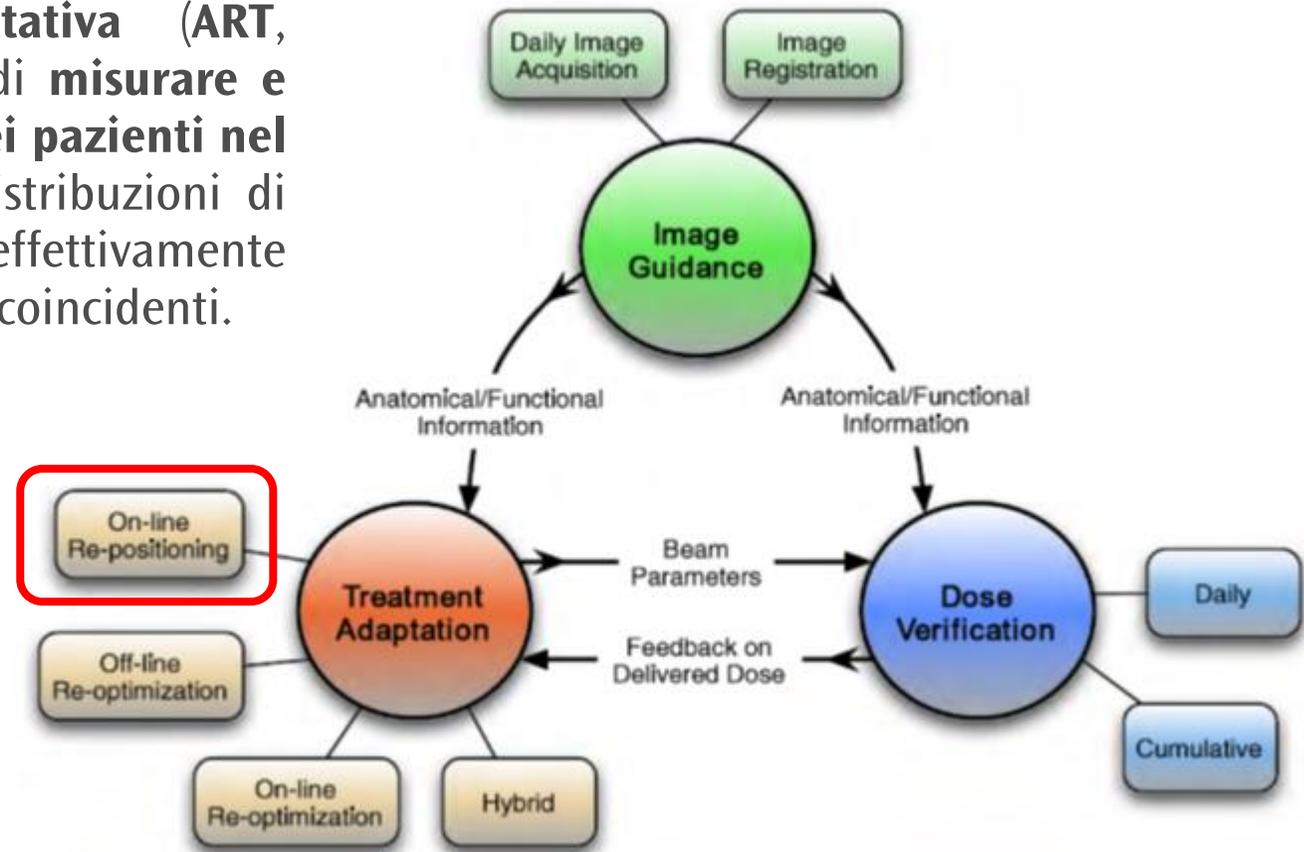
# Perché IGRT (Image Guided Radiation Therapy)?

Is one CT before treatment good enough for planning and entire treatment?



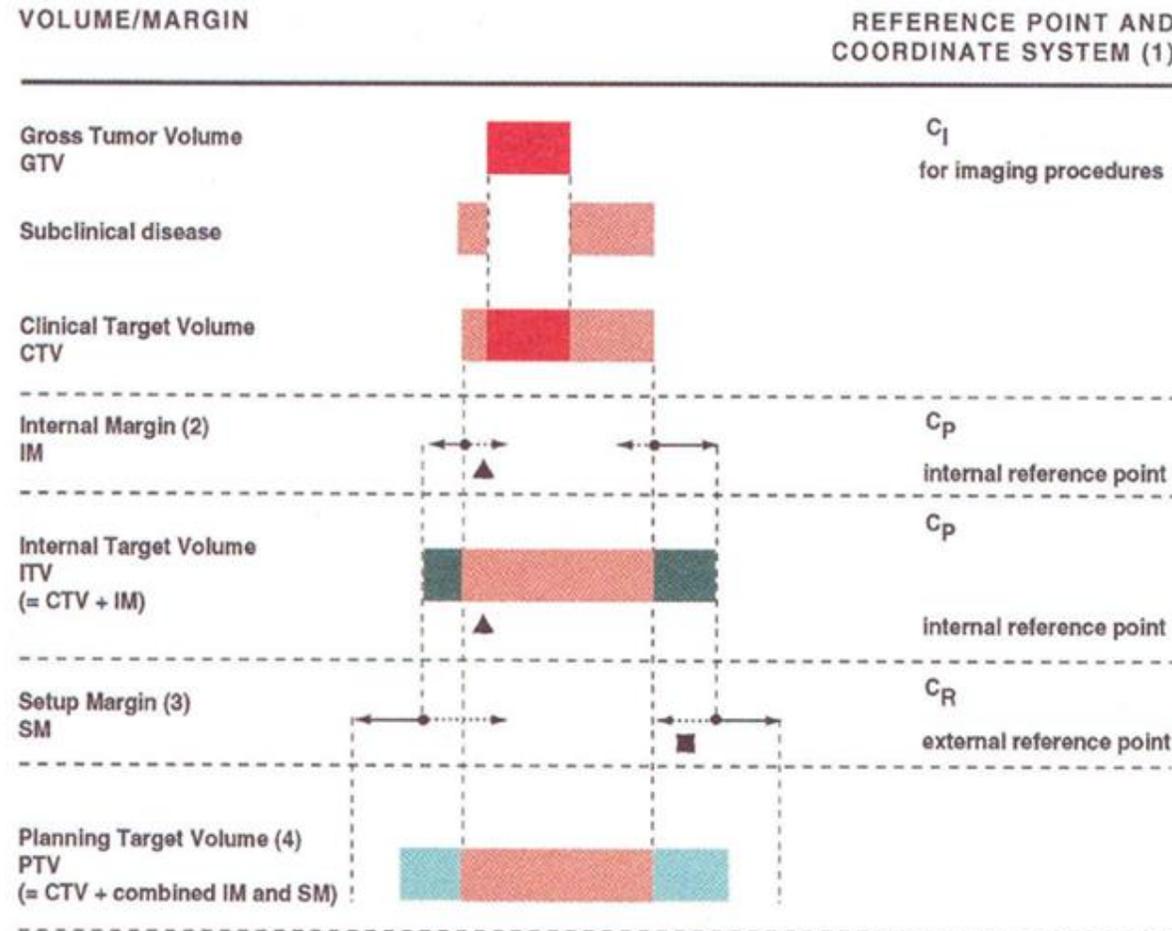
# ART (Adaptive RadioTherapy) per mantenere le promesse della IGRT

L'obiettivo della Radioterapia Adattativa (ART, Adaptive Radiation Therapy) è quello di misurare e considerare le variazioni anatomiche dei pazienti nel processo di trattamento, affinché le distribuzioni di dose ottimali pianificate e quelle effettivamente somministrate siano quanto più possibile coincidenti.

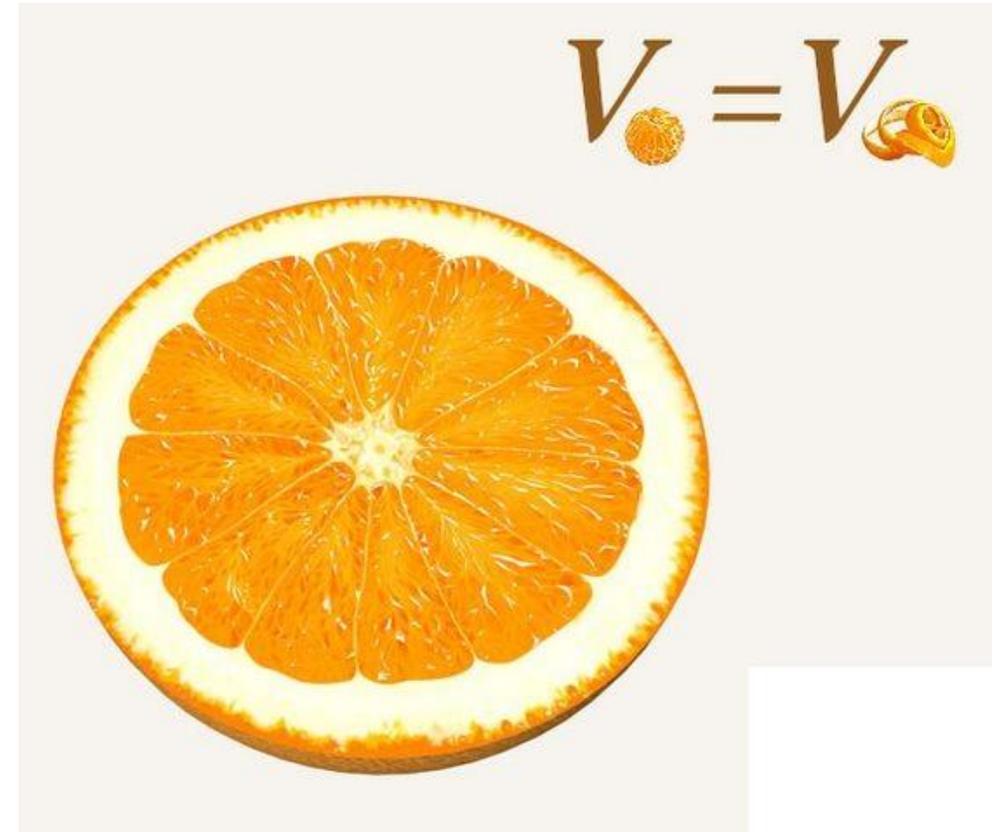
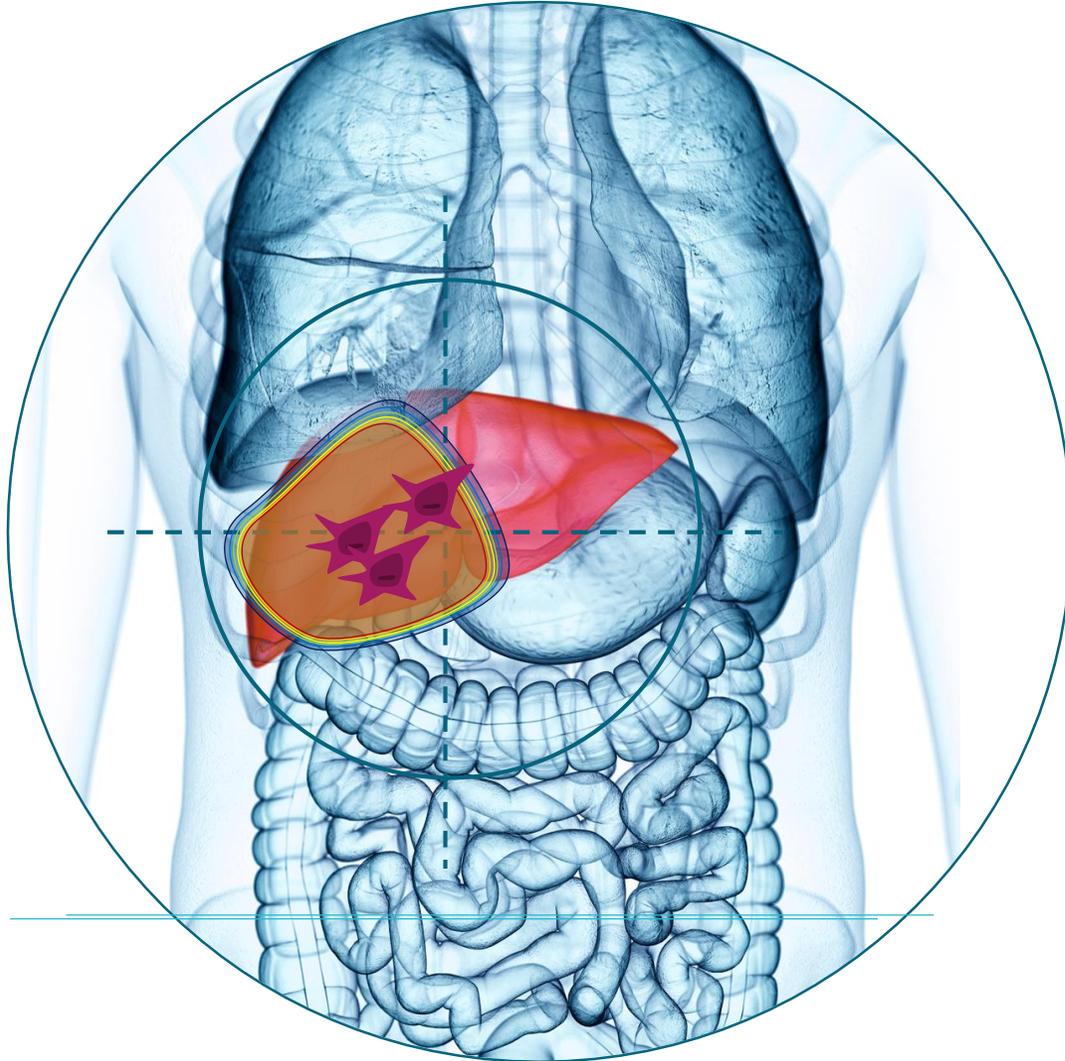


# Volumi target in Radioterapia

ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements) report 50 / 62

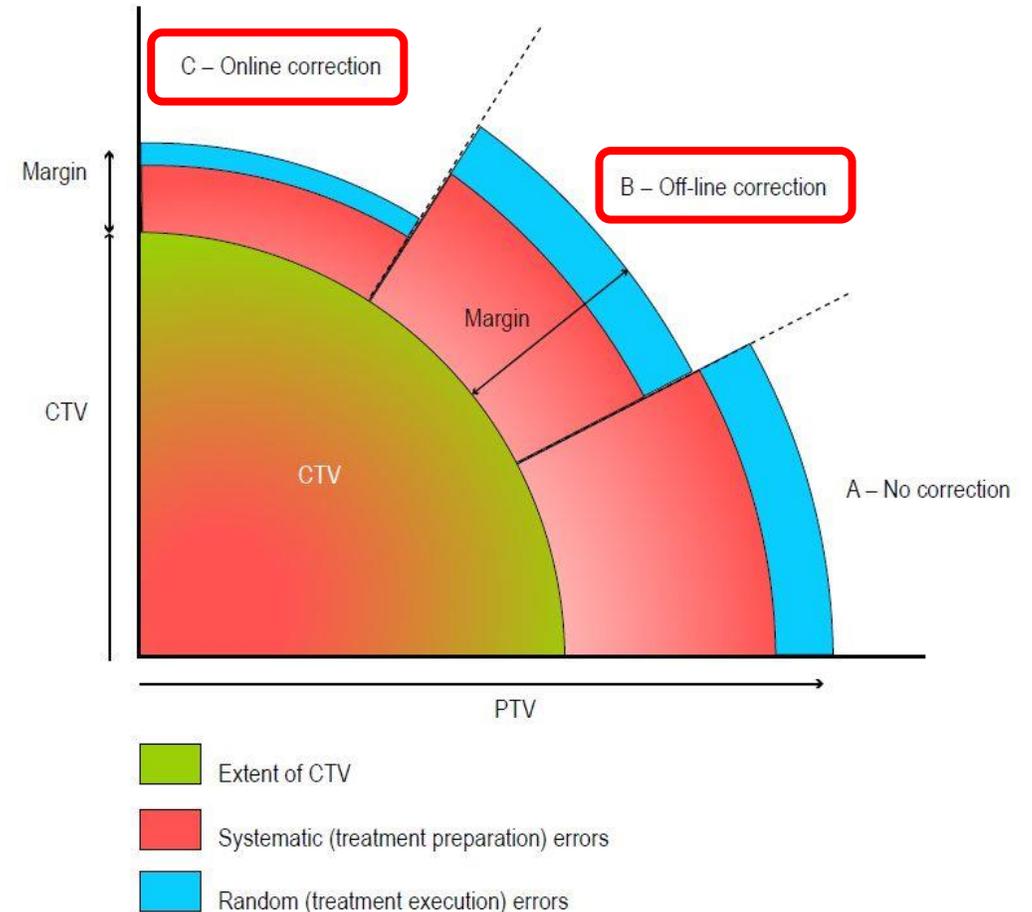


# Volumi target in Radioterapia

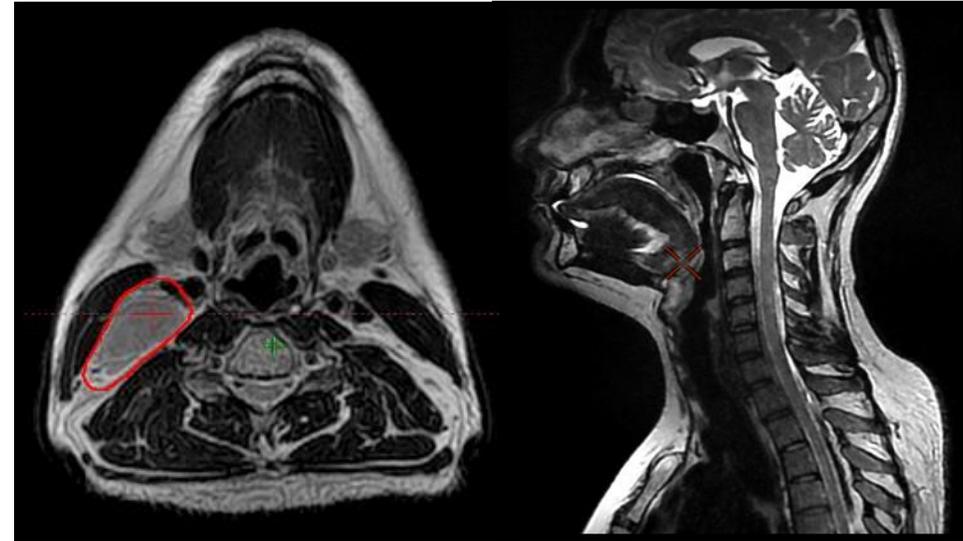


# ART (Adaptive RadioTherapy) come on-line re-positioning

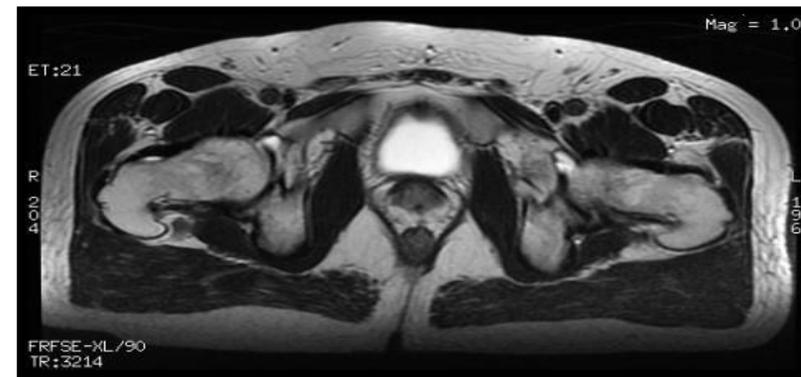
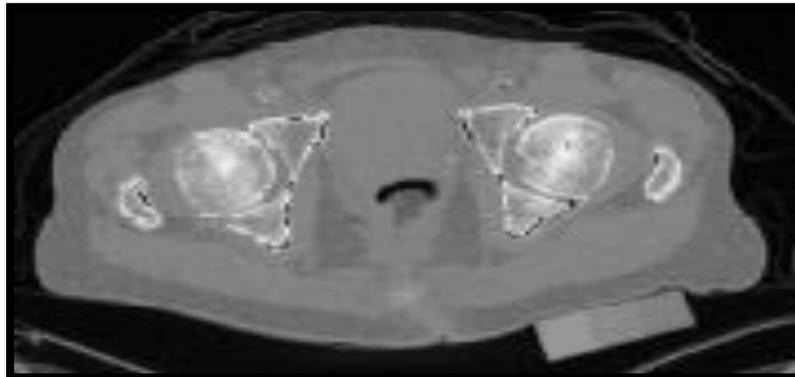
- **ART off-line:** **monitoraggio (IGRT)** del posizionamento del paziente **durante le prime frazioni**, allo scopo di adattare i margini di trattamento e/o i piani di trattamento per le restanti sedute, su base individuale (**eliminazione errore sistematico**).
- **ART on-line:** **monitoraggio (IGRT)** del posizionamento del paziente **durante tutte le frazioni** per la misura e la **correzione giornaliera degli errori di setup del paziente (eliminazione errore sistematico + errore random)**.



