

Performance of Delta⁴ Phantom+ using Flattening-Filter and Flattening Filter-Free beams

C. Capomolla¹, A. Zagari¹, S. Quarta¹, D. De Luca¹, A. Carlà¹, M. Cazzato¹, L. Famà¹,
E. Martinucci¹

¹ U.O.C. Fisica Sanitaria – P.O. “V. Fazzi”, ASL LE, piazza Muratore s.n. 73100 Lecce –
email: fisicasanitaria.polecce@ausl.le.it

Abstract

The goal of this study was to evaluate the performances of the new pre-treatment system Delta4 Phantom+ in terms of a stable and sensitive tool for achieving a reliable verification. Delta4+ was evaluated for verification with 6FFFMV beams using static beam arrangement. The accelerator output was monitored with the ionization chamber. The device was tested for dose-rate dependence, linearity and stability using its daily output correction. The response of Delta4+ was evaluated for energy 6FFFMV, measuring the gamma index of four Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) plan. The response of Delta4+ as a function of accelerator dose rate is in agreement with the ionization chamber with a difference smaller than 0,1%. The output is constant for different MU. VMAT plan analysis show values within 98,3%-100% with a threshold of 3%-3mm, while with a threshold of 2%-2mm the values are within 93,5%-97,5%. Delta4+ is an accurate device. For all the measurements made, uncertainties below 1% were obtained.

Riassunto

Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare la risposta in termini di stabilità e sensibilità del nuovo sistema pre-trattamento Delta4 Phantom+. La risposta del sistema è stata studiata utilizzando fasci di fotoni da 6MV senza filtro di flattening (6FFFMV). L'output dell'acceleratore è stato monitorato con una camera a ionizzazione. La dipendenza dal dose rate, la linearità e la stabilità sono state verificate utilizzando il fattore di correzione giornaliera fornito dal sistema. La risposta è stata verificata su 4 piani di trattamento con tecnica VMAT. La risposta del Delta4+ al variare del dose rate è in accordo con quella della camera a ionizzazione con una scarto minore dello 0.1%. La risposta al variare delle UM è costante con una differenza entro lo 0.4%. L'analisi dei piani VMAT mostra valori di indice gamma per soglia 3%-3mm compresi tra 98.3%-100%, mentre per 2%-2mm i valori sono tra 93,5%-97,5%. Il Delta4+ risulta essere un sistema accurato in quanto l'incertezza ottenuta su tutte le misure non supera l'1%.

1. INTRODUZIONE

Nella testata dell'acceleratore lineare, utilizzato in radioterapia, è presente un filtro di appiattimento (Flattening Filter, FF), che serve ad omogeneizzare (appiattare) la forma piccata del fascio di fotoni (fig.1).

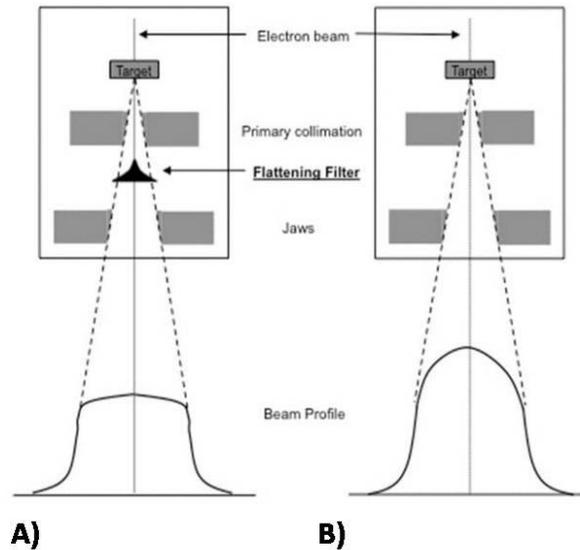


Figura 1. A) profilo di dose in presenza di filtro di flattening; B) profilo di dose in presenza di filtro di flattening.

L'appiattimento del fascio rende semplici i calcoli di dose durante l'elaborazione del piano di trattamento, rispondendo ad un'esigenza nata quando ancora non erano disponibili computer performanti. Oggi, con la disponibilità di algoritmi di calcolo avanzati, può essere sfruttata, invece, la forma piccata del fascio che risulta essere favorevole per alcuni tipi di trattamento, quali le stereotassi, in cui vengono prescritte dosi molto alte (fino a 30 Gy a seduta). Senza il filtro di appiattimento, infatti, si ottiene un incremento dell'output del fascio radiante vicino l'asse centrale con un conseguente aumento della dose rate e una notevole riduzione del tempo di erogazione. Il tempo di trattamento è determinante per la buona riuscita della terapia, perché tempi minori riducono la possibilità che si verifichino movimenti importanti del paziente e degli organi interni.

