



AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,  
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

LuBeC 2024  
Real Collegio di Lucca  
9-10 OTTOBRE



# Venti di cultura



## Tutela e valorizzazione del Patrimonio bibliografico: La Biblioteca Universitaria di Napoli

Le potenzialità e l'efficacia delle radiazioni ionizzanti per  
la conservazione dei Beni Culturali

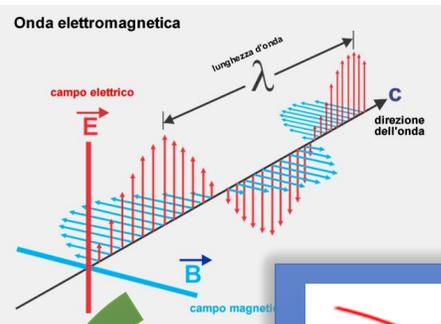
Alessia Cemmi (ENEA, Lab. NUC-IRAD-GAM – facility di irraggiamento gamma Calliope)

Teresa Rinaldi (Sapienza Università di Roma, Dip. Biologia e Biotecnologie Charles Darwin)

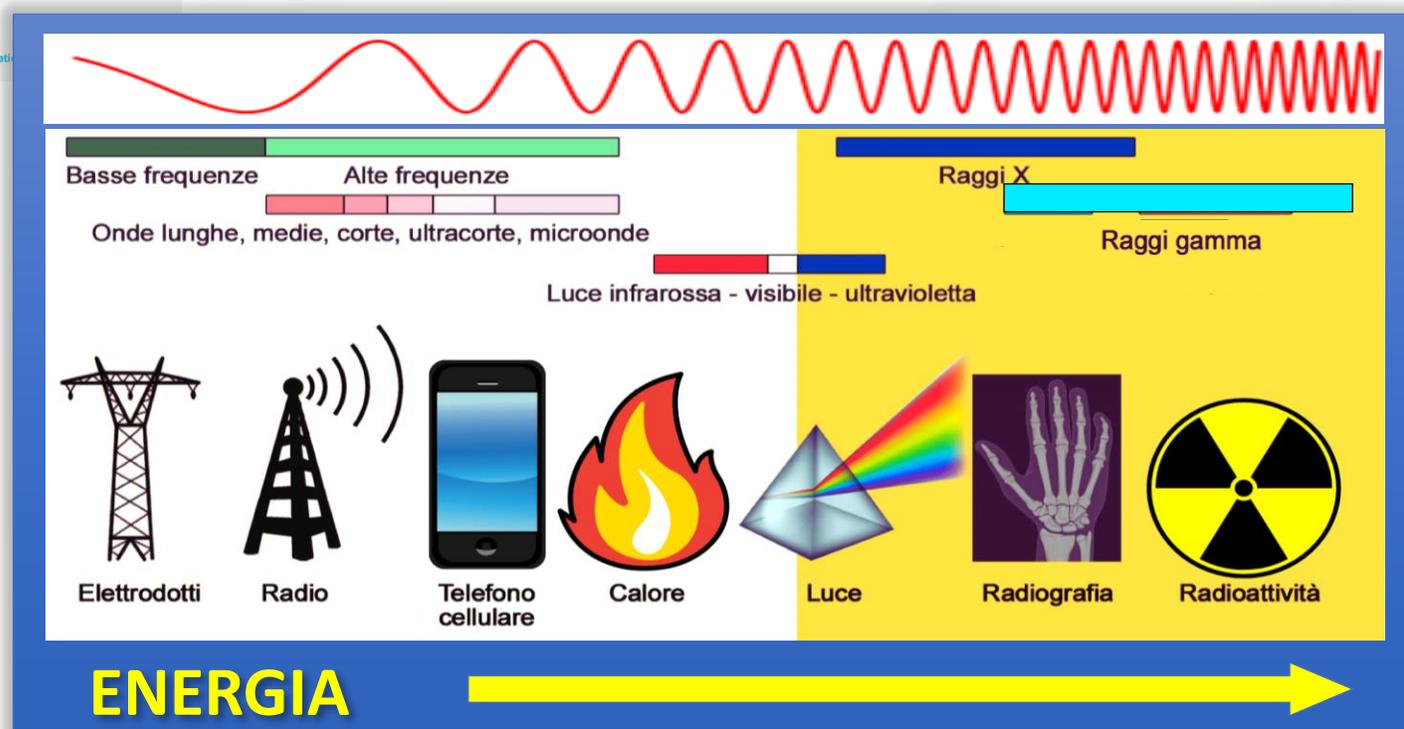


www.lubec.it

- **Le radiazioni ionizzanti**
- **Le radiazioni ionizzanti per i Beni Culturali**
- **ENEA: esperienza pregressa, progetti e collaborazioni**
- **Approccio metodologico e casi studio**