# Il ruolo crescente della MRI ad alto campo in Radioterapia

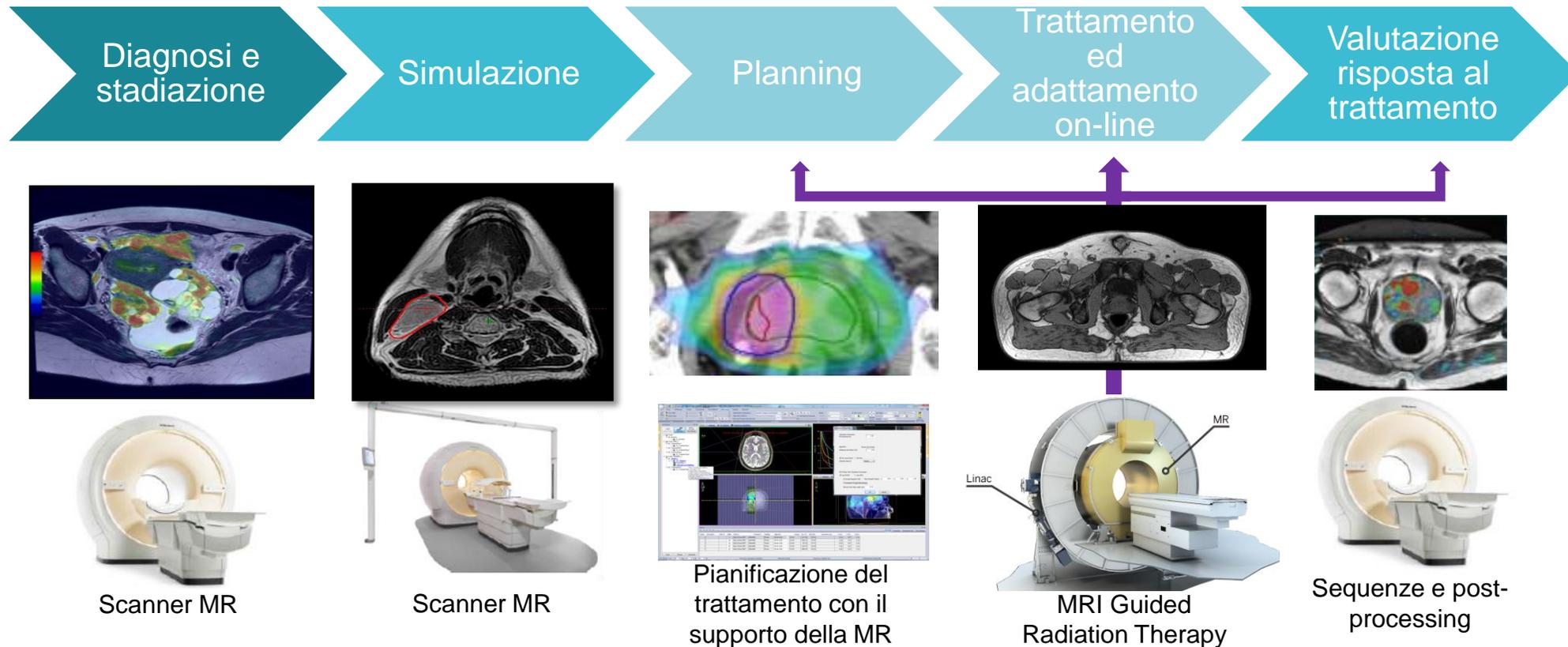


CT



MR

# Il ruolo crescente della MRI ad alto campo in Radioterapia



# Magnetic resonance Radiation Therapy (MR/RT)

Elekta Unity

Il marchio CE di Unity è previsto entro il primo semestre 2018.

Integrazione di **tre componenti**:

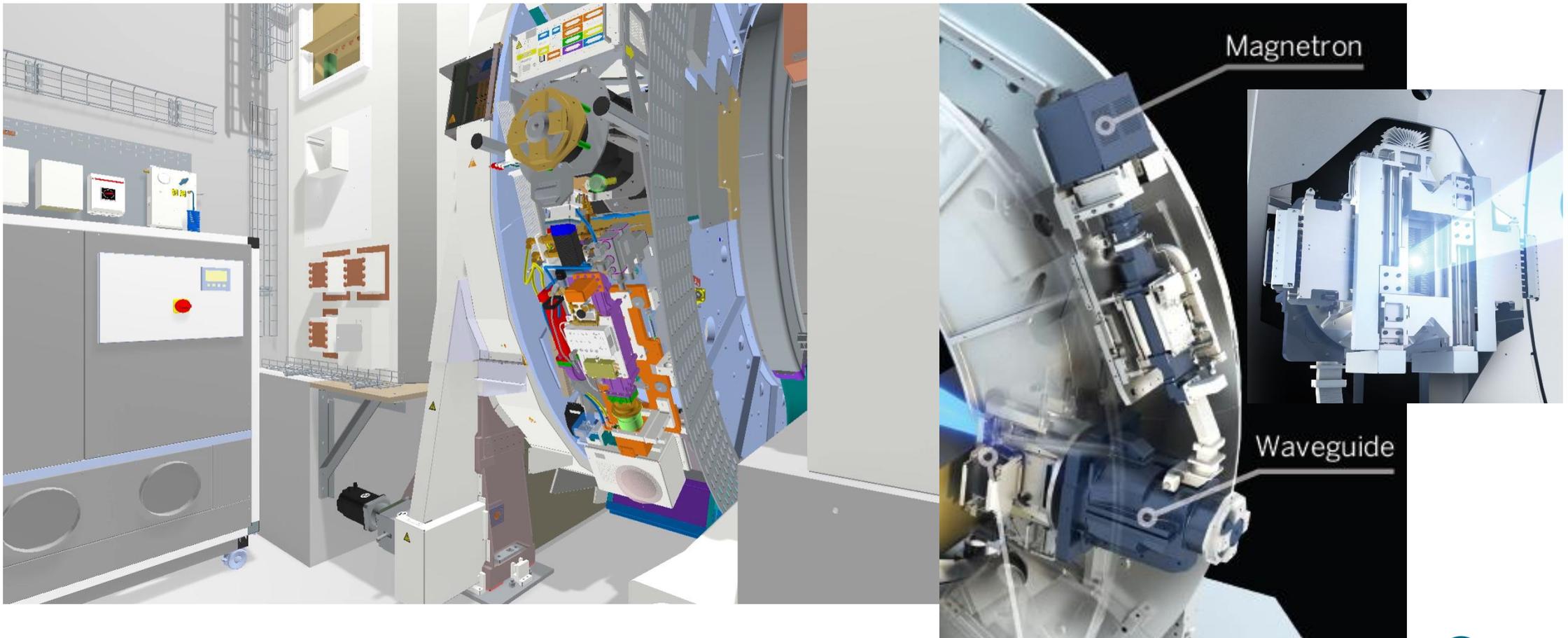
- **soluzione progettata in modo specifico per un workflow di tipo on-line adaptive** (con soluzioni TPS ed OIS / R&V specifiche)



# Magnetic resonance Radiation Therapy (MR/RT)

Elekta Unity

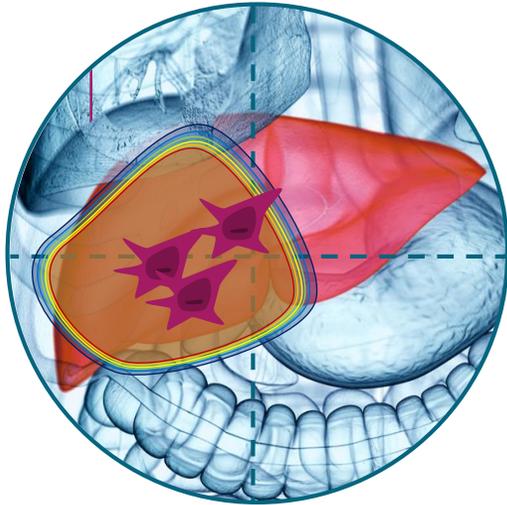
Il marchio CE di Unity è previsto entro il primo semestre 2018.



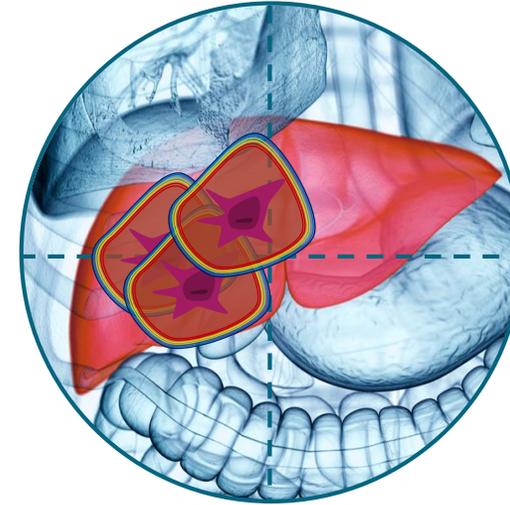
# Magnetic resonance Radiation Therapy (MR/RT)

Elekta Unity

Il marchio CE di Unity è previsto entro il primo semestre 2018.



PTV convenzionale



MR/RT  
compensazione della posizione

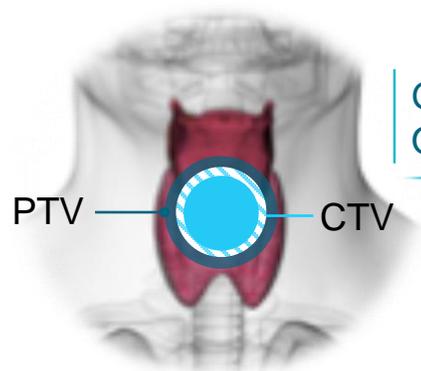
# MR/RT – Elekta Unity

Margini minimi e ridotti per targets statici, mobili e suscettibili di deformazioni

PTV con imaging

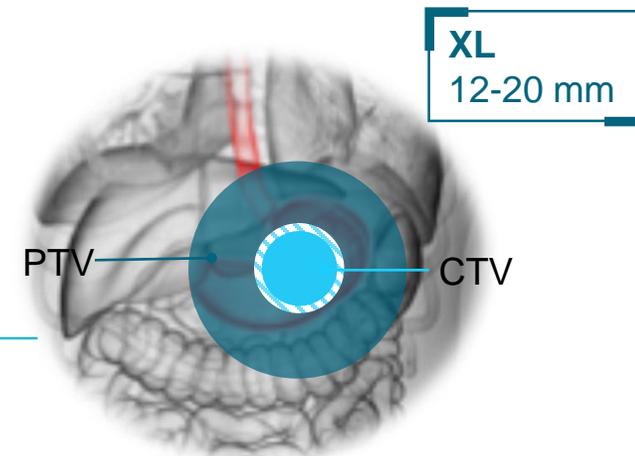
Il marchio CE di Unity è previsto entro il primo semestre 2018.

**S**  
3-5 mm



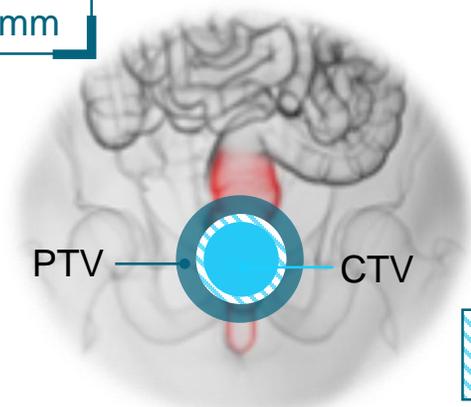
GBM  
Oropharynx

**XL**  
12-20 mm



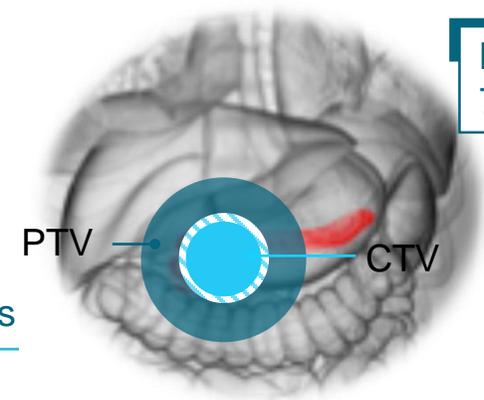
Lung  
Stomach  
Bladder  
Liver

**M**  
5-7 mm



Prostate only  
Rectum  
Breast

**L**  
7-12 mm

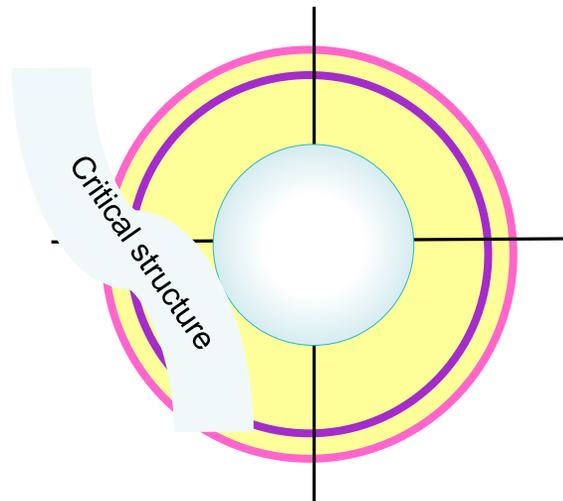


Esophagus  
Pancreas  
Prostate + Pelvis

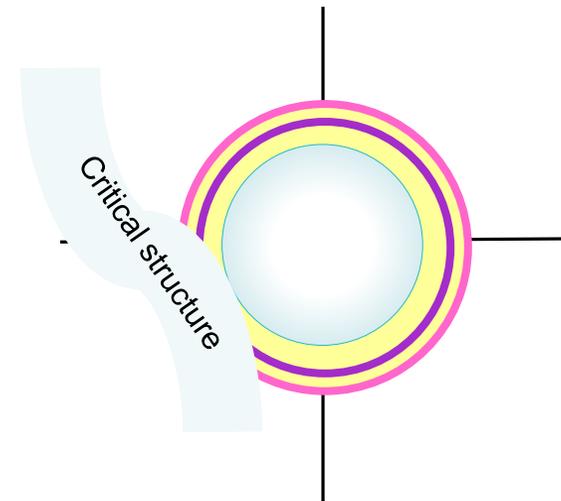
Margine MR-LINAC

# MR/RT – Elekta Unity

Variazioni giornaliere di posizione – workflow MR/RT di compensazione della posizione (approccio scelto secondo appropriatezza clinica)

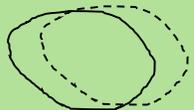


**PTV convenzionale**

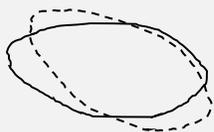


**MR/RT  
compensazione della posizione**

## Translational errors



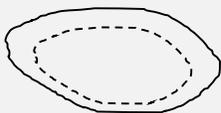
## Rotational errors



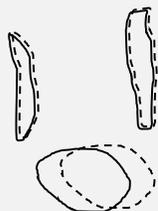
## Deformational errors



## Volume Change



## Independent motion of organs



Rigid registration with region of interest.  
No new structure set

Simple image review of shift

Adapt plan to deliver the shifted reference dose

Review of adapted dose against shifted reference dose,  
Simple dose metrics

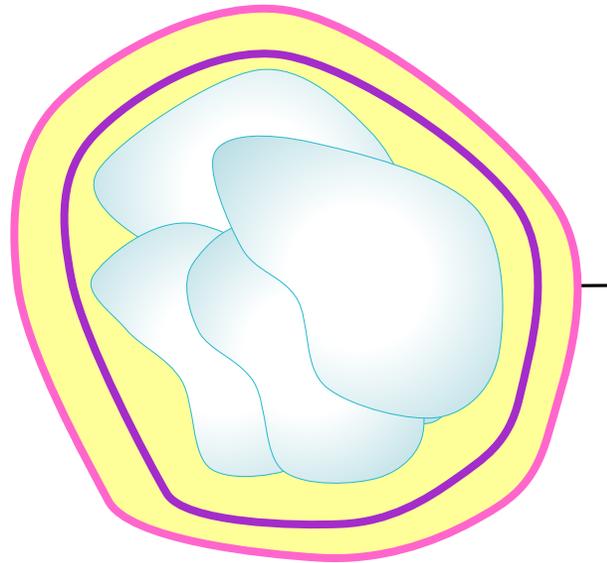
## Simple Rigid & Dose Based



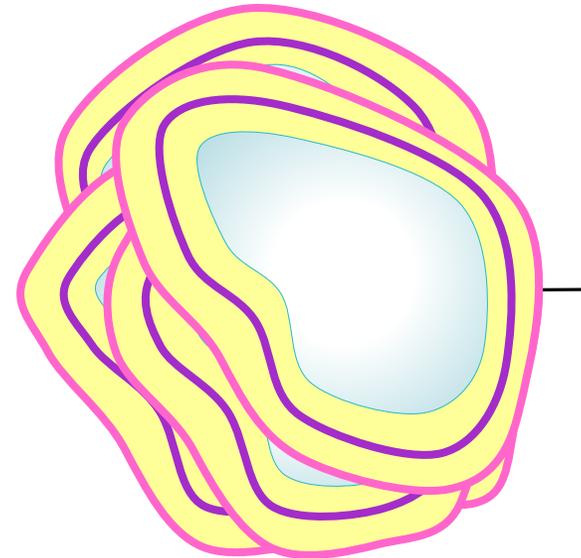
- Online better target visualisation
- Online motion monitoring
- Quick & simple
- Offline adaptation & review as required

