

# Fisica dei piccoli campi

Serenella Russo

S.C. Fisica Sanitaria

Azienda Sanitaria di Firenze



serenella.russo@asf.toscana.it

## Sommario

- Introduzione
- Definizione di piccoli campi
- Caratteristiche dei piccoli campi
- Dosimetria dei piccoli campi
- Rivelatori per misure di piccoli campi
- Esperienza GdL SBRT AIFM
  - “Progetto multicentrico di interconfronto sulla dosimetria dei piccoli campi”
- Conclusioni

## Introduzione

- Campi piccoli sono utilizzati nelle tecniche più avanzate in radioterapia
- Caratterizzazione dosimetrica dei piccoli campi è necessaria per implementazione TPS
- Errori dovuti ad un non corretto uso dei rivelatori nella dosimetria dei piccoli campi sono riportati in letteratura
- Scelta del rivelatore idoneo è compito e responsabilità dell'esperto in fisica medica

## Definizione

Parliamo di “piccoli campi” quando:

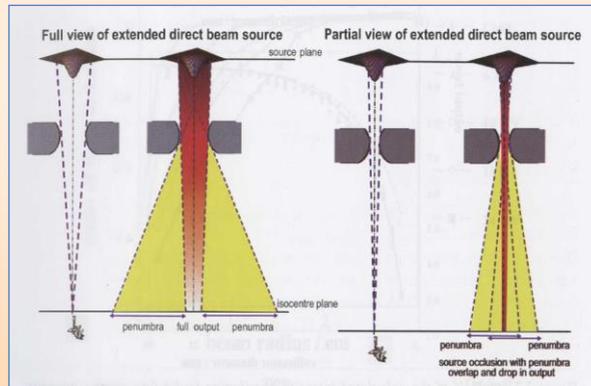
- Parziale occlusione della sorgente primaria
- Mancanza di equilibrio elettronico laterale (CPE)
- Dimensioni dei rivelatori sono grandi rispetto alle dimensioni del campo

## Parziale occlusione della sorgente primaria

La distribuzione di fluensa del fascio di fotoni prodotti per frenamento è composta da una componente primaria **“direct beam source”** e da una componente secondaria **“extrafocal radiation”**

Nei **piccoli campi** al diminuire dell'apertura dei collimatori :

- la sorgente primaria risulta parzialmente occlusa e il numero di fotoni primari è ridotto;
- il contributo della componente diffusa diventa trascurabile.



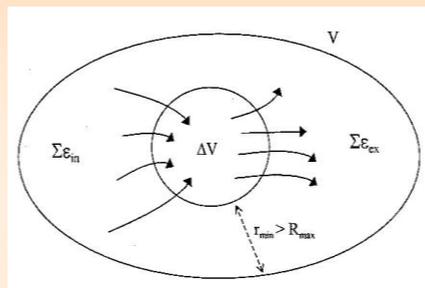
IPEM Report 103 2010

## Mancanza equilibrio elettronico

Si ha **equilibrio elettronico** nel volume  $\Delta V$  quando l'energia dissipata al di fuori di  $\Delta V$  da parte degli elettroni secondari generati al suo interno è compensata dall'energia dissipata in  $\Delta V$  da elettroni prodotti al di fuori dello stesso.

### Condizioni CPE:

- L'elemento di volume si trovi immerso in una porzione di materiale di dimensioni non inferiori al percorso laterale massimo degli elettroni messi in moto dai fotoni primari
- La fluensa di energia della radiazione primaria non vari apprezzabilmente su distanze dell'ordine del percorso degli elettroni



## Mancanza equilibrio elettronico

- Le condizioni di equilibrio elettronico non sono rispettate in presenza di campi di dimensioni inferiori al percorso massimo degli elettroni secondari
- Effetto dipende dall'energia del fascio e dalla densità del materiale

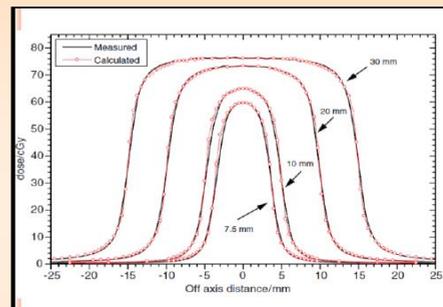
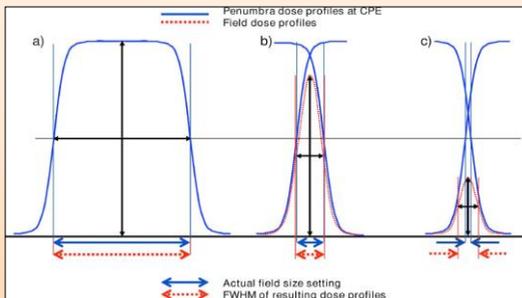
Beam	$TPR_{20,10}$	$r_{LEE}$ [g/cm <sup>2</sup> ]
<sup>60</sup> Co		0.6
6 MV	0.670	1.3
10 MV	0.732	1.7
15 MV	0.765	1.9
24 MV	0.805	2.1

Li X. A.: Head-scatter factor measurements, *Med Phys*, Vol. 22, No. 7, 1995

Per energie < 10 MV CPE raggiunto in acqua per campi 3 cm x 3 cm

## Parziale occlusione della sorgente primaria + Mancanza equilibrio elettronico

Forte riduzione della dose sull'asse centrale del fascio



Sovrastima delle dimensioni del campo come risultato della sovrapposizione delle penombre

## Dimensioni dei rivelatori

- La **presenza** del dosimetro introduce una **perturbazione della fluenza delle particelle cariche** perché diverso in densità e composizione dal mezzo materiale . L'effetto dipende:
  - dalla geometria e dalle proprietà fisiche del rivelatore,
  - dal mezzo in cui la misura è effettuata,
  - dall'energia del fascio,
  - dalle dimensioni del campo.
- Il **segnale** del dosimetro è **mediato sul suo volume sensibile**
- I rivelatori possono essere classificati in base alle dimensioni del volume sensibile come:

<b>Standard</b>	Vol. $\sim 10^{-1} \text{ cm}^3$
<b>Mini</b>	Vol. $\sim 10^{-2} \text{ cm}^3$
<b>Micro</b>	Vol. $\sim 10^{-3} \text{ cm}^3$

## Definizione del campo

- In pratica "A small field is defined as a field with a size smaller than the lateral range of charged particles." Alfonso et al 2008
- FWHM non è più propriamente rappresentativa delle dimensioni del campo
- IPEM 103 "...una più appropriata definizione del campo deve far riferimento solo ai *collimator setting*"



Generalmente si considerano piccoli campi se le dimensioni sono inferiori a 3cm x 3 cm

Das, Ding, and Ahnesjö: Small fields: Nonequilibrium radiation dosimetry Med. Phys. 35 (1), January 2008

## Definizione di "Campi molto piccoli"

**Very Small Fields:** "campi di dimensioni tali che la misura dei fattori di campo deve prevedere la contemporanea misura dei profili trasversi per un allineamento molto preciso del rivelatore"

