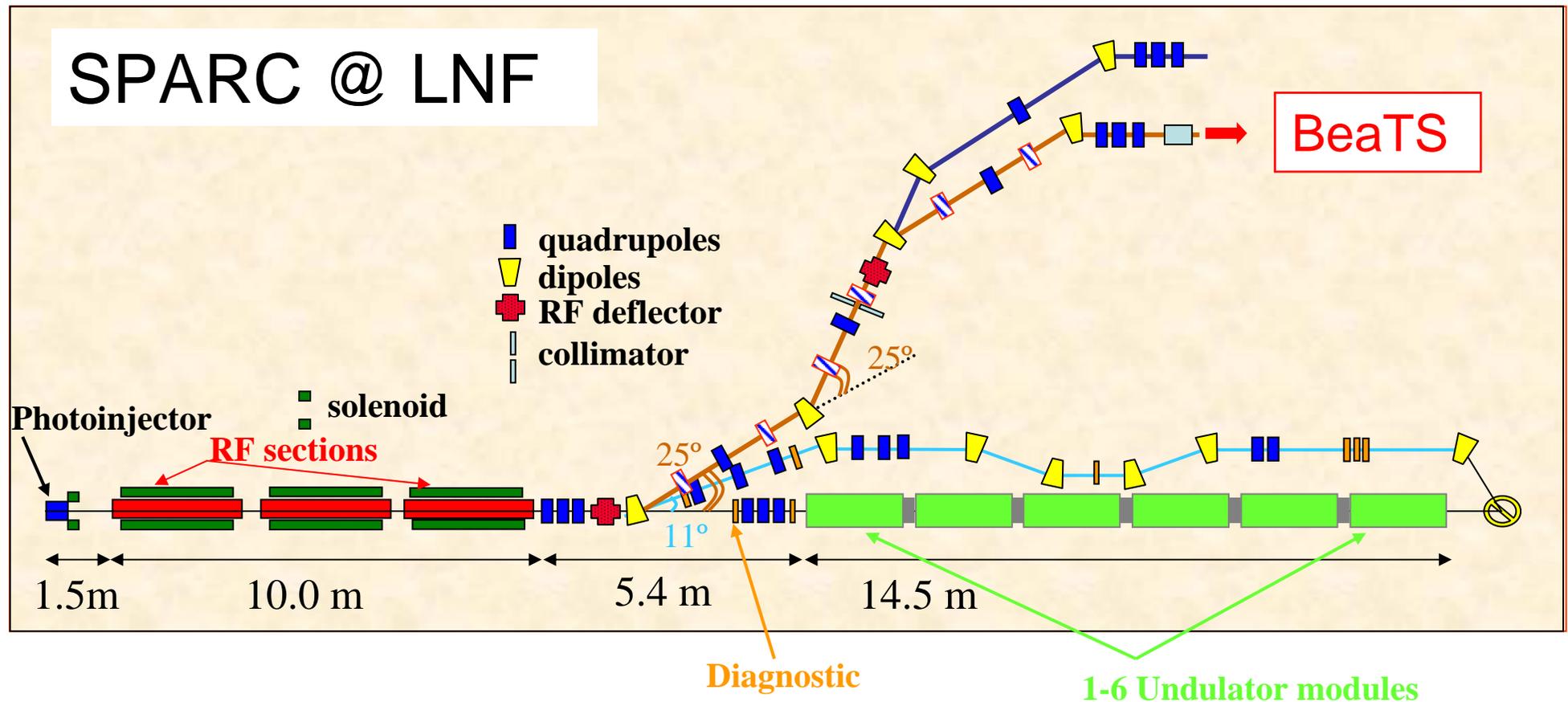


BEATS

Thomson back-scattering X-ray source

Quasi-monochromatic beam

$$\overline{E}_X = 20 \div 800 \text{ keV}$$



Descrizione sorgente



- **Geometria**
 - Dimensione sorgente: $13 \mu\text{m}$
 - Divergenza: 5 mrad
 - Distanza sorgente-detector $\sim 10\text{m}$
 - Dimensione dell'area illuminata: $\varnothing=5\text{cm}$
- **Flusso**
 - 10^{10} fotoni/s
- **Struttura temporale**
 - Bunch da 6 ps , rep. rate 10 Hz
- **Coerenza spaziale**
- **Spettro quasi-monocromatico con presenza di armoniche**

APPLICAZIONI

- 1. Mammografia**
- 2. Low-dose lung CT**
- 3. Identificazione di materiali fissili**
- 4. Cristallografia**
- 5. Microdensitometria 3D per i beni culturali**

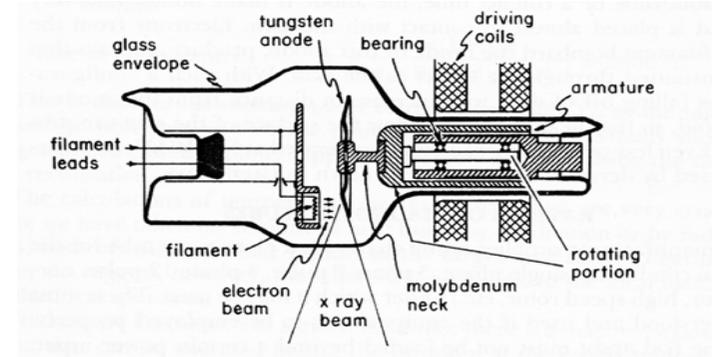
Imaging

mammografico

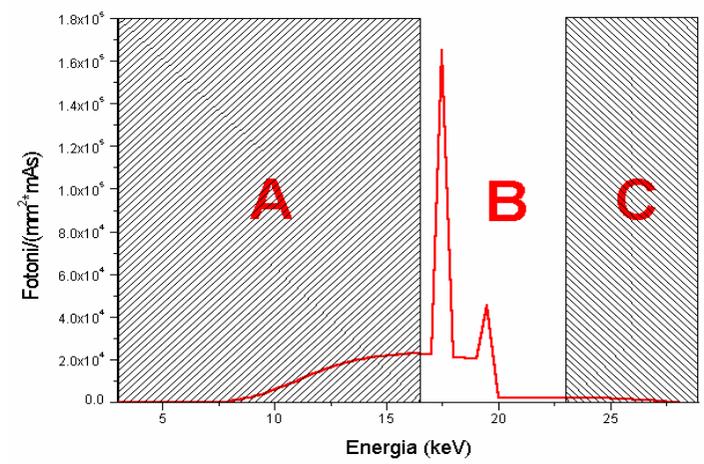
ESEMPIO DI IMAGING: MAMMOGRAFIA (2)

La sorgente tradizionalmente usata per produrre raggi X in mammografia e' il tubo RX.

Risoluzione spaziale richiesta $\sim 100 \mu\text{m}$
Flussi elevati $\sim 10^7 \gamma/(\text{mm}^2 \text{ s})$.



Anode Material	Molybdenum
Anode Angle	12°
Anodic Voltage	28 kV
Filtrations	1 mm Be 0.03 mm Mo 600 mm Air



Energia Ottimale in Mammografia

L'energia migliore per l'imaging del seno e' un compromesso tra qualita' dell'immagine e dose ceduta al paziente.

Dipende dallo spessore e dalla composizione del seno e dall'efficienza del rivelatore.

I valori generalmente accettati per tale energia variano nel range

17keV - 25keV

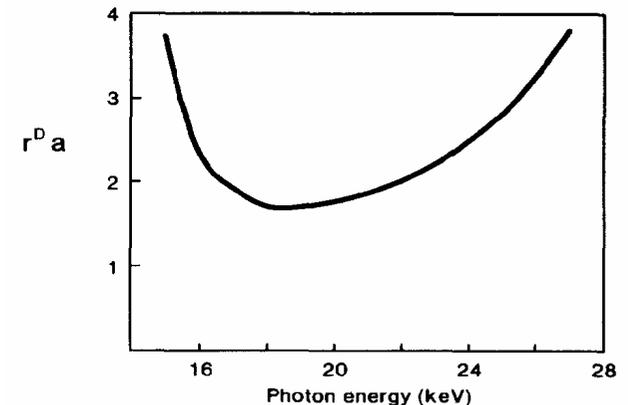
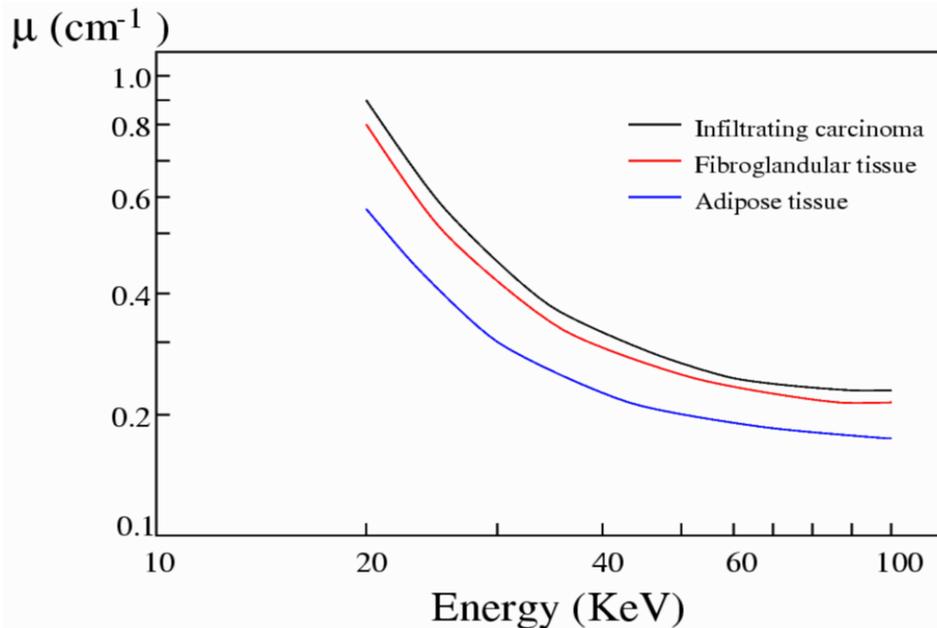


FIG. 1. Relative average absorbed dose, D_a , to the breast required for threshold visualization of a 0.1-cm cube of muscle within a breast 5 cm thick, composed entirely of adipose tissue, using an ideal detector.