# MR/RT – Elekta Unity

Variazioni giornaliere di forma – workflow MR/RT di compensazione della forma (approccio scelto secondo appropriatezza clinica)

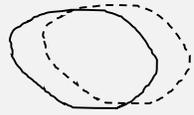


**ITV convenzionale**

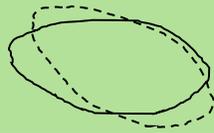


**MR/RT  
compensazione della forma**

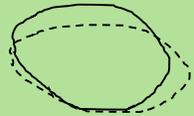
Translational errors



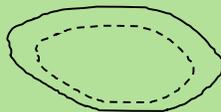
Rotational errors



Deformational errors



Volume Change



Independent motion of organs



Deformable image registration. Complete new structure set

Review/edit of Target and OAR structures

Adapt the plan to deliver the dose to the deformed structures

Review of DVH against the plan criteria

Advanced Deformable & DVH based



- Adapt the dose more closely to deformed target and OAR
- Requires more time and physician involvement
- Requires physician review of new structure and new DVH

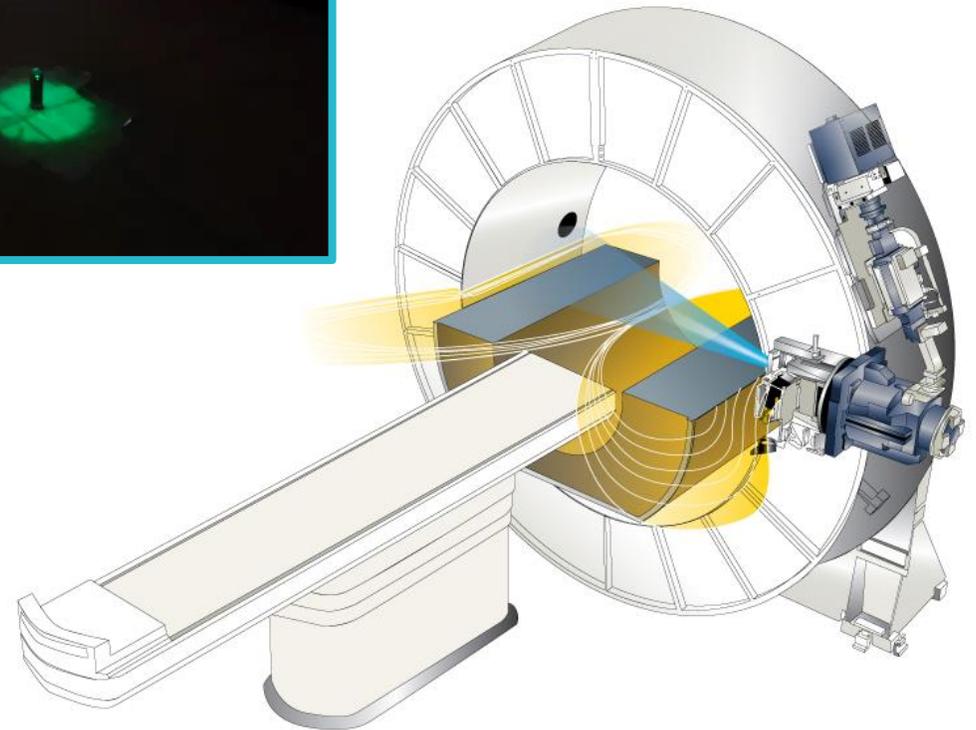
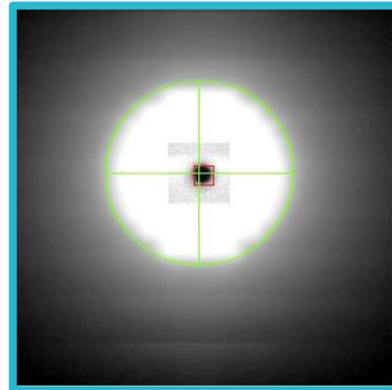
# MR/RT – Elekta Unity

... non solo MR Guided RT, ma anche MR Tracked RT ed MR Functional RT

Il marchio CE di Unity è previsto entro il primo semestre 2018.

## MLC tracking:

- lamelle MLC veloci (6 cm/s)
- jaws ortogonali a valle del MLC veloci
- latenza molto ridotta (< 100 ms)
- accuratezza dinamica eccellente
- errore (RMS) tipico  $\approx 1$  mm



# Micro-radiochirurgia intracraniale adattativa

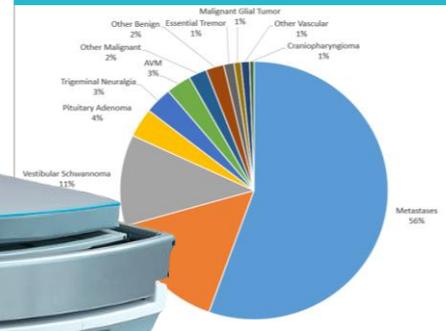
---

# Leksell Gamma Knife<sup>®</sup> Icon<sup>™</sup>

Micro-radiochirurgia intracraniale on-line adaptive



Gold standard per  
micro-  
radiochirurgia  
intracraniale



SRS frame-based  
o frameless con  
precisione  
analoga



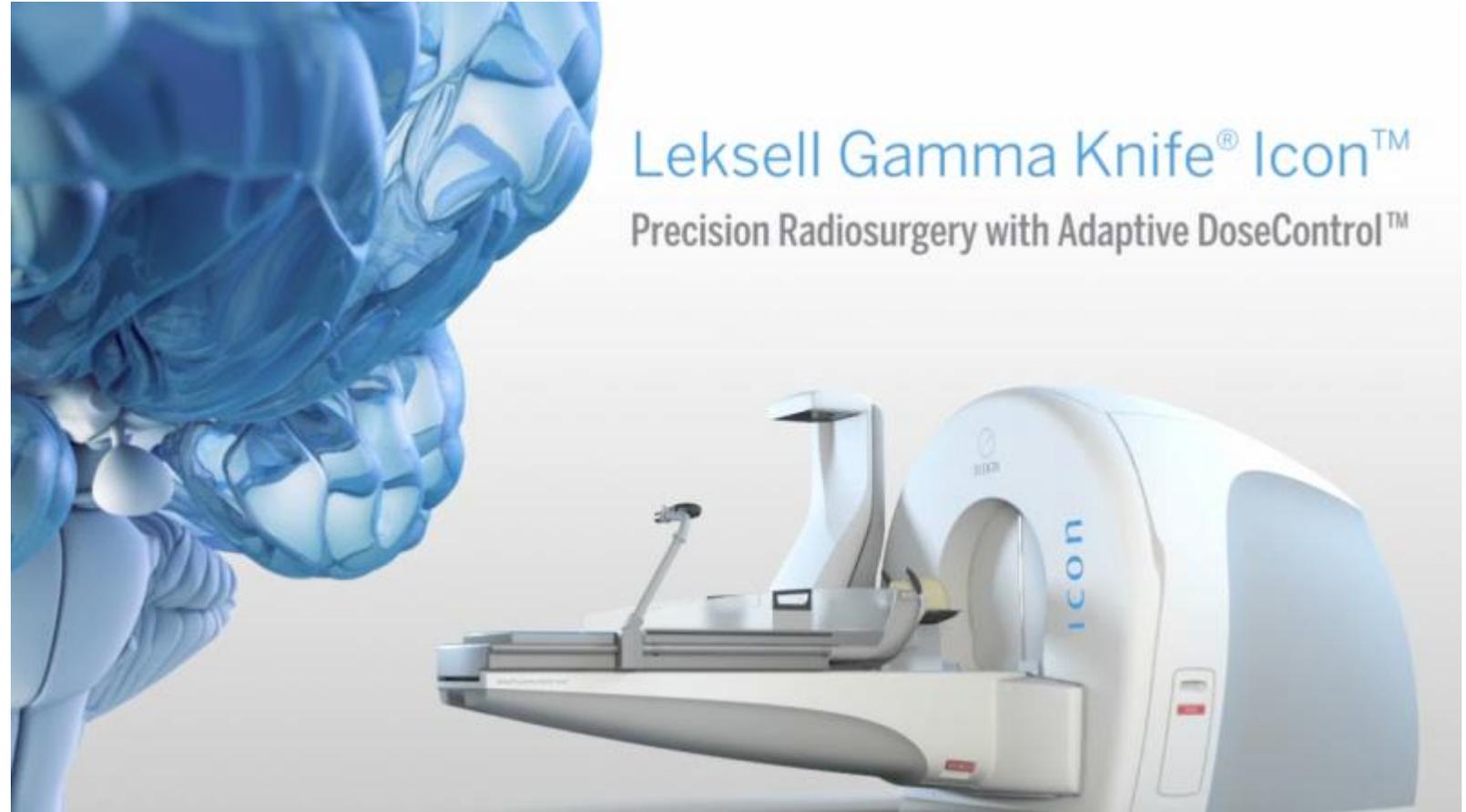
Planning,  
ottimizzazione e  
QA semplici ed  
immediati



# Leksell Gamma Knife<sup>®</sup> Icon<sup>™</sup>

## Vantaggi e benefici unici

- **chirurgia non invasiva mediante 192 fasci radianti <sup>60</sup>Co multipli, non coplanari, simultanei, convergenti su qualunque target nel cervello**
- **prestazioni dosimetriche superiori a qualsiasi LINAC: (gradienti, penombra, conformalità, minore dose al cervello sano (2x ... 4x), minore dose extracraniale (5x ... 130x))**
- **accuratezza clinica complessiva  $\leq 0,5$  mm (ottima stabilità ed accuratezza meccanica)**



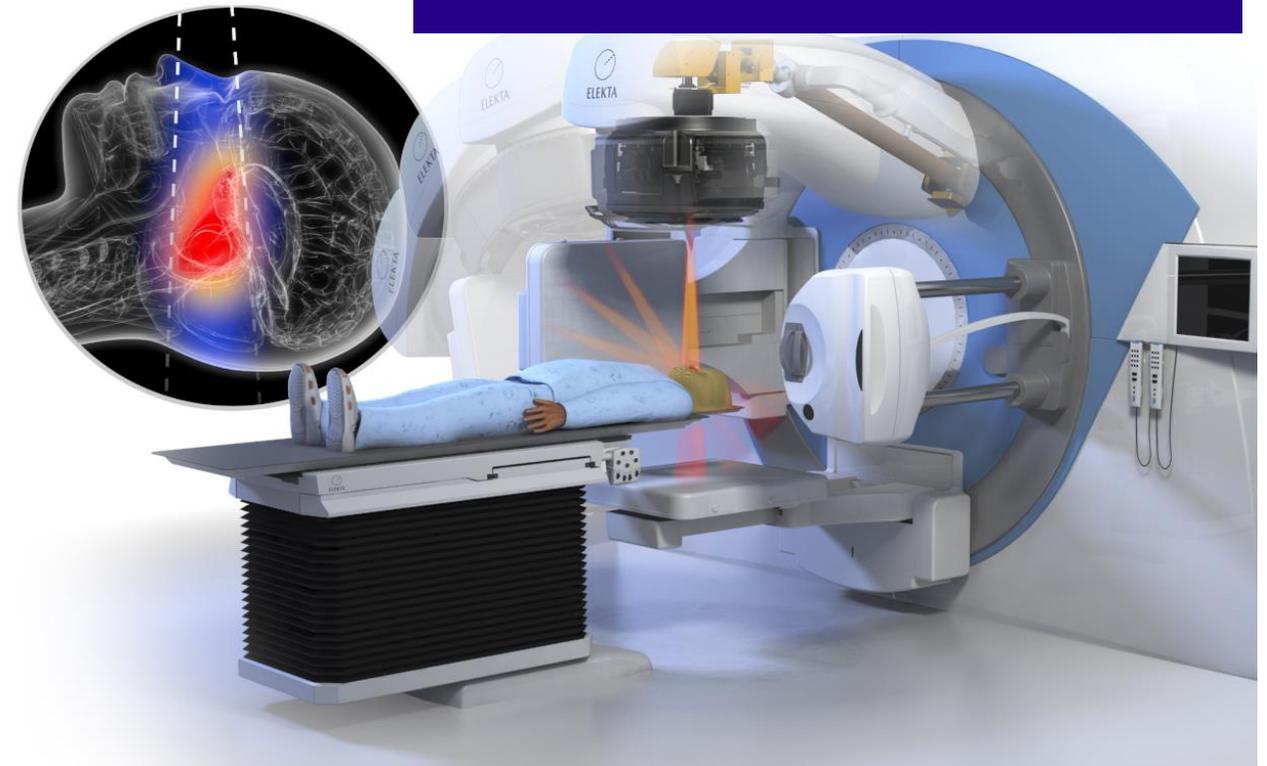
# Leksell Gamma Knife<sup>®</sup> Icon<sup>™</sup>

Vantaggi e benefici unici

Accuratezza clinica complessiva  
 $\leq 0,5$  mm



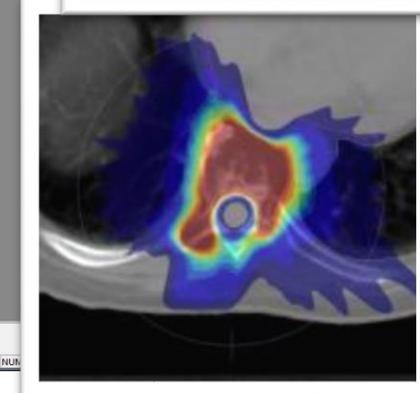
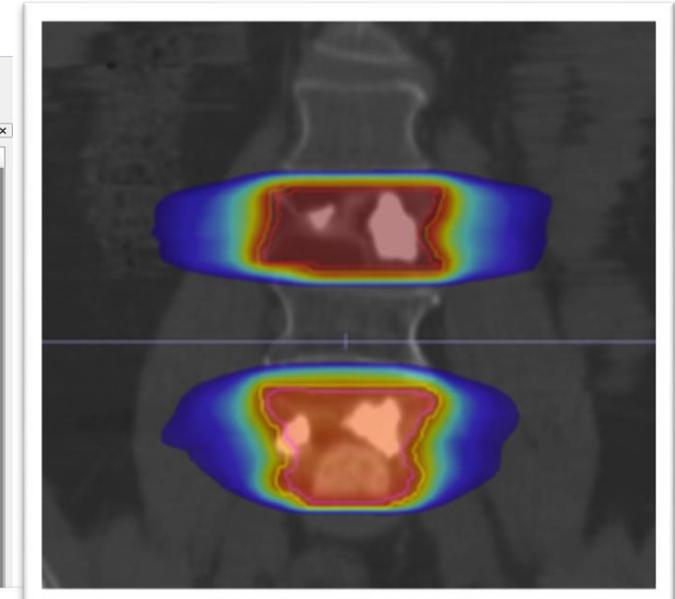
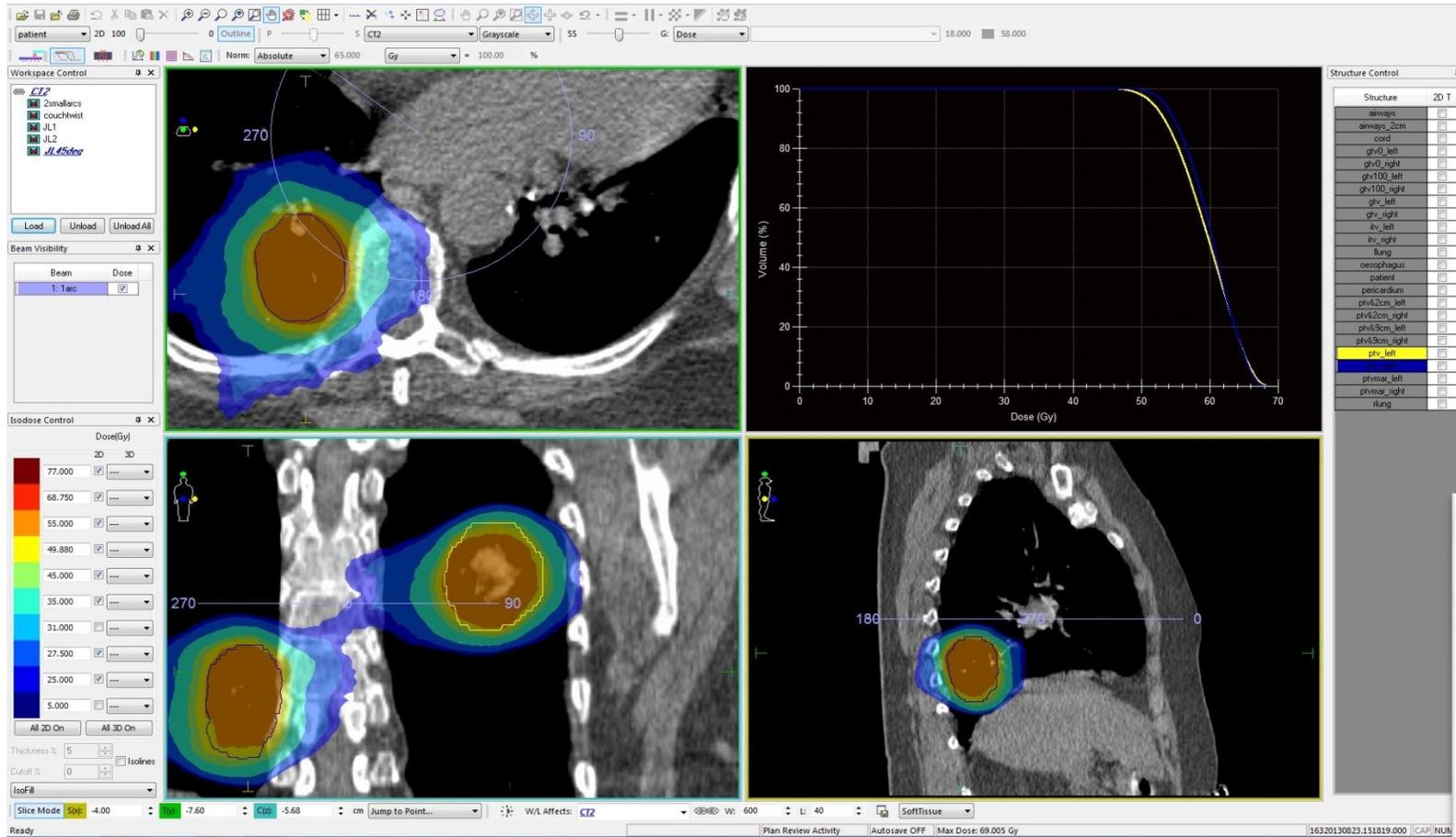
Accuratezza clinica complessiva  $\geq 1,5$  mm



