

PRIMA: un apparato per proton Computed Tomography

Carlo Cividini
INFN - Firenze



IFAE 2012 – Ferrara

La protonterapia

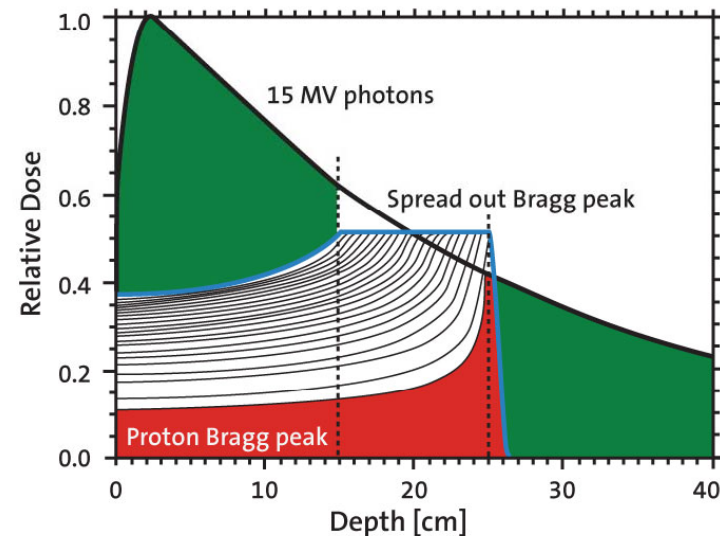
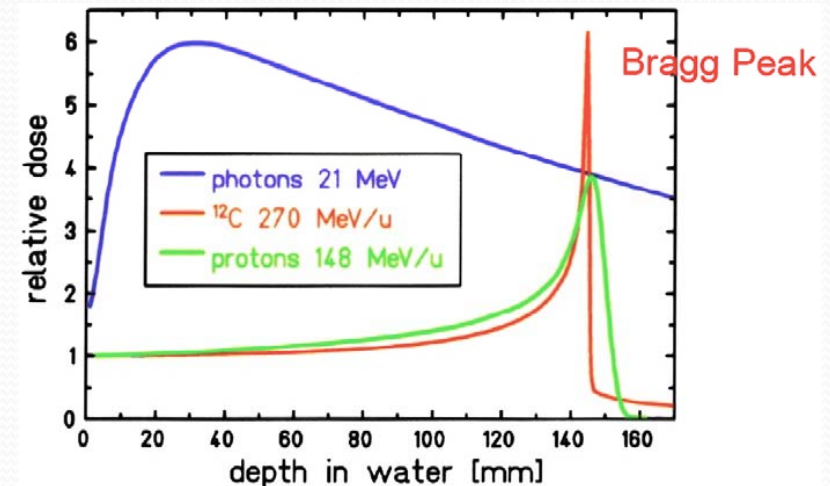
L'irraggiamento con protoni è un trattamento clinico per la cura di alcuni tipi di tumori che permette di ottenere una distribuzione di dose estremamente conforme al volume bersaglio

• Vantaggi

- Range degli adroni nei tessuti ben definito (salvaguardia degli organi critici)
- Modalità conformazionale intrinsecamente 3-D
- Massimo rilascio di dose alla fine del percorso (picco di Bragg)

• Incertezze :

- Errore nel calcolo della profondità del tumore dovuto all'utilizzo di tomografie a raggi X per i piani di trattamento
- Variabilità del setup del paziente



proton Computed Tomography: Motivazioni

Posizionamento del paziente:

Attualmente viene effettuato usando tomografie a raggi X acquisite in una fase precedente al trattamento:

pCT



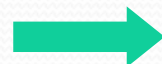
Migliore accuratezza se potessimo effettuare il posizionamento e il trattamento nella stessa fase

Piano di trattamento:

Attualmente viene definito usando tomografie a raggi X

protoni e fotoni hanno una diversa interazione con la materia

pCT



Misura diretta dello stopping power per i protoni

Errore da X-CT su stopping power

Table 1. Two typical proton treatment cases and expected range errors. The expected error in the position of the distal fall-off of the dose distribution is expected to be a few millimetres in typical cases of proton therapy.

	Soft tissue			Bone			Total Abs. error (cm)
	Amount (cm)	wer ^a (cm)	Abs. error (cm)	Amount (cm)	wer ^a (cm)	Abs. error (cm)	
Brain	10	10.3	0.11	1	1.8	0.03	0.14
Prostate (lateral beam)	15	15.5	0.17	5	9	0.16	0.33

^a Water equivalent range.