Controllo della Dose in Mammografia

Sopravvivenza a cinque anni per pazienti affetti da cancro al seno:

- **96%** per tumori rivelati e trattati al **primo stadio** (asintomatici)
- **77%** per tumori in **stadio intermedio** (invasione dei tessuti limitrofi)
- **21%** per tumori in **stadio avanzato** (trasmissione ad organi distanti)

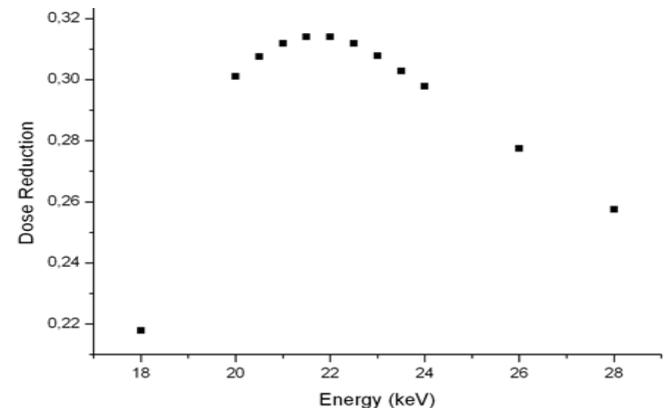
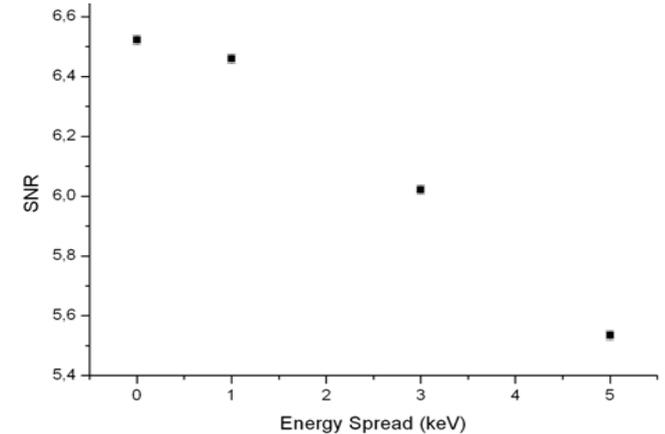
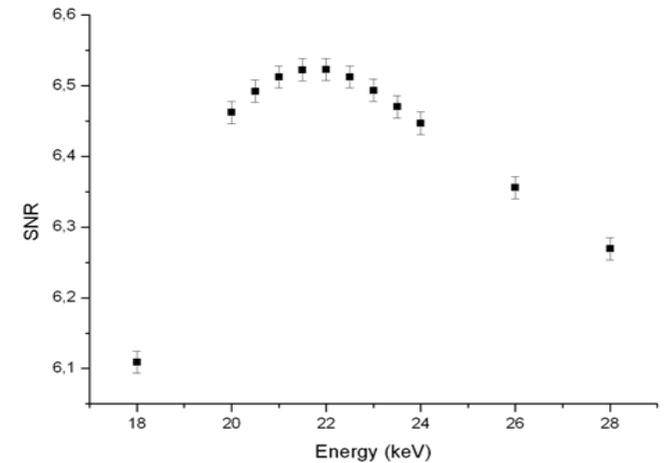
Programmi di Screening: l'intera popolazione a rischio (tutte le donne con età compresa tra 50 e 70 anni) viene sottoposta a controlli periodici.

Controllo della Dose: il rischio di cancro indotto deve essere mantenuto il più basso possibile, specialmente nei programmi di screening.

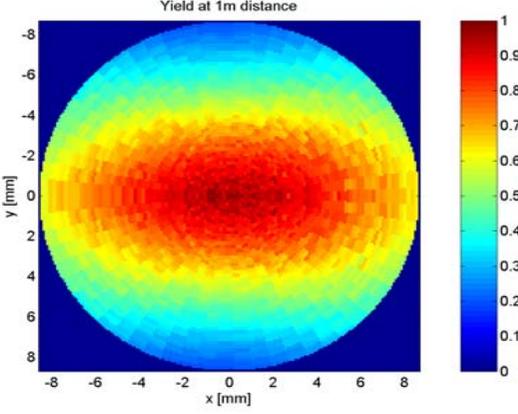
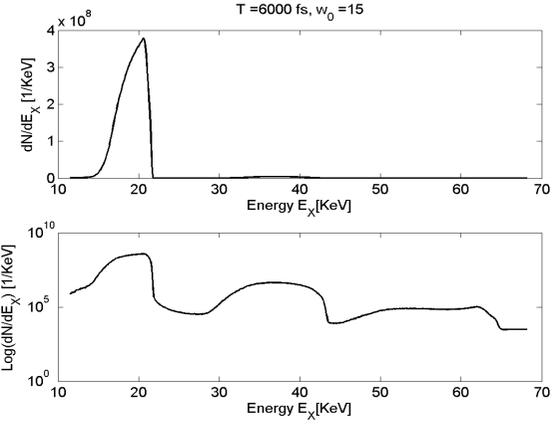
Dose Ghiandola Media: I valori oggi accettati sono dell'ordine di 2 mGy.

Simulazioni (1)

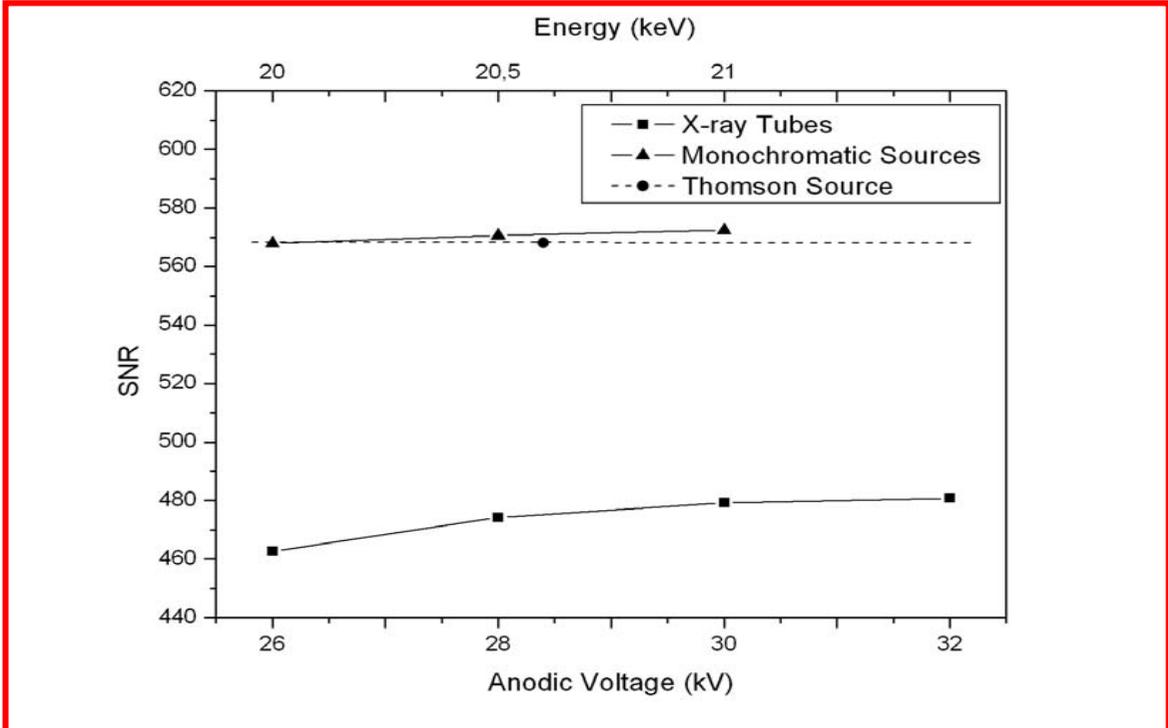
- Definizione dell'energia ottimale
- Studio della dipendenza della qualità' di immagine dall'energy spread
- Valutazione della riduzione di dose rispetto ad un tubo RX tradizionale



Simulazioni (2)



Mean: 20.6 keV , σ : 1.7 keV

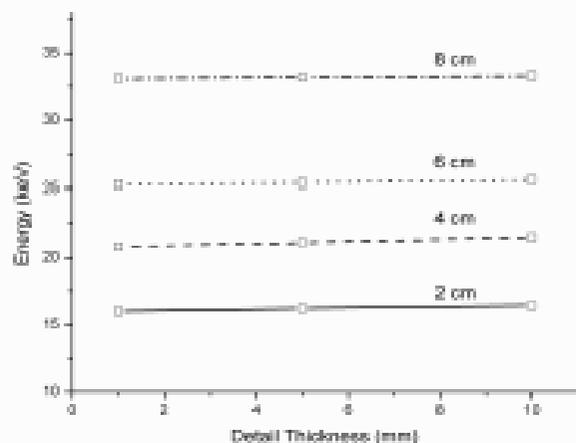


SNR a Dose fissata (1.5 mGy)