# High Definition Dynamic RadioSurgery (HDRS)

---

# Stereotassi, radiochirurgia, ipofrazionamento, SRS, SBRT / SABR



# Stereotassi, radiochirurgia, ipofrazionamento, SRS, SBRT / SABR

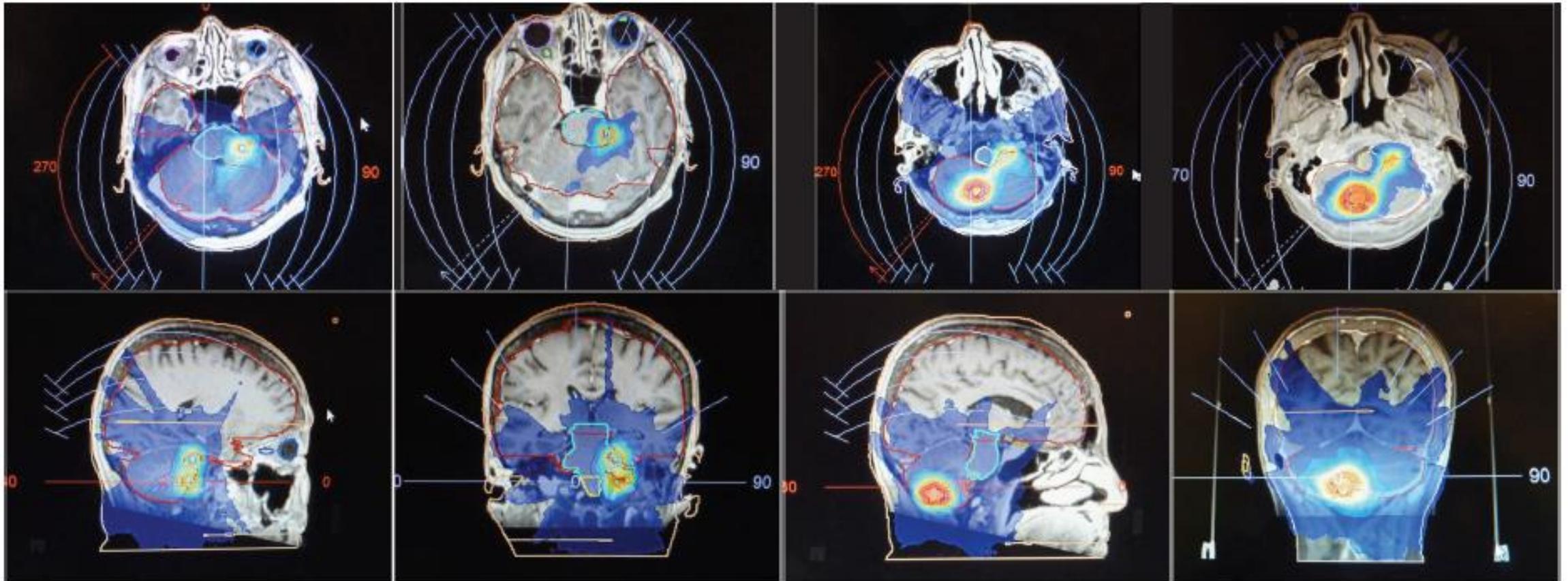
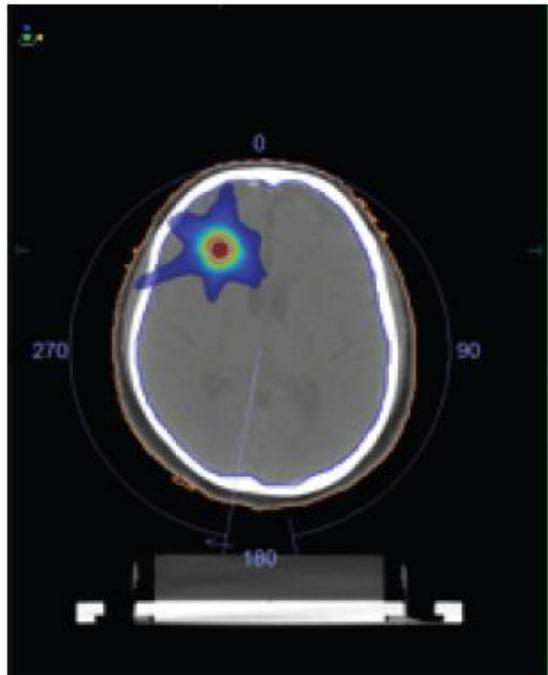


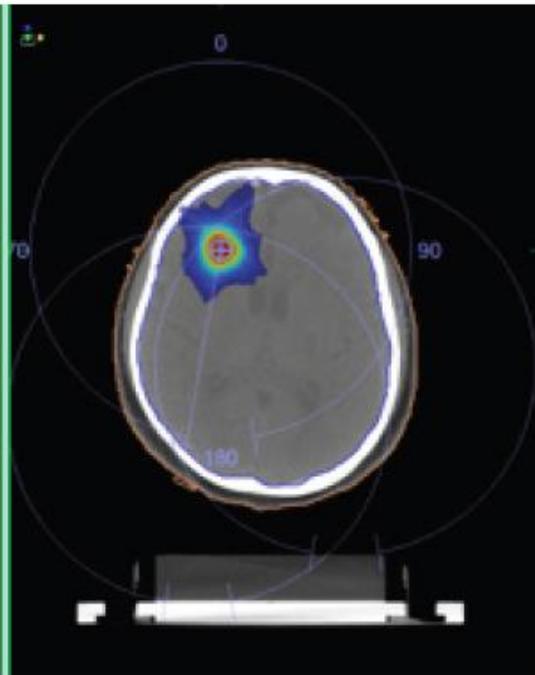
Figure 3. Single isocenter, nine partial arc VMAT SRS plan created using Monaco VMAT

# Stereotassi, radiochirurgia, ipofrazionamento, SRS, SBRT / SABR

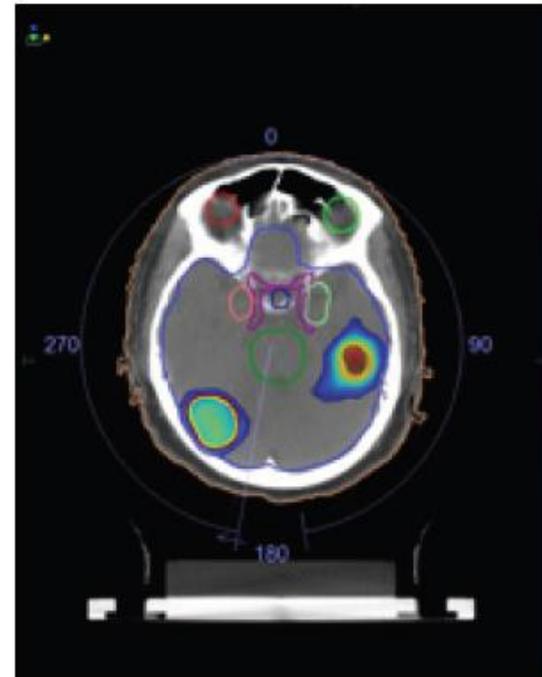
PTV 1 single isocenter



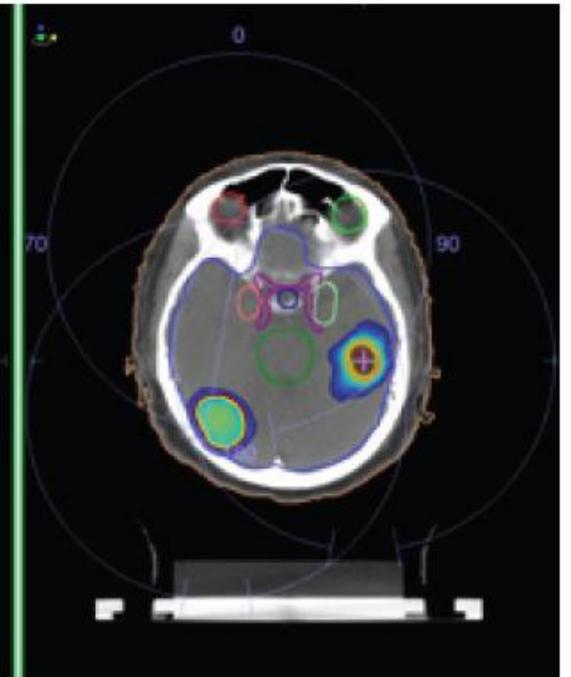
PTV 1 multiple isocenter



PTV 2 and PTV 3 single isocenter



PTV 2 and PTV 3 multiple isocenter



# Elekta HDRS

Trattare qualunque indicazione clinica senza compromessi

- **Radiochirurgia ad alta definizione** senza restrizioni: **accuratezza ed efficienza**
- Le **proprietà uniche di Versa HD™** unite alle **proprietà uniche di Monaco® 5.11 VMAT** portano ad una **soluzione che le rafforza ed amplifica**
- **Elekta HDRS è una piattaforma unica per:**
  - **trattamenti avanzati di radiochirurgia stereotassica e convenzionali, nello stesso slot temporale standard (15')**
  - **tutti i distretti anatomici**
  - **massimi risultati in termini di precisione ed accuratezza end-to-end**



# Elekta HDRS

Trattare qualunque indicazione clinica senza compromessi: cosa significa?

## High-Definition dynamic RadioSurgery

modulazione della dose ad alta definizione (x5):

fino a 1024 CPs per arco VMAT (fascio IMRT dinamico)

distribuzioni di dose ottimali ed erogazione efficiente

in aggiunta, archi VMAT (fasci IMRT) non complanari

erogazione ad arco continua (VMAT), tutte le variabili cambiano in tempo reale: posizione e velocità delle lamelle MLC e del gantry, dose e dose rate

dosi elevate per frazione, gradienti di dose ripidi, targets piccoli (singoli o multipli):

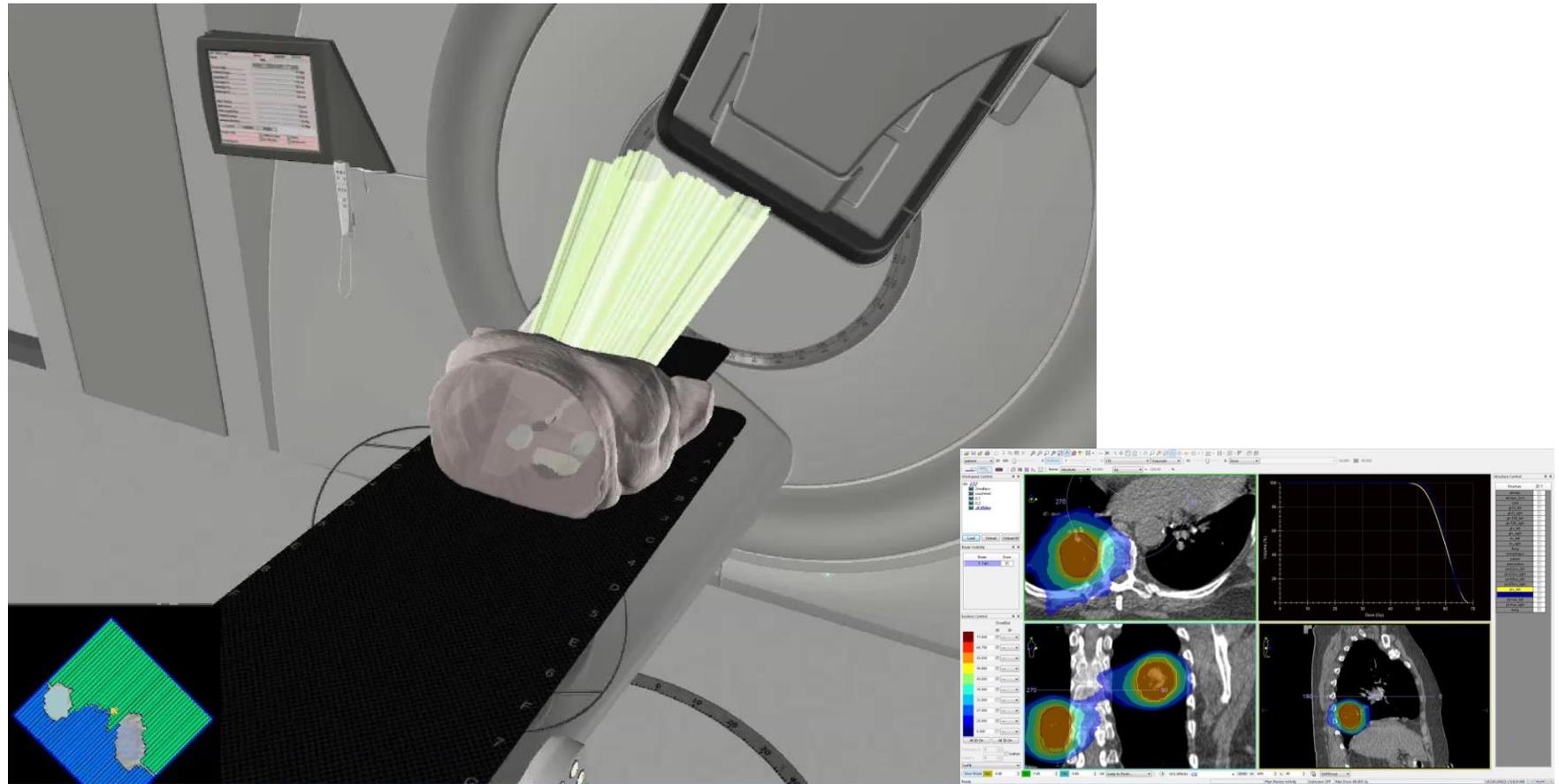
TPS allo stato dell'arte (algoritmo di calcolo per fotoni Monte Carlo, ottimizzazione radiobiologica multicriteriale, algoritmi di segmentazione MLC efficaci ed efficienti, controllo "voxel-based" delle strutture)

proprietà fisiche / meccaniche del MLC superiori (160 lamelle da 5 mm su campo massimo 40 cm x 40 cm, interdigitazione, velocità fino a 6,5 cm/s, trasmissione massima  $\leq 0,5\%$ )

posizionamento preciso delle distribuzioni di dose attraverso funzionalità IGRT avanzate

# Elekta HDRS

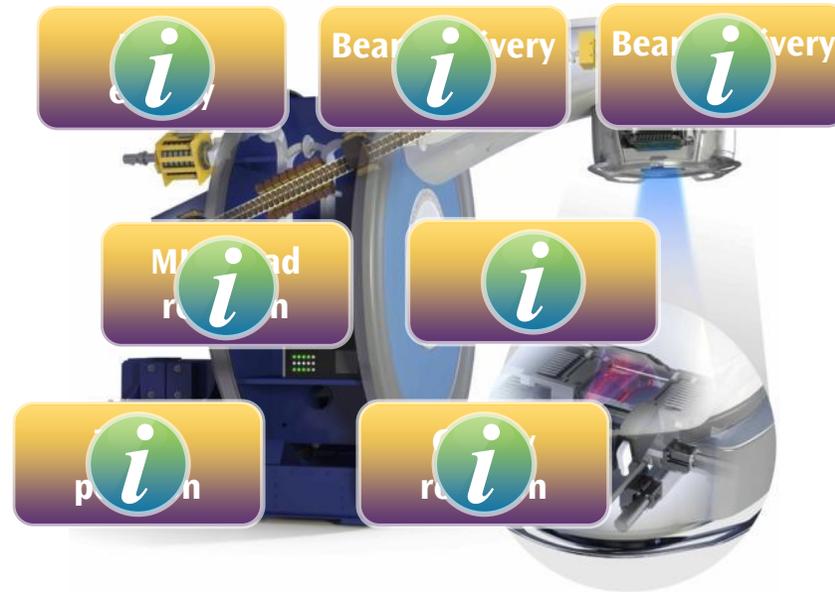
Volume modulated Arc Therapy (VMAT) e l'importanza dei Control Points



# Console digitale di comando Elekta Integrity™

Prestazioni in sicurezza

- velocità ed affidabilità di un sistema digitale unificato e collaudato → massima sicurezza, accuratezza e confidenza nei trattamenti



- elevata possibilità di modulazione della dose con valore massimo di **1024 CPs** per arco in VMAT (campo in IMRT dinamica) → distribuzioni di dose ottimali, efficacia ed efficienza
- riduzione dei tempi di erogazione con CVDR (Continuously Variable Dose Rate), il dose rateo istantaneo ideale (**256 livelli**) → tempi minimi di trattamento

# MLC Elekta Agility™

Lo stato dell'arte

- **versatilità ed alta risoluzione:**  
160 lamelle da 5 mm, campo massimo 40 cm x 40 cm (statico e dinamico)
- **efficiente copertura di targets multipli ed efficace protezione di OARs, con interdigitazione**
- **riduzione dei tempi di trattamento con la velocità delle lamelle fino a 6,5 cm/s**
- **eliminazione della radiazione indesiderata attraverso le lamelle chiuse opposte**
- **trasmissione massima delle lamelle (peak / interleaf leakage) < 0,5%**