**Raggi X, raggi gamma:**  
onde elettromagnetiche di elevata energia

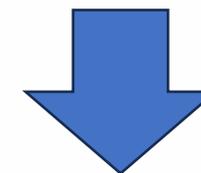


Non ionizzanti

Ionizzanti

**Elettroni:**  
particelle con carica negativa

**Raggi X, gamma ed elettroni:**  
differente capacità di penetrazione nei materiali



**Elettroni:** millimetri

**Raggi X:** centimetri

**Raggi gamma:** metri

## Industria

## Sicurezza

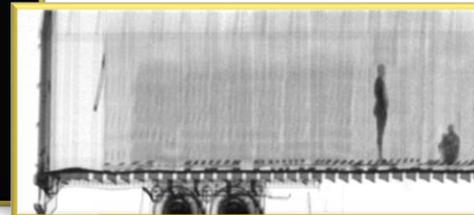
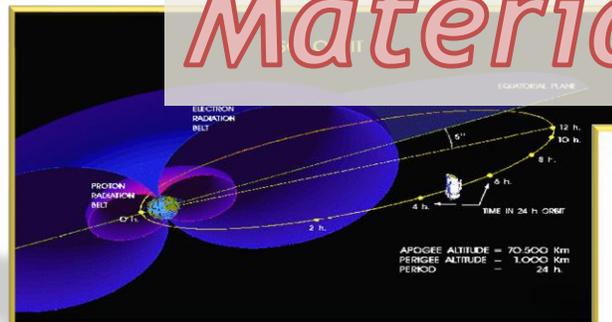
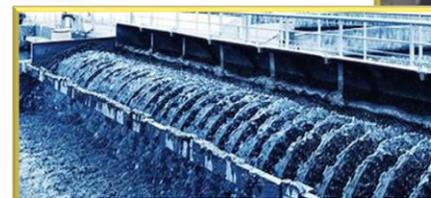
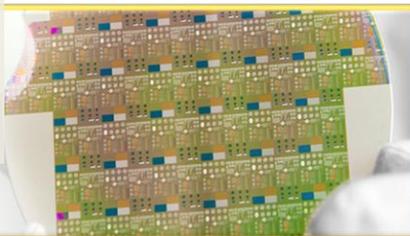
## Sterilizzazione

## Ambiente

## Medicina

## Materiali

## Agri-food



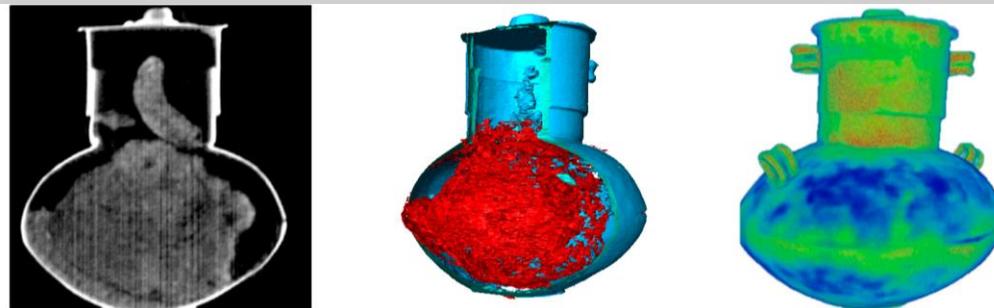
## DIAGNOSTICA



### Datazione ( $^{14}\text{C}$ )

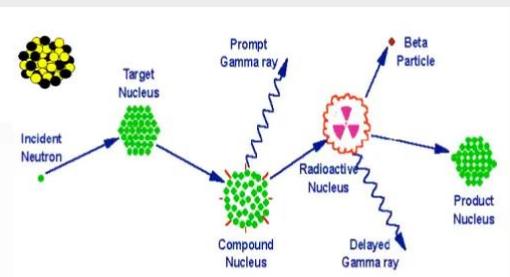


### Radiografia e tomografia neutronica



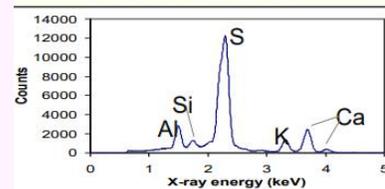
Tecniche ampiamente utilizzate e accettate

