

Brachiterapia

Applicazioni della Fisica alla Medicina | Laurea Magistrale in Fisica
Università degli studi di Milano-Bicocca

INDICE DEGLI ARGOMENTI

- La brachiterapia
- Sorgenti ed apparecchiature per brachiterapia
- Tecniche di definizione dell'impianto

LA BRACHITERAPIA_{1/5}

La brachiterapia consiste nel trattamento radioterapico di bersagli di piccolo volume mediante posizionamento di sorgenti radioattive all'interno o in prossimità dei tessuti da irradiare.

Con questa tecnica è possibile somministrare dosi elevate al tumore con un limitato irraggiamento dei tessuti sani circostanti.

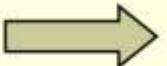
LA BRACHITERAPIA_{2/5}

Il principio fondamentale dell'utilità pratica della brachiterapia è:
in vicinanza di una sorgente puntiforme la fluenza del campo di radiazioni segue la 'legge' dell'inverso del quadrato della distanza.

La dose cala molto rapidamente all'aumentare della distanza dalla sorgente

Validità solo in prima approssimazione! Correzioni per

- attenuazione

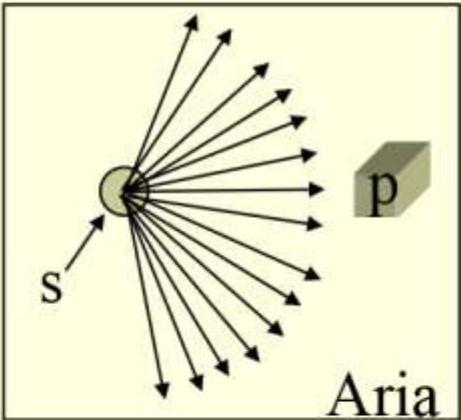


DISOMOGENEITA'

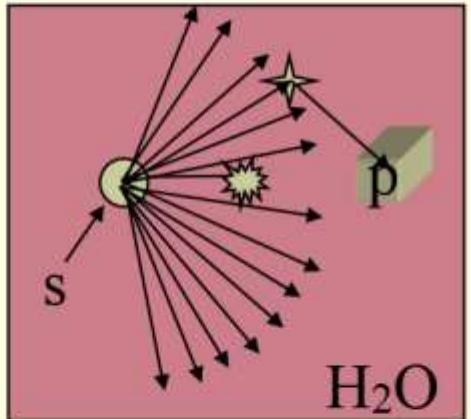
- diffusione

- forma, dimensioni, materiali della sorgente....

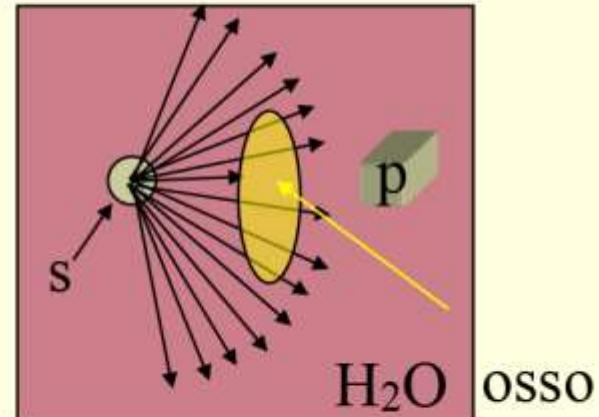
LA BRACHITERAPIA_{3/5}



$$D_p = \Phi_p * \mu_{en}/\rho * E;$$
$$\Phi_p = \Phi_0 * s/4\pi r^2$$



ATTENUAZIONE
DIFFUSIONE (S(d))



CORREZIONE
DISOMOGENEITÀ

LA BRACHITERAPIA_{4/5}

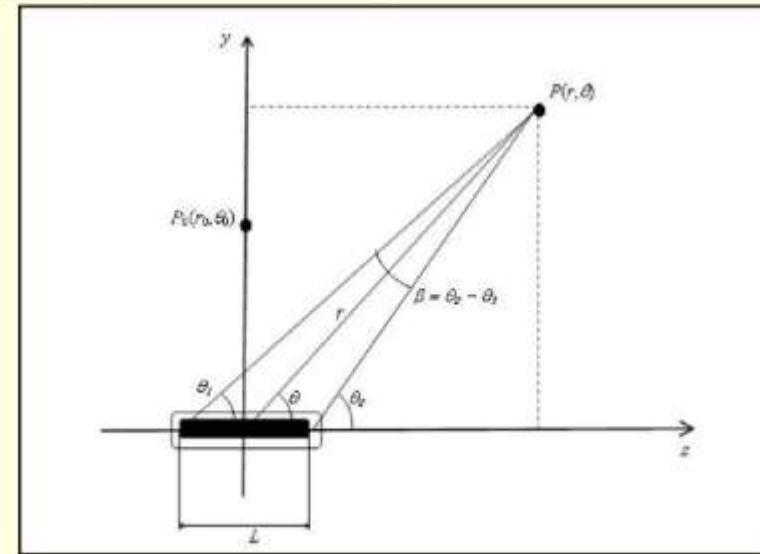
Calcolo della dose: formalismo AAPM TG 43

Il dose rate in un punto P di coordinate (r, θ) per una sorgente di lunghezza attiva L è dato dalla seguente relazione:

$$\dot{D}(r, \theta) = S_k \Lambda \frac{G(r, \theta)}{G(r_0, \theta_0)} F(r, \theta) g(r)$$

Dove:

- S_k è l'intensità di kerma in aria; descrive l'intensità della sorgente di brachiterapia ed è definito come il prodotto tra il rateo di kerma in aria alla distanza di calibrazione della sorgente e il quadrato della distanza $S_k = \dot{K}(d) \cdot d^2$ ($d = 1 \text{ m}$, $U = \text{cGy cm}^2 \text{h}^{-1}$)
- Λ è la costante di dose rate = dose rate in acqua a 1 cm di distanza per 1 U
- $G(r, \theta)$ è il fattore di geometria, descrive l'effetto della distribuzione spaziale dell'attività nel volume della sorgente sulla distribuzione di dose
- $g(r)$ è la funzione di dose radiale
- $F(r, \theta)$ è la funzione anisotropia



LA BRACHITERAPIA_{5/5}

Le caratteristiche di un bersaglio adatto alla brachiterapia dipendono dalla metodica brachiterapica, ma in generale esso deve:

- avere piccole dimensioni (minore di 100 cc)
- essere facilmente raggiungibile (ma non necessariamente: si può anche pensare ad un impianto intraoperatorio)
- avere forma regolare