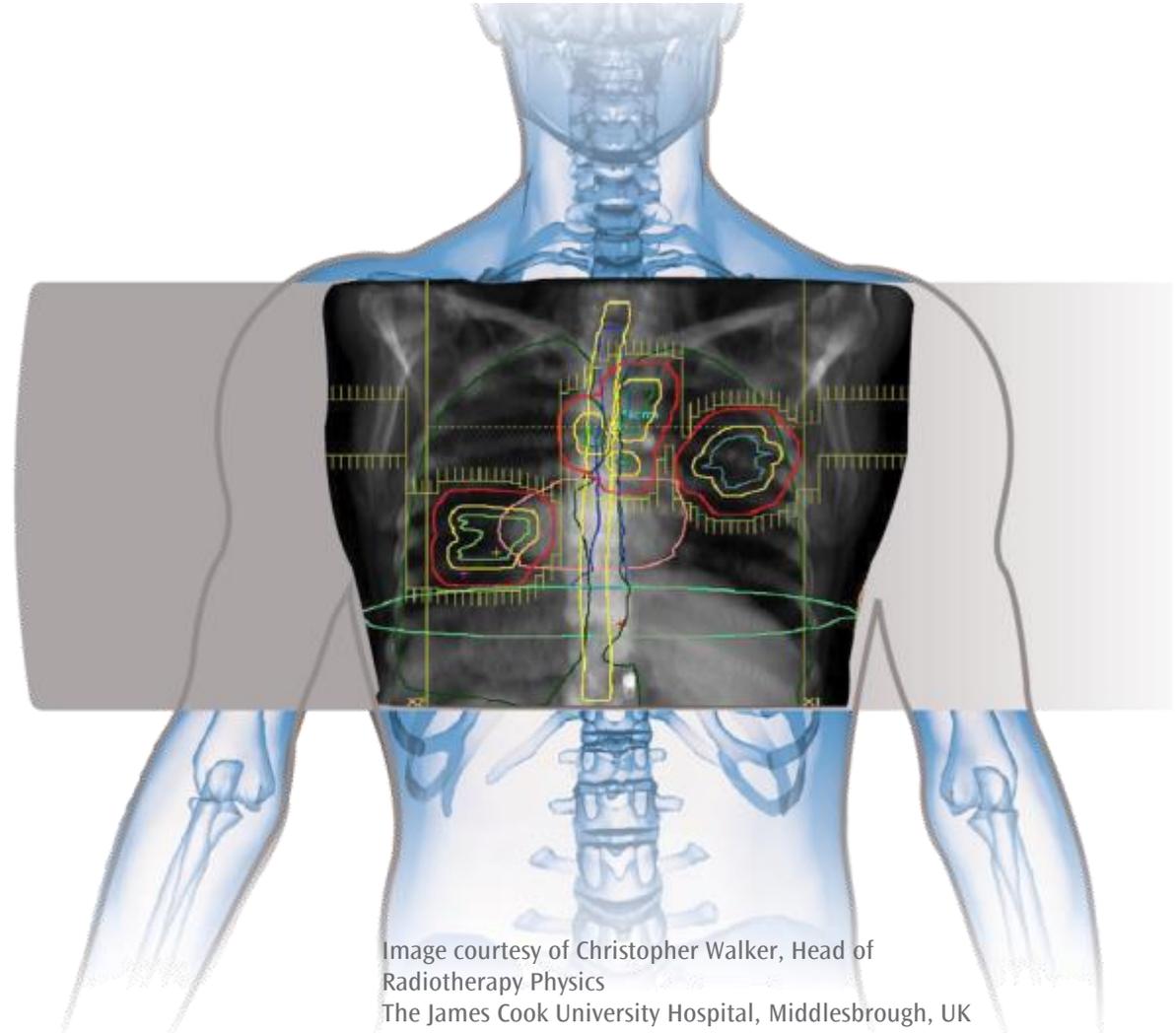
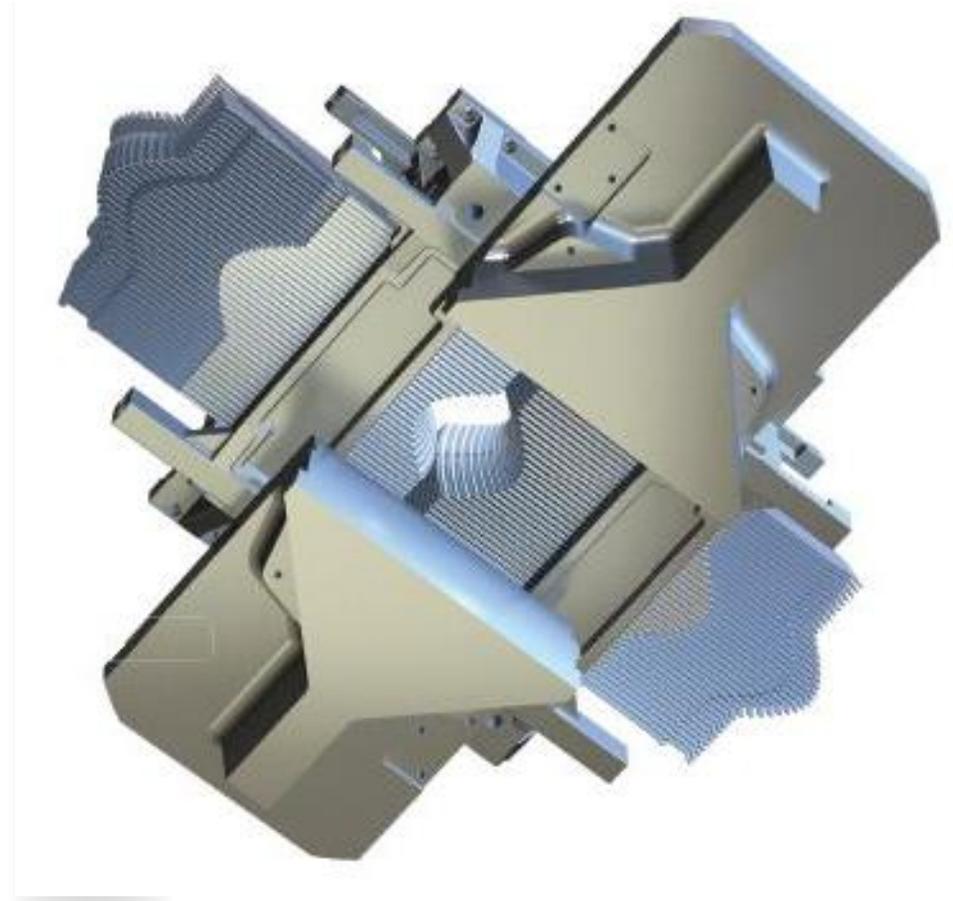


Image courtesy of Christopher Walker, Head of Radiotherapy Physics  
The James Cook University Hospital, Middlesbrough, UK

# MLC Elekta Agility™

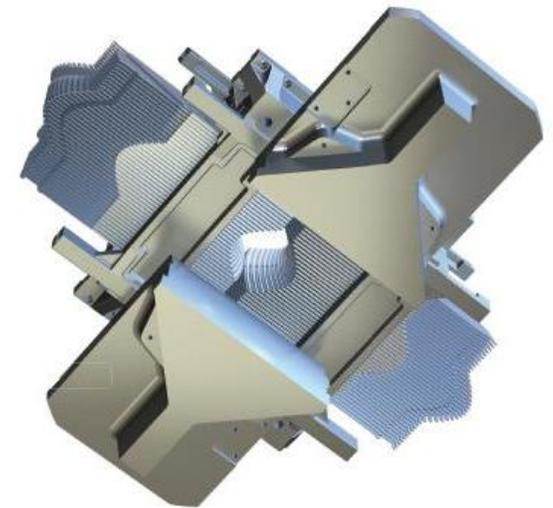
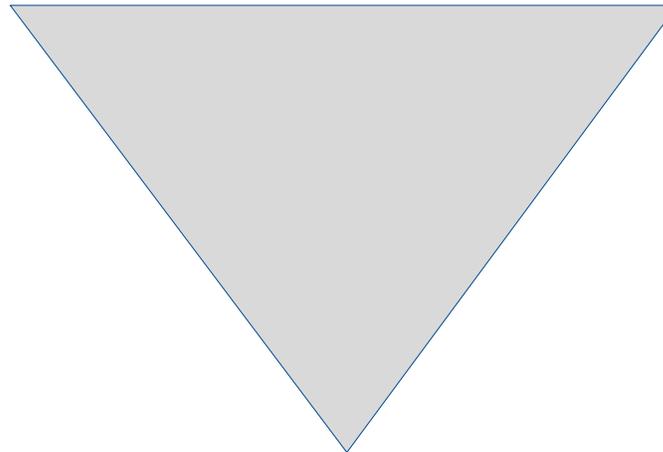
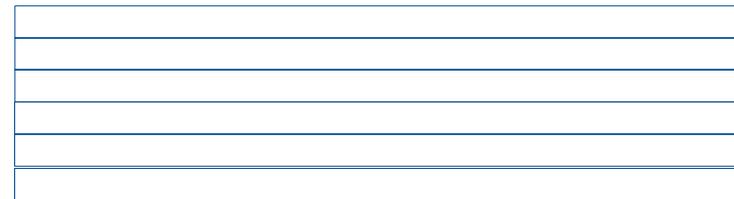
## Lo stato dell'arte

- Un primo metodo per eliminare la radiazione indesiderata attraverso le lamelle chiuse consiste nel coprirle con i jaws ortogonali
- i jaws di Agility™ si possono muovere **fino a 12 cm oltre il CAX**, coprendo perciò nella pratica la maggior parte delle forme di campo
- i jaws di Agility™ sono molto veloci, **fino a 9 cm/s**, coprendo perciò le lamelle chiuse nel più breve tempo possibile



# MLC Elekta Agility™

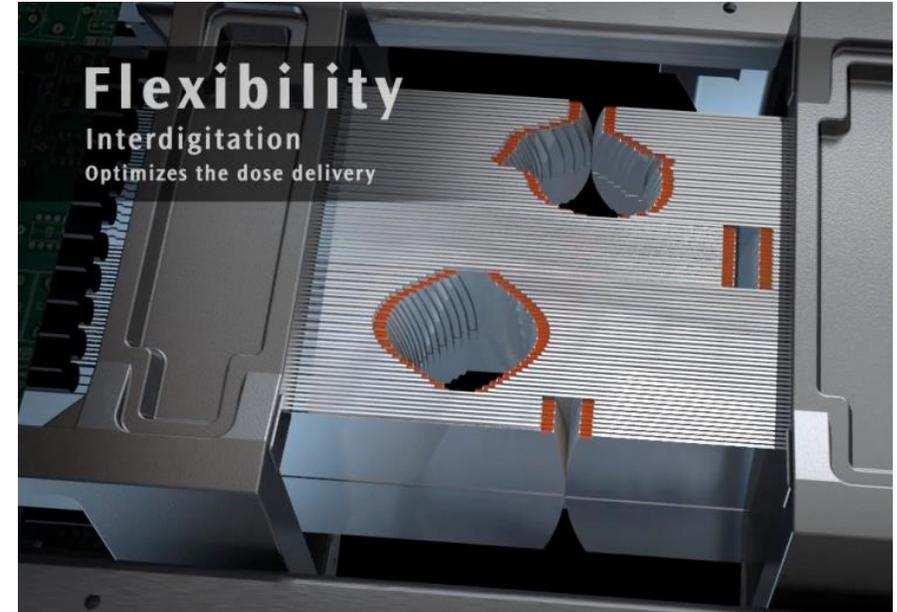
Lo stato dell'arte



# MLC Elekta Agility™

## Lo stato dell'arte

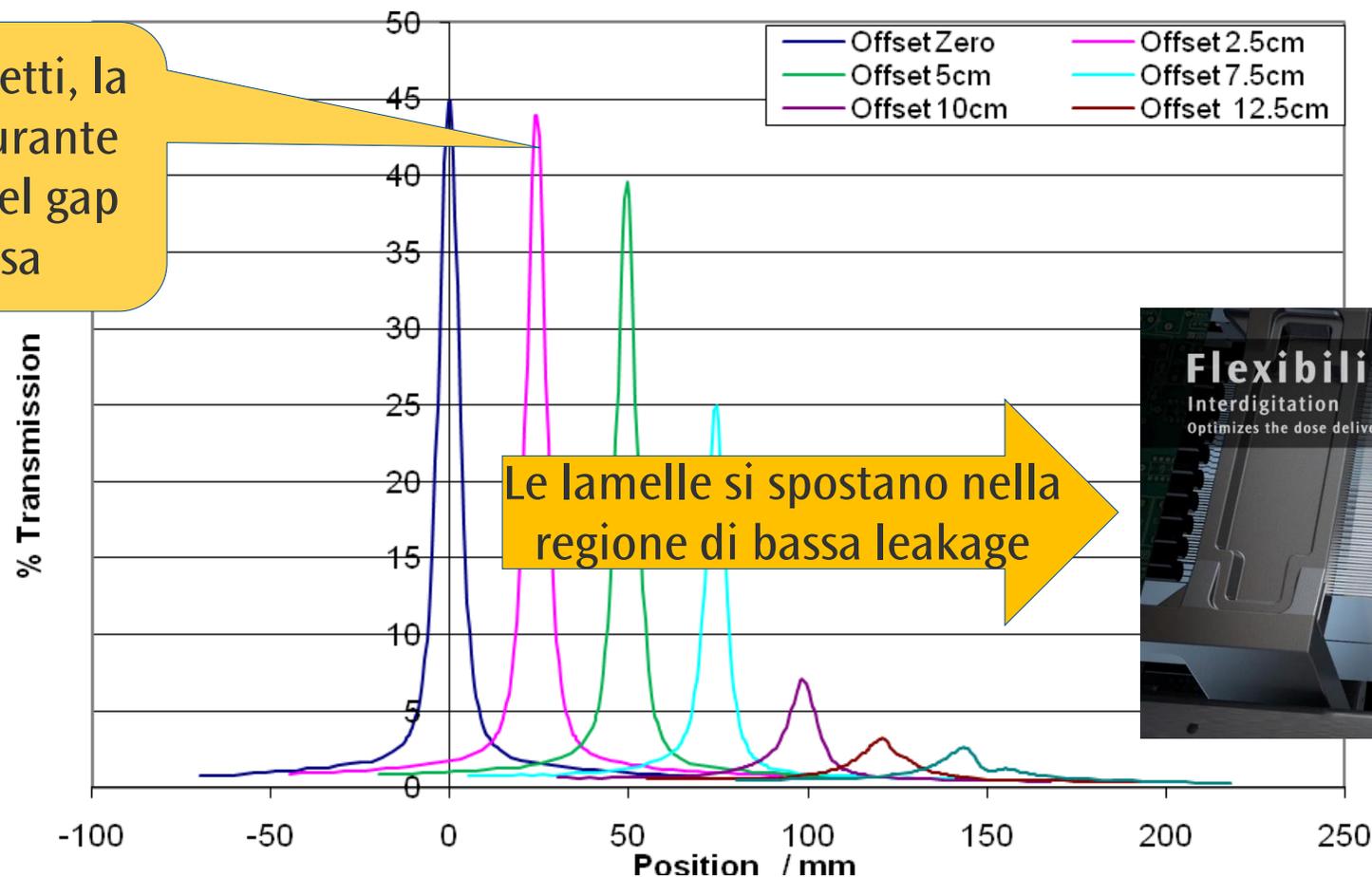
- **Un secondo metodo consiste nello spostare le lamelle chiuse in una posizione di offset**
  - la leakage si riduce spostando il gap lontano dal CAX
  - la velocità delle lamelle di Agility™ allontana il gap dal CAX nel più breve tempo possibile



# MLC Elekta Agility™

Lo stato dell'arte

I profili sono stretti, la dose erogata durante il movimento del gap è molto bassa

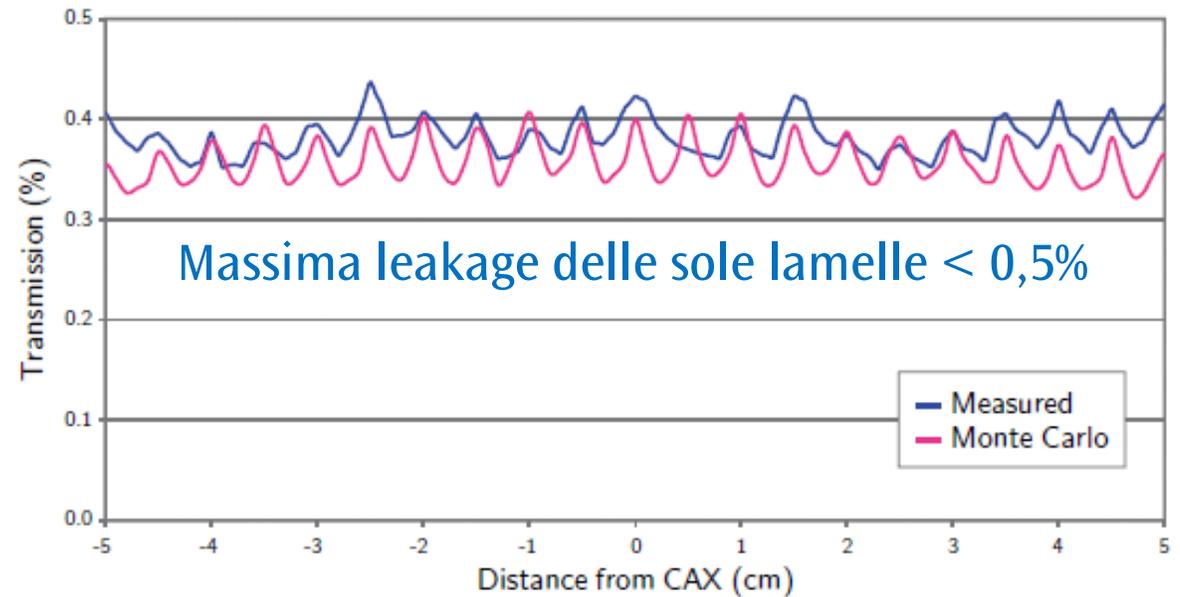
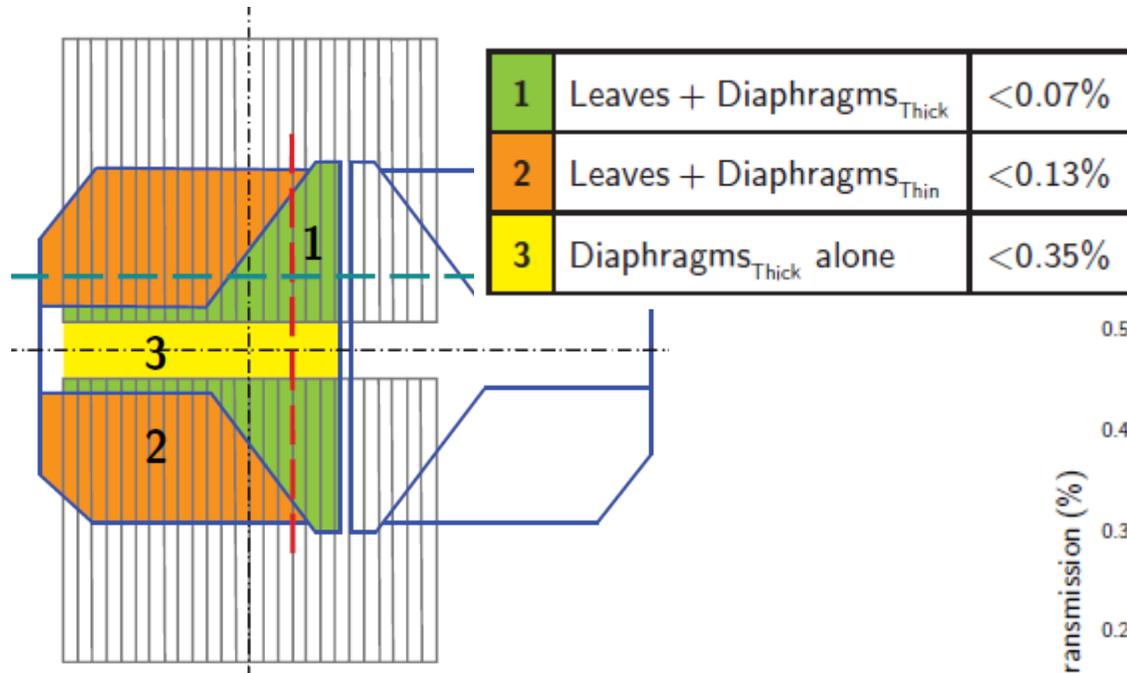