B. Schaffner and E. Pedroni
Phys. Med. Biol. **43** (1998) 1579–1592

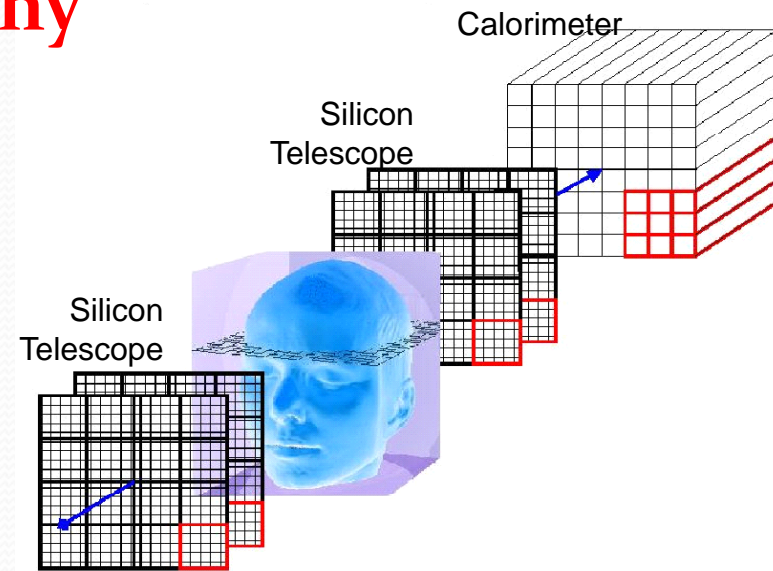
Parametri di un sistema pCT

Si vuole realizzare un apparato che ricostruisca immagini tomografiche usando protoni in trasmissione e che soddisfi queste specifiche:

PARAMETER	VALUE
Proton beam energy	250-270 MeV
Proton beam rate	1 MHz
Spatial resolution	< 1 mm
Electronic density resolution	< 1%
Detector radiation hardness	> 1000 Gy
Dose per scan	< 5 cGy

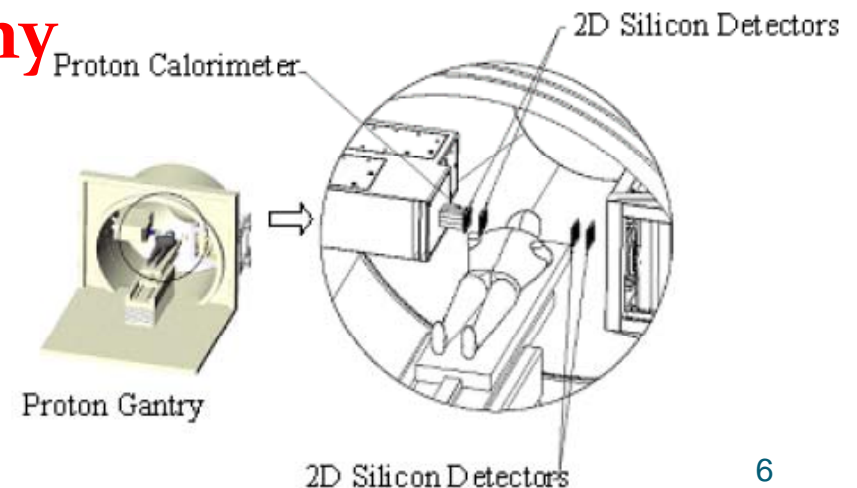
proton Computed Radiography

- Rivelare la traccia del singolo protone usando un tracciatore al silicio
- Misurare l'energia residua del protone usando un calorimetro
- Determinare il percorso più probabile compiuto dalla particella
- Ricostruire l'immagine