- diffusa dagli elementi della testata  $S_{cs}$
- occlusione della sorgente  $S_{occ}$
- diffusa in fantoccio  $S_{phot}$
- mancanza di equilibrio elettronico  $S_{ee}$

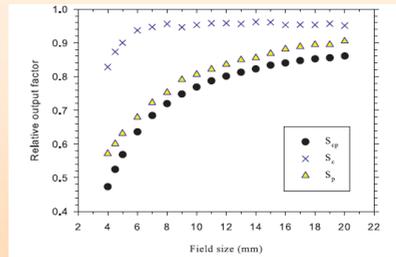
$S_{cp}$

**variazione di 1 mm nella  
dimensione del campo  
provoca una variazione di  
OF pari all'1%**

$$S_{cp} = S_c S_p$$

$$S_c = S_{cs} S_{occ}$$

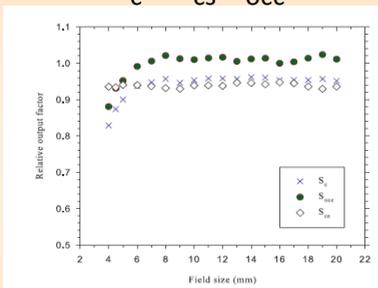
$$S_p = S_{phot} S_{ee}$$



Charles et al.: Practical and theoretical definition of very small field, Med Phys, Vol. 41, No. 4, 2014

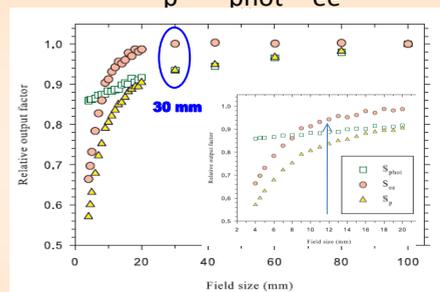
## Definizione di "Campi molto piccoli"

$$S_c = S_{cs} S_{occ}$$



Per campi < 8 mm  $S_c$  decresce come  $S_{occ}$

$$S_p = S_{phot} S_{ee}$$



Per campi < 30 mm  $S_p$  diminuisce come  $S_{ee}$

➤ campi  $\leq 12$  mm risultano molto piccoli per fasci da 6 MV per la mancanza di CPE

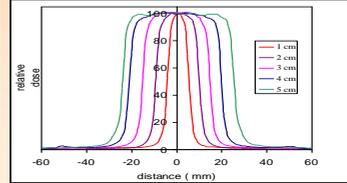
Una attenta metodologia sperimentale, con profili misurati allo stesso tempo dei OF per ogni dimensione campo, è obbligatoria per campi  $\leq 12$  mm e più conservativamente  $\leq 15$  mm.

Charles et al.: Practical and theoretical definition of very small field, Med Phys 41 (4), 2014

## Caratteristiche dei piccoli campi

- **Area di omogeneità ridotta ed elevati gradienti di dose**

Profili trasversi di forma ogivale



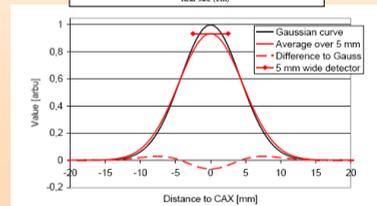
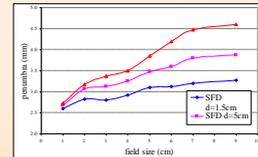
Buccioli et al: A bi-directional MMLC, Med Phys 29 (7), 2002

- **Penombra** diminuisce con le dimensioni del campo

⇒ **necessaria elevata risoluzione spaziale** per evitare effetto di media nel volume

- sottostima dose sull'asse
- sovrastima penombra

⇒ **posizionamento critico**



## Caratteristiche dei piccoli campi

- **Mancanza di equilibrio elettronico laterale**

⇒ la fluensa degli elettroni non è uniforme sulle dimensioni del rivelatore e viene a cadere una delle ipotesi della teoria della cavità che permette la misura della dose con metodo ionimetrico

⇒ meno accentuata nei rivelatori a stato solido che però non sono acqua equivalenti

- **Composizione spettrale diversa tra piccoli e grandi campi**

⇒ possibile variazione qualità del fascio rispetto alle condizioni di calibrazione:

energia media della distribuzione aumenta al diminuire delle dimensioni del campo. L'effetto dipende da:

- sistema di collimazione
- energia del fascio
- distanza dall'asse del fascio
- profondità in acqua

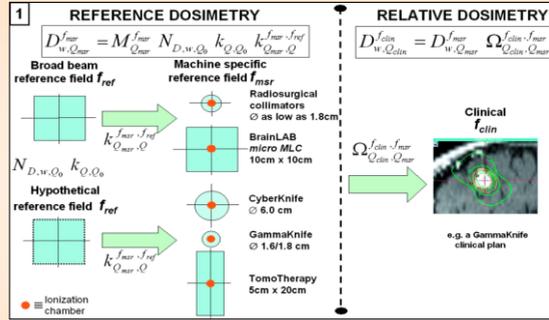
⇒ necessità di rivelatori con risposta indipendente dall'energia

# Dosimetria dei piccoli campi

- **Dosimetria di riferimento**  
estensione protocolli a campi non standard con **Formalismo Alfonso** et al. 2008

$$D_{w,Q_{clin}}^{f_{clin}} = D_{w,Q_{msr}}^{f_{msr}} \cdot \Omega_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}$$

$$\Omega_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}} = \frac{M_{Q_{clin}}^{f_{clin}}}{M_{Q_{msr}}^{f_{clin}}} \cdot k_{Q_{clin},Q_{msr}}^{f_{clin},f_{msr}}$$



- **Dosimetria relativa:**  
Pdd / TPR / Profili / Penombra / OF

# Rivelatori per misure di piccoli campi

## Proprietà

- stabilità
- linearità con la dose, con il dose rate e con la dose per impulso
- dipendenza dall'energia
- risoluzione spaziale
- dipendenza angolare
- tessuto equivalenza
- rapporto segnale/rumore
- effetti di segnale spurio da componenti non attive (cavo, stelo, connessioni)

## Rivelatori per misure di piccoli campi

- **Micro-camere di ionizzazione**

- + teoria dosimetrica, forma e dimensioni note
- effetto di media nel volume, mancanza CPE, perturbazione, effetto polarità

- **Rivelatori a semiconduttore** per appl. stereotassiche (non compensati)

- + risoluzione spaziale
- non tessuto equivalenza, dipendenza in energia, dipendenza angolare