La possibilità quindi di calcolare la distribuzione di dose in tempi brevi e in modo accurato, a prescindere dalla forma del fascio, ha permesso di implementare i fasci senza filtro (FFF) nella pratica clinica.

I fasci senza filtro rispetto a quelli con filtro sono caratterizzati da:

- alto dose rate (per i 6MV FFF 1400UM/min e per i 10MV FFF 2200UM/min);
- minor dose rilasciata in profondità, i fasci FFF sono meno penetranti;
- profili di dose lungo gli assi principali non omogenei ma piccati in corrispondenza dell'asse centrale;
- minore radiazione di fuga e ridotta produzione di neutroni;

L'implementazione dei fasci FFF richiede una revisione delle performance della strumentazione utilizzata in dosimetria.

In questo lavoro è stato analizzato il nuovo sistema dosimetrico pre-trattamento Delta4+, utilizzato per verificare la conformità tra distribuzione di dose pianificata e quella erogata dall'acceleratore. I parametri valutati sono: linearità, stabilità, dipendenza dal dose rate e dipendenza angolare.

2. MATERIALE E METODO

Il Delta4+(ScandiDos, Sweden), nuova versione del Delta4, è un dispositivo utilizzato per effettuare le verifiche pre-trattamento in IMRT [1-2].

Il sistema è costituito da un fantoccio cilindrico collegato ad un elettrometro e ad un'unità elettronica di trasmissione dei dati (fig.2).

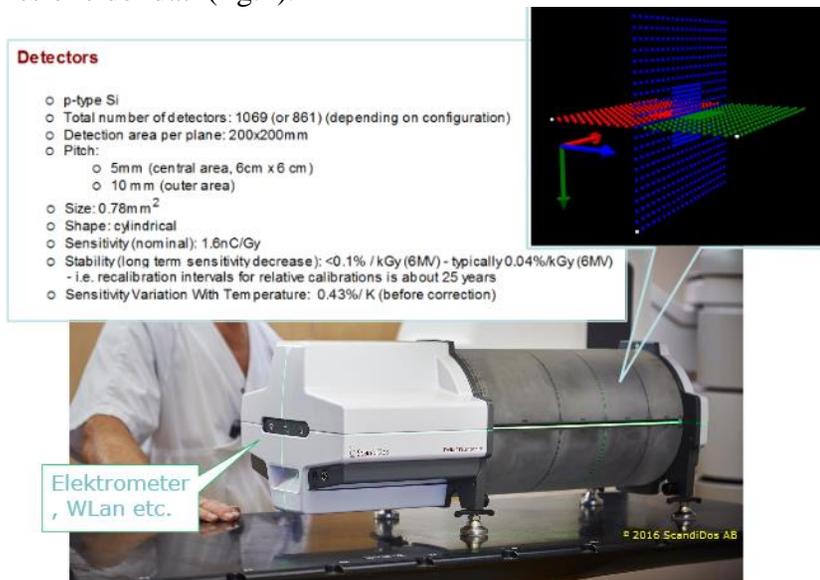


Figura 2. Fantoccio Delta4+

Il cilindro è costituito da PMMA (polimetilmetacrilato, materia plastica con densità 1,19 g/cm³) ha un diametro di 22 cm e lunghezza di 40 cm. Al suo interno, sono alloggiati due piastre perpendicolari fra loro e sulle quali sono allocati 1069 diodi ad una distanza l'uno dall'altro di 5 mm nella regione centrale (6 cm x 6 cm) e 10 mm nelle regioni periferiche.

I diodi in Silicio, di tipo p, hanno un volume attivo cilindrico con sezione di 0,78 mm² e spessore di 0,05 mm. L'elevato numero di diodi permette di avere una distribuzione di dose, misurata e calcolata, consistente e un'ottima statistica di calcolo.

Nella nuova versione del D4 è presente un alloggiamento per la camera a ionizzazione tipo Farmer che consente di effettuare misure puntuali di dose assoluta (fig.3).



Figura 3 Alloggio per la camera a ionizzazione

Al sistema Delta4+ è associato il software Delta4® con il quale è possibile analizzare i dati, sia quelli importati dal TPS che quelli misurati e confrontarne le distribuzioni di dose.