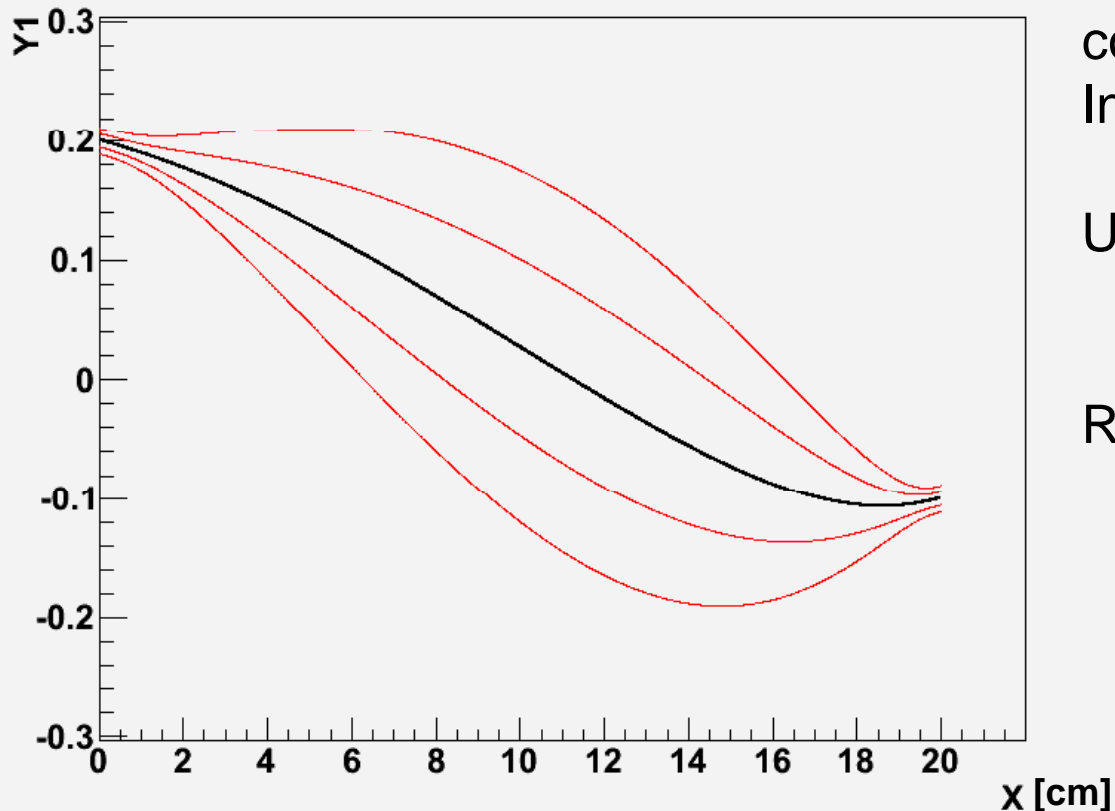
proton Computed Tomography

- Acquisire diverse proiezioni utilizzando il sistema pCR e una gantry rotante
- Ricostruire l'immagine



Errore sul cammino più probabile

Most likely path



Esempio di MLP in acqua
con protoni da 200MeV

Ingresso: $Y(0) = 0.2\text{cm}$

$Y'(0) = -10\text{mrad}$

Uscita: $Y(20) = -0.1\text{cm}$

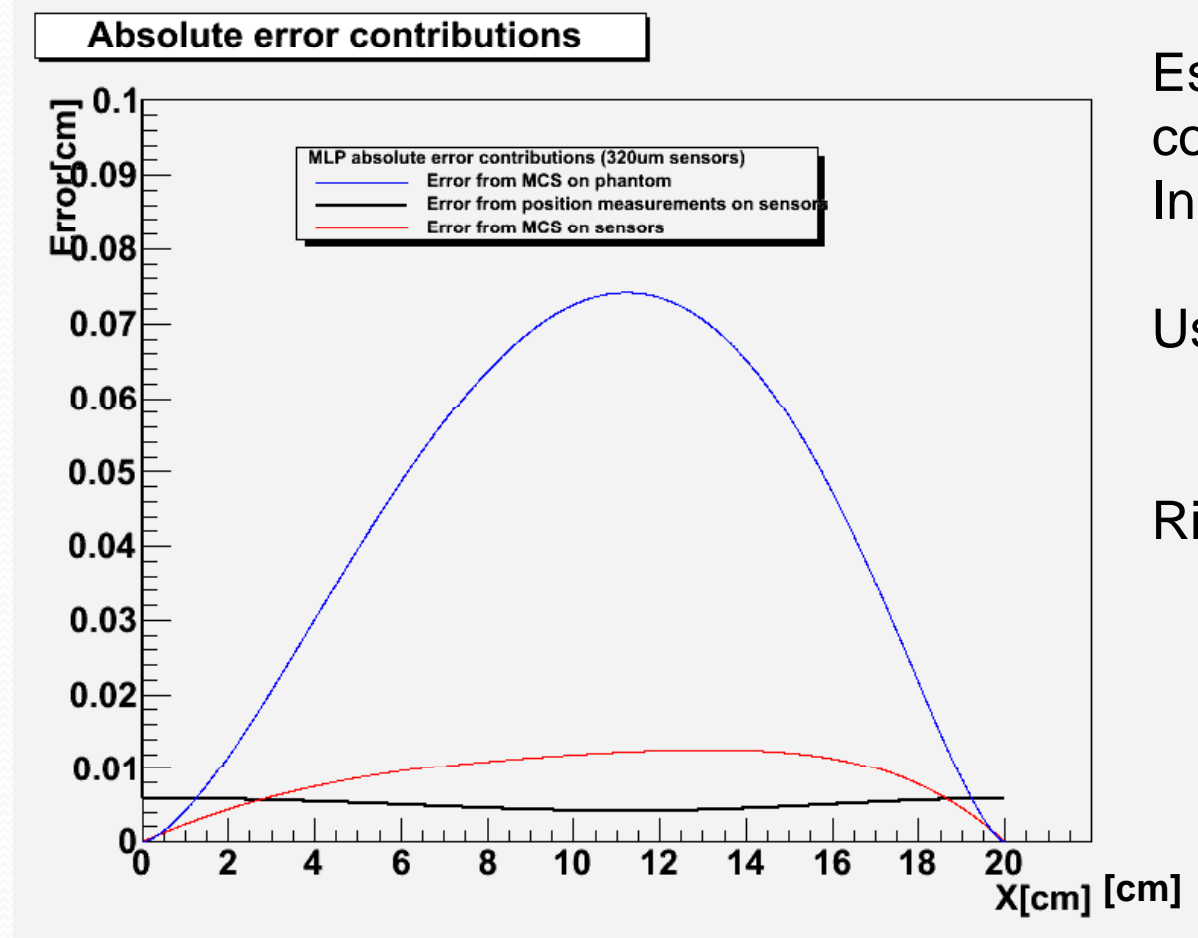
$Y'(20) = +10\text{mrad}$

Rivelatori a Si:

spessore $320\mu\text{m}$

passo strip $200\mu\text{m}$

Errore sul cammino più probabile



Esempio di MLP in acqua
con protoni da 200MeV

Ingresso: $Y(0) = 0.2\text{cm}$

$Y'(0) = -10\text{mrad}$

Uscita: $Y(20) = -0.1\text{cm}$

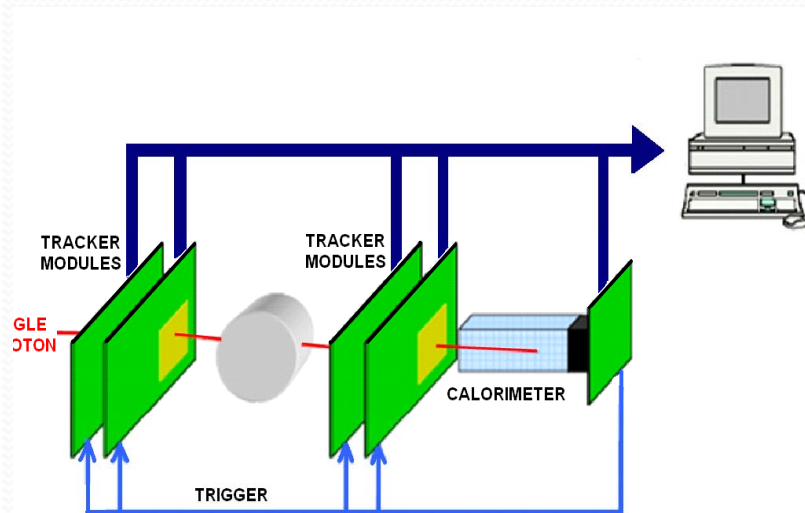
$Y'(20) = +10\text{mrad}$

Rivelatori a Si:

spessore 320 μm

passo strip 200 μm

Apparato per proton Computed Radiography realizzato dall'esperimento INFN CSN5 PRIMA



4 x-y Piani di tracciatura



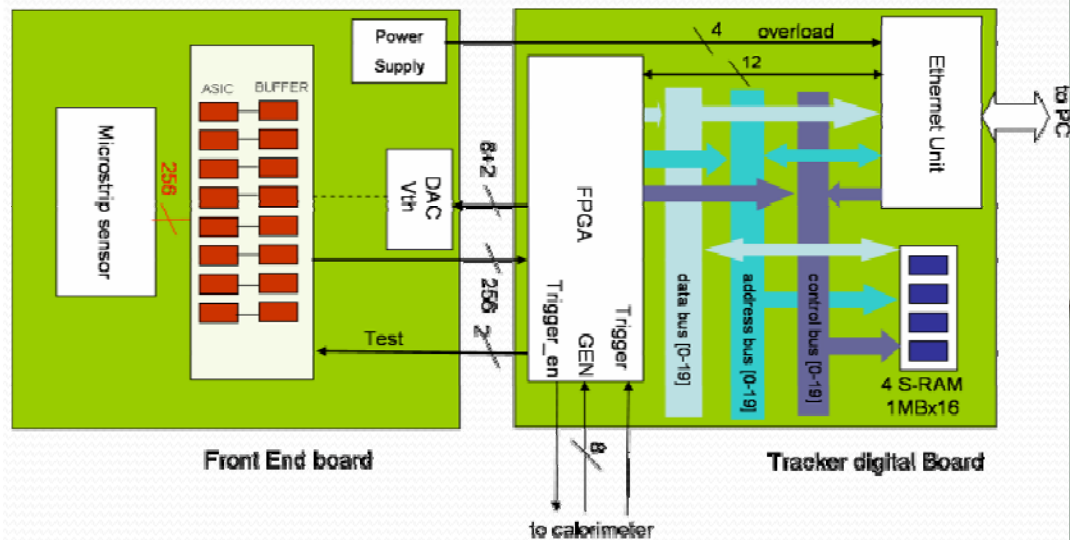
Posizione e direzione di ingresso e di uscita

Calorimetro



Energia residua

Architettura del tracker module



- Per ottenere un rate di acquisizione fino a 1MHz è stato sviluppato un sistema di lettura delle strip parallelo
- Otto chip VLSI di front-end ciascuno con 32 canali acquisisce i segnali dalle strip del rivelatore e invia i dati digitali di uscita in parallelo a una FPGA (Xilinx Spartan-3AN) la quale effettua una soppressione degli zeri e trasferisce i dati in una memoria (capacità $\sim 5 \times 10^5$ events).
- Uno modulo Ethernet commerciale è usato per trasferire i dati a un PC e per controllare i parametri del tracker module.

Calorimetro

- 4 cristalli scintillanti di YAG:Ce
Ogni cristallo 30 x 30 mm² x 100mm
- 4 Fotodiodi 18 mm x 18 mm
- 4 canali di lettura ibridi commerciali
(*Charge Sensitive Amplifier & shaper*)