TIPI DI BRACHITERAPIA_{1/6}

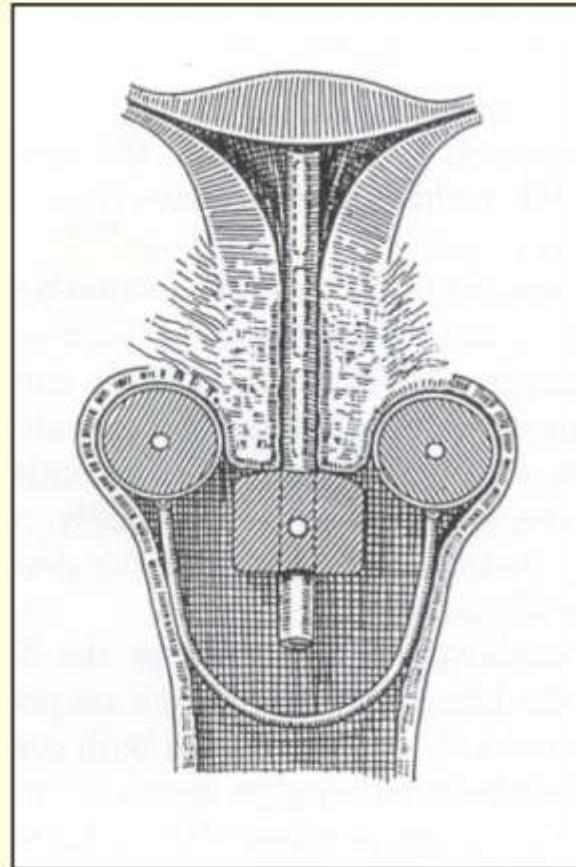
CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA TECNICA DI INFISSIONE

- BT ENDOCAVITARIA: utero, vagina, retto
- BT ENDOLUMINALE: esofago, bronco, trachea
- BT INTERSTIZIALE: mammella/parete toracica, testa-collo, pancreas, parete laterale della vagina
- BT SUPERFICIALE: lesioni della pelle trattate con applicatori esterni (“mould”)

TIPI DI BRACHITERAPIA_{2/6}

BRACHITERAPIA ENDOCAVITARIA:

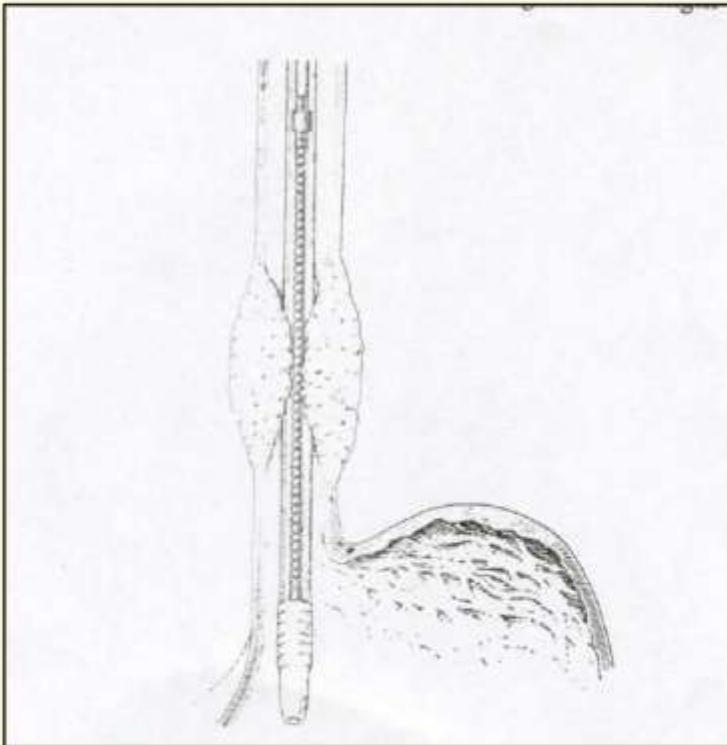
le sorgenti sono inserite, direttamente o entro opportuni cateteri, in cavità ‘naturali’ del corpo. Esempio: brachiterapia ginecologica (portio, utero, canale vaginale ecc..)



TIPI DI BRACHITERAPIA_{3/6}

BRACHITERAPIA ENDOLUMINALE:

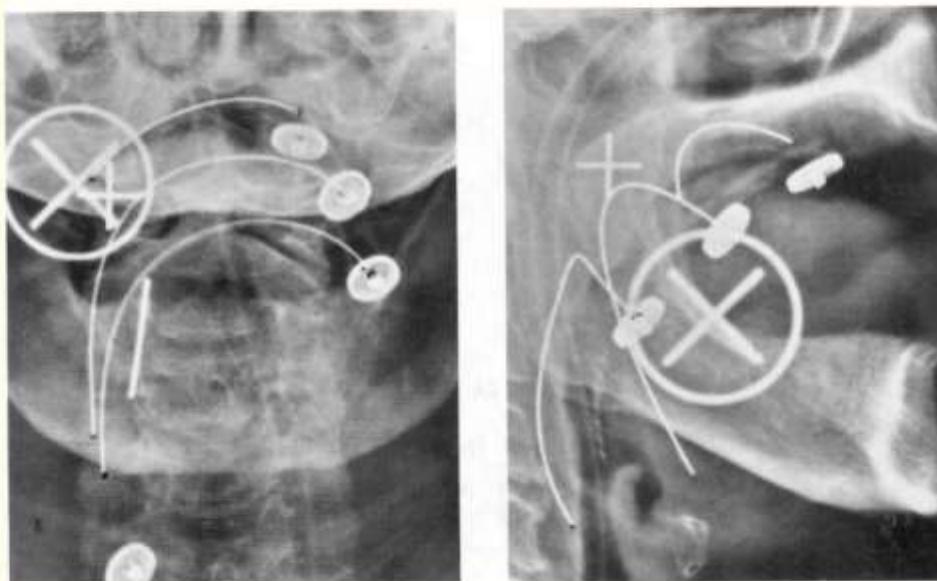
le sorgenti sono inserite, entro opportuni cateteri, in canali ‘luminali’ del corpo. Esempio: brachiterapia esofagea, bronchiale, rettale, endovasale.



TIPI DI BRACHITERAPIA_{4/6}

BRACHITERAPIA INTERSTIZIALE:

le sorgenti sono inserite, direttamente o entro opportuni cateteri, nel tessuto da irradiare. Esempio: lingua e palato, mammella, prostata



TIPI DI BRACHITERAPIA_{5/6}

BRACHITERAPIA SUPERFICIALE o di contatto: le sorgenti radioattive sono poste a livello della superficie cutanea sede di malattia.

La brachiterapia (HDR) per il cancro della pelle, fornisce un'opzione di trattamento alternativa alla chirurgia. Questo è particolarmente rilevante per i tumori al naso, orecchie, palpebre o labbra, dove la chirurgia può causare deformazione o richiedere una vasta ricostruzione.