### Analisi per Attivazione Neutronica (NAA)



### Analisi con ioni e luce di sincrotrone

#### Analisi spettrale

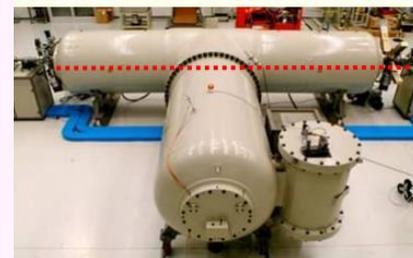


#### Rivelatori di radiazione



Emissione di radiazione caratteristica (raggi X, raggi  $\gamma$ , particelle, luce visibile, ...)

#### Acceleratore di particelle



Fascio esterno di ioni (H o He) con energia dell'ordine dei MeV

Oggetto da analizzare



## TRATTAMENTO

### Consolidamento, pulizia e protezione superficiale

Resine, polimeri e idrogel prodotti  
mediante irraggiamento

Manufatti costituiti da materiali porosi  
(lignei, lapidei), superfici pittoriche, carta,  
pergamena



### Conservazione

Disinfestazione e disinfezione da agenti biodeteriogeni  
(*insetti, funghi, muffe, spore*) mediante irraggiamento

Manufatti costituiti da materiali di origine naturale  
(carta, legno, pergamena, pelle, tessuti...)



Tecniche molto diffuse  
all'estero ma non  
ancora in Italia

## Biodeterioramento

### Metodi tradizionali

#### Metodi chimici e fisici:

- **biocidi** (*sostanze chimiche tossiche, non sempre efficaci*)
- **freeze-drying** (*non eliminano le spore fungine*)
- **fumigazione** (*residui all'interno del materiale, quarantena, sostanze bandite es. ossido di etilene*)

### Processi di irraggiamento

#### Trattamento con radiazioni ionizzanti:

- **trattamento green** (*non tossico per l'uomo e per l'ambiente*)
- **più efficace, rapido e sostenibile** rispetto ai metodi tradizionali
- **interesse sempre crescente** da parte del mondo dei Beni Culturali

## Processi di irraggiamento: punti di forza

- ✓ **non viene indotta radioattività negli oggetti trattati;**
- ✓ **non** è richiesto l'impiego di **sostanze chimiche** (*spesso dannose per la salute degli operatori o non più ammesse*);
- ✓ **assenza di residui** tossici o pericolosi a seguito del trattamento (*quarantena non necessaria*);
- ✓ processo condotto **in aria e a temperatura ambiente** (*senza aumenti indesiderati di temperatura: raggi gamma e X*);
- ✓ **processo rapido**, adatto al trattamento di **grandi volumi** (*radiazione gamma, poche ore*);
- ✓ **effetto letale e simultaneo** su tutti i biodeteriogeni (*danno al DNA di insetti, uova, larve, microorganismi, spore fungine*);
- ✓ **trattamento simultaneo** della **superficie e dell'interno** del materiale (*raggi gamma*);
- ✓ **non è necessario rimuovere imballi di trasporto** (*raggi gamma*);
- ✓ adatto a **oggetti polimerici e di forme complesse**
- ✓ **materiale trattato non diventa più suscettibile ad attacchi successivi** (*mantenimento in condizioni ambientali idonee*);
- ✓ **compatibile** con **azioni di restauro, attuale normativa e linee guida del IFLA**

### Soluzioni portatili

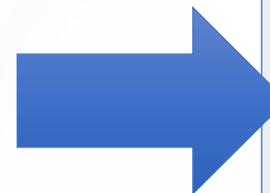
(*elettroni e raggi X, spessori molto ridotti*)

## Processi di irraggiamento: effetti secondari

indistinguibili da quelli dovuti a:

Invecchiamento  
naturale

Cattive condizioni di  
conservazione  
(umidità, illuminazione,  
temperatura...)



Modifiche strutturali  
(creazione o rottura di legami)  
o chimiche (ossidazione)



infragilimento



modifica del colore  
(ingiallimento,  
imbrunimento)

- ogni trattamento (chimico o fisico) può avere effetti secondari
- è fondamentale ottimizzare procedure e parametri di trattamento per minimizzarli
- processi di trattamento: criteri di necessità e ragionevolezza.