Per valutare il grado di accordo tra piano erogato e piano misurato si possono usare diversi parametri [3]:

- **Deviazione di dose relativa:**

$$\Delta D_{rel} = 100 * (D_m - D_c) / D_{norm}$$

dove gli indici m e c indicano la dose misurata e calcolata e D_{norm} è un valore di normalizzazione

- **Deviazione di dose assoluta:**

$$\Delta D_{ass} = |D_m - D_c|$$

- **DTA**

è la distanza minima tra il punto misurato r_m con dose misurata d ed i punti $r_{c,i}$ che appartengono alla isodose d sulla distribuzione calcolata ad esso più vicini

$$DTA = \min_{\vec{r}_{c,i}} |\vec{r}_m - \vec{r}_{c,i}|$$

- **Indice γ**

è il minimo valore che la funzione gamma (Γ) può assumere nello spazio definito da un ellissoide di accettabilità

$$\gamma(r_m) = [\Gamma] \forall r_c$$

$$\Gamma = \sqrt{\frac{\delta r^2(r_m, r_c)}{\Delta d_M^2} + \frac{\delta D^2(r_m, r_c)}{\Delta D_M^2}}$$

è la funzione gamma con:

$$\delta r^2 = |r_m - r_c|$$

$$\delta D^2 = D_m - D_c$$

$$\Delta d_M^2 \text{ deviazione spaziale accettabile (DTA)}$$

$$\Delta D_M^2 \text{ deviazione di dose accettabile (DD)}$$

Lo scopo di questo studio è quello di valutare la risposta del sistema Delta4+ con fasci di fotoni FFF.

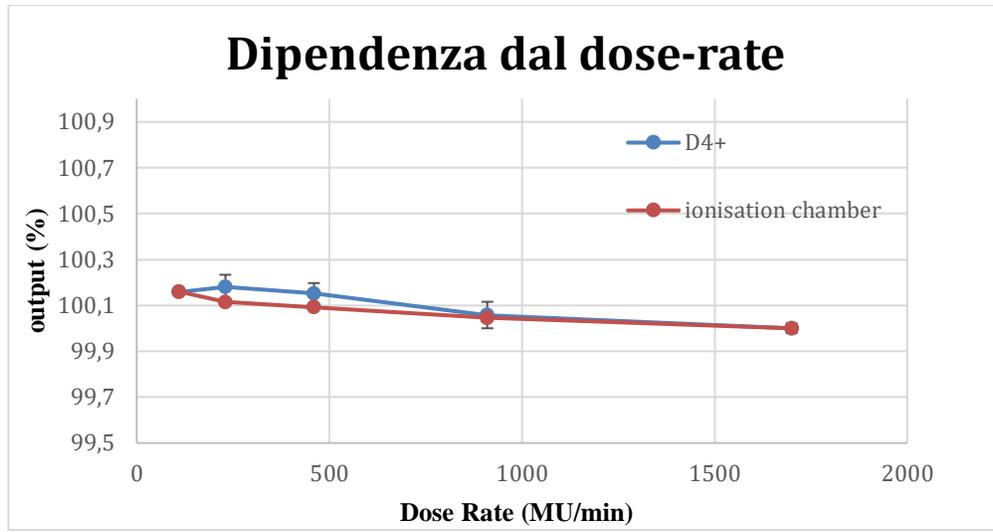
Sono state analizzate la dipendenza dal dose-rate, la linearità, la dipendenza angolare e la stabilità. Questa analisi è stata effettuata utilizzando la correzione per l'output giornaliero dell'acceleratore, che viene calcolata dal sistema tramite rapporto tra la dose pianificata e la dose misurata dalle matrici di diodi, all'interno di un'area di dimensioni 6x6cm².

Le misure sono state effettuate utilizzando contemporaneamente una camera a ionizzazione Farmer inserita all'interno del fantoccio D4+ per escludere fluttuazioni dell'output[4].

Dipendenza dal dose-rate

È stata misurata la dipendenza del sistema al variare del dose-rate utilizzando un fascio di fotoni 10x10 cm² con gantry a 45°. Il dose rate del fascio di fotoni FFF è stato selezionato in un intervallo compreso tra 109 e 1700(UM/min). Per ciascun fascio sono state effettuate tre misure per determinarne l'incertezza.