- **Rivelatori a termoluminescenza**

- + risoluzione spaziale
- procedura complessa, riproducibilità non ottimale

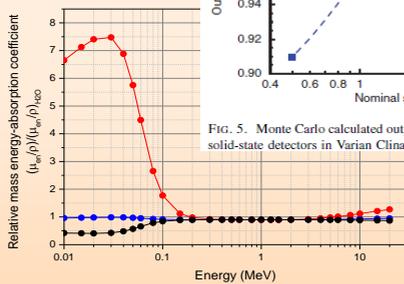
- **Film radiocromici**

- + risoluzione spaziale
- procedura complessa, riproducibilità non ottimale

## Rivelatori per misure di piccoli campi

- **Rivelatori a semiconduttore**

- + risoluzione spaziale
- effetto densità



Relative mass absorption coefficient

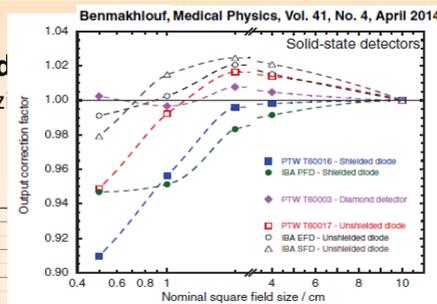
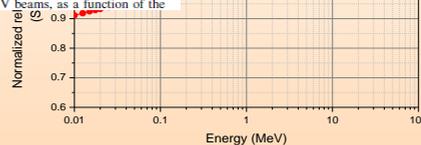


FIG. 5. Monte Carlo calculated output correction factors,  $k_{Q_{clin} - Q_{ref}}$  for six solid-state detectors in Varian Clinac iX 6 MV beams, as a function of the



Electron stopping power ratios

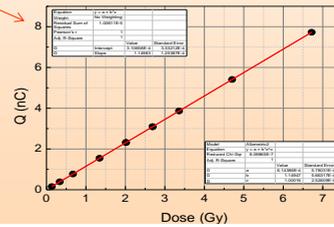
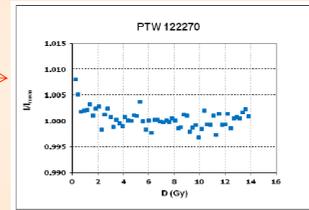
a in energia

## Rivelatori per misure di piccoli campi

synthetic single crystal diamond detector (SCDD)  
microDiamond PTW 60019



- Volume sensibile: 0.004 mm<sup>3</sup>
- Stabilità
- Linearità con la dose
- Indipendenza dal dose rate e dalla dose per impulso
- Resistenza al danno da radiazione
- Indipendenza dalla temperatura
- Non necessita alta tensione
- Risposta: 1 nC/Gy
- Detector bias: 0 V
- Qualità del fascio: 100 keV ... 25 MV fotoni - (6 ... 25) MeV elettroni



## Rivelatori per misure di piccoli campi

synthetic single crystal diamond detector (SCDD)  
microDiamond PTW 60019



TABLE II. Field factors obtained using a PTW 60012 E diode, an IBA SFD diode, and a PTW 60019 microDiamond detector at a depth of 1.4 cm for a 6 MV SRS beam on a Novalis Tx equipped with circular cones at a SSD of 100 cm. The uncertainties were up to 0.5% (1 SD) for all detectors.

Cone diameter (mm)	Depth (cm)	PTW 60012 E	IBA SFD	PTW 60019 microDiamond	Monte Carlo relative output factor, $\Omega_{clin}^{f_{clin}} / \Omega_{clin}^{f_{msr}}$
30	1.4	0.940	0.943	0.944	0.959
20	1.4	0.927	0.925	0.929	0.955
10	1.4	0.860	0.851	0.856	0.870
7.5	1.4	0.808	0.798	0.799	0.811
4	1.4	0.664	0.662	0.644	0.649

Morales *et al.*: Dosimetry of SRS field using synthetic diamond detector  
Medical Physics, Vol. 41, No. 11, November 2014

## Rivelatori per misure di piccoli campi

### • rivelatori a scintillazione

+ risoluzione spaziale, tessuto equivalenza, non dipendenza in energia

- Because the Exradin W1 PSD does not lend itself to automatic water phantom scanning, the profiles and the PDDs were acquired using point-by-point measurements chosen manually.



### Exradin W1 plastic scintillator

> volume sensibile: diametro 1 mm, lunghezza 3 mm

PDD

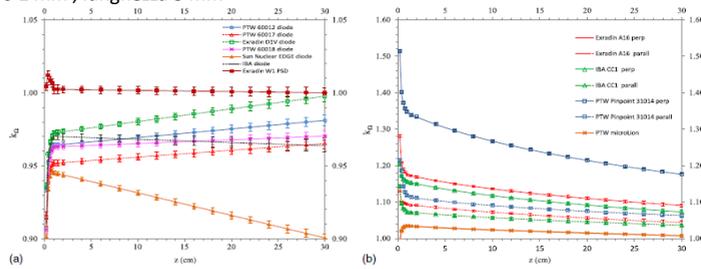
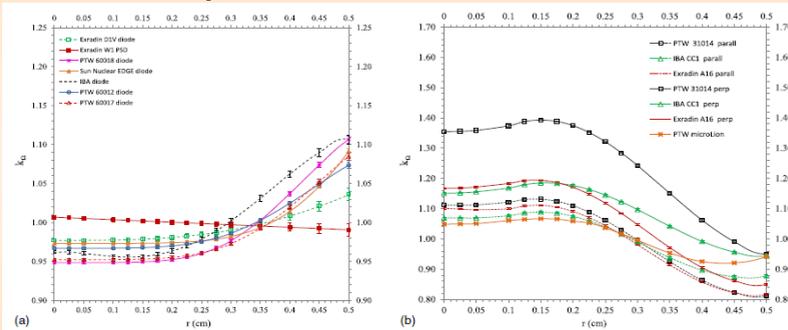


Fig. 2. Monte Carlo simulation of the variation of  $k_Q(0, z, PDD)$  for (a) stereotactic diodes and the Exradin W1 PSD and (b) microchambers and the microLiOn, as a function of depth for a 5-mm circular collimator.

Francescon P. et al, Medical Physics, Vol.41, No. 10 October 2014

## Rivelatori per misure di piccoli campi

### Exradin W1 plastic scintillator



OAR

the Exradin W1 PSD is the only detector that can reproduce the PDD and OAR in water with remarkable accuracy compared to the MC simulation data. However, it is not possible to use this dosimeter for scanning data measurements of OAR and PDD; therefore, its use in clinical practice remains difficult until the manufacturer makes such a detector available

for scanning. In the future, near-water-equivalent dosimeters, such as those fabricated with synthetic microdiamond, could be used with minimum correction.<sup>23</sup> Another best choice is to utilize a stereotactic diode that achieves PDDs that mimic those in water with a systematic error of less than 2%. The stereotactic diode correctly reproduced the OAR in water up to the penumbra zone but significantly underestimated the value of OAR in the tail region. One could argue that this systematic

Francescon P. et al, Medical Physics, Vol.41, No. 10 October 2014

## Rivelatori per misure di piccoli campi

### Raccomandazioni per misure di **OF**

#### **SBRT Report of AAPM Task Group 101** Recommendation:

“The maximum inner diameter of a detector should be less than half the FWHM of the smallest beam measured in order for the deconvolution of the detector-size effect to work properly.”