Vari applicatori possono essere utilizzati al fine di garantire uno stretto contatto tra la sorgente di radiazione e la pelle, i quali si conformano alla curvatura della pelle e aiutano a garantire precisione nell'emissione della dose ottimale di irradiazione.

TIPI DI BRACHITERAPIA_{6/6}

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA TECNICA DI IRRAGGIAMENTO

In base al rateo di dose si divide la brachiterapia in 3 categorie:

- Low dose rate (LDR) per rateo di dose tra 0.4-2 Gy/h
- Medium dose rate (MDR) per rateo di dose tra 2-12 Gy/h
- High dose rate (HDR) per rateo di dose > 12 Gy/h

SORGENTI_{1/3}

La sorgente è costituita da un determinato radionuclide opportunamente sigillato.

Attualmente si usano radionuclidi prodotti artificialmente (¹³⁷Cs, ¹⁹²Ir, ¹²⁵I, ecc.).

| Isotopo | Decadimento | Energia | Utilizzo |
|-----------------------------------|-------------|---------|--|
| ¹³⁷ Cs | γ | 661 keV | Remote afterloading LDR |
| ¹⁹² Ir | γ | 397 keV | Fili LDR, remote afterloading HDR |
| ¹²⁵ I | γ | 25 keV | Semi per impianti permanenti |
| ⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y | β | 2.7 MeV | Endovasale |

SORGENTI_{2/3}

Si possono distinguere due tipi di sorgente:

- **sorgenti rigide**, generalmente di forma sferica o cilindrica
- **sorgenti deformabili**, fili sottili (diametro trascurabile rispetto alla lunghezza), spille, ecc.

Nell'uso clinico vengono inserite in applicatori di vario genere (guaine, supporti o placche) la cui disposizione geometrica dipende dal tipo di trattamento radioterapico scelto

SORGENTI_{3/3}

Le sorgenti possono essere costruite sotto forma di aghi, fili o semi.

- sorgenti puntiformi (sferiche e di dimensioni trascurabili, a emissione isotropa)
- semi (di piccole dimensioni, a simmetria generalmente cilindrica ed emissione non isotropa)
- sorgenti lineari (di diametro geometricamente trascurabile)
- sorgenti planari
- liquide.....

INSERIMENTO DELLE SORGENTI _{1/2}

-
- 1) **Manual loading**: le sorgenti vengono posizionate manualmente.

Esistono due possibilità di manual loading

loading diretto

Le sorgenti vengono messe direttamente senza fase preparatoria.

afterloading

L'impianto brachiterapico viene preparato con l'apposizione di cateteri in cui sono in seguito poste manualmente le sorgenti.

E' ovvio che queste metodiche hanno svantaggi radioprotezionistici sia per gli operatori che per i pazienti.

INSERIMENTO DELLE SORGENTI_{2/2}

- 2) remote afterloading: le sorgenti vengono veicolate da *apparecchiature programmabili* in cateteri preposizionati. Non è più necessario alcun intervento diretto sulle sorgenti a meno di emergenze. Esistono due tipi fondamentali di apparecchiature per remote afterloading: apparecchiature a *sorgenti fisse* e apparecchiature a *sorgenti mobili*. Le prime usano un certo numero di sorgenti, tutte uguali, che vengono posizionate in posizioni programmate entro gli applicatori e lì mantenute per tutto il tempo necessario. Le seconde usano una sola sorgente che viene fatta muovere negli applicatori e tenuta in ogni posizione programmata per il tempo necessario (tecnica detta *stepping source*)

ESEMPI DI APPLICATORI



Applicatore ginecologico schermato

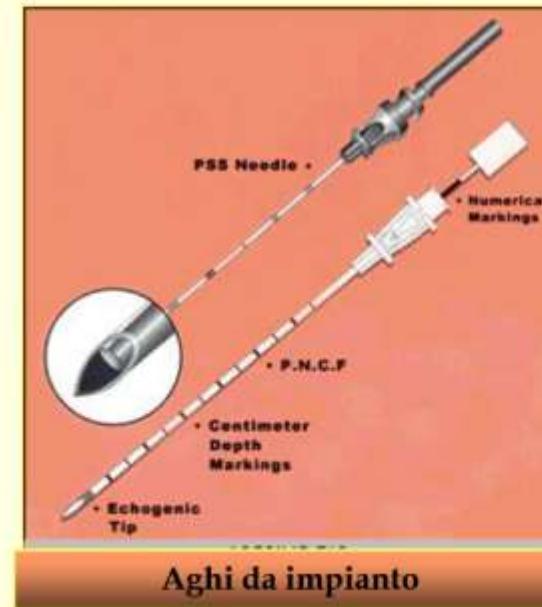


Applicatore per trattamenti esofagei



Applicatore per trattamenti della mammella

ESEMPI DI APPARECCHIATURE



Aghi da impianto

MODALITA' DI IMAGING PER LA PIANIFICAZIONE

La ricostruzione dei cateteri può essere eseguita in varie metodiche:

- fluoroscopia
- eco transaddominale
- eco transrettale
- CT
- MRI
- PET
- CT-PET

Scopo: definire tridimensionalmente le posizioni delle sorgenti o dei cateteri e dei punti di interesse clinico

ESEMPI DI DEFINIZIONE DEGLI IMPIANTI

1) BRACHITERAPIA GINECOLOGICA

- Vaginale
- Completa

2) BRACHITERAPIA PROSTATICA

- impianto temporaneo (HDR)
- impianto permanente (semi I-125 e Pd-103)

3) BRACHITERAPIA MAMMELLA (Partial Breast Irradiation PBI)

- BRT interstiziale
- Mammosite

BRACHITERAPIA GINECOLOGICA 1/10

La brachiterapia ginecologica è una terapia di contatto endocavitaria poiché sfrutta cavità naturali.

Gli applicatori delle sorgenti vengono inseriti a livello vaginale o vaginale e endouterino a seconda del distretto che si vuole irradiare.

Il caricamento degli applicatori avviene in remote afterloading
(HDR: Microselectron I-192, LDR: Selectron Cs-137)

Nel primo caso il trattamento radiante viene effettuato in un bunker schermato dove il dispositivo afterloading permette l'inserimento della singola sorgente nelle posizioni pianificate, nel secondo caso in apposite sale dedicate e appositamente schermate per consentire l'effettuazione del trattamento in regime di ricovero.

BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{2/10}

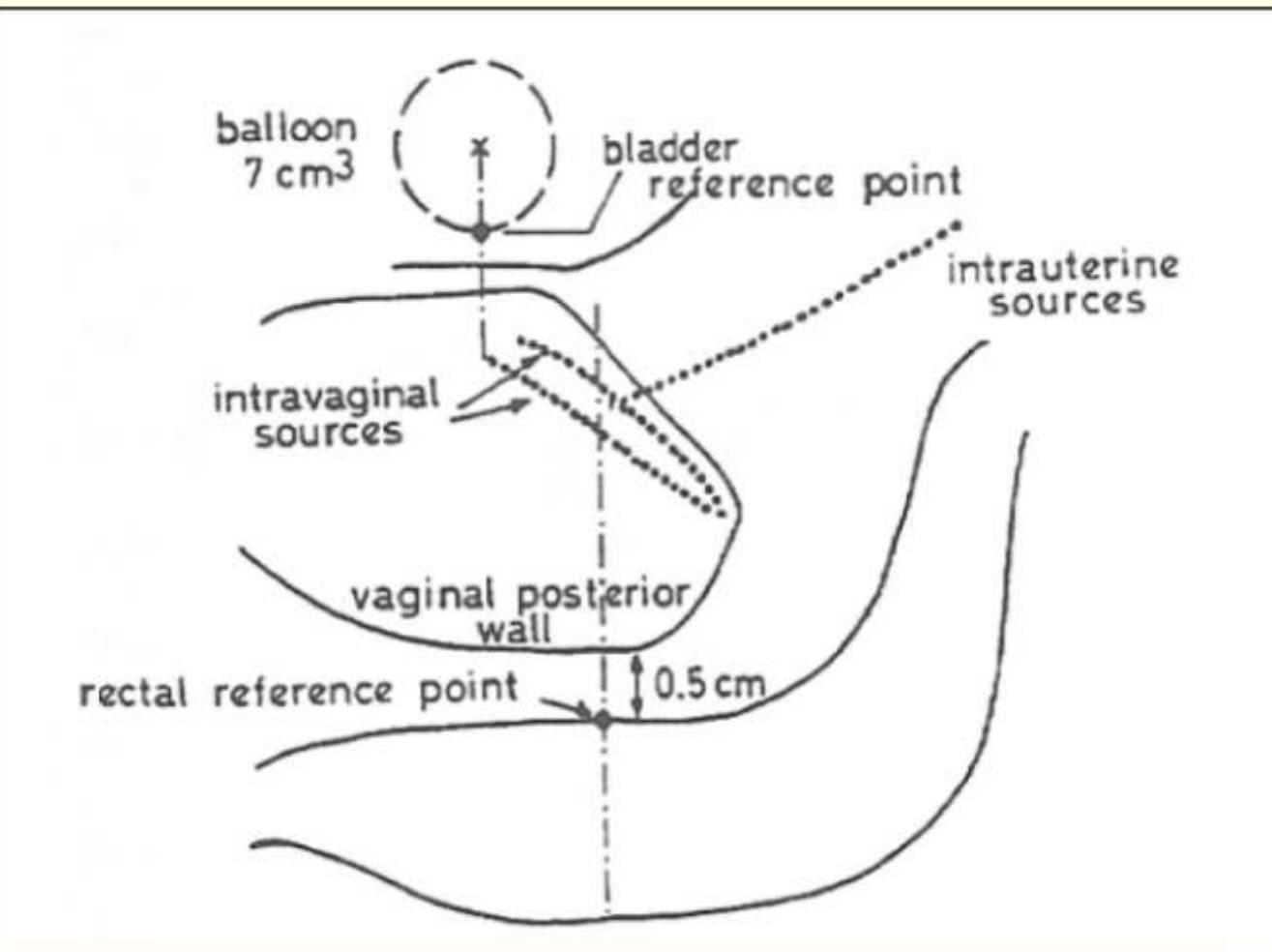
La prima fase della brachiterapia consiste nel posizionamento di un applicatore che simula un falso caricamento e l'acquisizione di immagini sulle quali vengono effettuati con appositi “software di brachiterapia” i calcoli della distribuzione di dose e dei tempi di trattamento dopo un’attenta ricostruzione dell’impianto predisposto.

Planning 2D: da radiogrammi acquisiti al simulatore degli applicatori vaginali con opportuni calcoli si ricava la distribuzione di dose.

Planning 3D: sulle immagini TC vengono ricostruiti gli applicatori e ottimizzata la distribuzione di dose

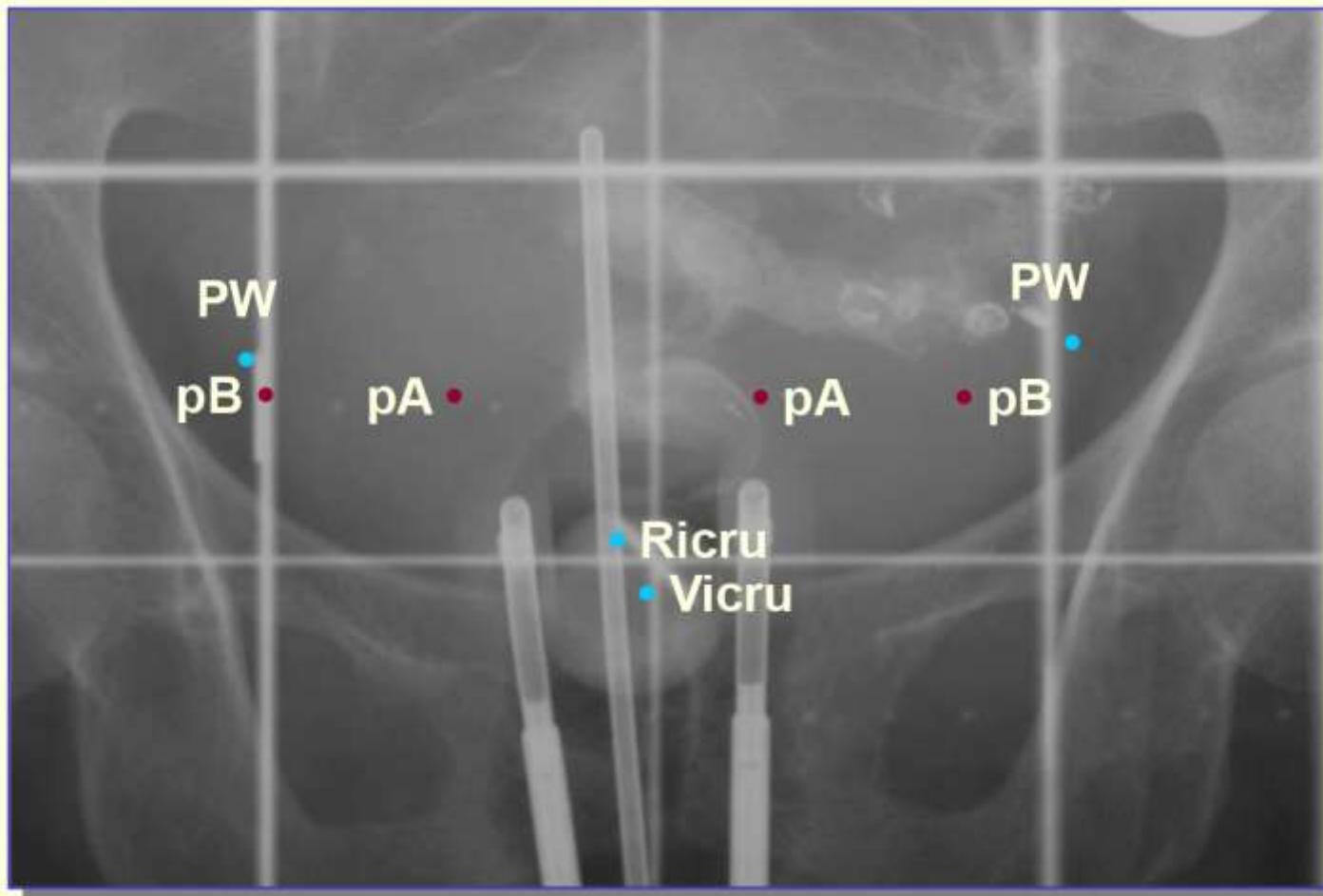
BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{3/10}