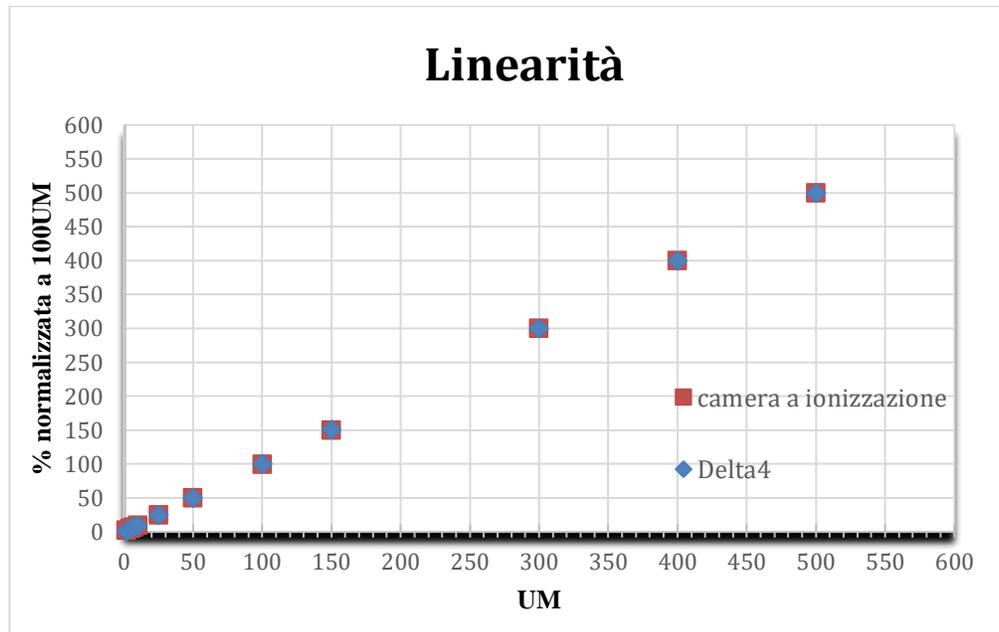
La risposta del Delta4+ non risulta essere influenzata dal variare del dose rate, in accordo con la lettura della camera a ionizzazione.



Linearità

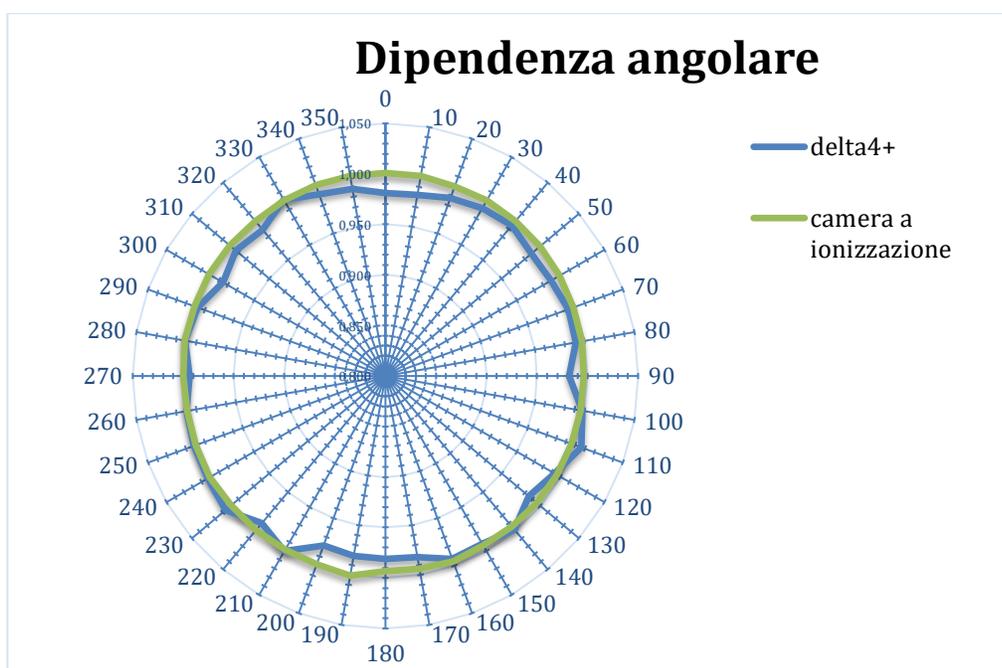
La linearità è stata testata utilizzando fasci di fotoni 10x10 cm² con gantry a 45° variando le UM da 2 a 500. Per ciascun fascio sono state effettuate tre misure per determinarne l'incertezza.