#### **IPEM 103** Recommendation:

“Using the Nyquist sampling theorem, the detector should be smaller than half the size of the region which could be considered acceptably uniform  $\Rightarrow$  if a variation of 3% is considered acceptable across the detector, determine the width of the profile at 97% of CAX and select a detector half that width”

### Esperienza GdL SBRT AIFM

“Progetto multicentrico di interconfronto sulla dosimetria dei piccoli campi”

#### Scopo

1. Valutazione multicentrica della dose per campi di piccole dimensioni da LINAC / CyberKnife mediante misura del fattore di campo con **rivelatori usati abitualmente dai singoli centri**
2. Validazione delle misure della fase 1 con **rivelatore a diamante microDiamond PTW** da far girare nei vari centri dietro cortesia della ditta

Esperienza GdL SBRT AIFM  
“Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi”  
Prima fase – LINAC

- ✓ Misura di **output factor** in condizioni di setup:
- SSD=100 cm; d=10 cm
  - SSD=90 cm; d=10 cm
  - dimensioni del campo (apertura dei jaws e dell'MLC): 0.5x0.5cm o il più piccolo realizzabile, 1cmx1cm, 2cmx2cm, 3cmx3cm, 5cmx5cm, 10cmx10cm
  - Verificare preliminarmente le dimensioni del campo con profili inplane e crossplane (scarto massimo entro 1mm /2% per campi > 3cmx3cm e 0.5mm per campi ≤3cmx3cm)
  - Specificare la procedura per la centratura del rivelatore.
  - Fornire fattori di campo normalizzati al campo 10cmx10cm ove possibile

Esperienza GdL SBRT AIFM  
“Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi”  
Prima fase – CyberKnife

- ✓ Misura di **output factor** in condizioni di setup:
- SSD=80 cm; d=1.5 cm
  - Campi circolari con diametro pari a: 0.5cm, 0.75cm, 1cm, 1.25cm, 1.5cm, 2cm, 3cm, 4cm, 6cm definiti da collimatori fissi e collimatore IRIS
  - Verificare preliminarmente le dimensioni del campo con profili inplane e crossplane (scarto massimo entro 1mm /2% per campi >3cmx3cm e 0.5mm per campi ≤3cmx3cm)
  - Specificare la procedura per la centratura del rivelatore.
  - Fornire fattori di campo normalizzati al campo diametro 6 cm coll. fisso

## Esperienza GdL SBRT AIFM “Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi” Seconda fase

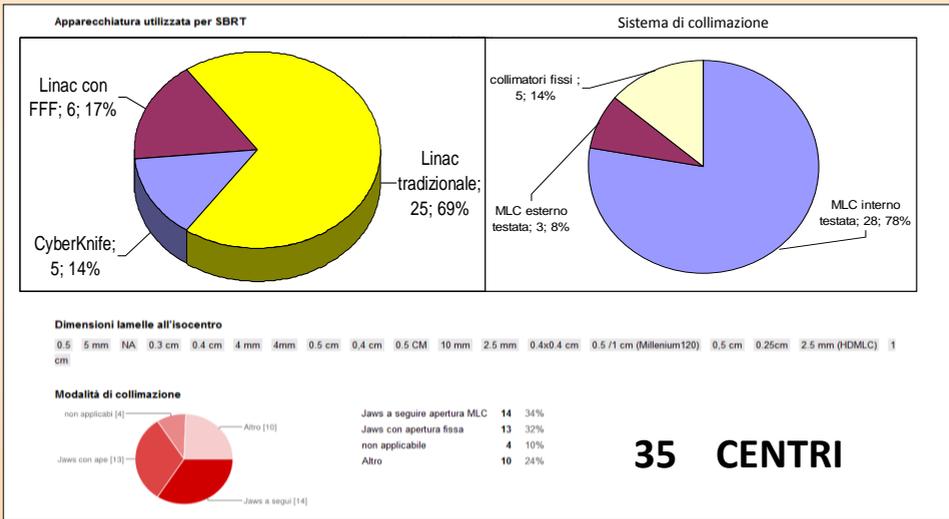
- ✓ Ripetere con rivelatore a diamante microDiamond PTW le misure effettuate nella 1° fase. Disponibili due rivelatori.
- ✓ Valutazione dei due rivelatori da parte del Centro di riferimento ENEA

### Benefici attesi

- ✓ Confrontare e uniformare le misure dei fattori di campo per campi di piccole dimensioni fatte nei singoli centri con i rivelatori usati abitualmente
- ✓ Validare le misure dei fattori di campo per campi di piccole dimensioni eseguite con i rivelatori usati abitualmente con le misure effettuate con rivelatore a diamante PTW
- ✓ Permettere la misura di dose nel campo 1cmx1cm o inferiore con rivelatore a diamante PTW in tutti i centri che aderiscono al progetto
- ✓ Pubblicazione scientifica e presentazione ai congressi



## Esperienza GdL SBRT AIFM “Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi” Questionario piccoli campi

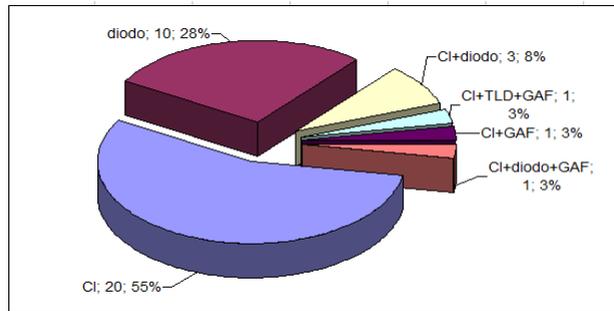


Esperienza GdL SBRT AIFM  
“Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi”  
Questionario piccoli campi

Energia utilizzata per trattamenti SBRT

6 MV, 10 MV 6 e 10 MV 6 6FFF, 10FFF 6,10MV 6 MV 6 MV 6MV 6-15 MV 6 MV - 10 MV 10 MV 6MV, 10MV 10FFF 6 MV - 10 MV raramente

Tipo di rivelatore utilizzato per la misura dei fattori di campo



Esperienza GdL SBRT AIFM  
“Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi”

LINAC (29 centri)

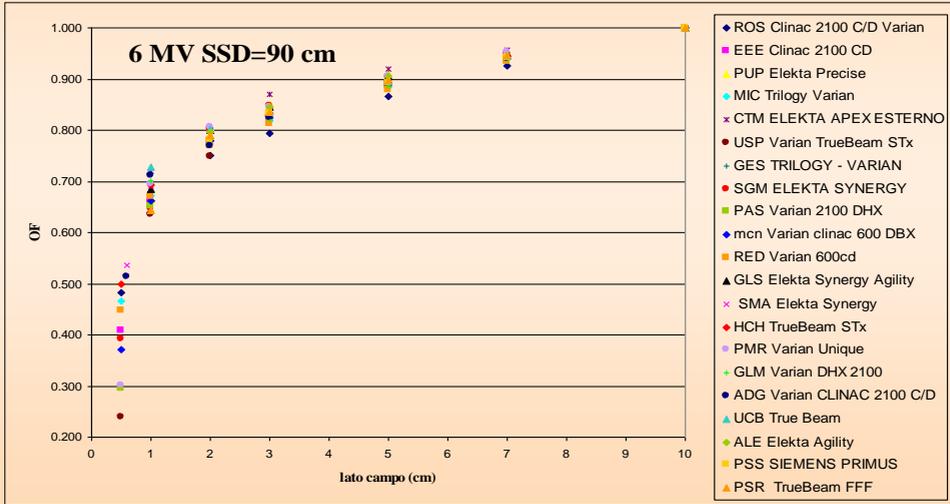
- 6MV SSD 90 cm 25 centri
- 6 MV SSD 100 cm 26 centri
- 10 MV SSD 90 cm 9 centri
- 10 MV SSD 100 cm 9 centri