ICRU Report n°38 (1985), punti di riferimento



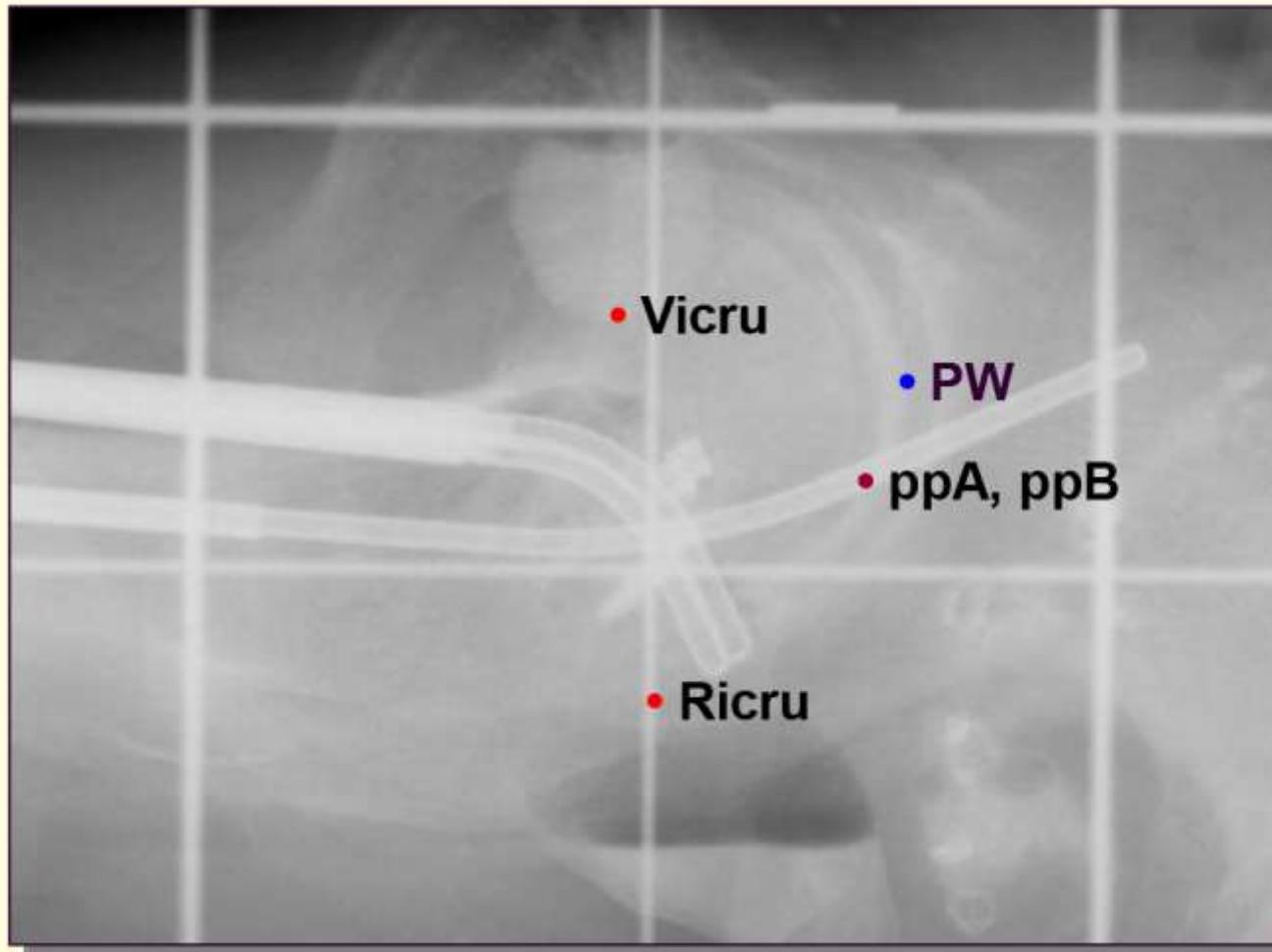
BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{4/10}

Planning 2D, coppia di radiogrammi in proiezione ortogonale



BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{5/10}

Planning 2D, coppia di radiogrammi in proiezione ortogonale



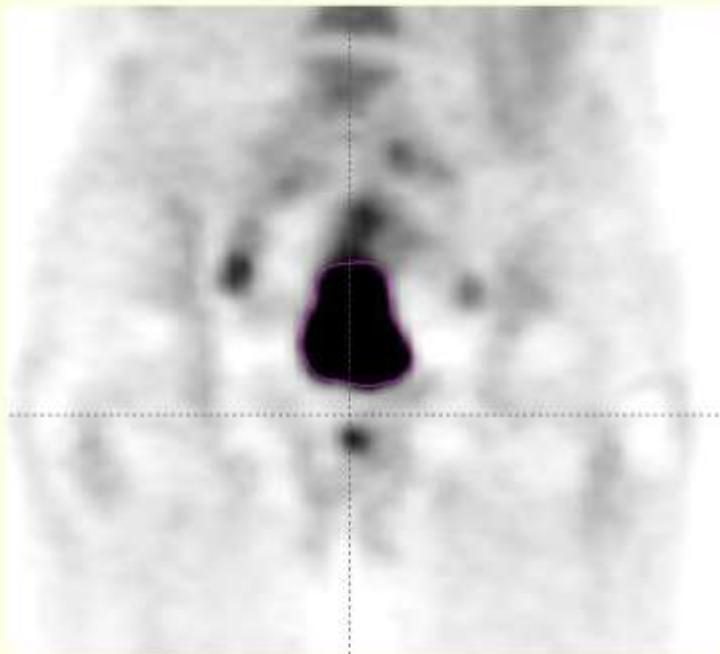
BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{6/10}