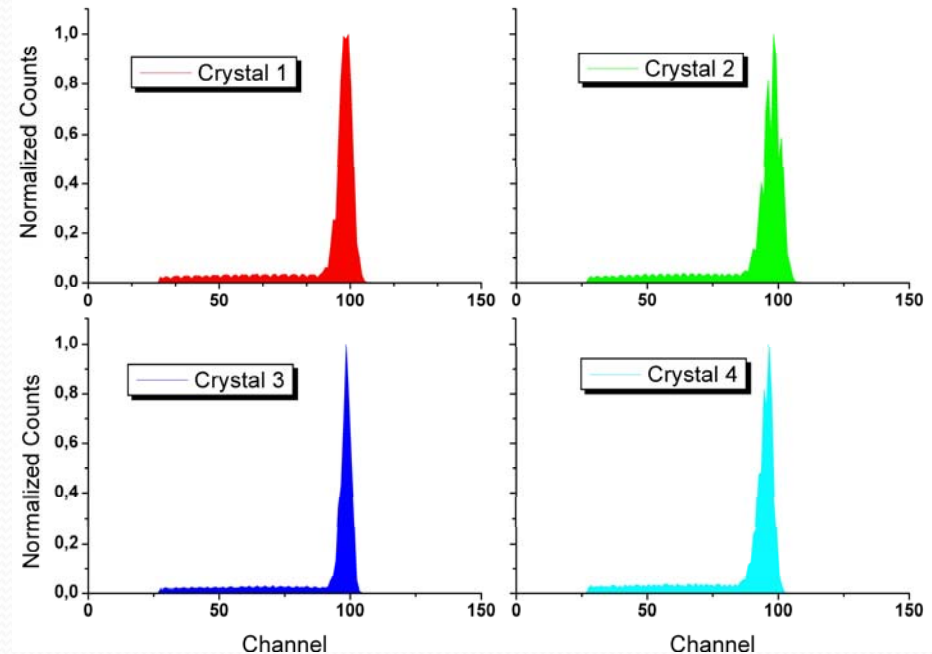
YAG:Ce properties

PHYSICAL PROPERTIES

Density [g/cm ³]	4.57
Hygroscopic	No
Chemical formula	Y ₃ Al ₅ O ₁₂

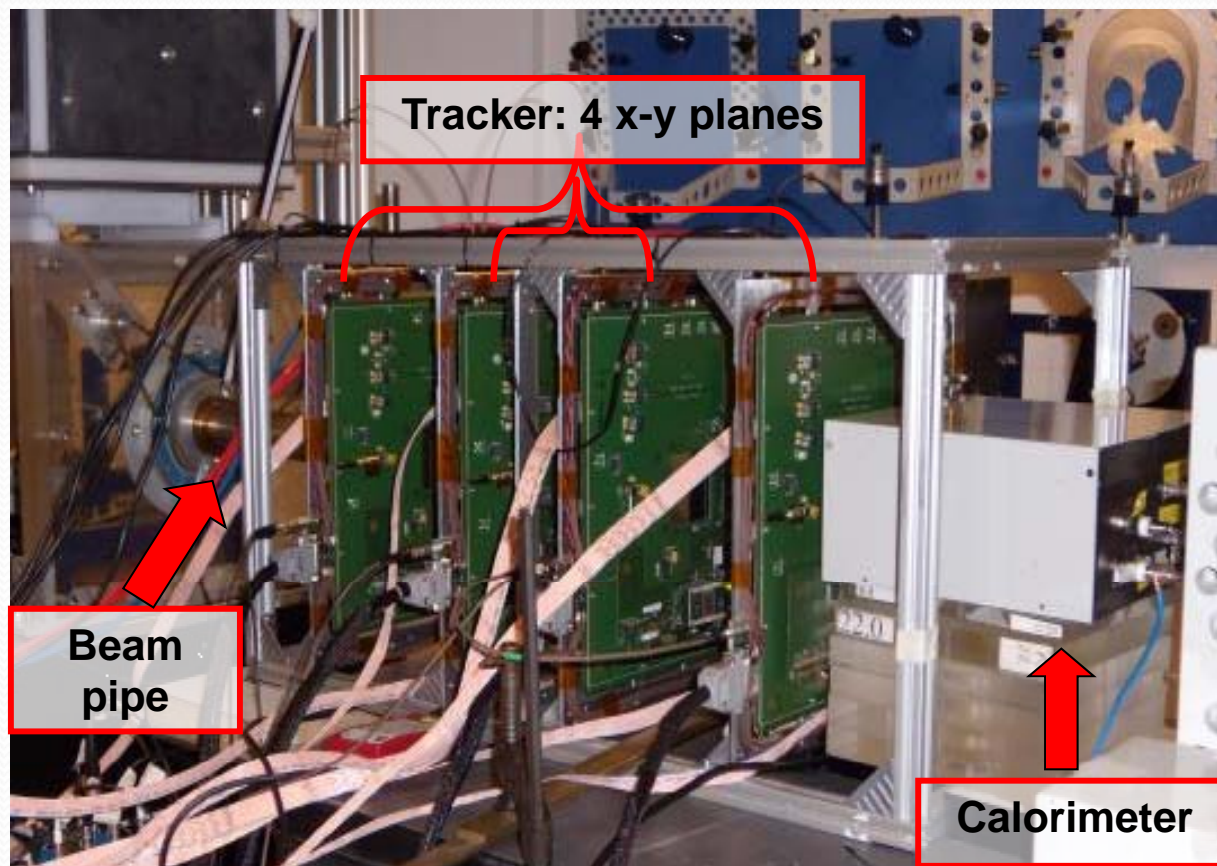
LUMINESCENCE PROPERTIES

Wavelength of max. emission [nm]	550
Decay constant [ns]	70
Photon yield at 300k [10 ³ Ph/MeV]	40-50