## Esperienza pregressa

- studi sugli **effetti biologici** delle radiazioni gamma (*M. Adamo, M. Magaudda, lavori scientifici di riferimento*); *collaborazione con ICPAL*
- studi su **differenti supporti** (*carte stampate e fotografiche, inchiostri, CD-ROM, pergamena...*)

## Collaborazioni e progetti internazionali



**IAEA**

International Atomic Energy Agency



**Emissione di linee guida  
di trattamento condivise a  
livello internazionale**

*Coordinated Research Projects (CRPs)*

Conservazione dei Beni Culturali

(più di 25 Paesi partecipanti)



**Range di dose suggerita:  
(8 ± 2) kGy**

*0.5 < insetti < 2 kGy*

*→ Muffe, funghi (spore)*

## Collaborazioni e progetti nazionali

- **progetto PERGAMO**  
(*ENEA, UNIRM1, UNICAS*);



*10 stakeholder (Archivio Abbazia di Montecassino)*

- **nuove collaborazioni**  
(*BUN, Istituto Alcide Cervi*)

## DEFINIZIONE DI UN PROTOCOLLO DI INTERVENTO SCALABILE E RIPROPONIBILE

### CAMPIONAMENTO

- **Corretta metodologia**  
*(non invasiva, assenza di contaminazione)*
- **Campionamento significativo**  
*(rappresentativo, in situ)*



### STUDI MICROBIOLOGICI

- **Verifica dell'efficacia del trattamento**  
*(eliminazione comunità biodeteriogene)*
- **Verifica nel tempo**  
*(crescite più o meno lente)*



### PROCESSO DI IRRAGGIAMENTO

- **Ottimizzazione dei parametri**  
*(dose assorbita, intensità di dose, condizioni ambientali, omogeneità della dose)*
- **Criteri di giustificazione e limitazione**



### CARATTERIZZAZIONE DEI MATERIALI

- **Scelta delle tecniche di misura**  
*(non distruttive, non invasive, in situ o ex situ)*
- **Affidabilità e riproducibilità delle misure**  
*(inter- e intra-laboratorio)*



## Biblioteca Nazionale Universitaria (Zagabria, Croazia)



**STEP 1:**  
Campionamento prima dell'irraggiamento (t = 0 giorni)



**STEP 2:**  
**Crescita delle comunità microbiche**

## Prima dell'irraggiamento

**1a copertina**      **1b prima pagina**

*t = 3 giorni*



*t = 7 giorni*



**2a copertina**      **2b pagina interna**

*t = 3 giorni*



*t = 7 giorni*



## Dopo irraggiamento

**130 Gy/h**

**STEP 3:**  
Irraggiamento delle comunità microbiche



**STEP 4:**  
Ottimizzazione dei parametri di irraggiamento per l'eliminazione delle comunità microbiche

**1a copertina**      **1b prima pagina**

*t = 3 giorni*

**4 kGy**

*t = 7 giorni*

*MONISTISCHE SONNTAGS-PREDIGTEN VON WILHELM OSTWALD*

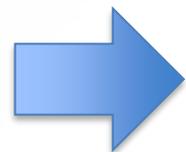
**2a copertina**      **2b pagina interna**

*t = 3 giorni*

**8 kGy**

*t = 7 giorni*

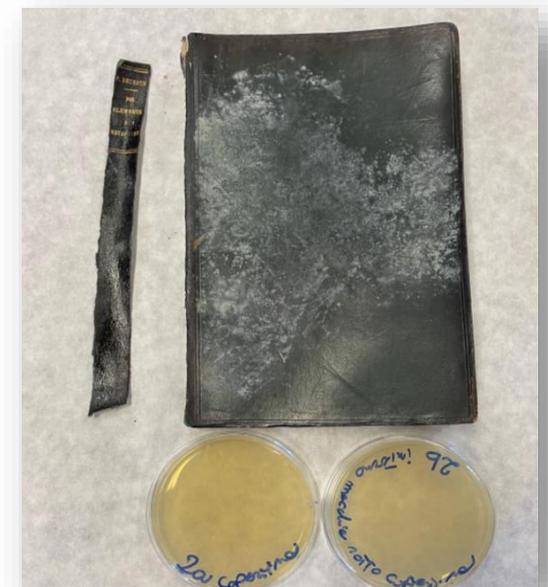
**STEP 5:**  
Irraggiamento dei libri  
alle condizioni  
individuate (eliminazione  
comunità microbiche)