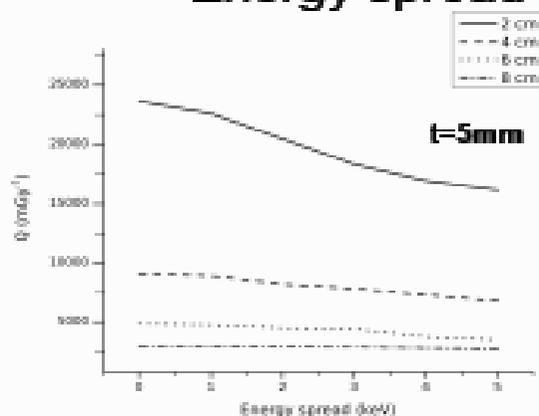
Simulazioni montecarlo, con TS, di un fantoccio mammografico 50% adiposo e 50% ghiandolare

mass

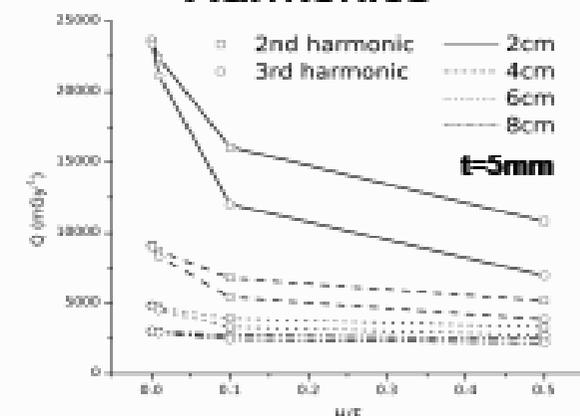
Best energy



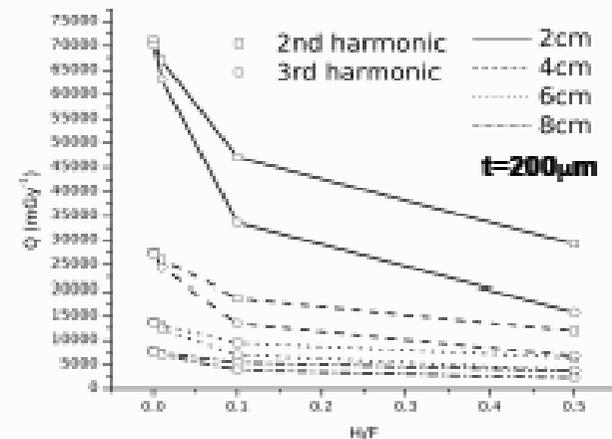
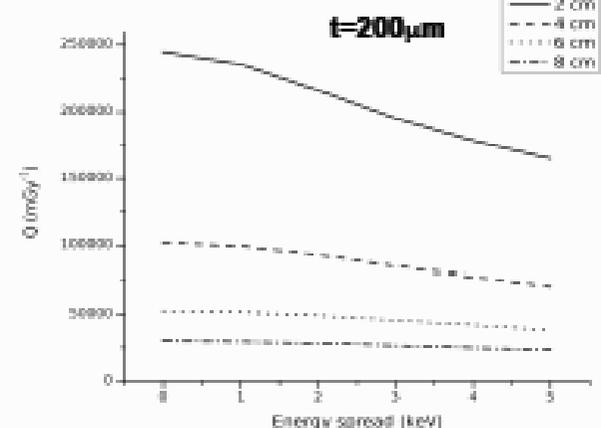
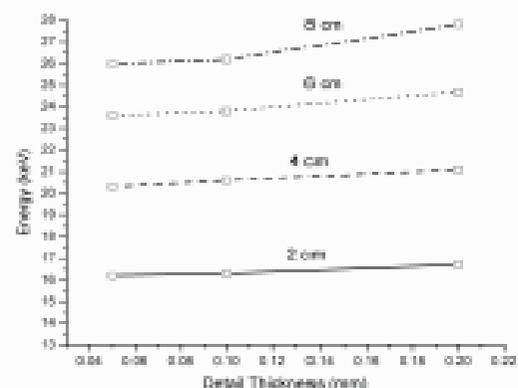
Energy spread



Harmonics



micro



Tomografia

La tomografia del seno è indagata come tecnica capace di ridurre la percentuale di donne da sottoporre a biopsia dopo un esame mammografico ambiguo.

D'altra parte sono già in corso sperimentazioni cliniche per una diagnosi precoce del cancro al polmone usando CT a spirale di bassa intensità (riduzioni di corrente da 5 a 20 volte, ed aumento del kVp).

L'utilizzo di radiazione monocromatica presenta un notevole vantaggio in termini di riduzione di dose, in quanto consente la scelta dell'energia più opportuna per un dato bersaglio.

La struttura spettrale del fascio, la possibilità di variarne l'energia media in tempi brevi, fanno di questo fascio uno strumento con grandi prospettive anche in tomografia.

Si vuole indagare, con simulazioni e misure sperimentali, la possibilità' (ed il vantaggio) di utilizzare una sorgente TB per tomografia mammografica e polmonare.

Identificazione

di

materiali fissili

K-edge imaging

- **National Security Applications:**

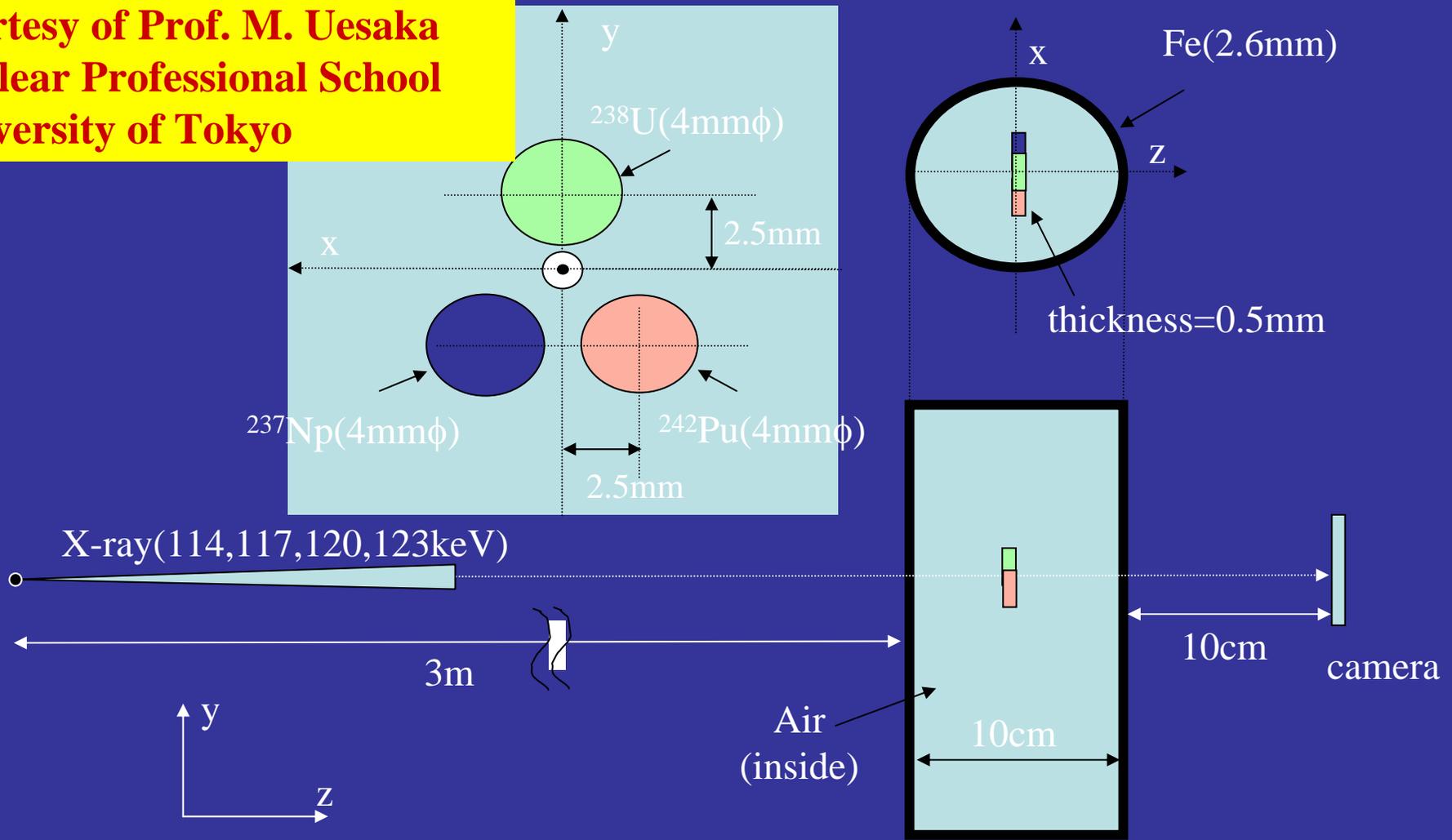
K-edge imaging of fissile elements hidden in containers