Planning 3D su immagini

- definizione dei VOI (target, retto, vescica...)
 - ottimizzazione (BRT conformazionale)
- 
- dose escalation sul tumore (maggior controllo locale)
 - dose minore ai tessuti sani (tossicità ridotta)

BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{7/10}

Planning 3D su immagini (TC-PET)



Definizione BTV, CTV

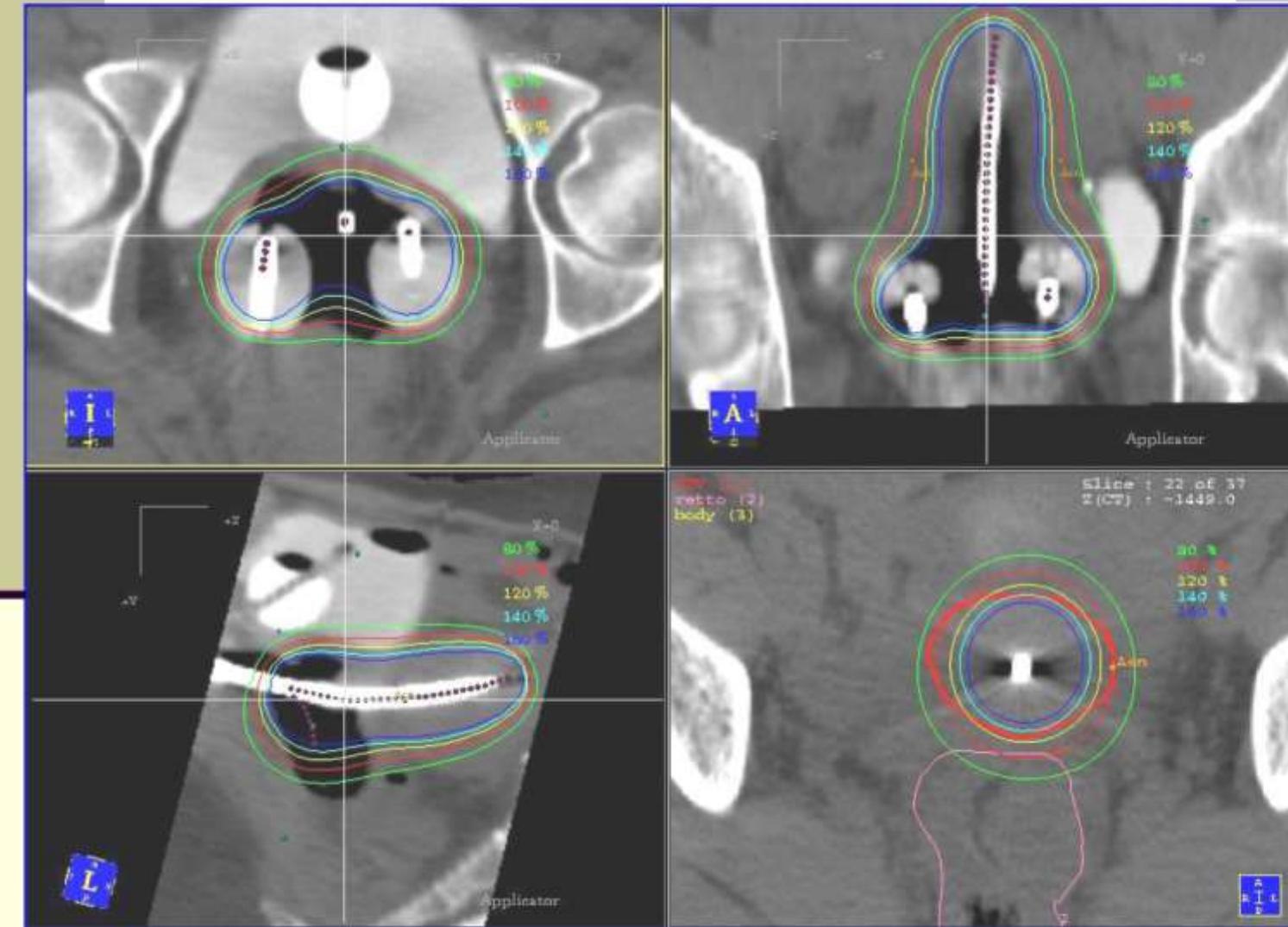
BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{8/10}

Planning 3D su immagini (TC – TPS PLATO v.....)



Ricostruzione dei cateteri, definizione OAR e CTV

BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{9/10}



Distribuzione di dose che produce la sorgente nei suoi passaggi attraverso l'applicatore sia a livello vaginale sia a livello endouterino (la sorgente è raffigurata dai pallini colorati lungo il percorso degli applicatori)

BRACHITERAPIA GINECOLOGICA_{9/10}

Recommendations for recording and reporting 3D gynaecological brachytherapy

Complete description of clinical situation including anatomy and pathology and imaging examination dimensions and volume of GTV at diagnosis and at time of brachytherapy dimensions and volumes of HR CTV and IR CTV, respectively Complete description of 3D sectional imaging technique and contouring procedure

Complete description of brachytherapy technique radionuclide; source type (wire, stepping source); source strength; applicator type; type of afterloading (manual or remote); description of additional interstitial needles if any Treatment prescription and treatment planning applicator reconstruction technique, standard loading pattern, dose specification method; optimisation method, if applied Prescribed dose

Total Reference Air Kerma (TRAK)

Dose at point A (right, left, mean)

D₁₀₀, D₉₀ for GTV and HR CTV and IR CTV, respectively

Dose to bladder and rectum for ICRU reference points

D_{0.1cc}, D_{1cc}, D_{2cc} for organs at risk (e.g. rectum, sigmoid, bladder) (vagina*)

D_{5cc}, D_{10cc} for organs at risk if contouring of organ walls is performed

Complete description of time-dose pattern: physical and biologically weighted doses ($\alpha/\beta = 10$ Gy for GTV and CTV; $\alpha/\beta = 3$ Gy for OAR; $T_{1/2} = 1.5$ h for GTV, CTV and OAR)

Recording e Reporting

BRACHITERAPIA PROSTATICA 1/8

TIPO DI IMPIANTO:

- a) Temporaneo (HDR, Ir-192)
- b) Permanente (*semi I-125, Pd-103*)



BRACHITERAPIA PROSTATICA_{2/8}

IMPIANTO TEMPORANEO

- Con questa tecnica la sorgente radioattiva viene temporaneamente portata all'interno della ghiandola prostatica attraverso sottili cateteri.
- Ecografia transrettale per stabilire il n° e le posizioni dei cateteri.
- Infissione dei cateteri sotto guida ecografica
- TC del distretto pelvico per la definizione di CTV, OAR e piano di trattamento

