

M. Vadrucci<sup>a</sup>, F. Borgognoni<sup>a</sup>, L. Migliore<sup>b</sup>, N. Perini<sup>b</sup>, L. Picardi<sup>a</sup>, A. Rubecchini<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ENEA – Lab. Sviluppo di Acceleratori di Particelle e Applicazioni Medicali (APAM), Via E. Fermi, 45 - 00044, Frascati (RM)

<sup>b</sup> Università di Tor Vergata - Dipartimento di Biologia, Via Orazio Raimondo, 18 - 00133, Roma (RM)

<sup>c</sup> Archivio Segreto Vaticano, 00120, Città del Vaticano

monia.vadrucci@enea.it

Convegno Nazionale  
8-10 Novembre 2017  
Salerno

Le trasformazioni della materia indotte dalla radiazione ionizzante (RI), relative alla riorganizzazione dei nuclei e degli elettroni, influenzano le proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei materiali irradiati inducendo effetti specifici. Dal punto di vista biologico, un irraggiamento con RI condotto su popolazioni microbiche (batteriche o fungine) ha l'effetto di provocare danni irreversibili al loro materiale genetico, inibendone la replicazione e riducendo la carica microbica [1]. Il trattamento con RI a bassa energia è non distruttivo per numerosi tipi di materiali, consente di operare su grandi volumi senza pre-trattamenti rendendoli disponibili direttamente e immediatamente dopo il trattamento, contrariamente a quanto accade con le lavorazioni a base di prodotti chimici che permangono nel materiale anche per lunghi periodi.

La radiazione gamma viene utilizzata per la decontaminazione di materiali bibliotecari e di archiviazione danneggiati da microrganismi e macrorganismi quali batteri, microfunghi ed insetti xilofagi.

Questo lavoro è volto a dimostrare che l'azione di recupero di substrati biodegradati può essere eseguita con una fonte di radiazione alternativa a quelle convenzionali (Cobalto-60) con un vantaggio economico, una gestione semplificata degli impianti e minori limitazioni alle procedure di lavoro.

La sorgente di RI, realizzata presso il C.R. ENEA di Frascati, e che consente di operare con elettroni di energia 4.8 MeV [2] e RX di Bremsstrahlung (sorgente REX [3]), è stata impiegata per il trattamento di sterilizzazione di provini biodegradati [4].



Schema a) e foto b) del LINAC per la produzione di RI e della camera di irraggiamento rispettivamente. C) interno della camera di irraggiamento con il target di conversione ed il collimatore di piombo [3] per la RI e la strumentazione di misura del rateo di dose

## Caratteristiche del LINAC presso il C.R. ENEA Frascati

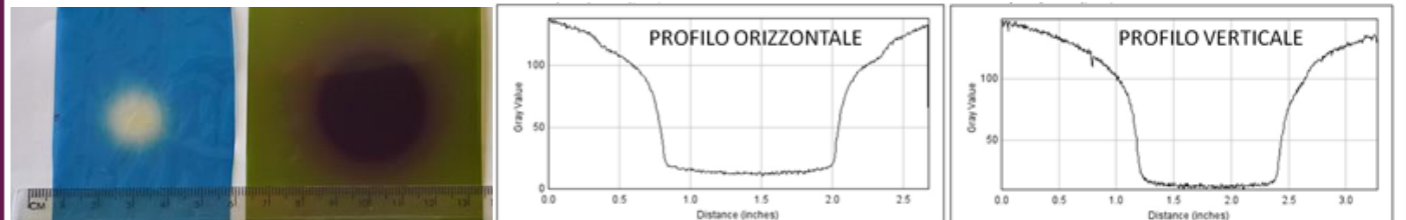
I fasci di elettroni accelerati vengono utilizzati direttamente o trasformati in raggi X di Bremsstrahlung tramite bersaglio di tungsteno spesso 1.64 mm. I raggi X generati hanno energia poco superiore ad 1 MeV, con un'efficienza di conversione di circa il 5%.