- **Material Studies:**

K-edge imaging of artistic/archeological samples

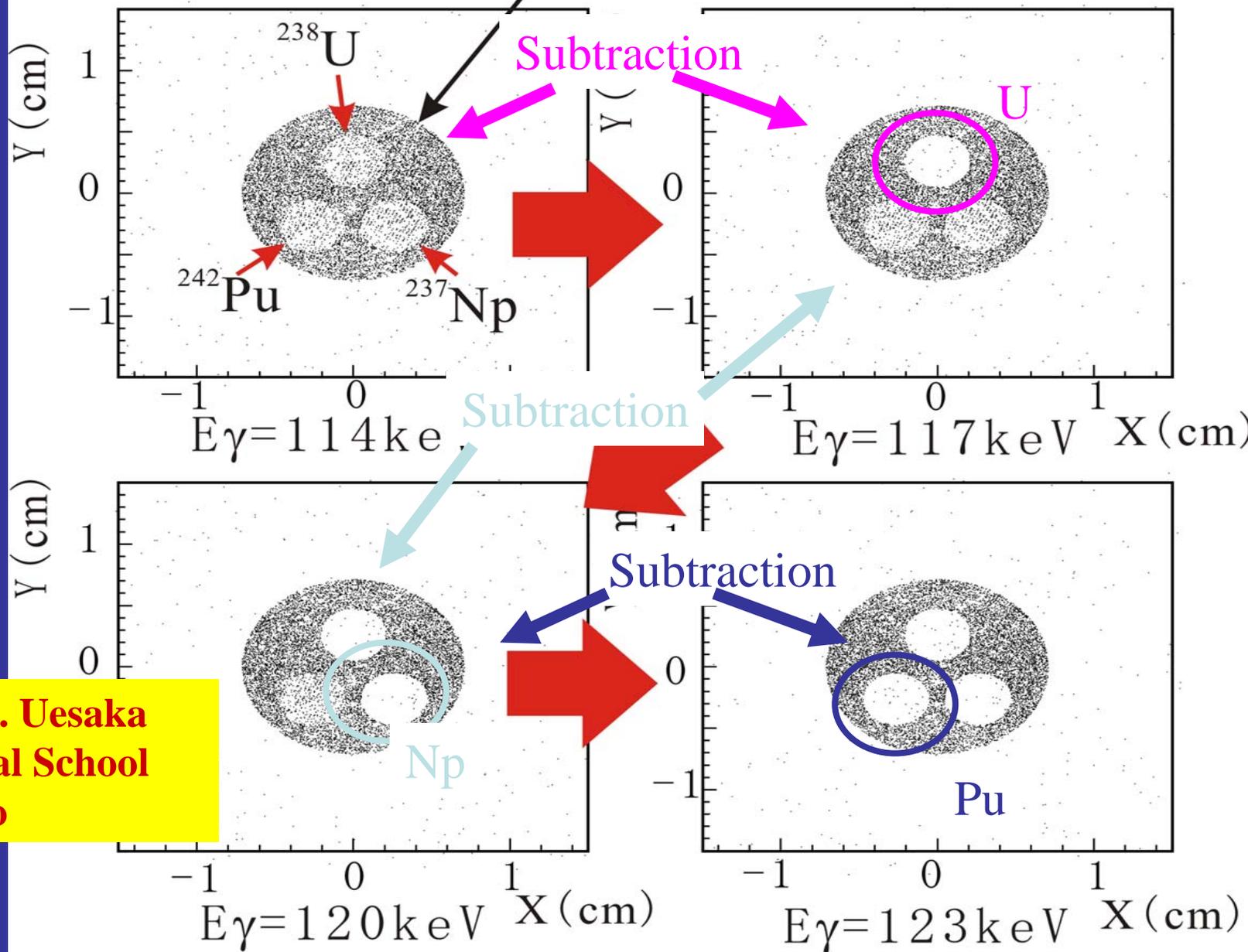
Subtraction CT across the K-edge to get 3D distribution of specified heavy atoms

courtesy of Prof. M. Uesaka
Nuclear Professional School
University of Tokyo



Atomic number identification for material inside an iron container
(EGS4 test geometry) **(*** Radiography ***)**

X-ray beam spot size



X-ray distribution
at CCD camera
(just a plot.
Pixel size is
not considered)

courtesy of Prof. M. Uesaka
Nuclear Professional School
University of Tokyo

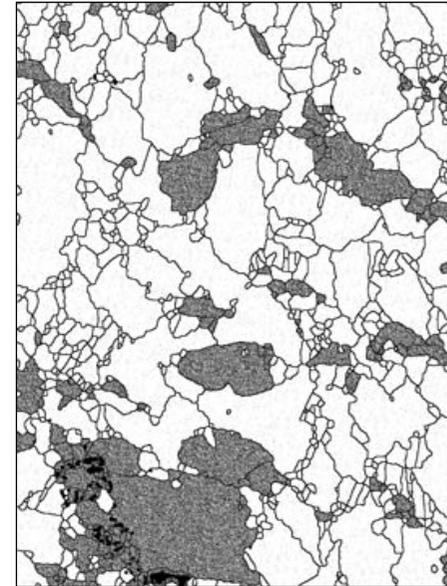
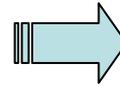
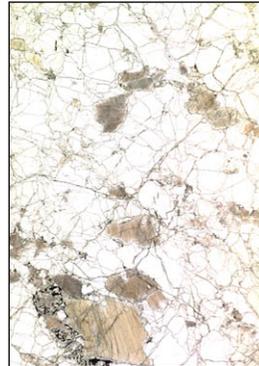
Cristallografia

Cristallografia di rocce vulcaniche (1)

Nelle rocce vulcaniche la misura della percentuale in volume di cristalli presenti all'interno di una matrice amorfa è proporzionale all'età del magma dal quale proviene la roccia



Prof. P. Armienti
Dip. Scienze della Terra
Università di Pisa



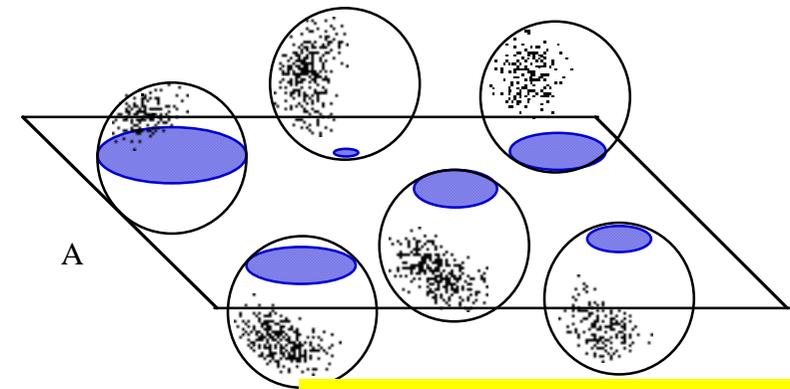
Cristallografia di rocce vulcaniche (2)

Per la ricostruzione delle distribuzioni spaziali, occorre fare delle assunzioni "a priori" sulla forma delle particelle, dal momento che forme diverse possono generare le stesse distribuzioni planari di dimensioni delle loro sezioni:

Il caso A rappresenta una distribuzione monodispersa di sfere (hanno tutte lo stesso diametro) un caso del genere si può presentare in aggregati artificiali (es calcestruzzo) o naturali (sedimento perfettamente classato).

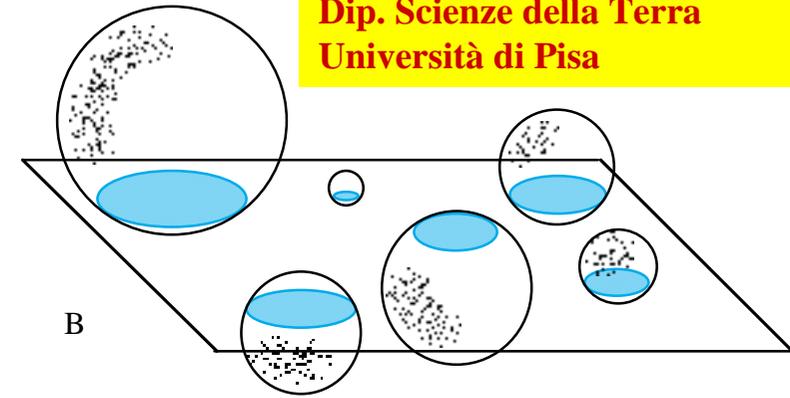
Il caso B illustra come la stessa distribuzione planare sia generabile da una distribuzione polidispersa di diametri.

Nell'ultimo caso una sola sezione non può darci alcuna informazione sulla distribuzione spaziale

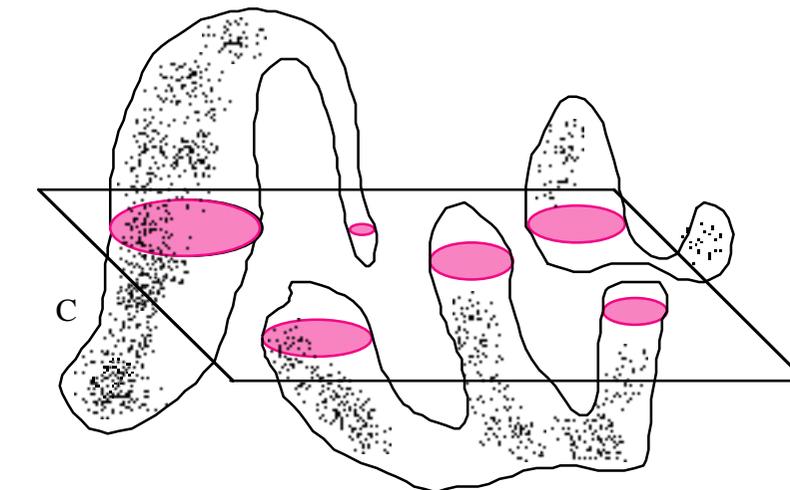


A

Prof. P. Armienti
Dip. Scienze della Terra
Università di Pisa



B



C

**Misure di
contrasto
di
fase**

BEATS – PHASE CONTRAST IMAGING

La tecnica dell'imaging in contrasto di fase è basata sull'osservazione delle figure di interferenza che si formano quando un fascio di raggi X parzialmente o totalmente coerente attraversa un campione in cui sono presenti variazioni spaziali della parte reale dell'indice di rifrazione

$$l_t \approx \frac{z_{\text{obj}} \lambda}{S}$$

l_t : lunghezza di coerenza

z_{obj} : distanza oggetto-sorgente

λ : lunghezza d'onda

S : dimensione lineare della sorgente

La struttura e l'ampiezza delle frange dipende anche dalla distanza oggetto-detector

$$n = 1 - \delta - i\beta$$

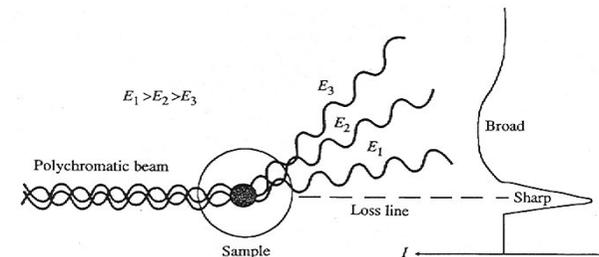
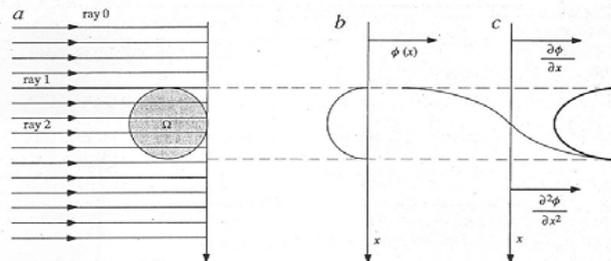
$$\phi = -\frac{2\pi}{\lambda} \int \delta(s) ds$$