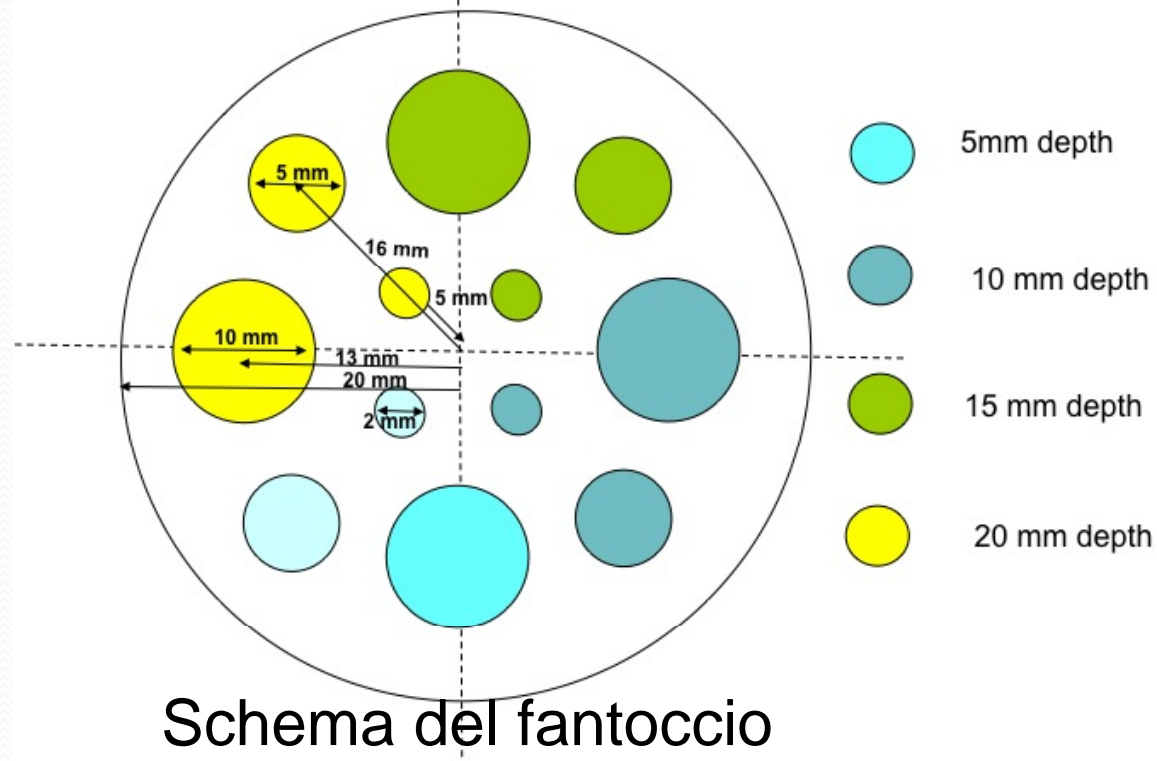
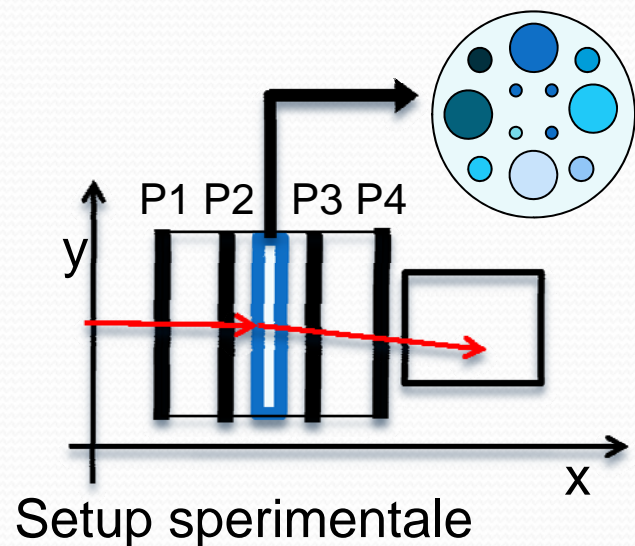
Charge spectrum @100MeV