Energia	4.8 MeV
Potenza massima	900 W
Frequenza RF	2999 Hz
Fattore Q0	12000
Coefficiente di accoppiamento	1.9
Impedenza Shunt	72.7 MΩ/m
Numero di cavità acceleranti	7+2 (1/2)
Numero di cavità accoppiate	8
Lunghezza delle cavità	48 mm
Durata impulso (FWHM)	3.5 μs
Corrente a 4.8 MeV	180 mA
Frequenza di ripetizione	100 Hz (max)

## DOSIMETRIA E DISTRIBUZIONE DI DOSE

La caratterizzazione dosimetrica del fascio di RX è stata effettuata in collaborazione con l'Istituto di Radio Protezione di ENEA [3].

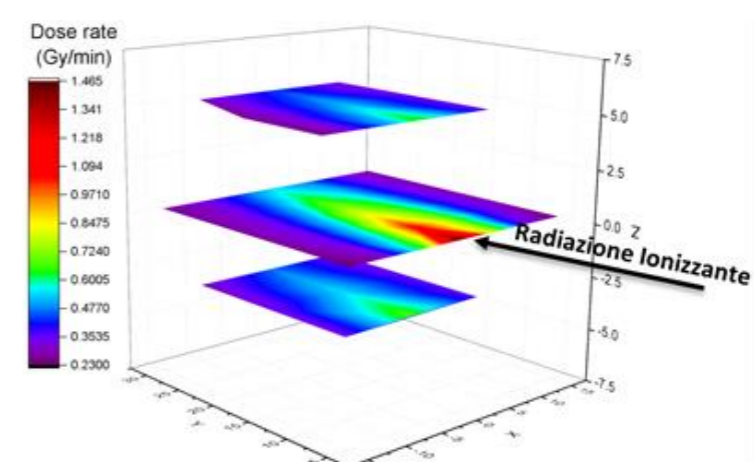
Le misure di distribuzione di dose, effettuate presso il laboratorio APAM, sono state eseguite utilizzando film radiocromici (composti da un singolo o doppio strato di monomero organico microcristallino sensibile alla radiazione accoppiato con un sottile strato di poliestere trasparente) ed in particolare le pellicole FWT-60-00 prodotte da Far West Technology e le pellicole auto-sviluppanti per dosimetria assoluta Gafchromic EBT3.



Distribuzione di dose utilizzando pellicole radiosensibili: pellicola blue cellophane esposta a fascio di elettroni, l'area scolorita al centro è la parte irraggiata; pellicola Gafchromic EBT3 esposta a RX: la parte scura è la parte con la maggior dose assorbita. Profili di omogeneità del fascio di raggi X sulla pellicola Gafchromic EBT3

La pellicola blue cellophane è stata posizionata a 5 cm di distanza dal collimatore ed esposta al fascio di elettroni accelerati per 120 secondi, mentre la pellicola EBT3 esposta per 60 secondi ai RX è stata posizionata sulla lamina di alluminio all'uscita del collimatore di piombo (distanza  $y=0$ ). I profili di omogeneità ottenuti con la configurazione sperimentale adottata mostrano che lo spot di RX prodotto è altamente omogeneo ed ha un'ampiezza di circa 3.5 cm lungo l'asse orizzontale e 3 cm lungo l'asse verticale.

La dose istantanea ed il rateo di dose sono misurati on-line tramite una camera a ionizzazione a singolo canale, piana e parallela di tipo Markus, modello PPC05 prodotta da IBA (adatta per misure di dosimetria assoluta con fasci di protoni, elettroni e fotoni in radioterapia). Un sistema di posizionamento pilotabile da remoto appositamente realizzato consente di collocare lo strumento di misura all'interno della camera di irraggiamento nella posizione desiderata. Sono stati misurati i ratei di dose nell'intero volume a disposizione su diverse griglie di punti.