β : assorbimento ($10^{-9} - 10^{-11}$)*

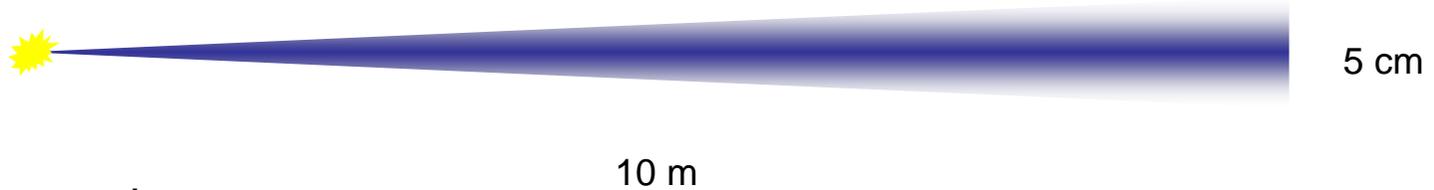
δ : phase shift ($10^{-6} - 10^{-8}$)*

**biological tissues, for x ray at the 10-100keV range

$$\Delta \alpha \approx \frac{2\pi}{\lambda} \left| \nabla_{xy} \phi \right|$$



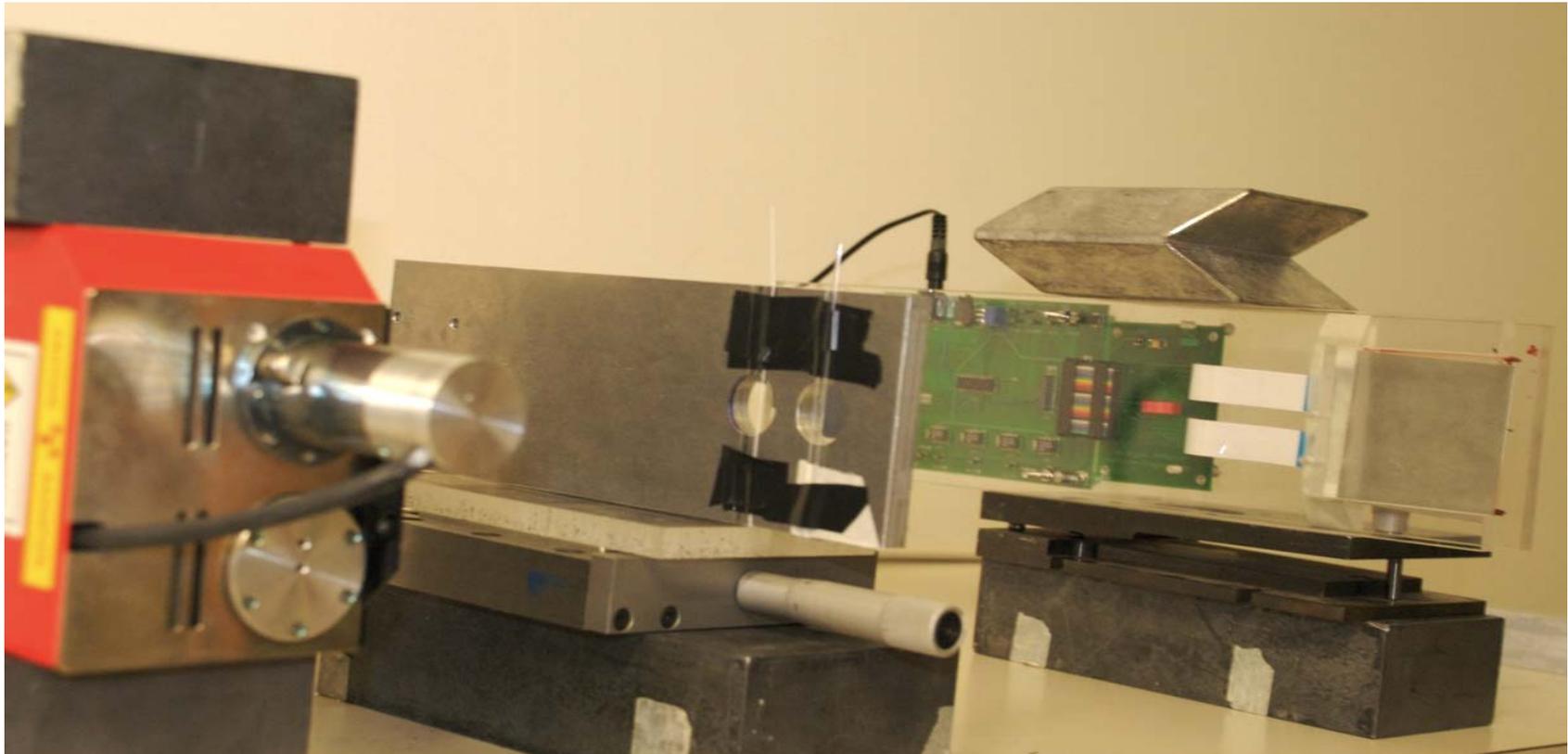
Caratteristiche attese per la TS



- Geometria
 - Dimensione sorgente: $13 \mu\text{m}$
 - Divergenza: 8 mrad
 - Distanza sorgente-detector $\sim 10\text{m}$
 - Dimensione dell'area illuminata: $\text{Ø}=16\text{cm}$
- Flusso
 - 10^{10} fotoni/s
- Struttura temporale
 - Bunch da 6 ps, rep. rate 10 Hz
- Coerenza spaziale
- Spettro quasi-monocromatico con presenza di armoniche
- Energia variabile fra 20 e 800keV

Quali caratteristiche avrebbero le immagini? => Software di simulazione

Apparato sperimentale usato



Tubo microfocus

Fantoccio

Rivelatore CMOS

IMMAGINI (1)

simulazione

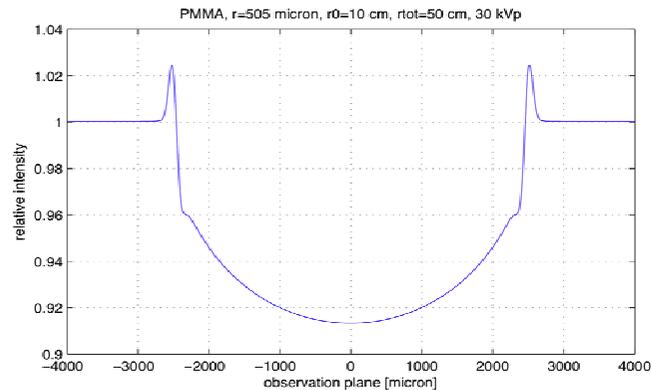
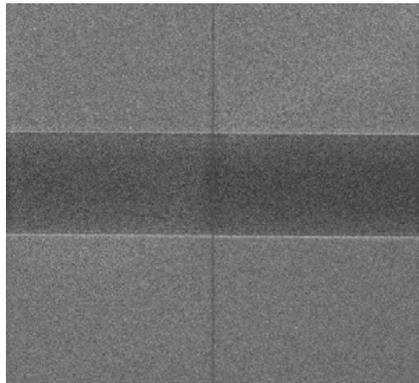
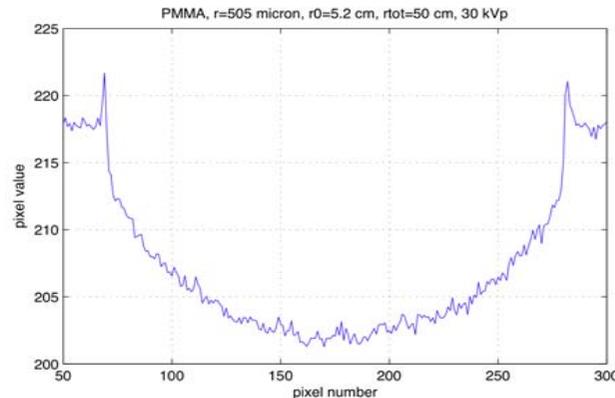


Immagine acquisita



profilo



Imaging di fili di polimeri di diversi spessori in aria

Sorgente:

- Tubo W microfocus
- Spot size di $\sim 10\mu\text{m}$
- fino a 40 kV picco

Geometria:

- distanza sorg.-ogg. $\sim 0.1\text{m}$
- distanza ogg.-riv. fino a 1.5m

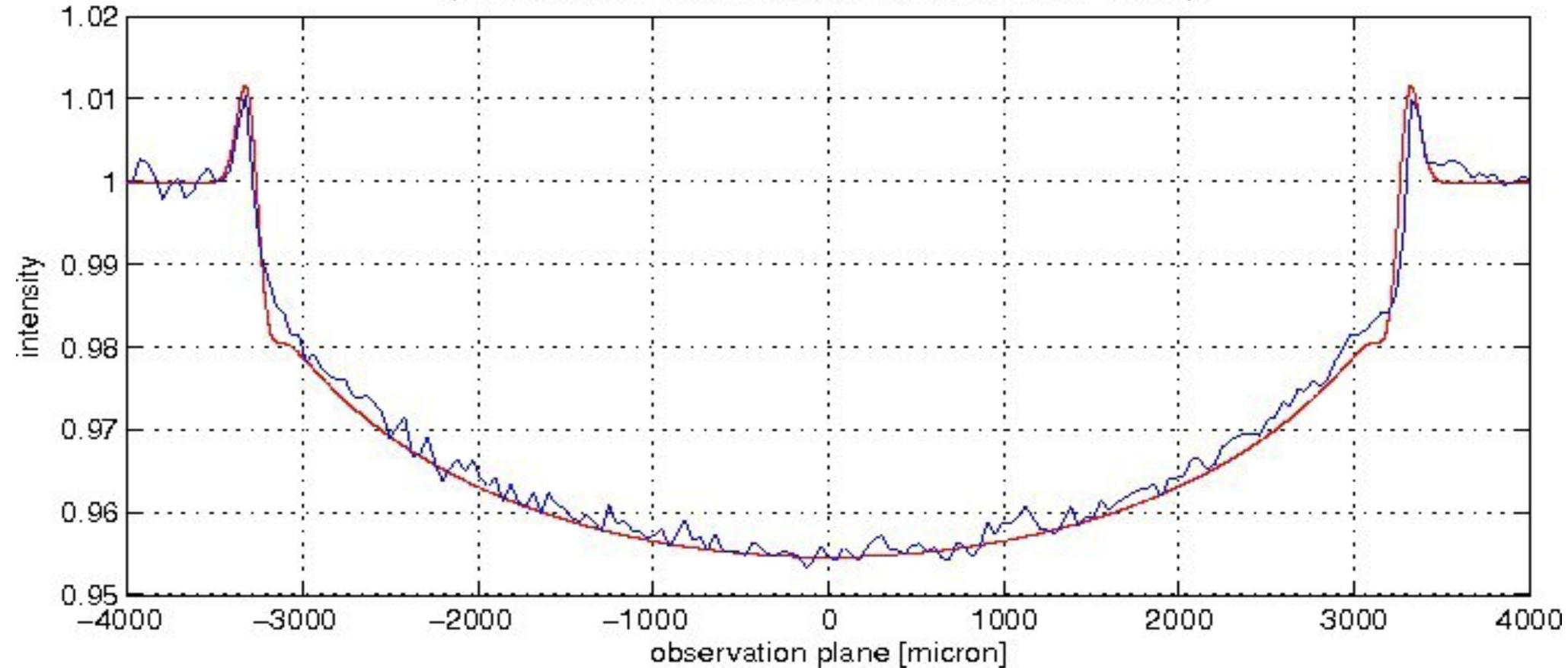
Rivelatore CMOS:

- pixel size $48\mu\text{m}$
- PSF (circa $125\mu\text{m}$ FWHM)

IMMAGINI (2)

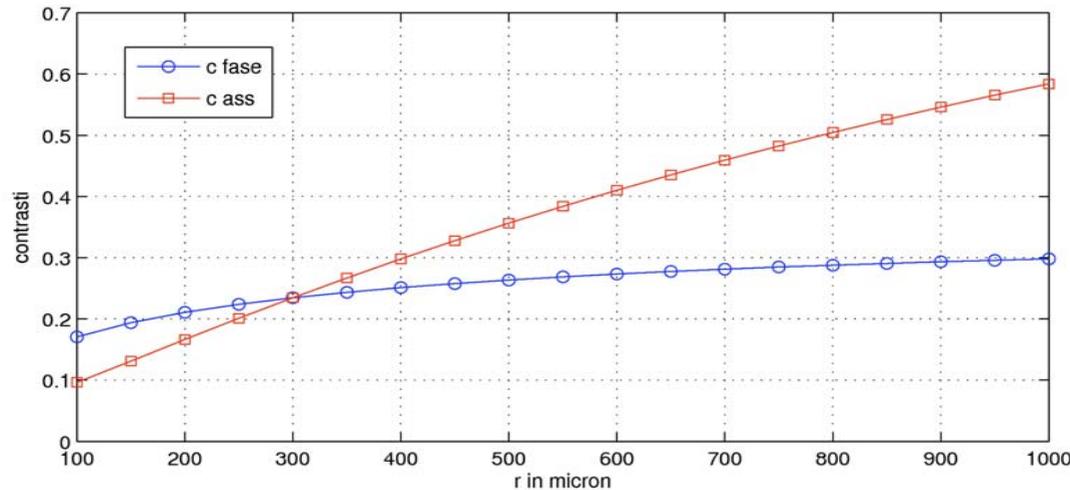
Validazione sperimentale del software di simulazione