Apparato completo in sala CATANA ai LNS



INFN-LNS: protoni da 62 MeV usati per il trattamento di tumori oculari

Apparato pCR completo- *Test ai LNS*

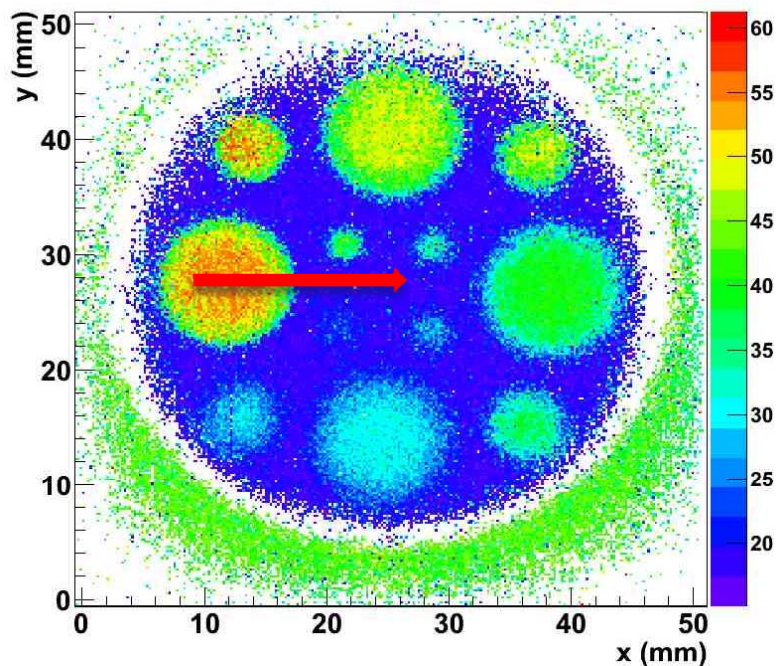


PROCEDURA DELL'ANALISI DATI

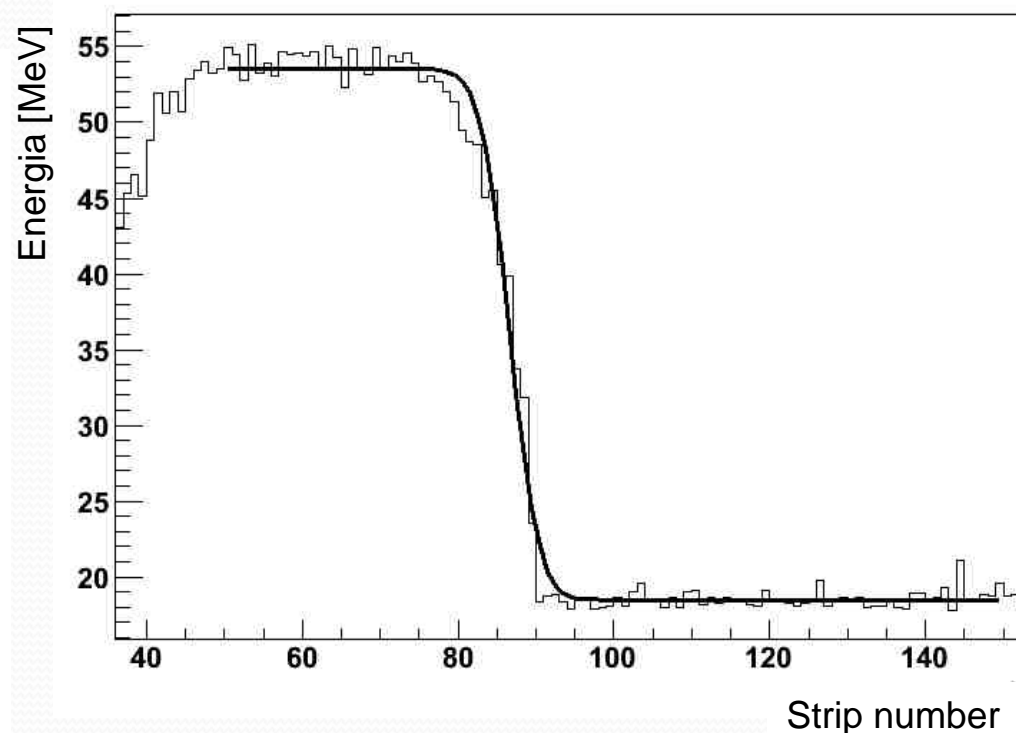
- Ricostruzione del cammino più probabile
- Back-projection dei dati per la ricostruzione dell'immagine del fantoccio

Misure effettuate con il sistema pCR completo ed un fantoccio disomogeneo - *Test ai LNS (62MeV)*