*7 centri hanno presentato dati per 6 MV e 10 MV*

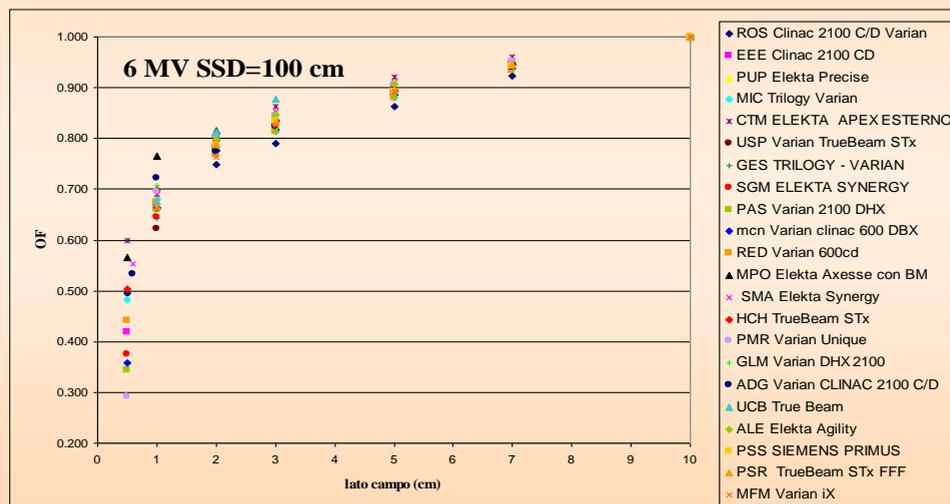
CYBERKNIFE (5 centri)

- COLLIMATORI FISSI 5 centri
- COLLIMATORE IRIS 4 centri

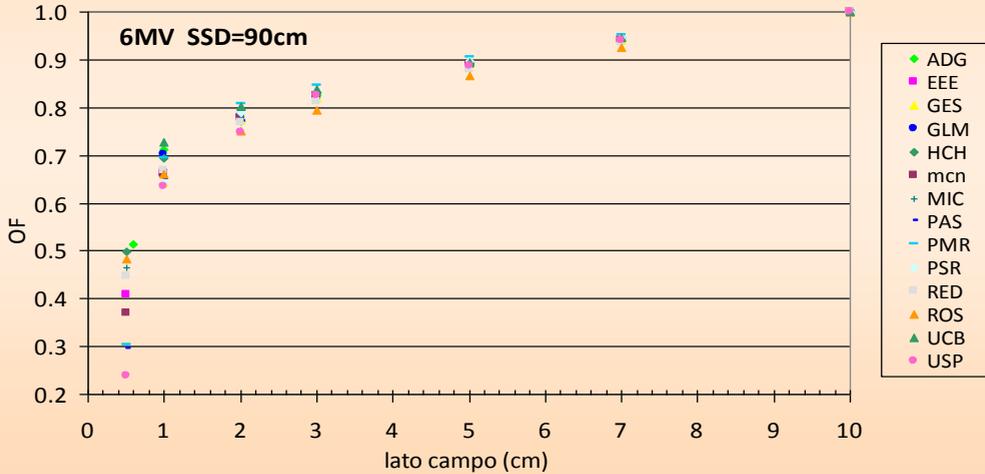
Esperienza GdL SBRT AIFM  
“Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi”  
Prima fase – LINAC VARIAN, ELEKTA, SIEMENS



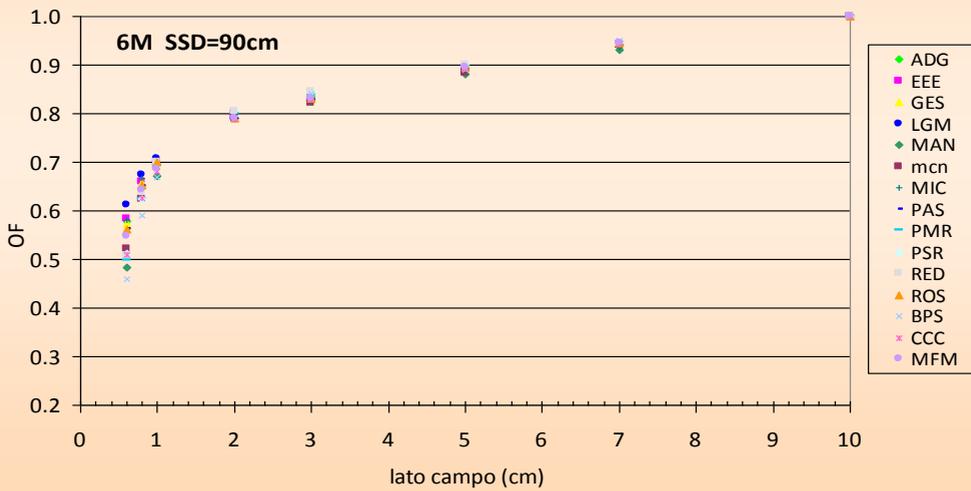
Esperienza GdL SBRT AIFM  
“Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi”  
Prima fase – LINAC VARIAN, ELEKTA, SIEMENS



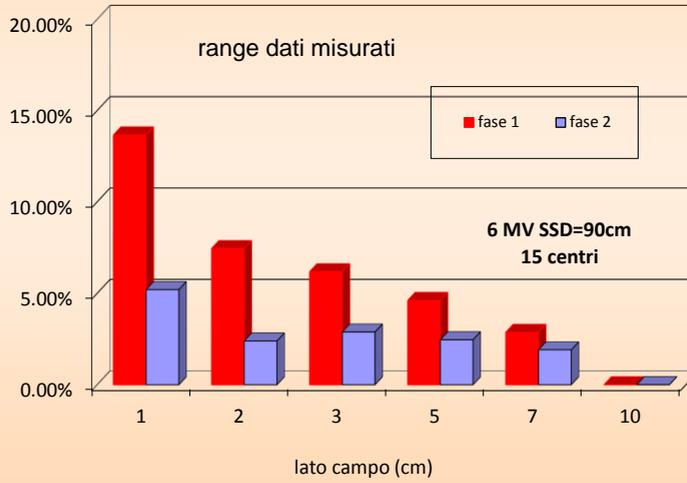
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
Prima fase – LINAC VARIAN