pmma r=505 micron, r0=7.7 cm, rtot=50 cm, en=40 kVp

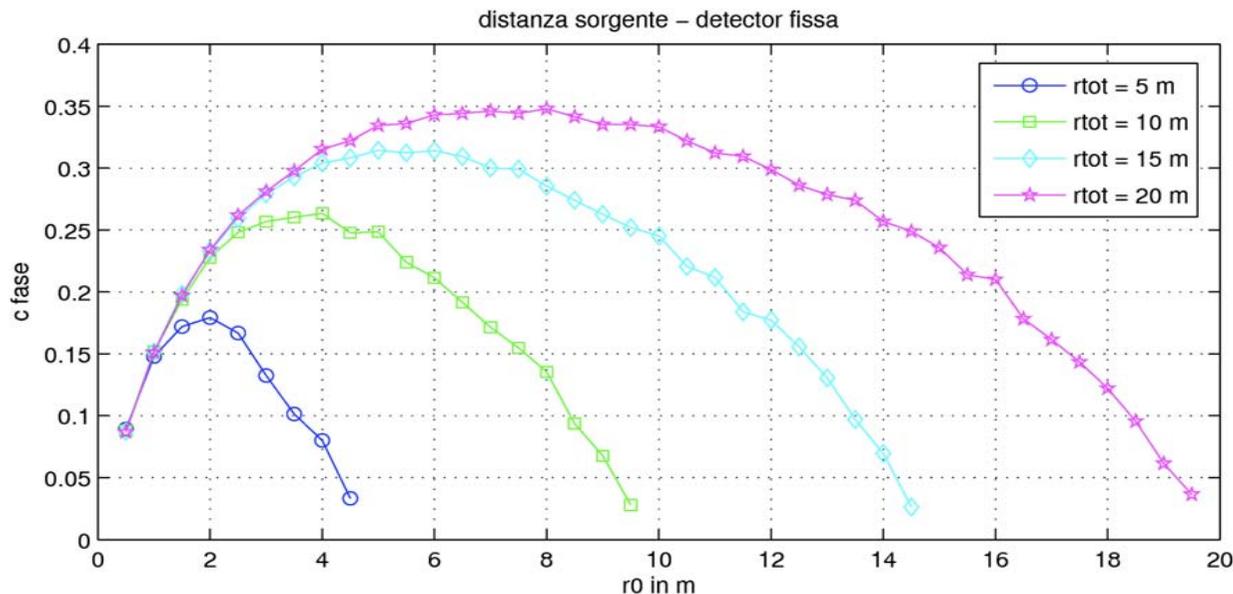


Simulazioni per la sorgente Thomson: microcalcificazione

$E_{\text{raggiX}} = 20 \text{ keV}$

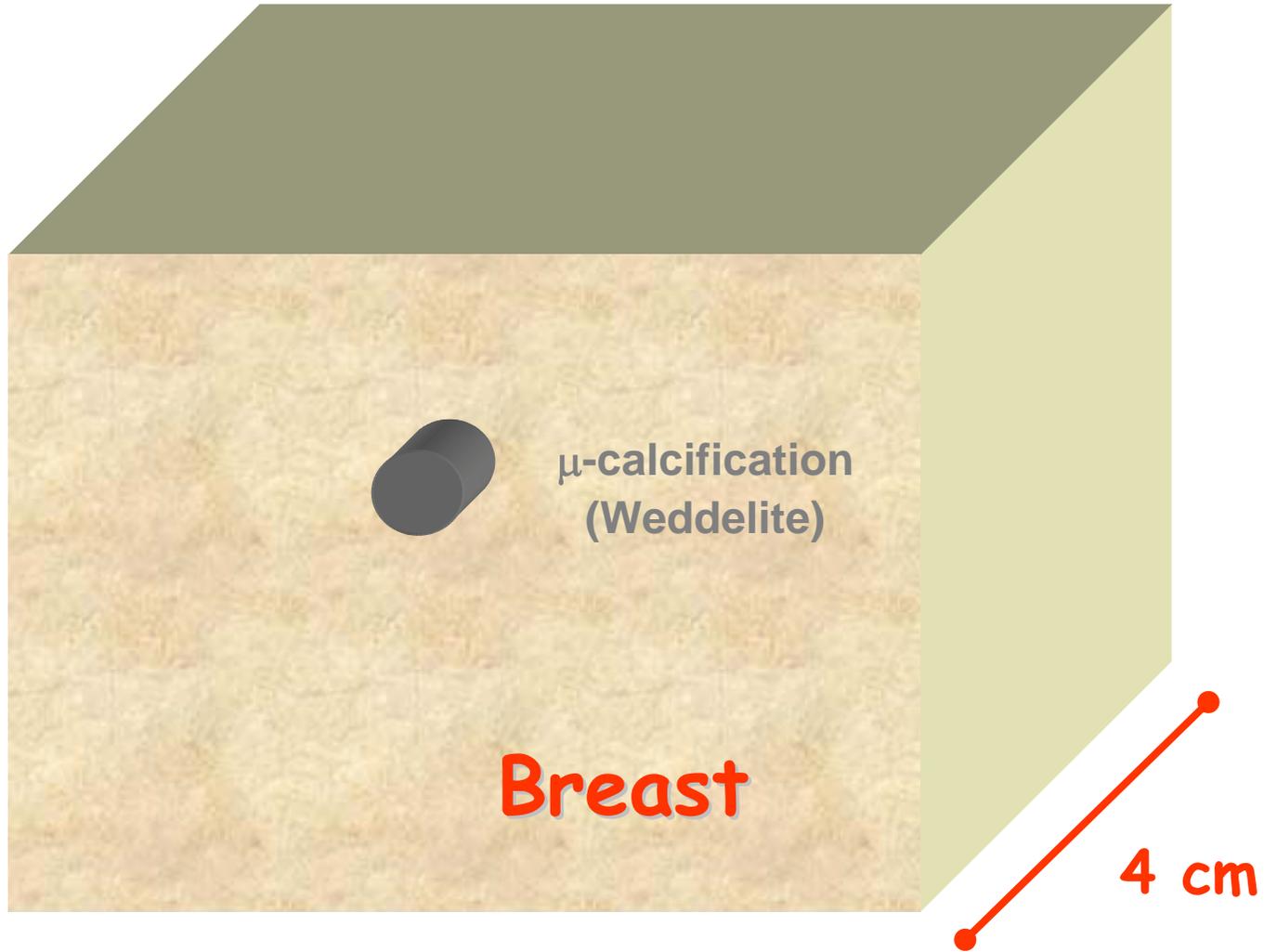


Contrasto in assorbimento ed in fase in funzione del raggio della microc.



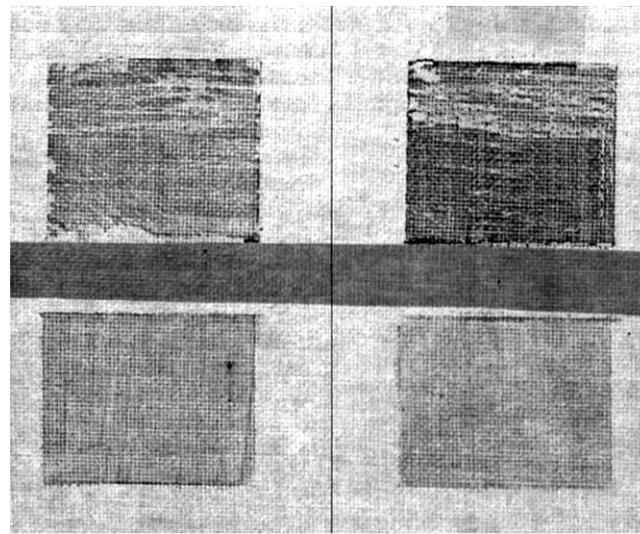
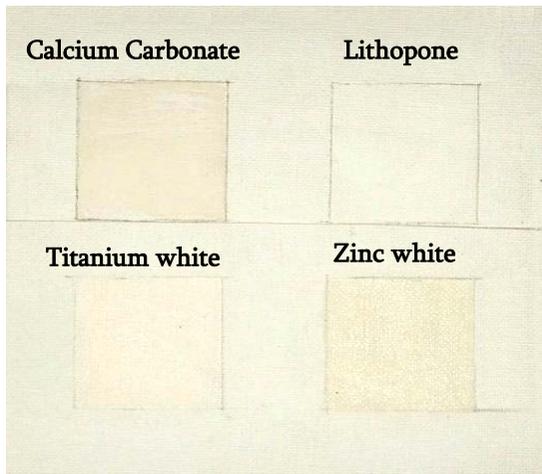
Contrasto in fase in funzione della distanza del fantoccio dalla sorgente per varie distanze sorgente rivelatore

In corso simulazioni di oggetti “complessi”

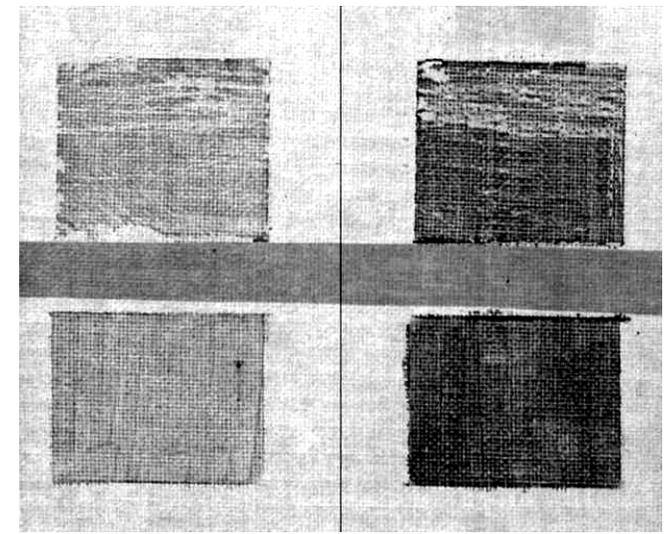


Radiografia

differenziale



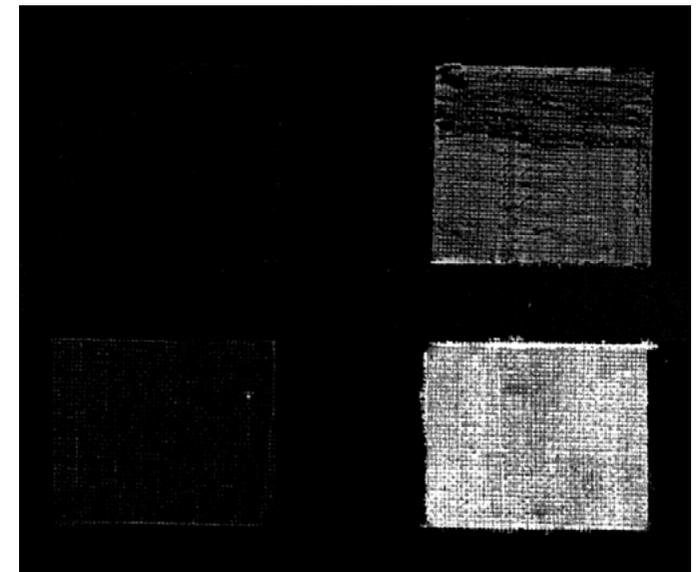
Rx a bassa energia 9keV



Rx ad alta energia 10.3keV

Radiografia differenziale a bassa energia 8 – 10 keV: lo studio di questa tecnica (che consiste nella combinazione di due immagini radiografiche ottenute con fasci quasi monocromatici di energia rispettivamente superiore e inferiore a quella del k-edge dell'elemento da rivelare) applicata alla caratterizzazione dei pigmenti nei dipinti antichi è stato eseguito sperimentalmente con una sorgente tubo+monocromatore

$(\rho x)_{Elemento}$



Misura di spettri di raggi X

**ricostruzione di uno spettro di
bremsstrahlung dall'analisi delle misure di
attenuazione**

il problema

misura di attenuazione - fascio monocromatico

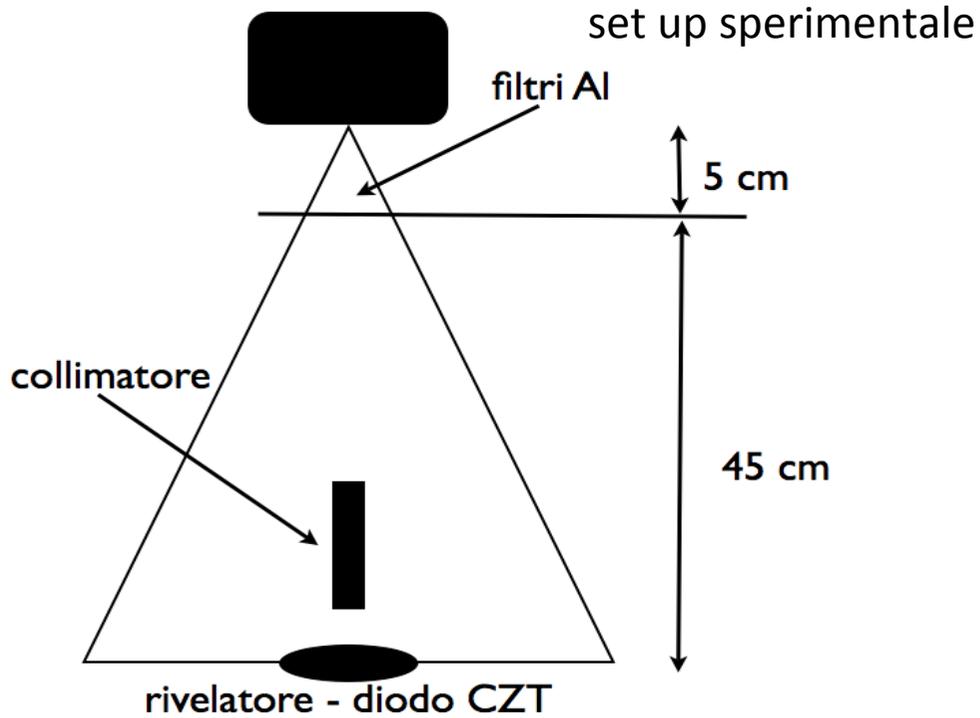
$$\mathcal{N}(t) = \int_0^{\infty} \delta(E - E_0) \mathcal{N}_0 e^{-\mu(E)t} dE = \mathcal{N}_0 e^{-\mu(E_0)t}$$