BRACHITERAPIA PROSTATICA_{3/8}

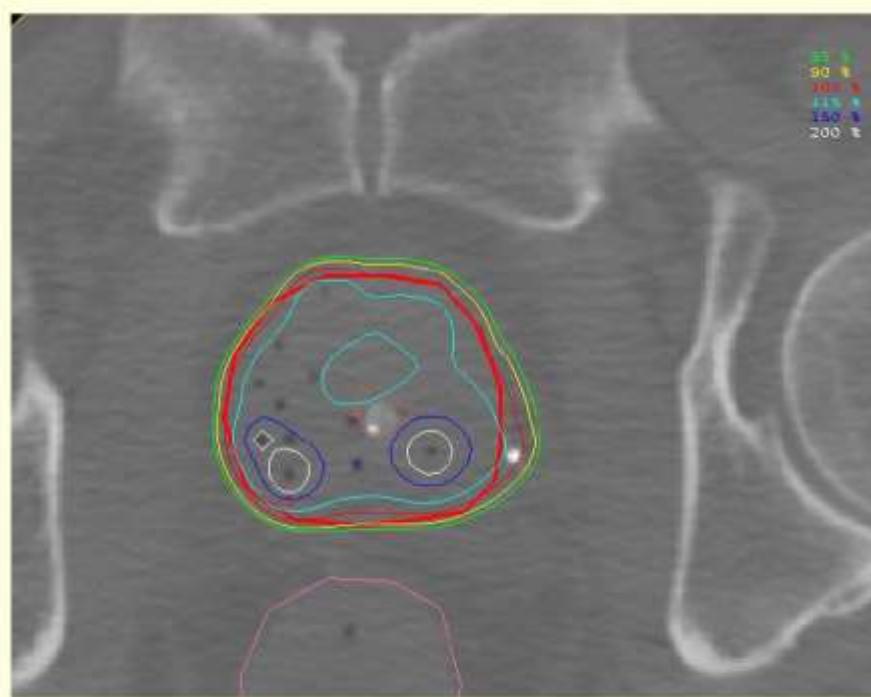
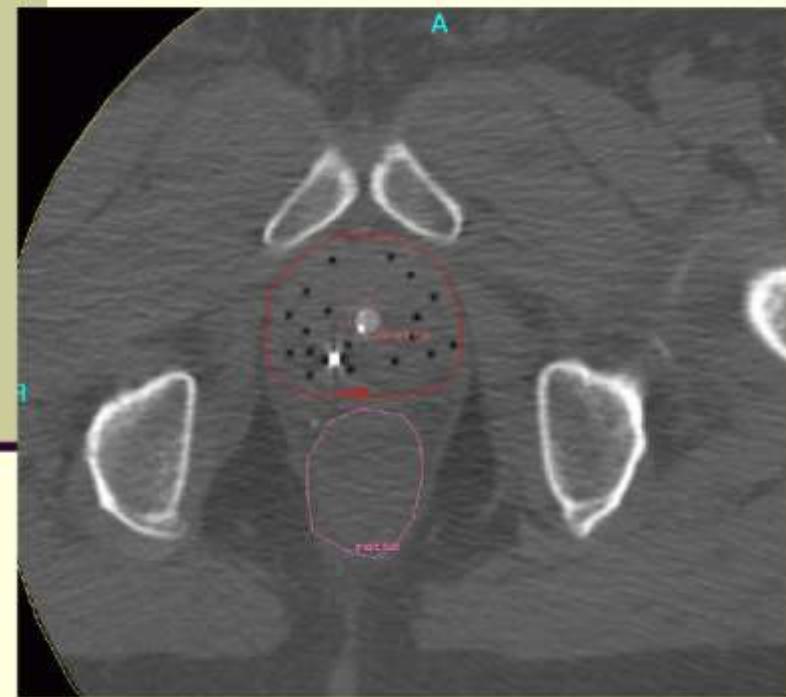
IMPIANTO TEMPORANEO

- L'utilizzo di radioisotopi per la brachiterapia temporanea è attualmente limitato all'Ir-192 ad alto rateo di dose (HDR)
- Il trattamento radiante viene effettuato in un bunker schermato dove il dispositivo afterloading permette l'inserimento della singola sorgente nelle posizioni pianificate
- N° variabile di sedute 1-8 ad intervalli settimanali in eventuale associazione alla radioterapia esterna

BRACHITERAPIA PROSTATICA 4/8

IMPIANTO TEMPORANEO

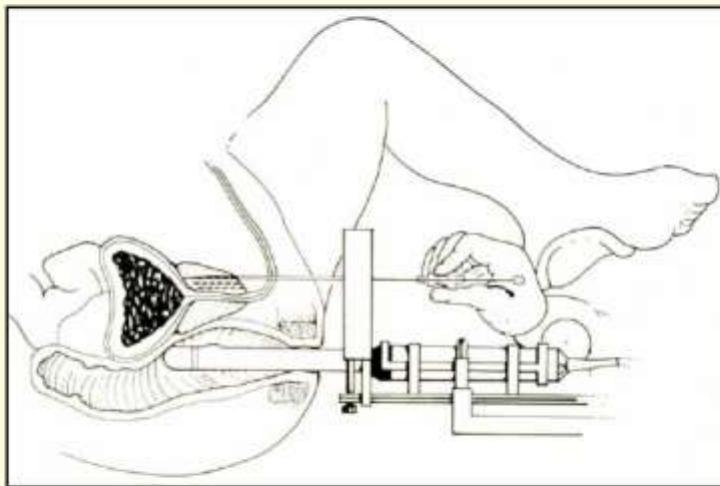
Ricostruzione e pianificazione, immagini TC (CTV, retto, uretra)



BRACHITERAPIA PROSTATICA_{5/8}

IMPIANTO PERMANENTE

E' una forma di radioterapia in cui le piccole capsule ("semi" della dimensione di un chicco di riso) contenenti sorgenti radioattive vengono impiantate nella prostata sotto guida ecografica. (seduta operatoria ~ 90 min.)



I semi vengono posizionati nella prostata mediante aghi infissi per via transperineale.

La sonda ecografica e gli aghi vengono estratti al termine della procedura

BRACHITERAPIA PROSTATICA 6/8

IMPIANTO PERMANENTE

Ciascun seme rilascia continuamente una piccola quantità di energia radiante ad una limitata porzione di tessuto prostatico: ciò consente di trattare il tumore con una dose di radiazioni estremamente elevata senza danneggiare le strutture adiacenti. Dopo alcune settimane i “semi” avranno rilasciato la maggior parte della loro energia e resteranno nella prostata in forma non più attiva senza essere percepiti dal paziente.