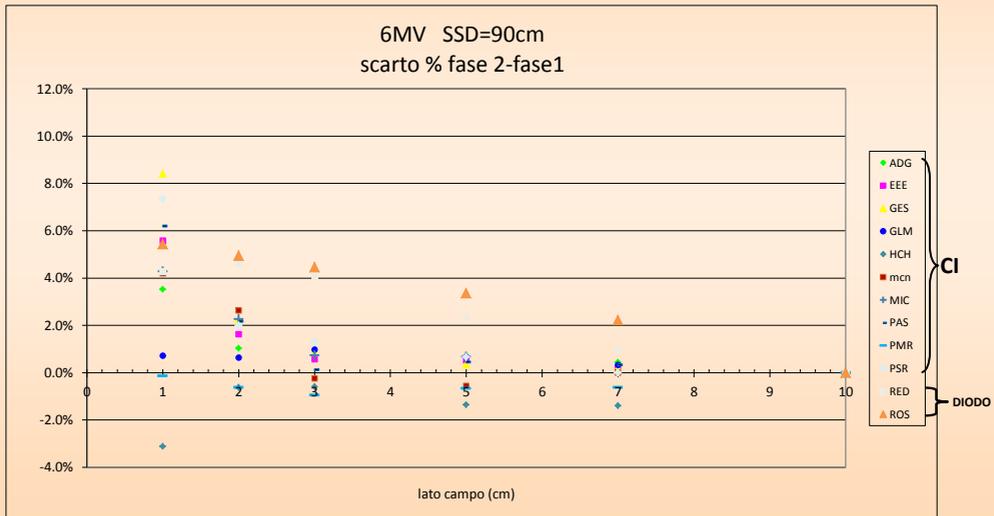
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
Seconda fase – LINAC VARIAN



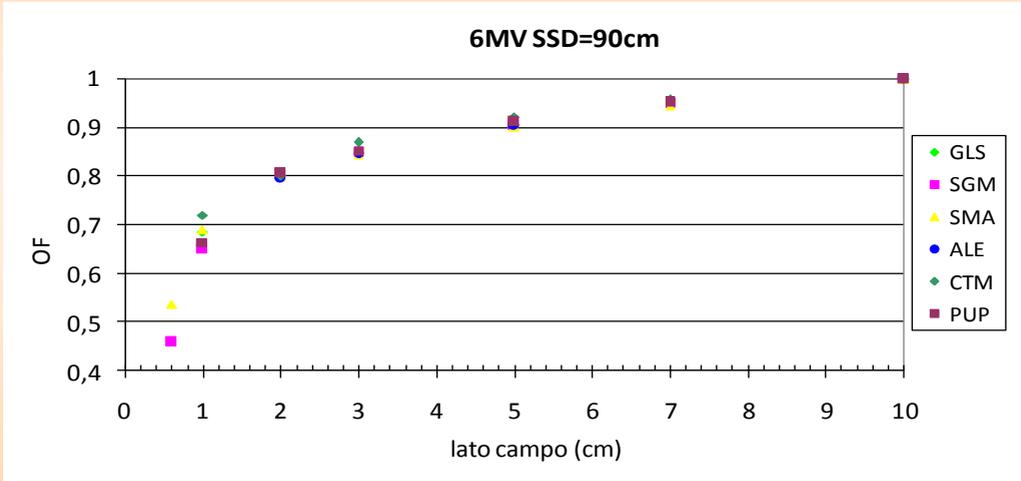
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**LINAC VARIAN**



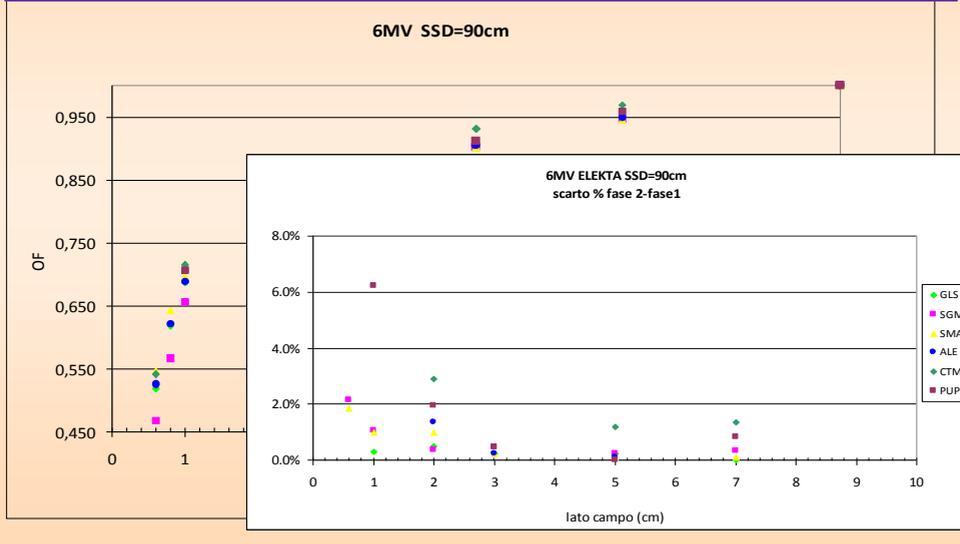
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**LINAC VARIAN**



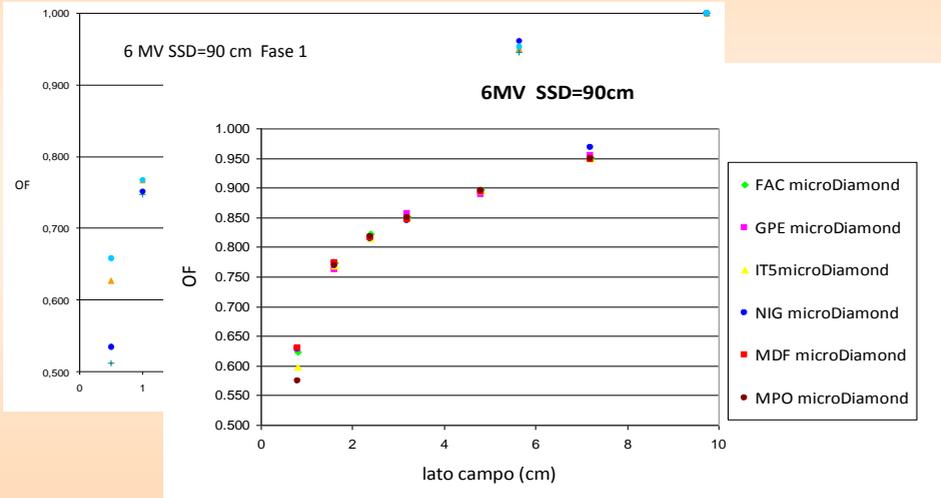
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
Prima fase – LINAC ELEKTA