misura di attenuazione - fascio policromatico

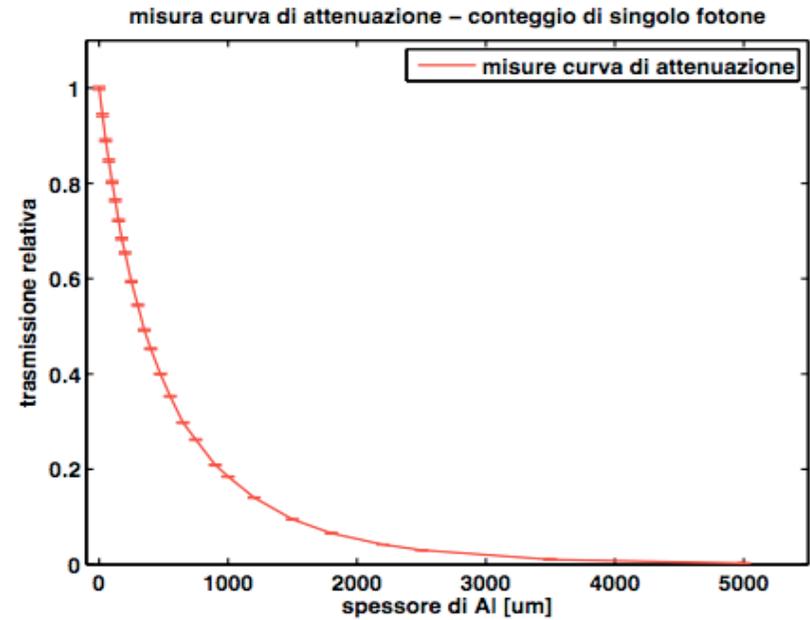
$$\mathcal{I}(t) = \int_0^{\infty} \mathcal{X}(E) e^{-\mu(E)t} dE$$

conoscendo gli spessori, i coefficienti di attenuazione e potendo misurare sperimentalmente la curva di trasmissione possiamo stimare la distribuzione energetica dei raggi X ?

Misura sperimentale con tubo MicroFocus



curva di trasmissione per 25 spessori Al



anodo W filtrato ~ puro bremsstrahlung

metodo EM: iterazione e stopping rule

Algoritmo iterativo: necessario uno spettro a priori ed una stopping rule

Converge ad un massimo della funzione di verosimiglianza

Ogni approssimazione è garantita essere non negativa X^k

L'intensità media di conservata AX^k è

Semplice implementazione:

$$X_n^{k+1} = X_n^k f_n$$
$$f_n = \frac{\sum_m A_{nm}^t \frac{T_m}{\sum_{n'} A_{mn'} X_{n'}^k}}{\sum_m A_{nm}^t}$$

discrepancy principle

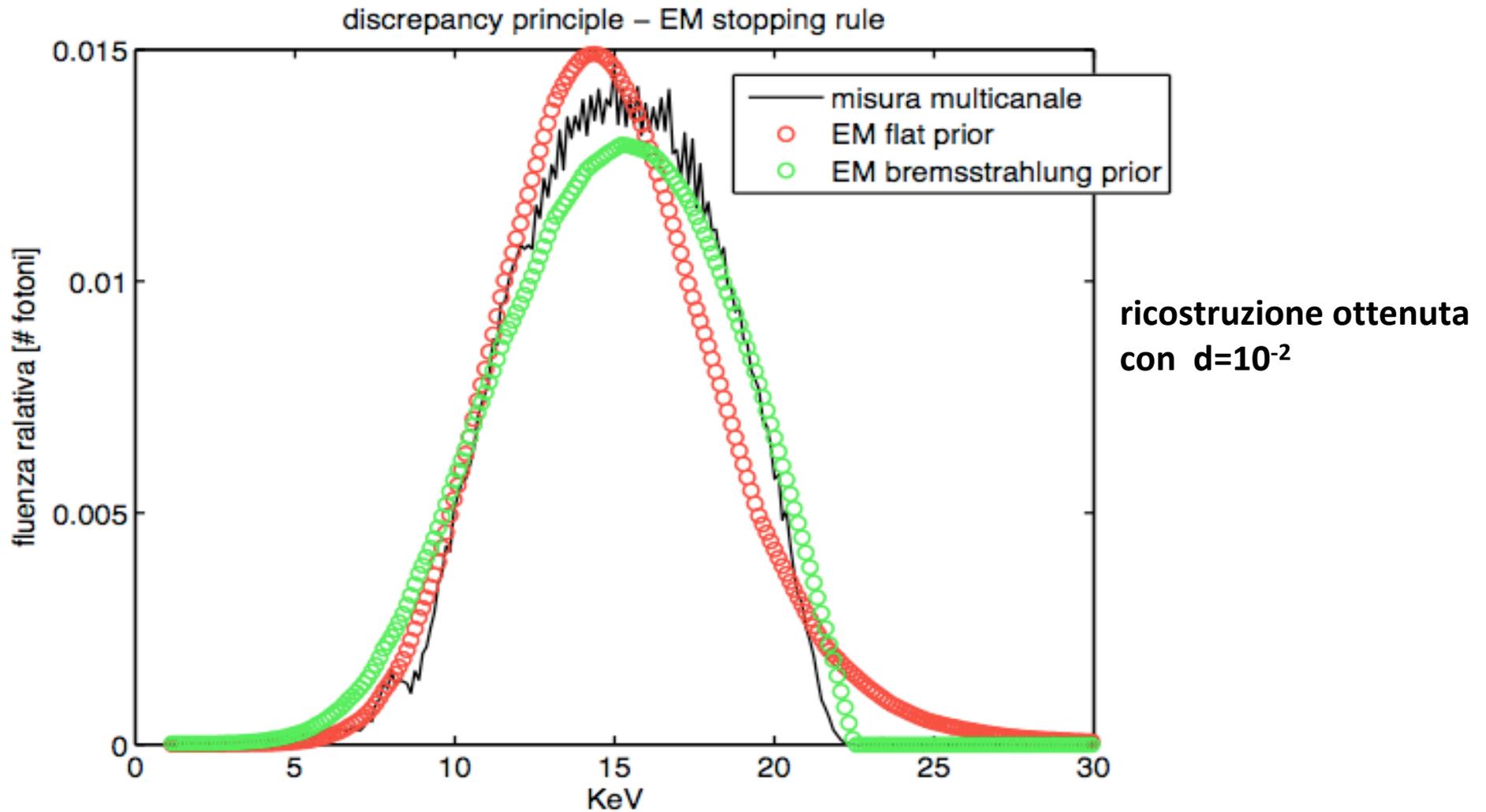
$$\|T_{meas} - AX^k\|_2 = \delta$$

possiamo bloccare le iterazioni quando la distanza raggiunge il valore imposto dall'errore di misura

$$T_{meas} = T_{exact} + e$$

$$d = \|e\|_2$$

ricostruzione metodo EM:
caso sperimentale - anodo W - 20 KeV - 0.5 mm Al



Distanza (L2) vero-ricostruito da prior flat = 0.0175

Distanza (L2) vero-ricostruito da prior Brem = 0.0125

Brookhaven National Laboratory

Accelerator Test Facility

Una beamline dedicata al Thomson scattering
Imaging preliminare con TS
Phase Contrast
Dual edge imaging



ATF Experimental Parameters

Electron Beam	
Parameter	Value
Energy	64-72 MeV
Beam size (RMS)	50 μm
Bunch length (FWHM)	4 ps
Emittance	2 mm-mrad
Charge	200 pC

Laser Beam	
Parameter	Value
Laser energy	2 J
Waist size (RMS)	120 μm
Pulse length (FWHM)	6 ps
Wavelength	10.6 μm
Laser potential (a_L)	0.33

X-rays	
Parameter	Value
Total Photons (per shot)	2×10^8
Energy (on-axis)	7-8.9 keV
Pulse length	4 ps
Opening angle	8-7 mrad

Experimental setup

Compton chamber conceptual design

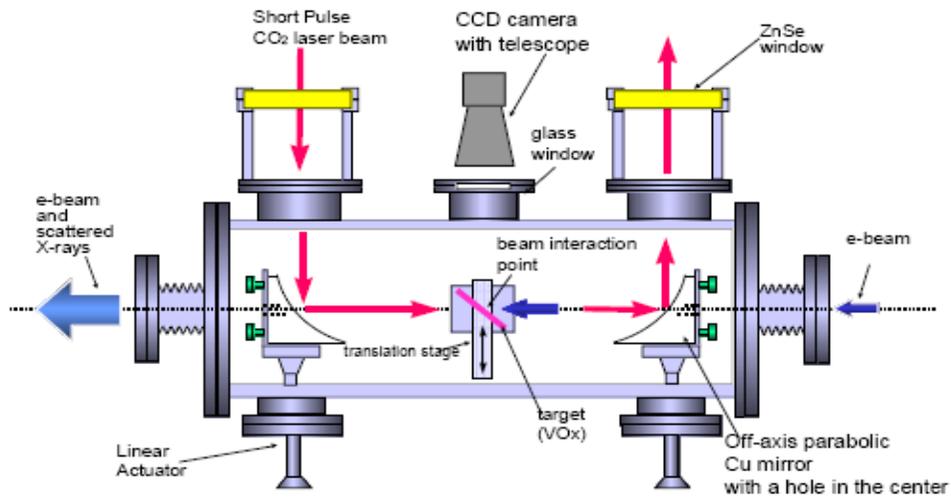


Figure 1. Top view of the Compton chamber