La risposta del Delta4 al variare delle UM risulta essere lineare ed in accordo con la misura effettuata con la camera a ionizzazione.



Dipendenza angolare

La diversa sensibilità angolare di ciascun diodo viene corretta dal software Delta4® che compensa la misura in accordo con l'angolo del gantry. Per verificare l'accuratezza di questa correzione sono stati erogati 36 fasci di dimensione $10 \times 10 \text{ cm}^2$ con 200 UM ad intervalli di 10 gradi. L'attenuazione del lettino è stata inclusa nel calcolo in quanto esso è presente nella TC del Delta4+ su cui sono stati elaborati i piani. In questo caso la misura con la camera a ionizzazione all'interno del fantoccio non è stata acquisita poichè la sua posizione non è all'isocentro e di conseguenza la sua lettura varia in quanto si modifica la distanza dalla sorgente. Tuttavia successivamente, per verificare che l'erogazione dell'acceleratore fosse indipendente dell'angolo del gantry, sono state effettuate le stesse misure con la camera a ionizzazione all'isocentro. Dal grafico si evince una diversa sensibilità angolare del sistema, in corrispondenza degli angoli dove sono presenti le piastre, inferiore a $\pm 2\%$.

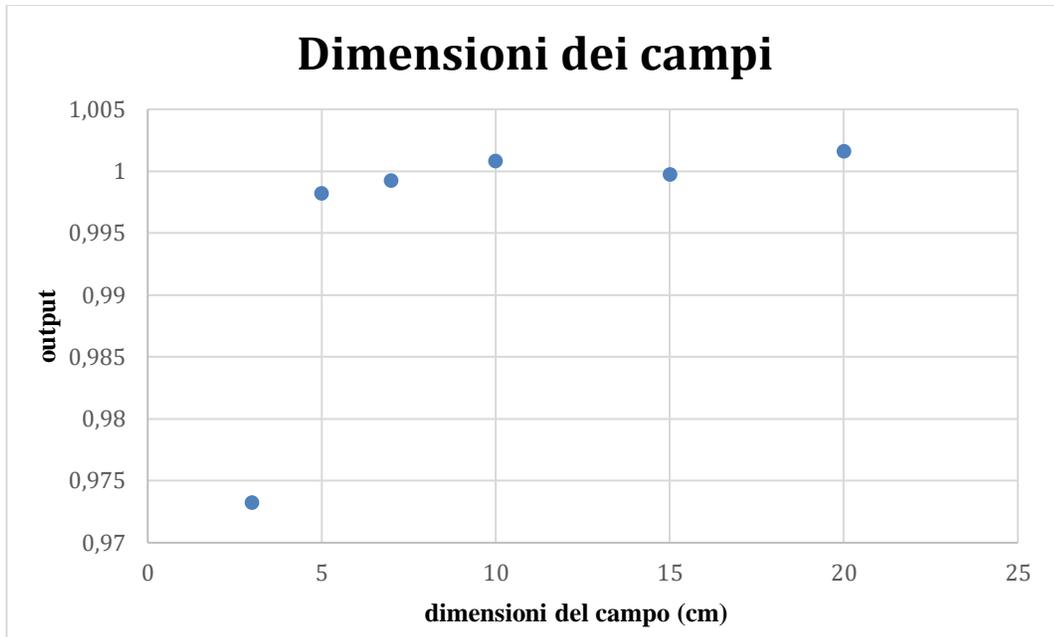


Dipendenza dalle dimensioni del campo

È stata testata la risposta del sistema al variare delle dimensioni del campo.