Le lamelle si spostano nella regione di bassa leakage



# MLC Elekta Agility™

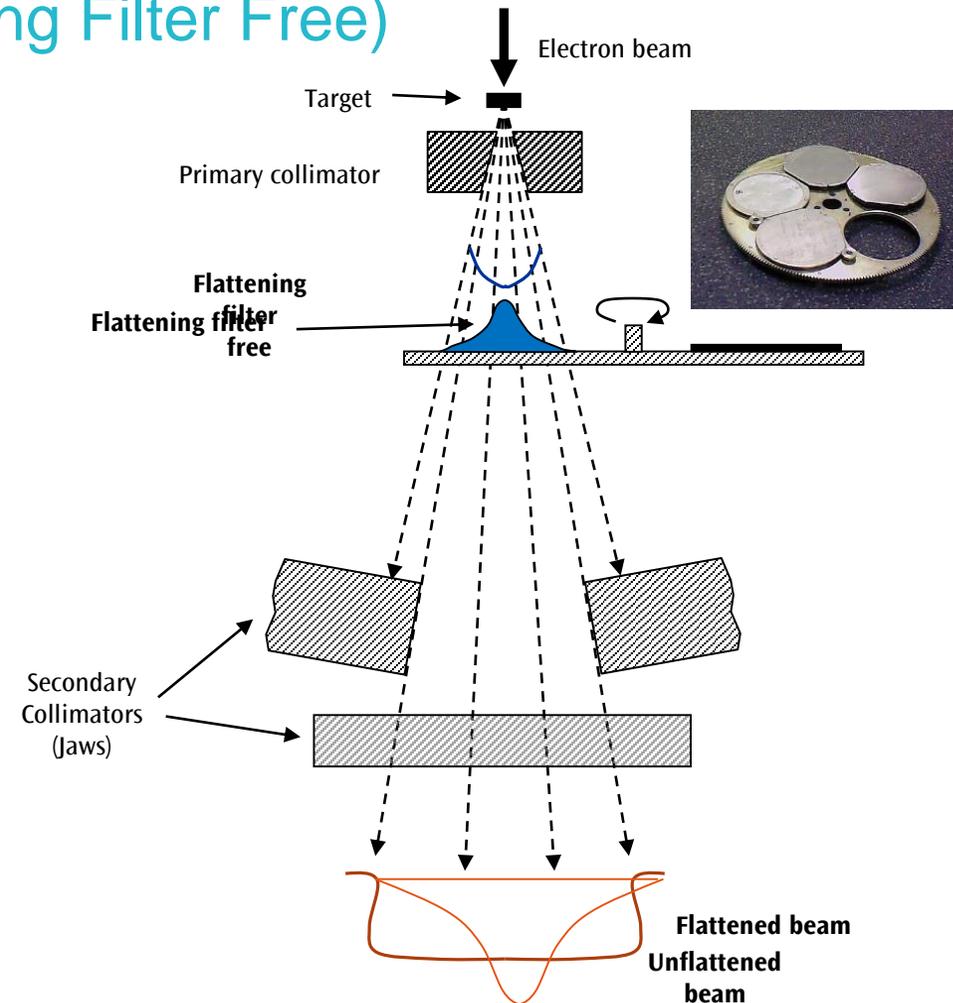
Lo stato dell'arte



# Elekta Versa HD™

## Modalità ad alto dose rate FFF (Flattening Filter Free)

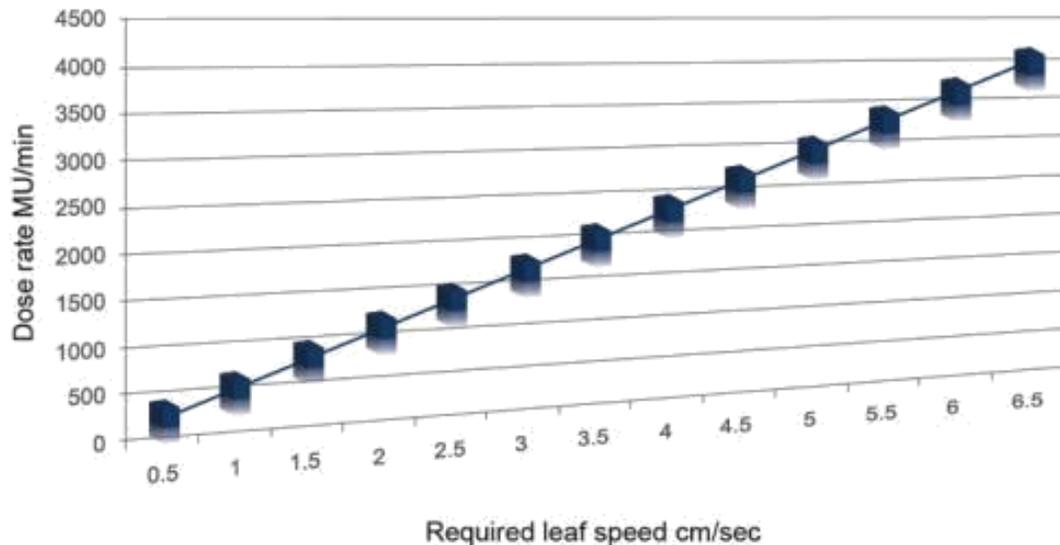
- rimozione FF → softening dello spettro energetico → riduzione energia media
- nei LINAC Elekta Versa HD™ l'energia dei fasci è regolabile in modo digitale → 6 MV FFF e 10 MV FFF stessa  $D_{10}$  dei corrispondenti fasci FF



# Elekta Versa HD™

## Modalità ad alto dose rate FFF (Flattening Filter Free)

- 3X incremento dose rate
- 2200 MU/min a 10 MV FFF
- 1400 MU/min a 6 MV FFF



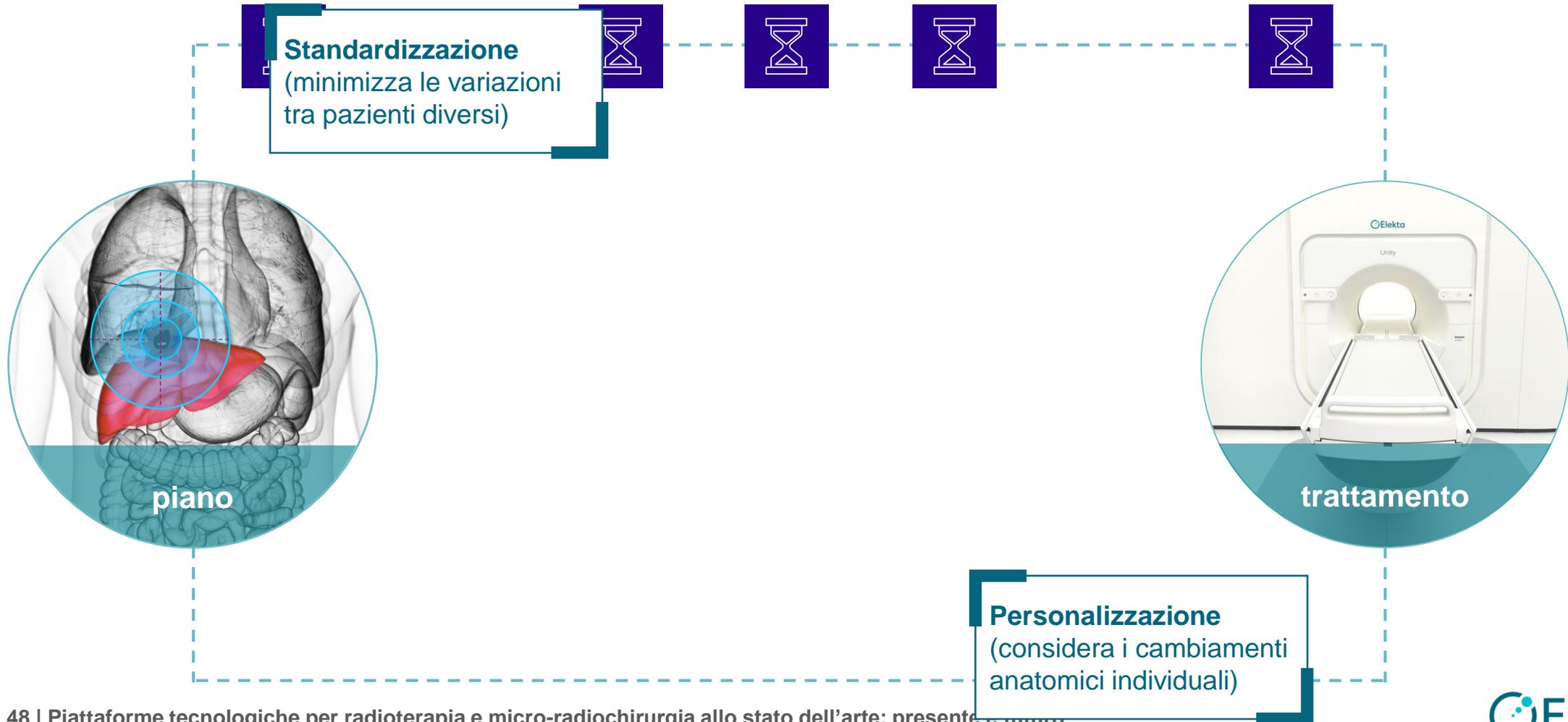
*“Delivery of a non-flattened beam with VMAT requires greater leaf velocity. The leaves need to move very quickly to manage the combination of modulation and high dose rates. Up until now, leaf speed has been the limiting factor. The full potential of Agility will be realised with flattening filter free delivery.”*

**Vivian Cosgrove, Ph.D., (2013)**

Head of Radiotherapy Physics at St. James’s Institute  
of Oncology,  
Leeds Teaching Hospitals NHS Trust, UK

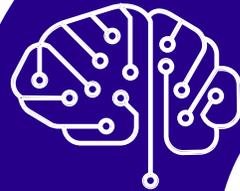
# Workflow ottimale

Standardizzazione e personalizzazione: necessari per le crescenti esigenze



# Perchè Monaco<sup>®</sup> 5.11? Accuratezza

**Biological  
Intelligence**



**Workflow  
Standardization**



Monaco<sup>®</sup>

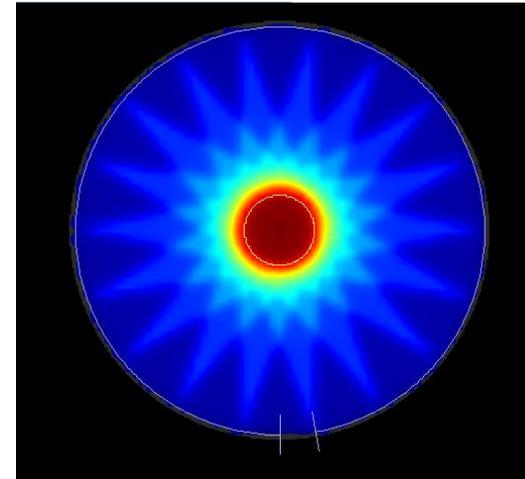


**Accuracy  
Assurance**

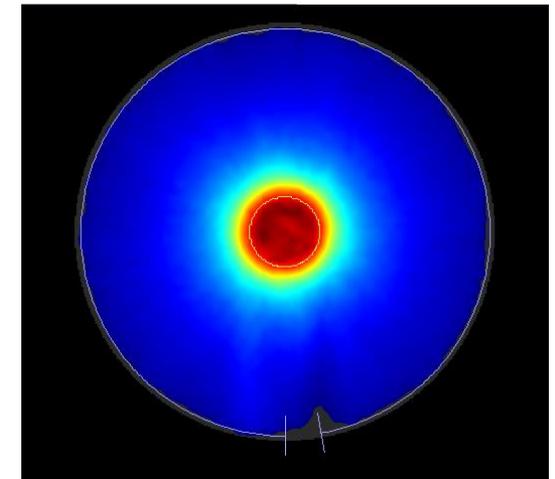
# Monaco<sup>®</sup> 5.11: massima accuratezza

Algoritmo Monte Carlo XVMC per il calcolo delle distribuzioni 3D della dose

- **Massima accuratezza**, soprattutto in vicinanza delle regioni di build-up (ad esempio, transizioni tessuto-osso oppure tessuto-aria).
- **Tempi di calcolo minimi**: versione 5.11 «speed release», multithreading su Dual Processor 14-core (28 cores in totale), memoria da 128 GB.
- L'utente definisce l' **incertezza statistica accettabile nel calcolo finale delle distribuzioni di dose** (definita nei target), **inversamente proporzionale al numero di «histories» distribuite in modo omogeneo.**



calcolo discontinuo in posizioni discrete e statiche del gantry nell'arco



calcolo Monte Carlo senza interruzione della continuità in tutto l'arco

# Monaco<sup>®</sup> 5.11, segmentazione MLC

Integrata nel calcolo finale della dose con algoritmo Monte Carlo XVMC

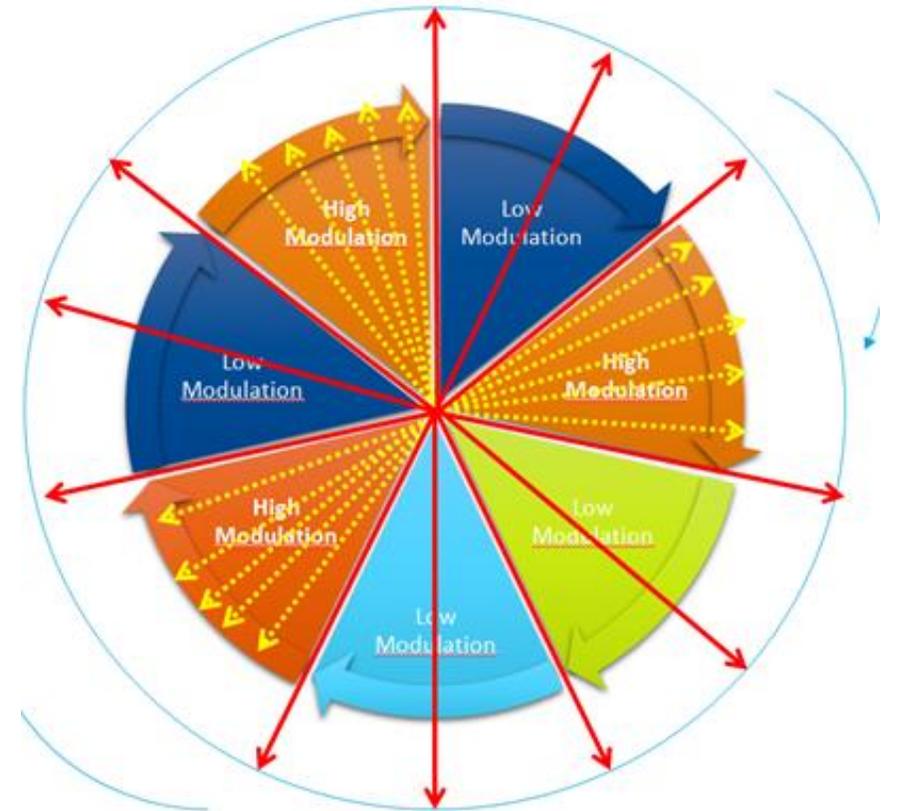
- **Efficace ed efficiente segmentazione MLC, integrata** nel secondo stadio d'ottimizzazione **con il calcolo finale della dose mediante algoritmo Monte Carlo.**
- **Diversi algoritmi di segmentazione («sequencer») MLC** specifici per le diverse tecniche di trattamento:
  - MSF-MLC (Multiple Static Field MLC) IMRT: **Static MLC sequencer**
  - DMLC (Dynamic MLC) IMRT: **Dynamic MLC sequencer**
  - VMAT: **VMAT sequencer**



# Monaco<sup>®</sup> 5.11, segmentazione MLC

Integrata nel calcolo finale della dose con algoritmo Monte Carlo XVMC

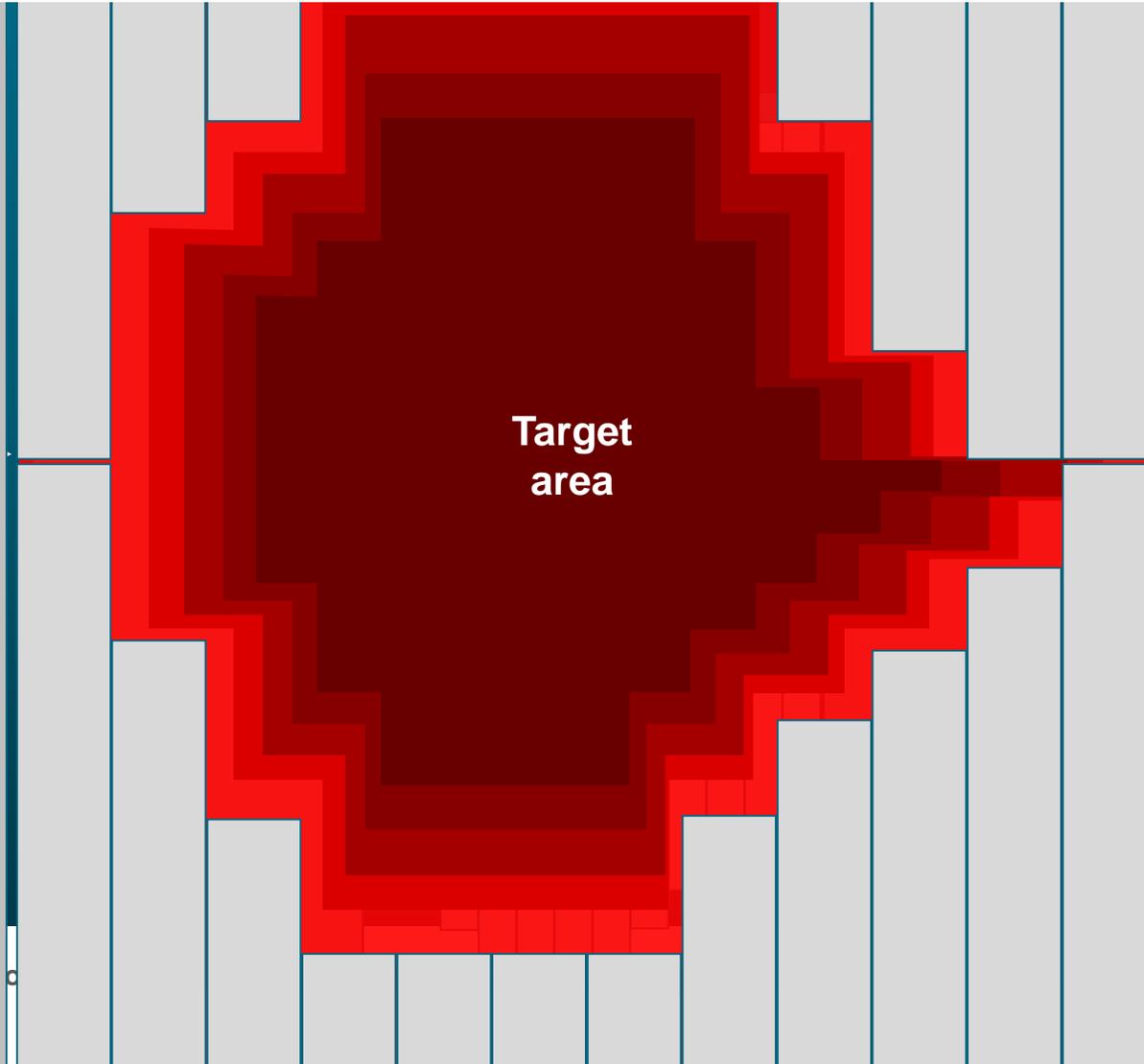
- I MLC sequencer di Monaco<sup>®</sup> non sono limitati dal n° di segmenti (Control Points, CPs) nè dal n° di segmenti per ° di rotazione del gantry (VMAT).
- In VMAT, il sequencer di Monaco<sup>®</sup> usa in modo automatico ed intelligente sia **Static MLC sequencer** (bassa modulazione, -CPs), sia **Dynamic MLC sequencer** (alta modulazione: +CPs).
- Monaco<sup>®</sup> cerca sempre di usare il numero minimo necessario di CPs, inferiore al massimo stabilito dall'utente (fino a **1024 CPs** nel caso di Elekta Integrity<sup>™</sup>).
- Il n° di segmenti (CPs) necessari riflette la complessità del piano.