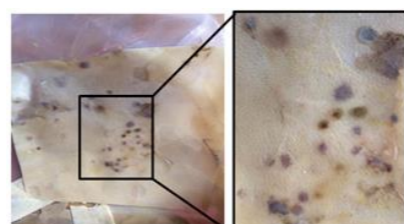
Distribuzioni di rateo di dose misurate con camera a ionizzazione IBA mod. PPC05 sul piano di uscita del fascio di RI ( $z=0$ ) e su due piani paralleli ( $z=-5$  e  $z=5$ )

## PROCEDURA DI TRATTAMENTO DEI PROVINI

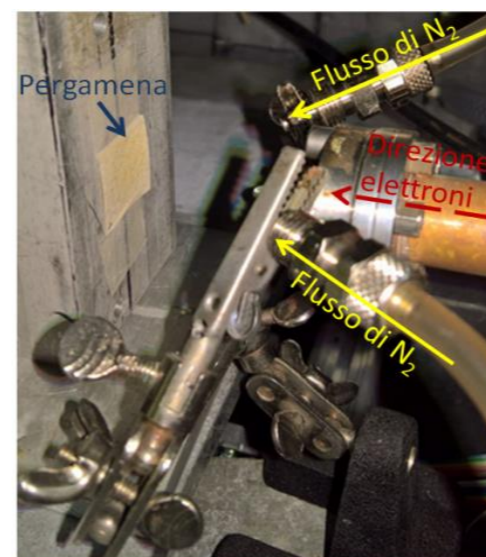
Un esperimento pilota, volto ad identificare la sensibilità del supporto pergameneo al trattamento con RI, prevede l'utilizzo di ritagli di pergamene, antica e moderna, privi di valore storico-culturale in quanto non scritte. L'analisi degli effetti dell'irraggiamento su questo materiale costituirà la base conoscitiva per modulare i tempi e le intensità di esposizione che non danneggino il supporto ma che ne permettano la sterilizzazione.



Ritagli di pergamena antica (a sinistra) e moderna (a destra) biodeteriorata in condizioni di elevata umidità a temperatura ambiente per 30 giorni e conservati in piastre Petri sigillate



Particolare della pergamena moderna: segni di danno biologico attraverso la comparsa di macchie scure, dopo l'esposizione ad elevata umidità a temperatura ambiente



Terminale di estrazione del LINAC nel setup di irraggiamento con elettroni in flusso di azoto di campioni di pergamena non biodegradata

La valutazione degli effetti del trattamento verrà effettuata con diverse metodi.

Le analisi SEM consentiranno di confrontare l'aspetto dei campioni prima e dopo il trattamento, mentre le tecniche di microbiologia (colture su terreni solidi e liquidi) permetteranno di valutare la carica microbica prima e dopo l'irraggiamento.

Verrà definito un valore di dose adeguata per un trattamento efficace dei microrganismi ed eventuali sue sue spore, ed un valore massimo al di sopra del quale potrebbero verificarsi modifiche indesiderate delle caratteristiche funzionali e meccaniche essenziali del bene.

[1] P. Mandrioli, G. Caneva, C. Sabbioni, *Cultural heritage and aerobiology* (2003), ISBN 978-94-017-0185-3

[2] F. Borgognoni, M. Mayer, L. Picardi, M. Vadrucci, M. Zibrov, W. Egger, *MeV electron-beam irradiation of tungsten for vacancy creation*, European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes, Thessaloniki, Greece, 17-22 September, 2017.

[3] P. Ferrari, M. Vadrucci, F. Borgognoni, L. Campani, F. Mariotti, *Caratterizzazione della sorgente di Bremsstrahlung REX*, Convegno Nazionale AIRP di Radioprotezione – Salerno, 8-10 Novembre 2017

[4] F. Borgognoni, M. Vadrucci, G. Bazzano, P. Ferrari, S. Massa, R. Moretti, M. Calvitti, C. Ronsivalle, A. Moriani, L. Picardi, *X-ray sterilization of insects and microorganisms for cultural heritage applications*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B (2017) 309-311