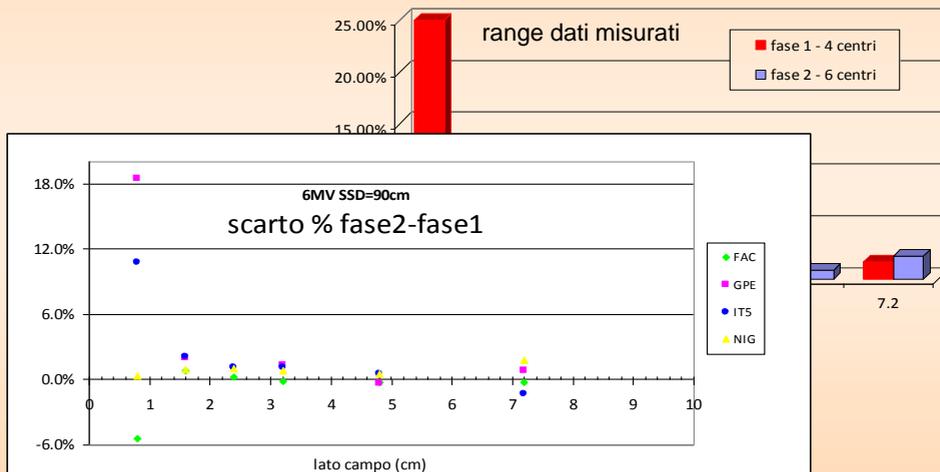
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
Seconda fase – LINAC ELEKTA



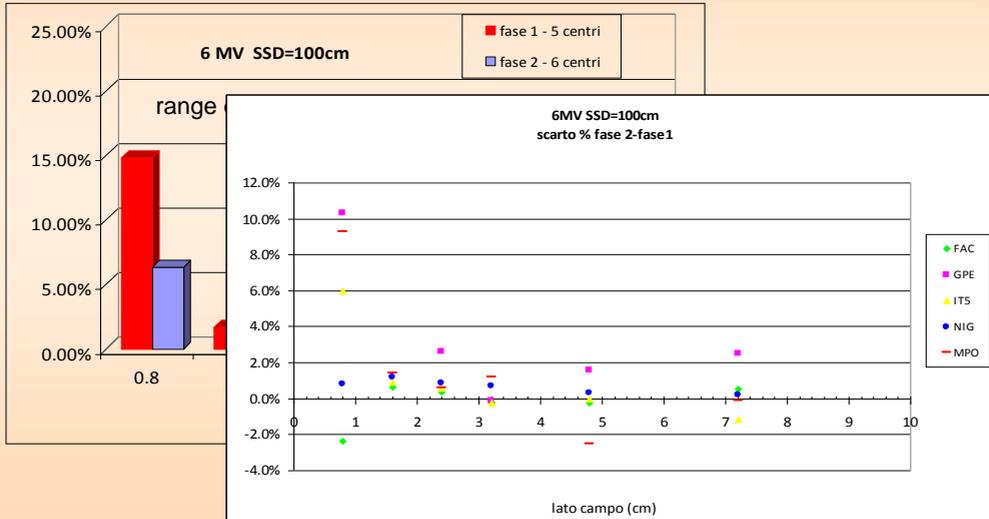
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**LINAC ELEKTA SYNERGY BEAM MODULATOR**



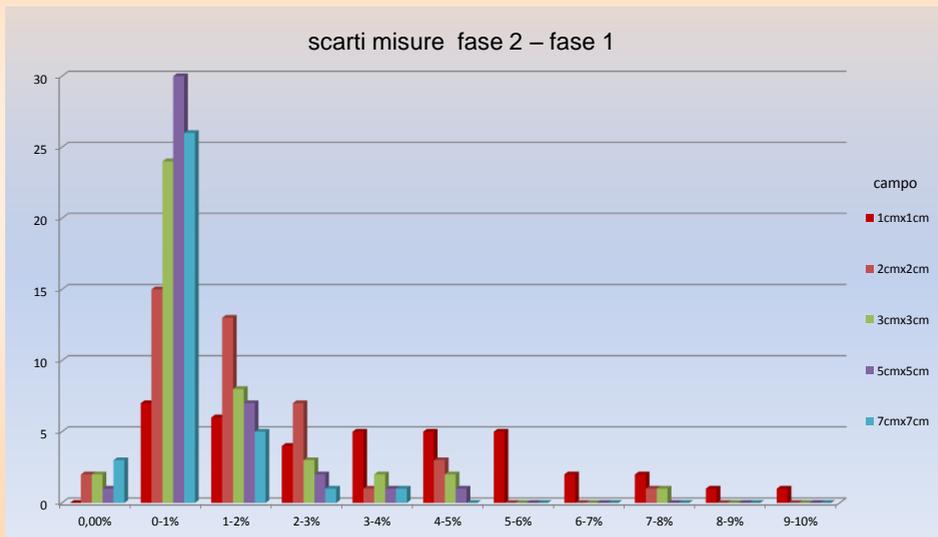
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**LINAC ELEKTA SYNERGY BEAM MODULATOR**



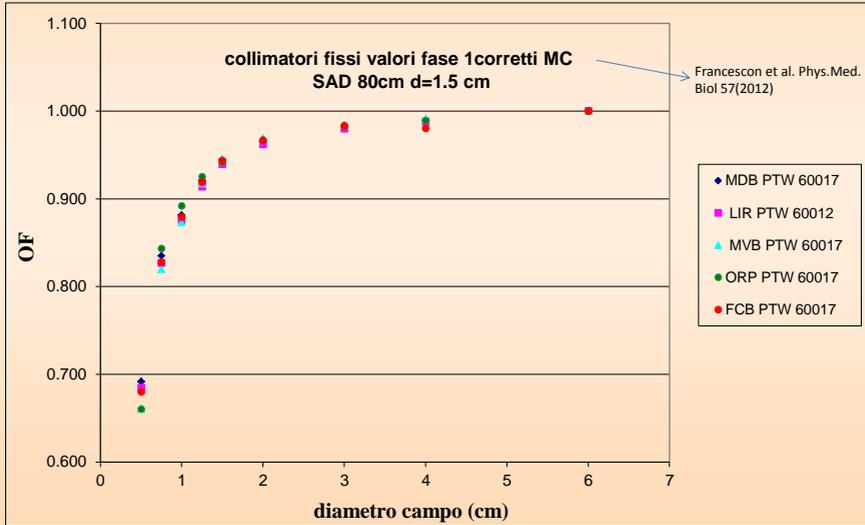
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**LINAC ELEKTA SYNERGY BEAM MODULATOR**