# Monaco<sup>®</sup> 5.11: massima accuratezza

Steps MLC e jaws da 1 mm: trattare targets < lamelle con gradienti SRS ripidi!

Leaf  
movement  
precision

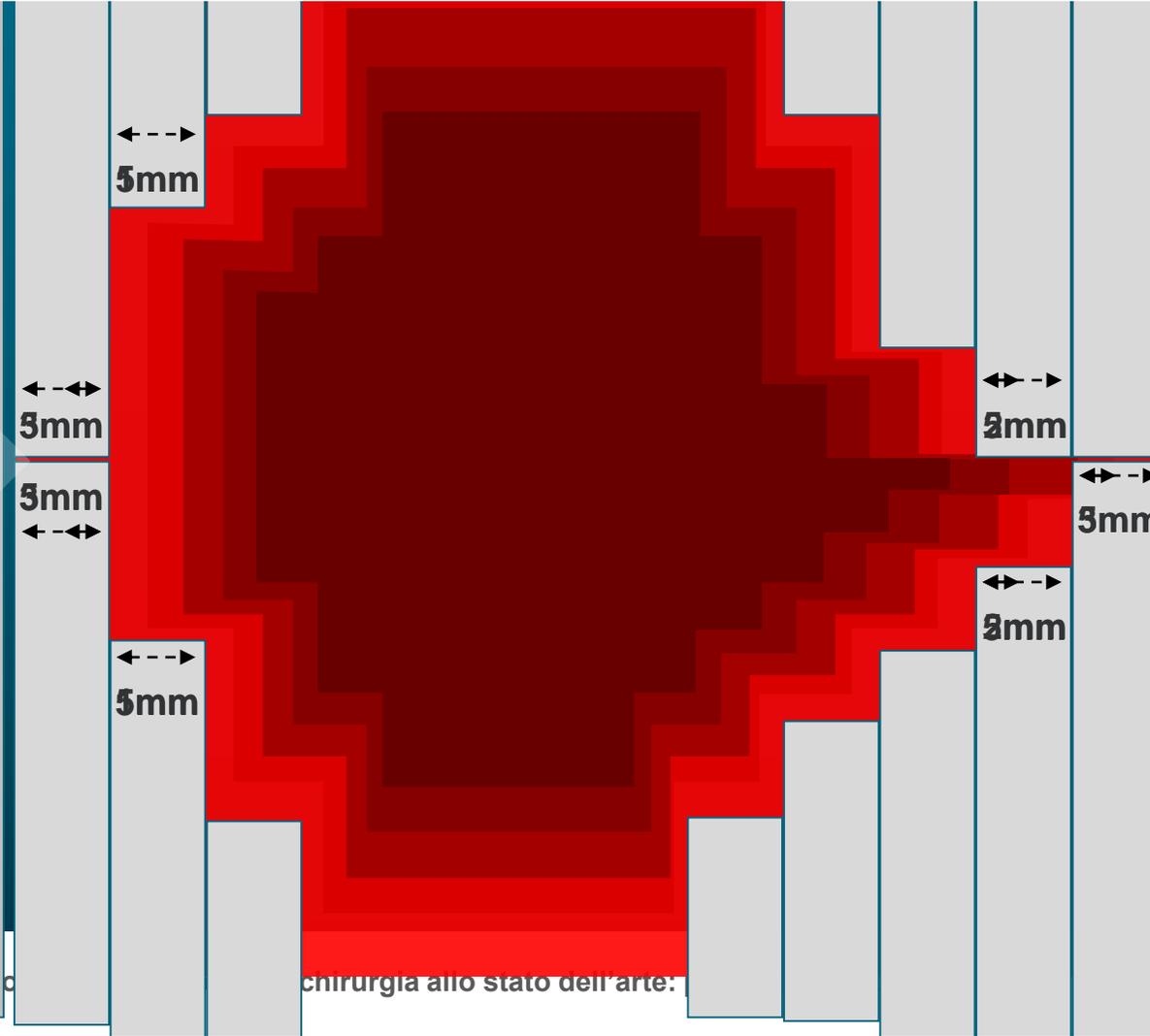


Leaf  
movement  
precision

# Monaco<sup>®</sup> 5.11: massima accuratezza

Steps MLC e jaws da 1 mm: trattare targets < lamelle con gradienti SRS ripidi!

Incremental changes  
from leaf width 5 mm  
down to 1 mm



Allows target area  
to be recalibrated

# Elekta HDRS

Trattare metastasi multiple (n° 14) piccole (0,03 cc)

Feasibility study of a single isocenter, non-coplanar VMAT for multiple brain tumors

A clinical plan was used with a single isocenter for 14 brain metastases (0.03-0.71 cm<sup>3</sup>)

Improved stereotactic dose for targets smaller than the leaf thickness

Data courtesy of the Technical Report from Journal of Radiation Research 2014, pp 1-6  
Yoshio Iwai, Shuichi Ozawa, Tatsya Ageishi, Roberto Pellegrini and Kiyoshi Yoda

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4202300/>

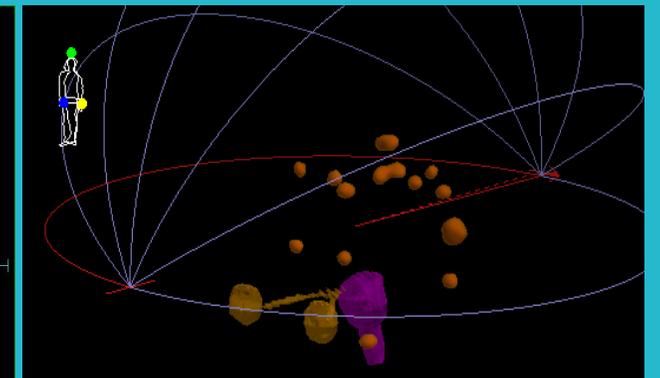
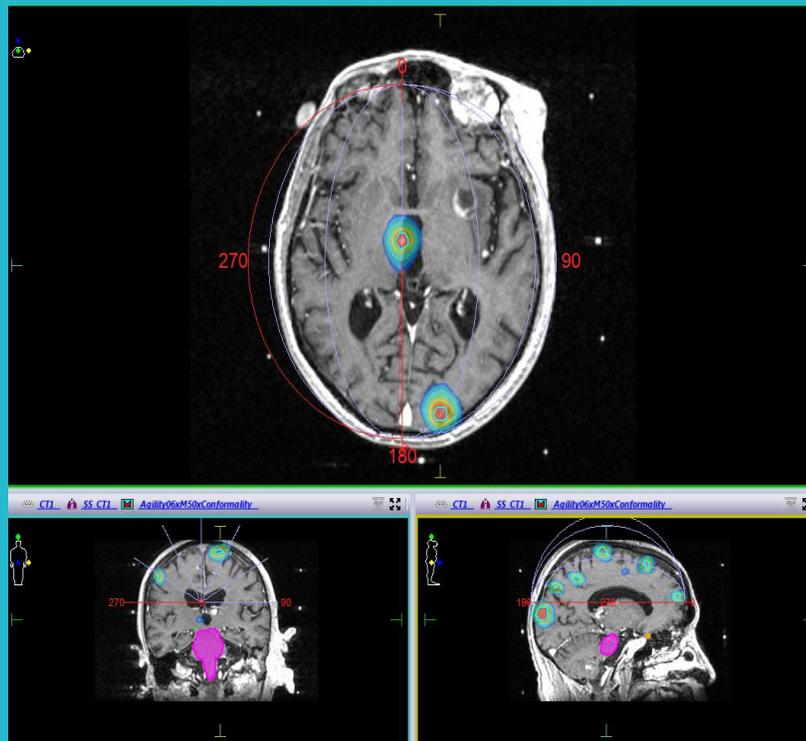
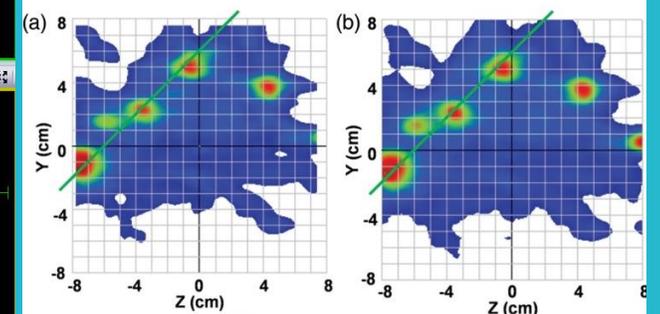


Fig. 5.

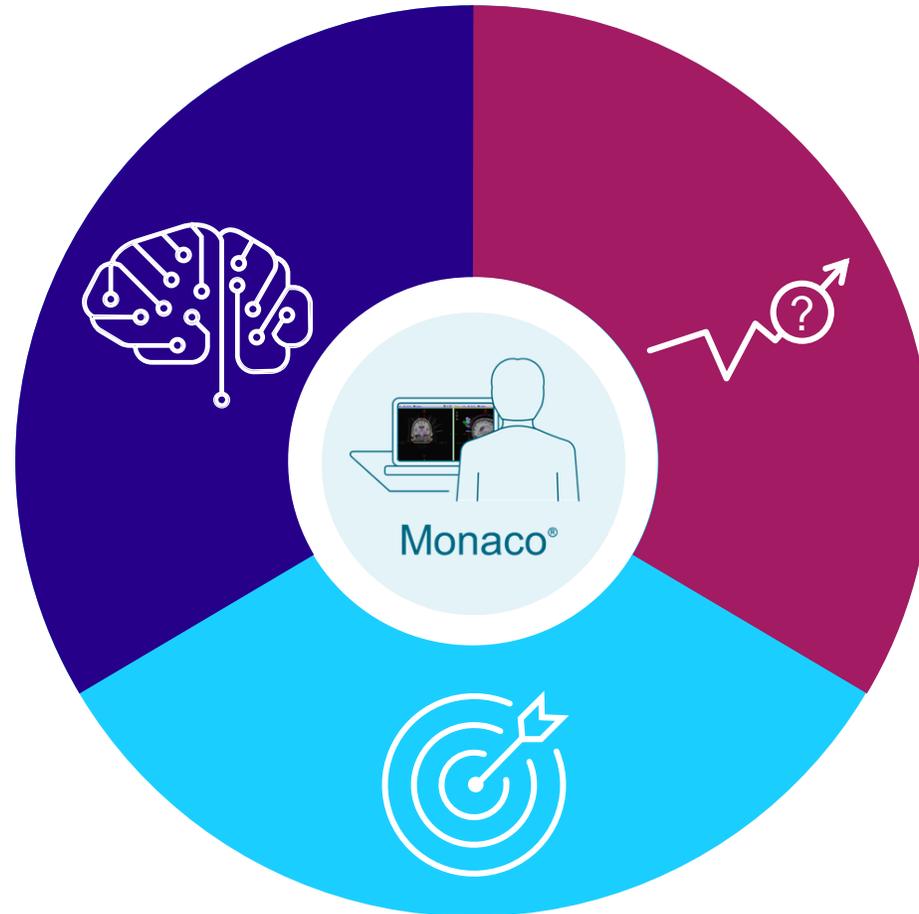


**Disclaimer:**

This case study is based on the experience and application of a medical expert, and is intended as an illustration of an innovative use of Elekta solutions. It is not intended to promote or exclude any particular treatment approach to the management of a condition. Any such approach should be determined by a qualified medical practitioner. It is important to note that radiation treatments, while usually beneficial, may cause side effects that vary depending on the clinical site being treated along with other medical circumstances. The most frequent side effects are typically temporary and may include, but are not limited to, skin redness and irritation, hair loss, respiratory, digestive, urinary or reproductive system irritation, rib, bone, joint or soft tissue (muscle) pain, fatigue, nausea and vomiting. In some patients, these side effects may be severe. Treatment sessions may also vary in frequency, complexity and duration. Finally, radiation treatments are not appropriate for all cancers, and their use along with the potential benefits and risks should be discussed before treatment.

# Perchè Monaco<sup>®</sup> 5.11? Radiobiologia

**Biological  
Intelligence**

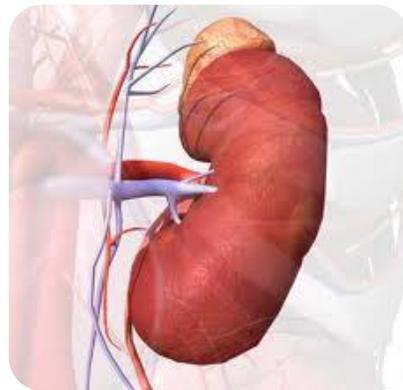


**Workflow  
Standardization**

**Accuracy  
Assurance**

# Monaco<sup>®</sup> 5.11, modelli radiobiologici integrati nel processo di ottimizzazione

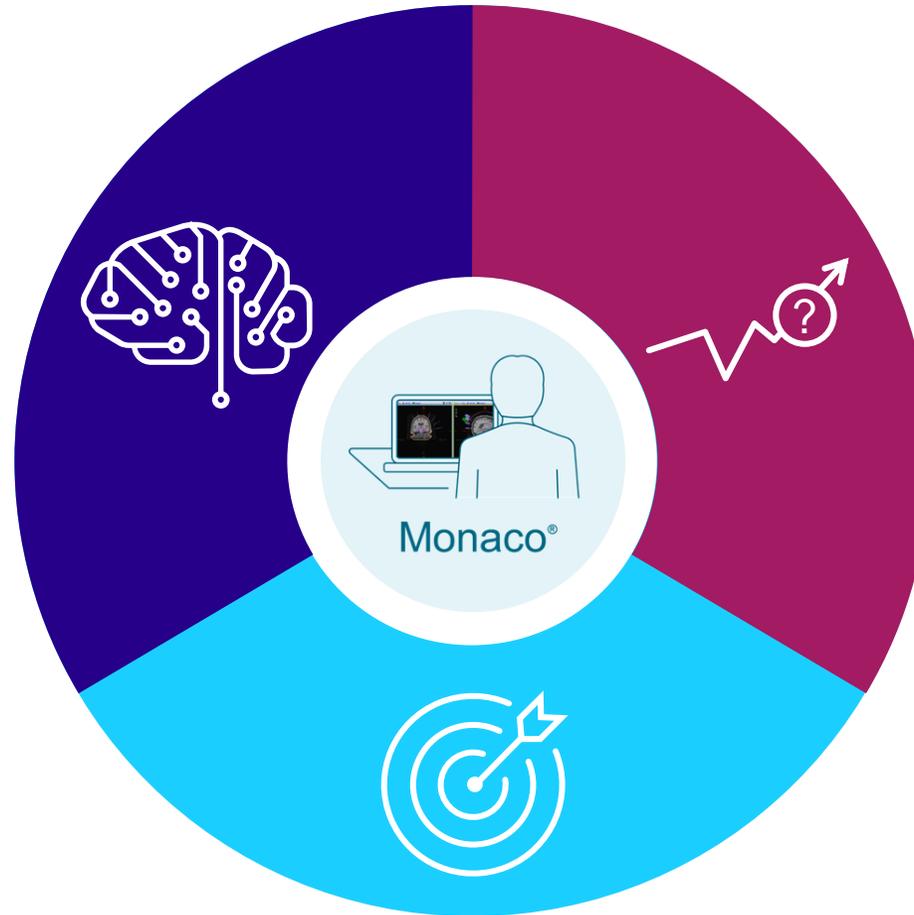
- **Modelli radiobiologici integrati nel processo di ottimizzazione**, per considerare le risposte dei **diversi tessuti** (**target**, **OAR seriali**, **OAR paralleli**) alla dose per frazione ed i diversi effetti volume.
- **Ottimizzazione radiobiologica e multicriteriale**: più efficace ed intuitiva per ottenere le migliori distribuzioni di dose, rispetto alle sole funzioni costo fisiche sui DVH (e singoli checkpoints).