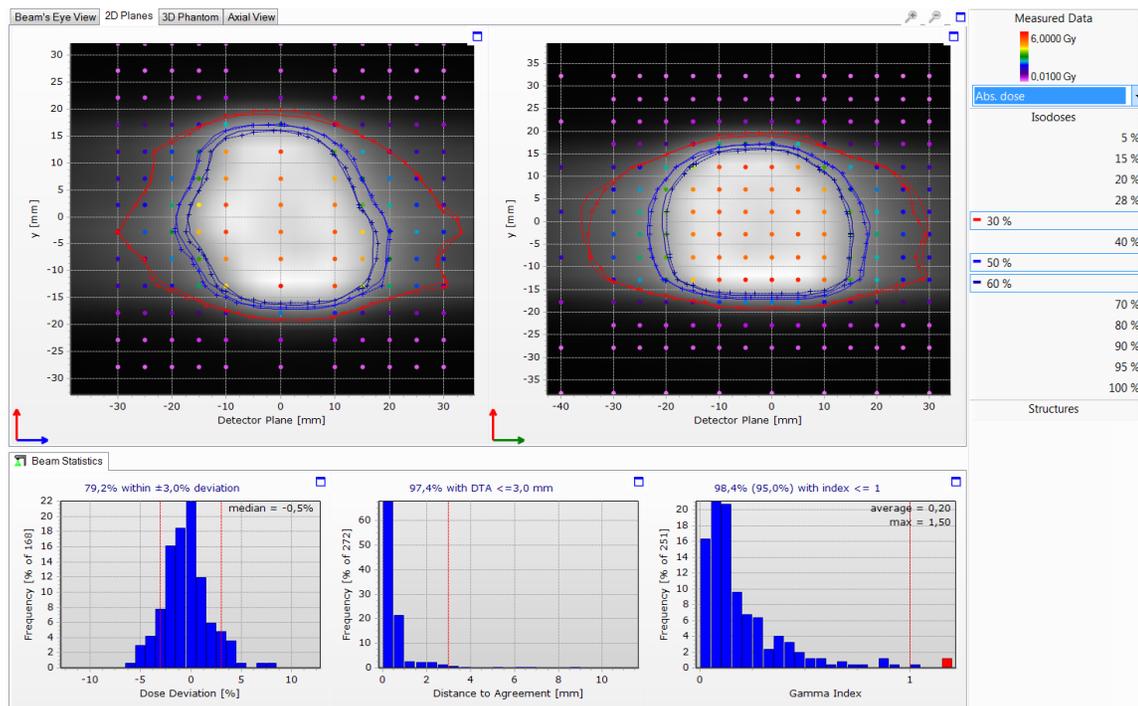
Sono stati erogati campi di dimensioni $3 \times 3 \text{ cm}^2$, $5 \times 5 \text{ cm}^2$, $7 \times 7 \text{ cm}^2$, $10 \times 10 \text{ cm}^2$, $15 \times 15 \text{ cm}^2$ e $20 \times 20 \text{ cm}^2$.

Per campi di dimensioni maggiori di $5 \times 5 \text{ cm}^2$ non vi sono variazioni significative degli output, a differenza di quanto accade per il campo $3 \times 3 \text{ cm}^2$, dove si riscontra una variazione del 3,0%.



Misurazioni piani pre-trattamento

Le performance del sistema sono state valutate anche in modalità clinica, misurando le distribuzioni di dose di 10 piani di trattamento stereotassici VMAT con fasci FFF. I piani sono stati valutati utilizzando l'indice gamma globale 3cm-3%, con gamma passing rate 95%. I valori ottenuti sono compresi tra 98,3% e 100%, il valore medio è 98,8%.



3. CONCLUSIONE

La nuova versione del sistema pre-trattamento Delta4+ è semplificata dal punto di vista hardware rispetto alla versione precedente: è indipendente dal tipo di acceleratore e non necessita di connessione tramite trigger, connettendosi al pc mediante rete wi-fi.

Il sistema software effettua correzioni per i parametri che influenzano la risposta dei diodi (es: temperatura, angolo del gantry, posizione del diodo nella piastra) ed esegue un'interpolazione delle letture nelle zone in cui non vi sono i rivelatori [1], restituendo una misura con un grado di affidabilità comunque elevato.

Dallo studio effettuato, inoltre, si evince che le performance del sistema non sono influenzate dall'utilizzo di fasci con dose rate elevati (>600UM/min).

Referenze

- [1] O. Calvo, A.N. Gutiérrez, S. Stathakis, P. Mavroidis, S. Moral, C. Esquivel, C. Shi, N. Papanikolaou. *Validation of the Delta4 Dosimetry Phantom Against Ionometric Measurements*. Medical Physics, 36,(2009)
- [2] Saito M, Sano N, Shibata Y, Kuriyama K, Komiyama T, Marino K, Aoki S, Ashizawa K, Yoshizawa K, Onishi HJ. *Comparison of MLC error sensitivity of various commercial devices for VMAT pre-treatment quality assurance*. Appl Clin Med Phys. (2018) May;19(3):87-93.
- [3] AAPM Task Group, *Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218*,(2018)
- [4] Bedford JL, Lee YK, Wai P, South CP, Warrington AP. *Evaluation of the Delta4 phantom for IMRT and VMAT verification*. Phys Med Biol. 7;54,(2009).