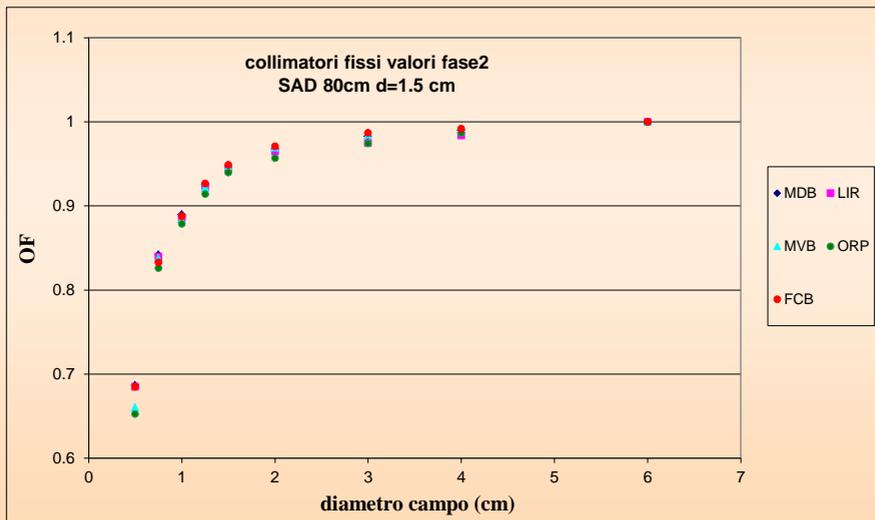
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**LINAC VARIAN, ELEKTA, SIEMENS**



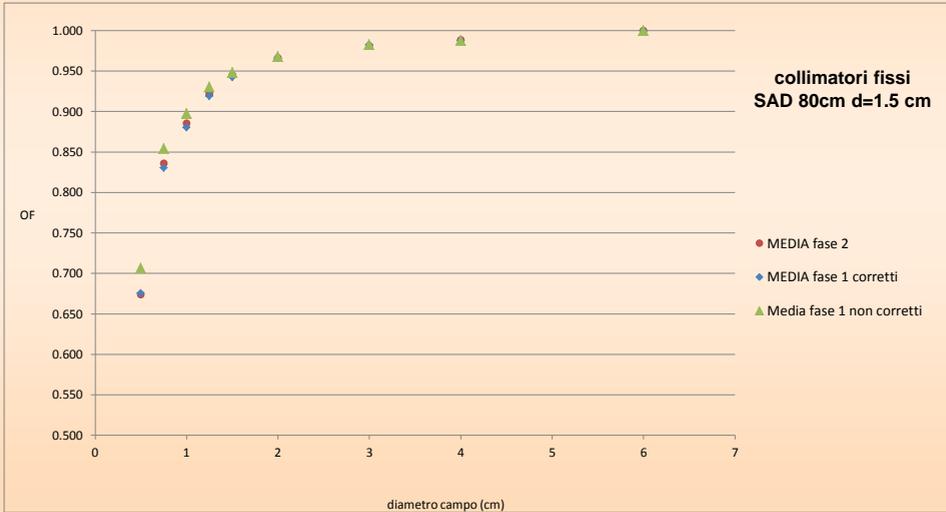
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
Prima fase – CYBERKNIFE



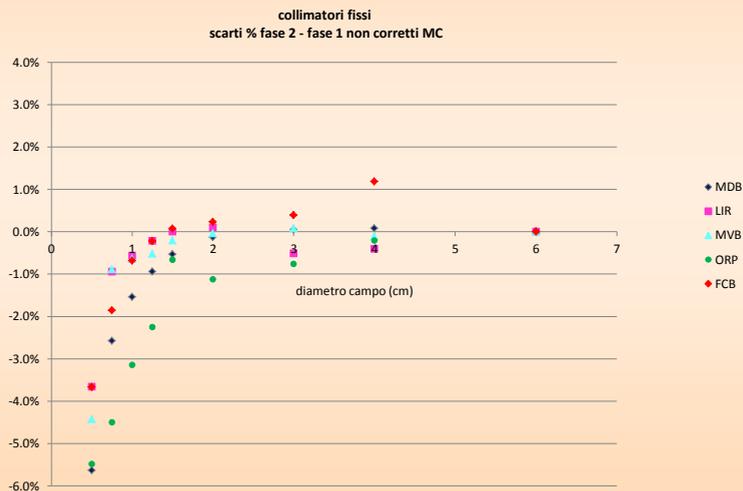
Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
Seconda fase – CYBERKNIFE



Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**CYBERKNIFE**

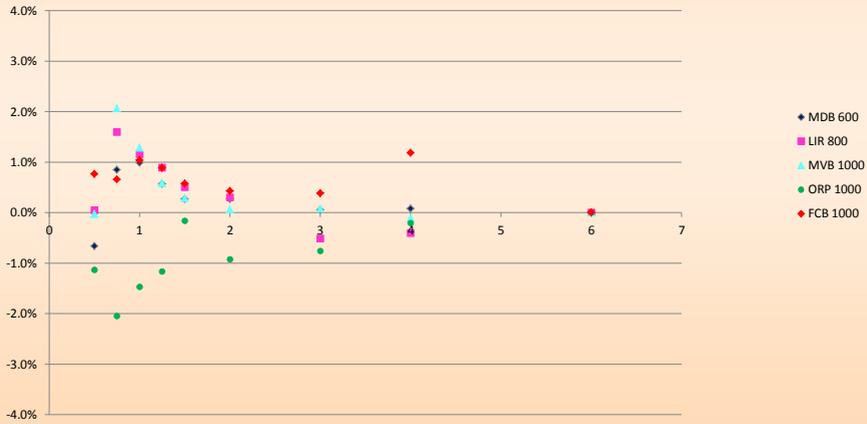


Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**Seconda fase – CYBERKNIFE**

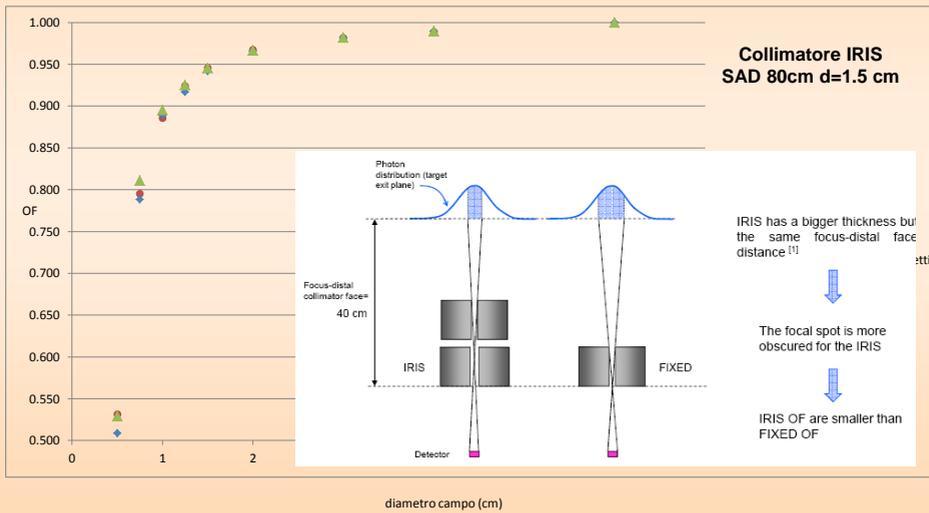


Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**Seconda fase – CYBERKNIFE**

collimatori fissi  
scarti % fase 2 - fase 1 corretti MC



Esperienza GdL SBRT AIFM  
"Progetto multicentrico dosimetria dei piccoli campi"  
**CYBERKNIFE**





GRAZIE PER L'ATTENZIONE



MEDICAL PHYSICS IS BEAUTIFUL”