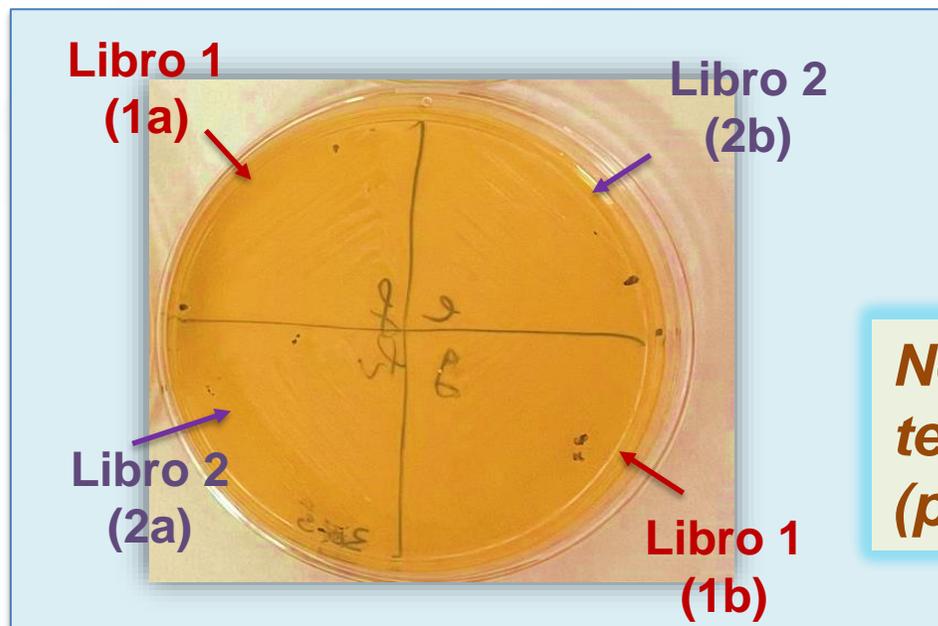
**STEP 6:**  
Verifica dell'efficacia del  
trattamento (nuovo campionamento  
dei libri dopo l'irraggiamento)