# Perchè Monaco® 5.11?

## Standardizzazione del workflow

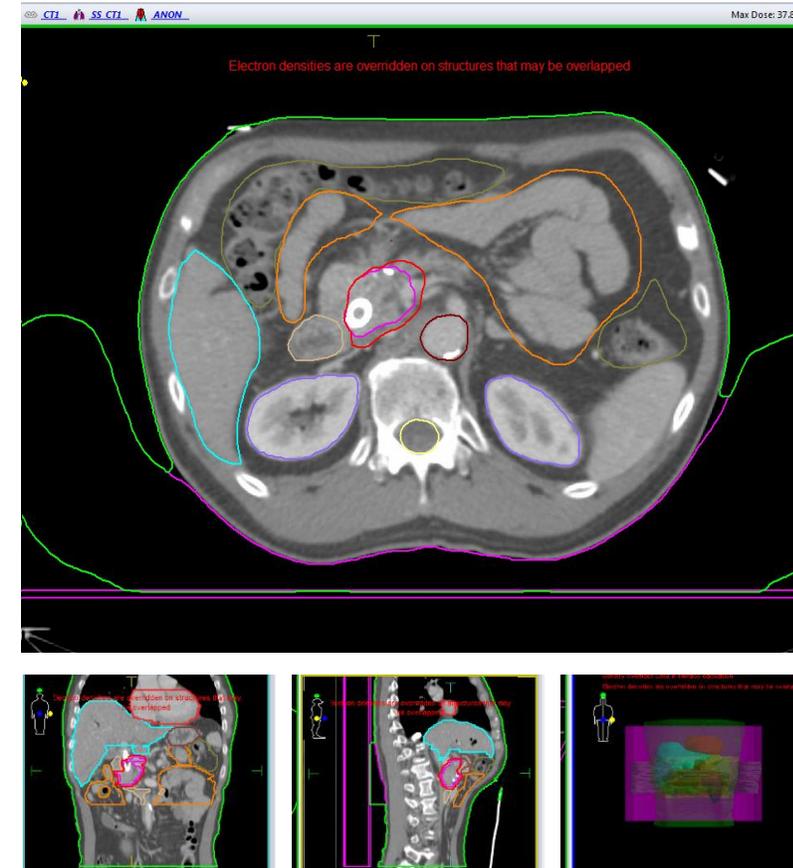
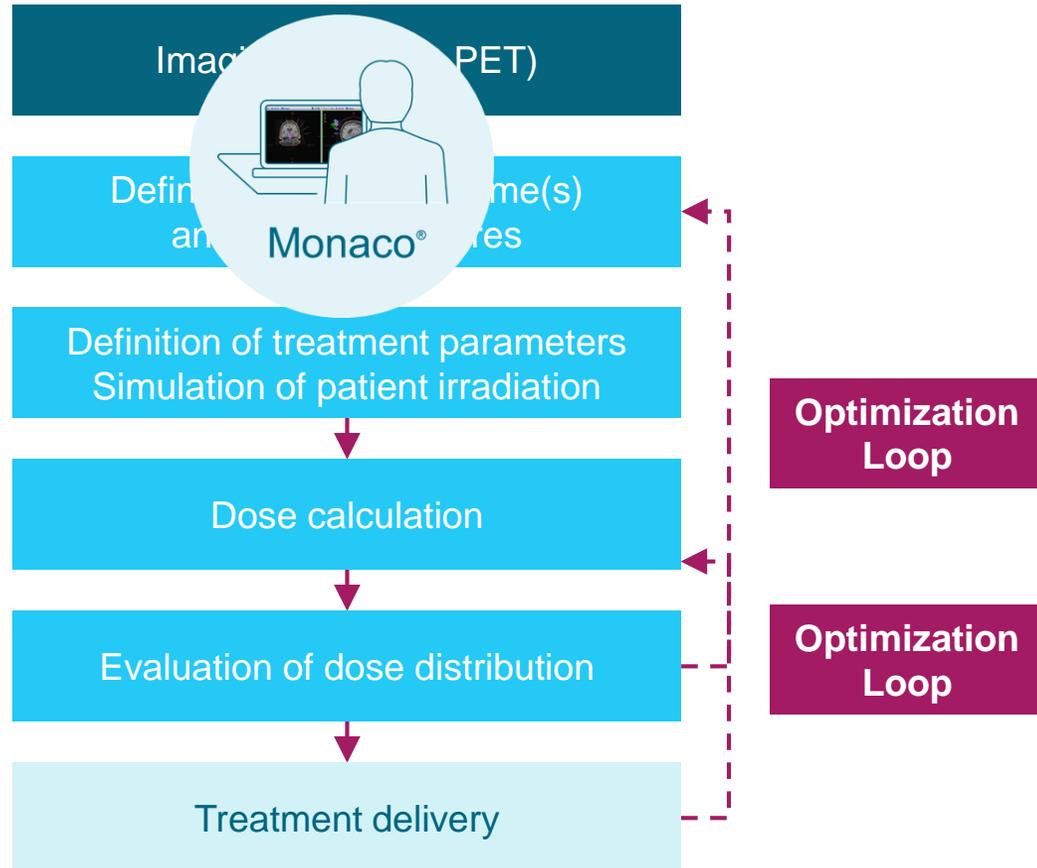
**Biological  
Intelligence**



**Workflow  
Standardization**

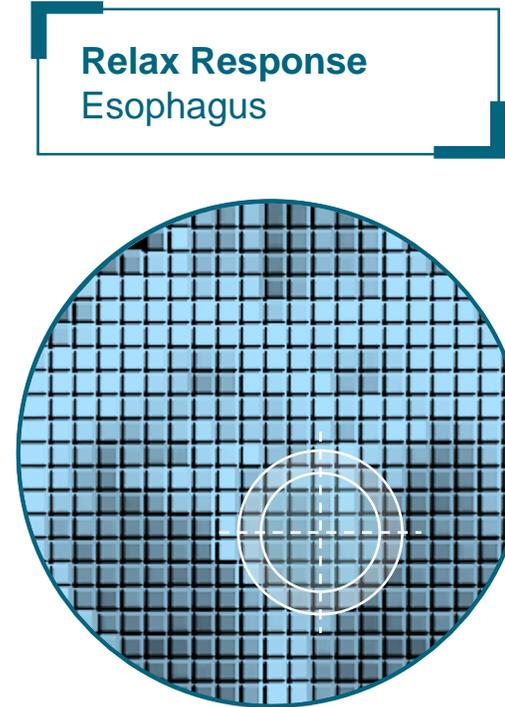
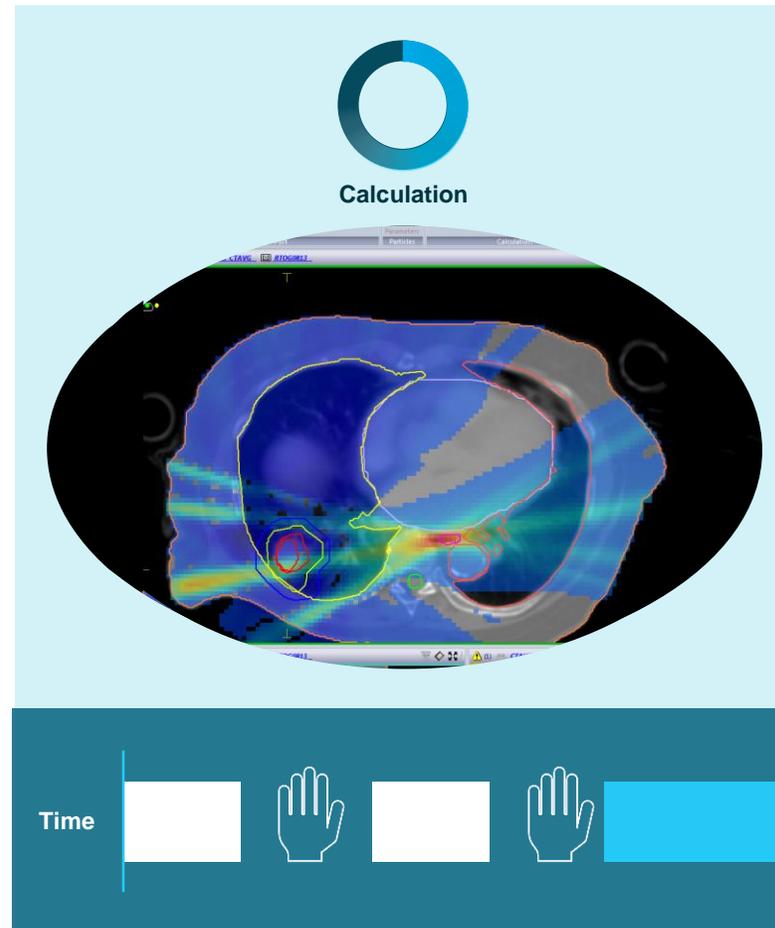
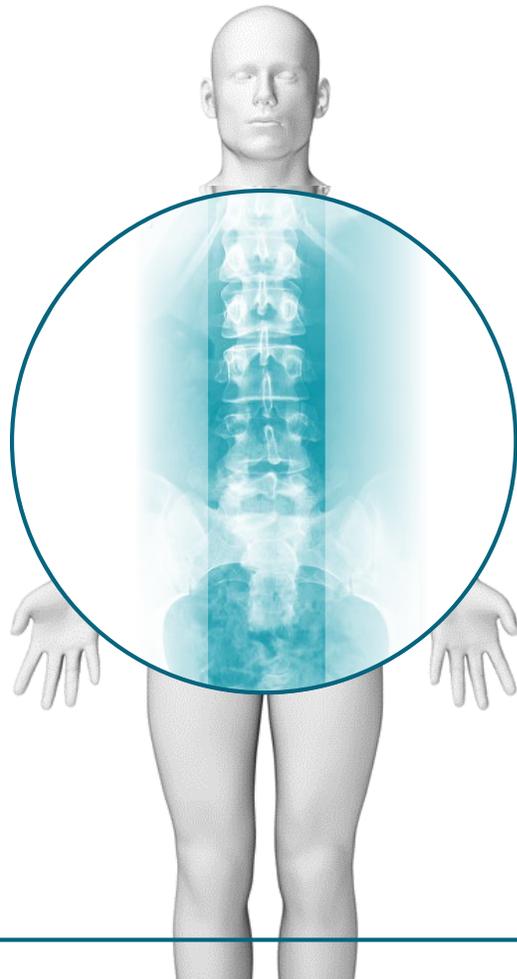
# Monaco<sup>®</sup> elimina le inefficienze

Riduzione del tempo di contornamento di circa il 70%



# Monaco<sup>®</sup> elimina le inefficienze

Le funzioni predittive consentono decisioni cliniche migliori e più rapide



Time

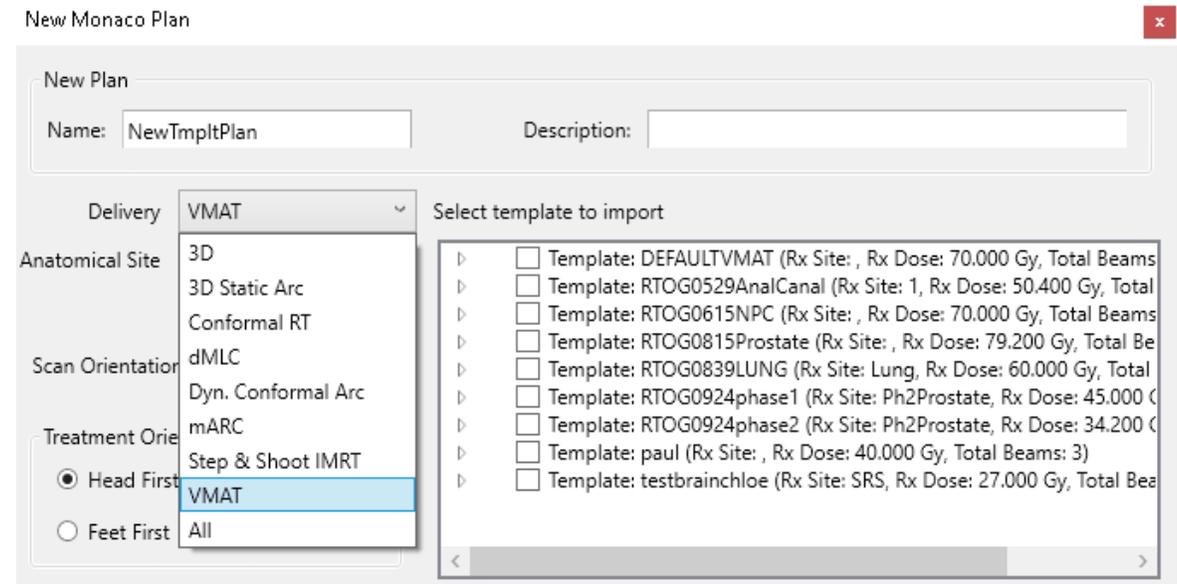


Value-added activities

# Monaco<sup>®</sup>: standardizzazione del workflow

Monaco<sup>®</sup> Templates portano standardizzazione ed efficienza (“class solutions”)

- **Monaco<sup>®</sup> Templates:** applicabili con successo a pazienti diversi, perché:
  - le funzioni costo radiobiologiche sono molto robuste (il modello seriale applicato all’organo retto di un paziente funziona in modo identico per un diverso paziente avente analoga patologia)
  - in questo contesto, le variazioni anatomiche non sono molto influenti
  - l’ottimizzazione «constrained» (basata su vincoli ed obiettivi) aggiunge robustezza



# Monaco<sup>®</sup>: standardizzazione del workflow

Monaco<sup>®</sup> Templates portano standardizzazione ed efficienza (“class solutions”)

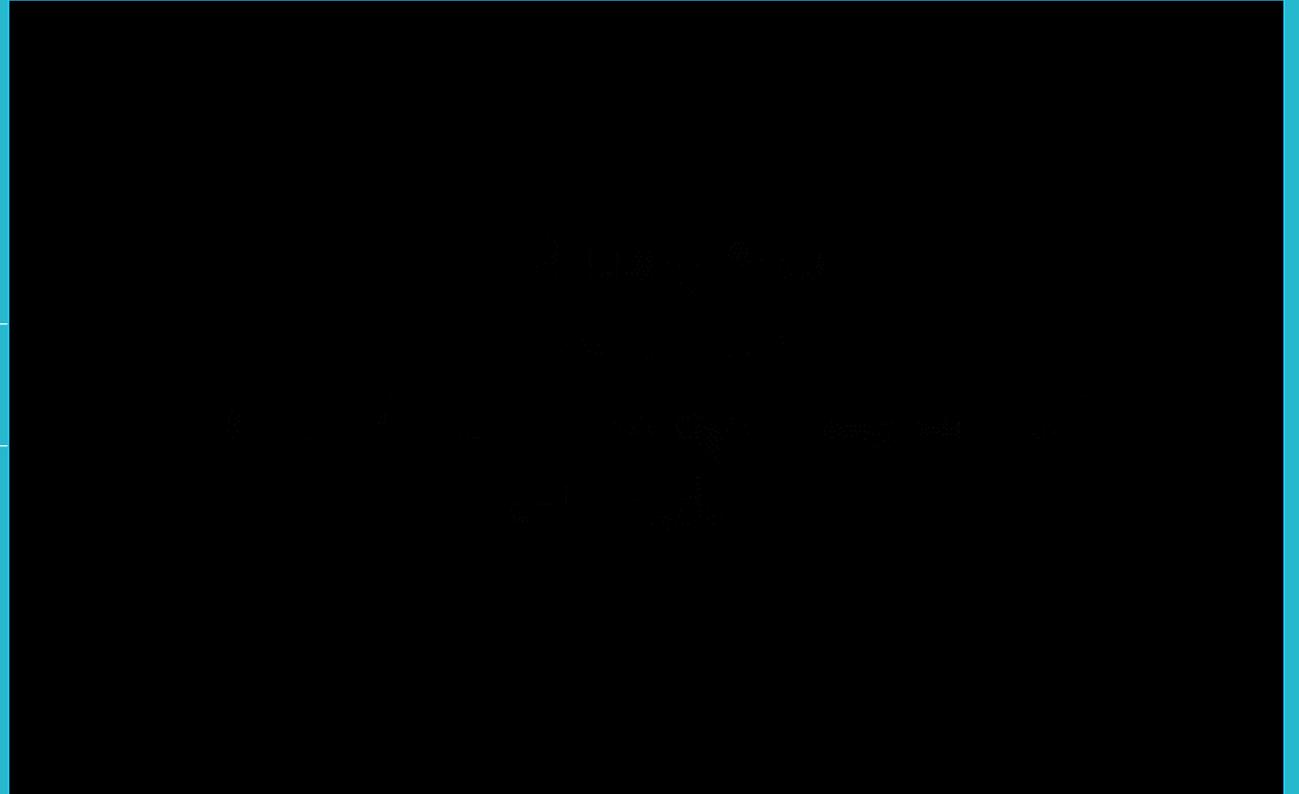
SBRT Lung

---

5 mouse clicks

---

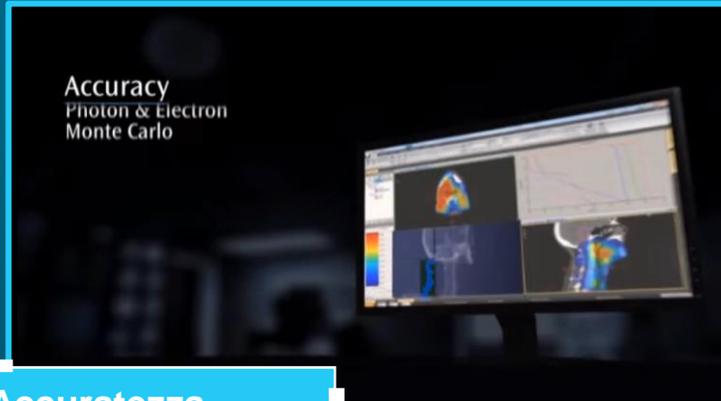
2' 42''



# Conclusioni

---

# Perchè HDRS = Versa HD™ + Monaco® 5.11 VMAT



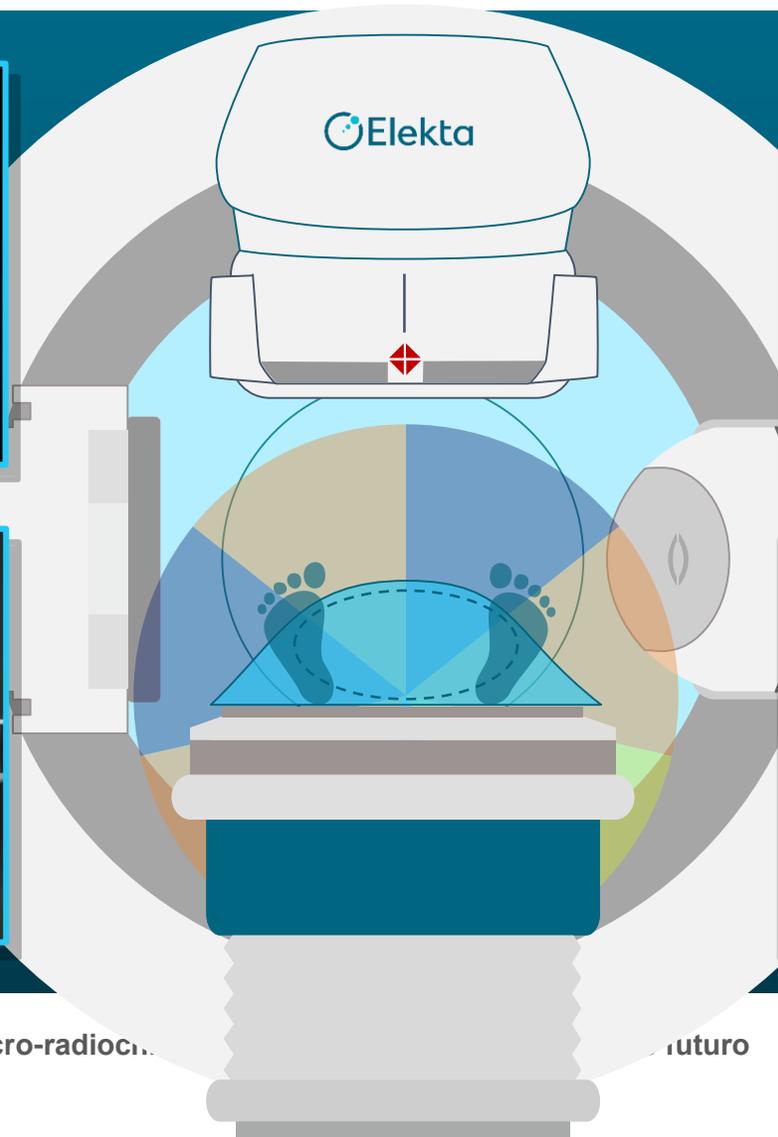
Accuratezza



HDRS



1024 CPs



# Elekta Portfolio

Posizionamento reciproco di LGK, MR/RT ed HDRS