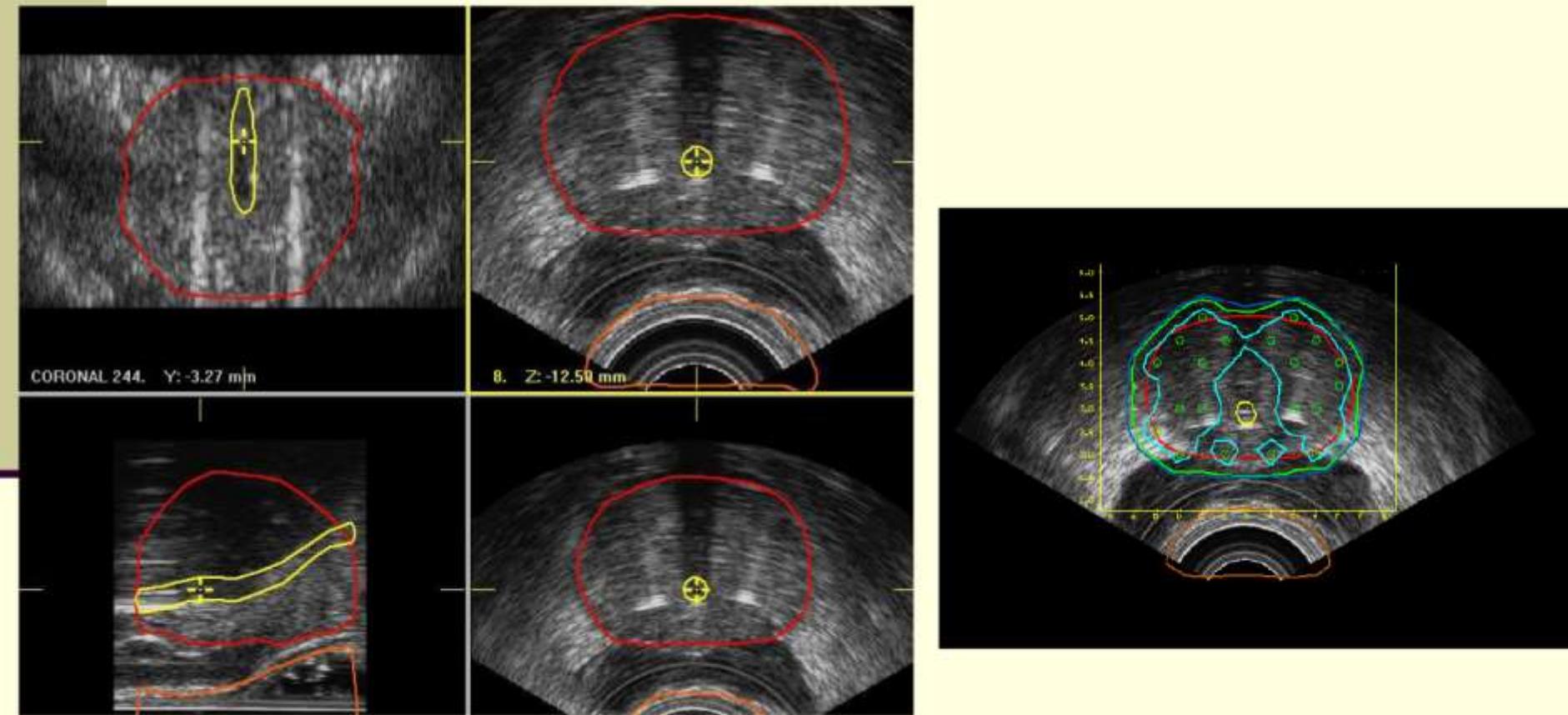
BRACHITERAPIA PROSTATICA 7/8

IMPIANTO PERMANENTE: FASI DELLA PROCEDURA

- 1) **STUDIO VOLUMETRICO**: su immagini ecografiche transrettali per la definizione di CTV, uretra e retto
- 2) **PIANIFICAZIONE DEL TRATTAMENTO**: studio volumetrico per la determinazione del n° di sorgenti e della loro distribuzione geometrica per ottenere la copertura dosimetrica desiderata (pre-plan)
- 3) **IMPIANTO**: viene effettuato in anestesia sotto guida transrettale per l'infissione delle sorgenti nelle posizioni pianificate
- 4) **DOSIMETRIA POST IMPIANTO**: TC post-impianto per la valutazione della dose realmente rilasciata

BRACHITERAPIA PROSTATICA 8/8

Ricostruzione e pianificazione, immagini US (CTV, retto, uretra)



PARTIAL BREAST IRRADIATION_{1/4}

RT alla cavità chirurgica dopo intervento conservativo, con tecniche di brachiterapia

BRT

- Interstiziale

- Mammosite

PARTIAL BREAST IRRADIATION_{2/4}

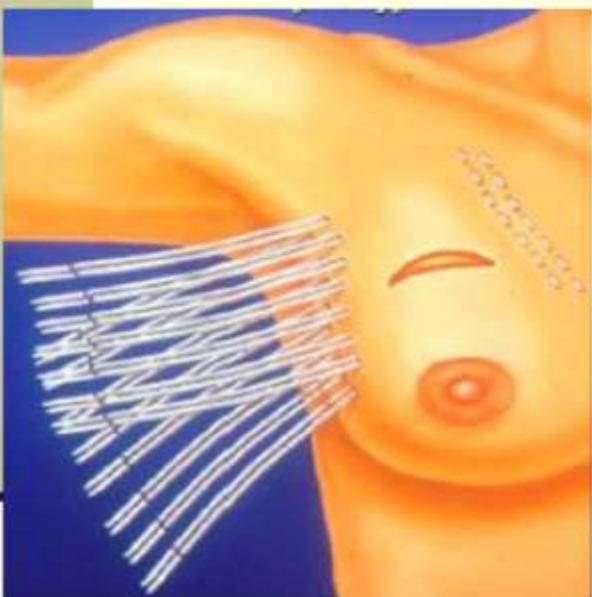
BRT INTERSTIZIALE

Vantaggi

- Riduzione disagi logistici/costi
- Eliminazione interferenze con CT
- Riduzione intervallo con chirurgia
- Possibile maggior efficacia su controllo locale

PARTIAL BREAST IRRADIATION_{3/4}

BRT INTERSTIZIALE



Inserzione cateteri intraoperatori o postoperatori

Caricamento dopo esame anatomo-patologico del pezzo operatorio

Copertura di tutto il quadrante a tutto spessore

Calcolo della dose alla periferia dell'impianto

PARTIAL BREAST IRRADIATION_{4/4}

BRT MAMMOSITE

Inserzione intraoperatoria del palloncino

Distensione e caricamento differiti dopo esame anatomico del pezzo operatorio

Irradiazione di tutta la cavità chirurgica a 360°

Calcolo della dose a 0,5 cm dalla superficie del palloncino

Caduta di dose progressiva nella zona circostante