**1500 Gy/h**

**Libro 2**



**Libro 1**

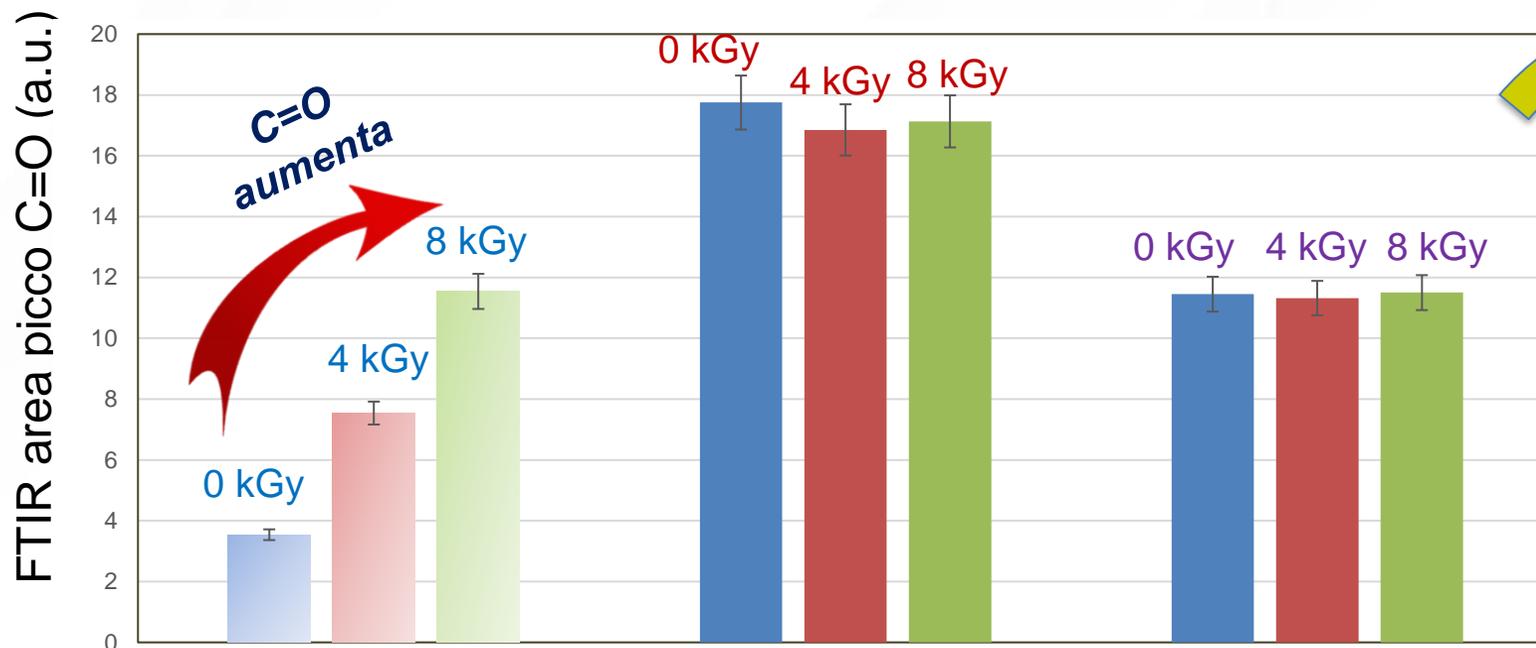


**Nessuna crescita nel tempo  
(post irraggiamento)**

**STEP 7:**  
**Caratterizzazione del materiale**

**Effetto della dose sull'ossidazione della carta (FTIR, gruppi C=O)**

modifica del colore



**Carta Whatman**  
**(nuova, materiale di riferimento, pura cellulosa)**



Libro 1



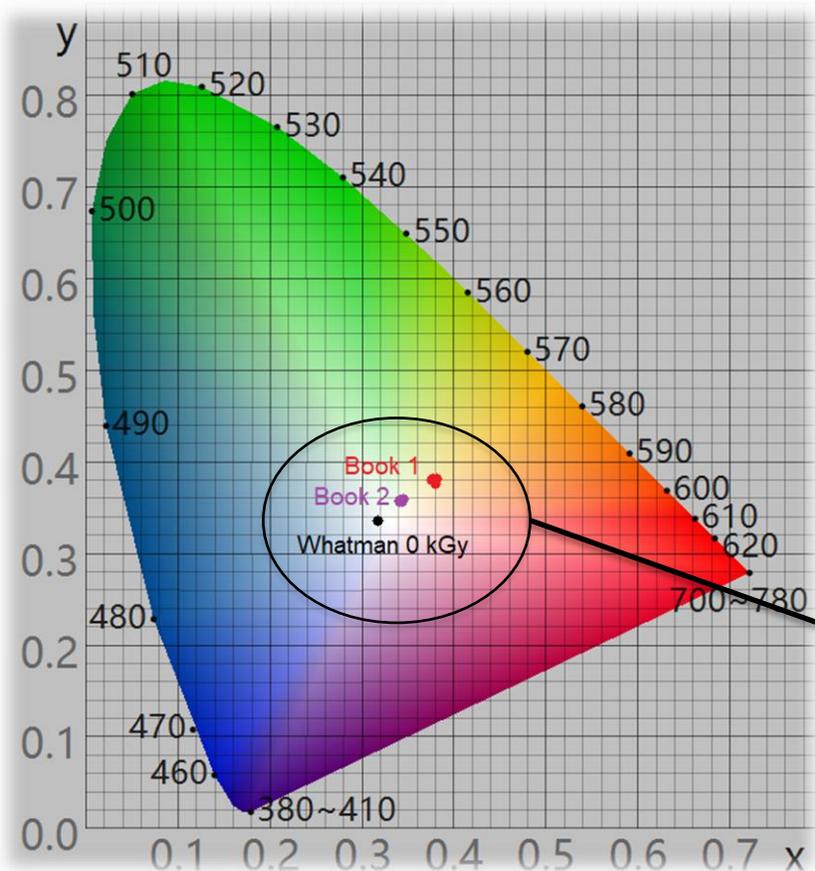
Libro 2

- ✓ *La carta invecchiata non si ossida a seguito dell'irraggiamento*
- ✓ *Stato di ossidazione differente prima dell'irraggiamento (condizioni di conservazione, età)*

**STEP 7:**  
Caratterizzazione  
del materiale

**Effetto della dose sul colore della carta  
(Spazio CIE)**

modifica del colore



Libro 1

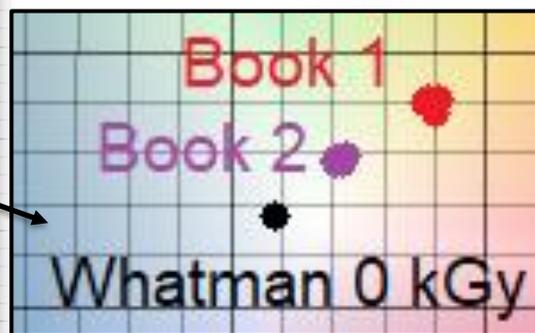


Libro 2



**Carta Whatman  
(nuova, materiale di  
riferimento, pura cellulosa)**

Prima e dopo irraggiamento



- ✓ Non si osserva variazione di colore a seguito dell'irraggiamento
- ✓  $\Delta E^* < 1$  (non percettibile dall'occhio umano)

**STEP 7:**  
**Caratterizzazione del materiale**

**Effetto della dose sulla struttura della carta**  
*(grado di polimerizzazione DP, misure viscosimetriche)*



**infragilimento**

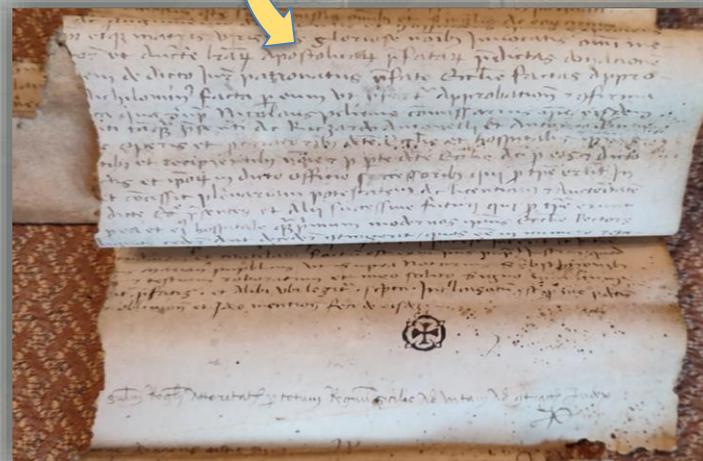
- ✓ *La carta invecchiata (più ossidata) è più stabile*
- ✓ *Grado di polimerizzazione differente prima dell'irraggiamento (condizioni di conservazione, età)*

Frammento di *incunabulum*, XV secolo (carta)



## Archivio dell'Abbazia di Montecassino (Frosinone)

Documento datato  
«Sulmona, 31 luglio 1448»  
(pergamena)



Campionamento ed analisi microbiologiche



**Archivio dell'Abbazia di  
Montecassino (Frosinone)**

Analisi chimico-fisiche presso la facility di  
irraggiamento gamma Calliope (ENEA)



03/10/2018 19:54:23  
CAM-Robot



ENEA, C.R. Casaccia, Roma



Impianto di irraggiamento gamma  
(sorgente Cobalto-60, a piscina)

Facility di ricerca con  
caratteristiche uniche a livello  
italiano ed europeo

## Laboratorio di dosimetria, caratterizzazione e trattamento

- Caratterizzazione ottica e spettroscopica
- (UV-VIS, FTIR, fotoluminescenza, micro Raman, ESR, Colorimetria)
- Test di invecchiamento accelerato in stufa o Camera Climatica (anche UV)

ISO 9001





- Le radiazioni ionizzanti possono essere applicate con successo per la disinfestazione e disinfezione di beni costituiti da materiali di origine naturale (carta, legno, tessuti, pergamene, pelle...)
- Ottimizzando i parametri di irraggiamento (dose, intensità di dose, condizioni ambientali) si minimizzano gli effetti secondari (infragilimento, variazione di colore)
- Ogni tipo di radiazione ionizzante (raggi gamma, raggi X, elettroni) ha delle caratteristiche ben precise ed è possibile scegliere la tipologia più adatta da utilizzare
- Interesse sempre crescente per queste tecnologie (vantaggi rispetto ai metodi di trattamento tradizionali) ma necessità di maggior diffusione.
- Casi studio: importanti per una migliore comprensione della tecnologia e del processo.

Grazie per  
l'attenzione

[alessia.cemmi@enea.it](mailto:alessia.cemmi@enea.it)

Responsabile Laboratorio facility di irraggiamento gamma  
ENEA NUC-IRAD-GAM