Mappa dell'energia su P3



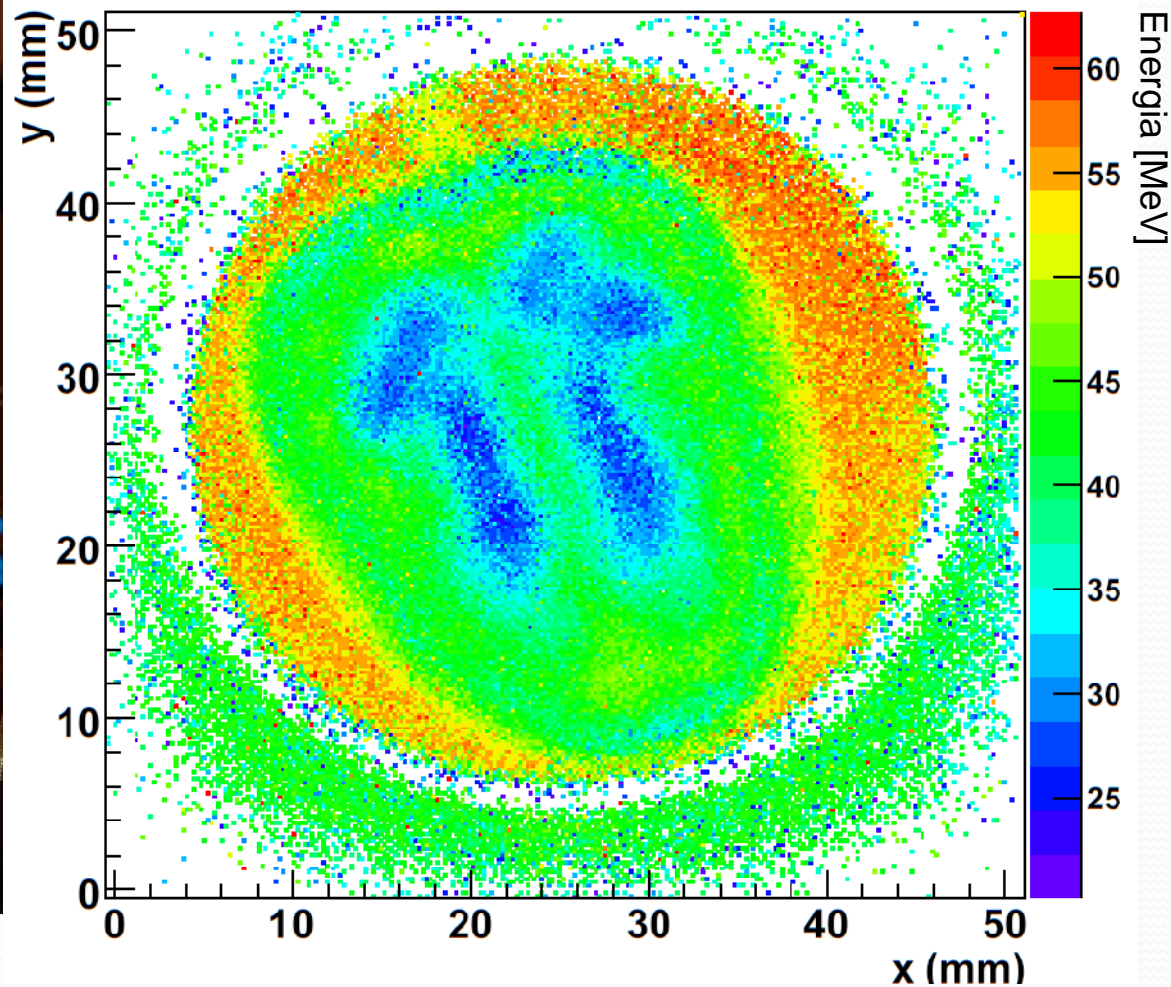
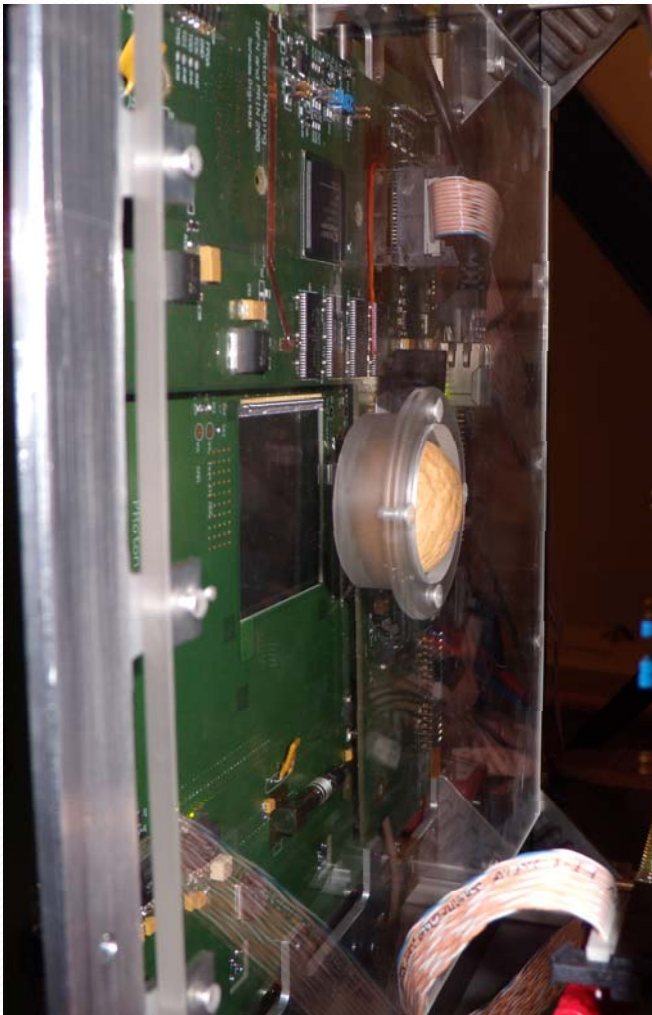
energia vs x, 135<y<145



Risoluzione spaziale ad alto contrasto:

fra 53 MeV e 18 MeV $\rightarrow \sigma = 3\text{strips}$ (600 μm)

Test ai LNS: Radiografia di una noce

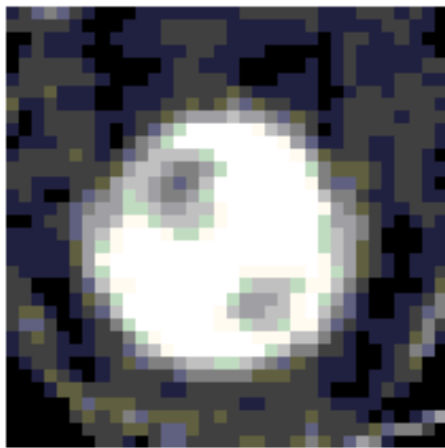


Prima tomografia

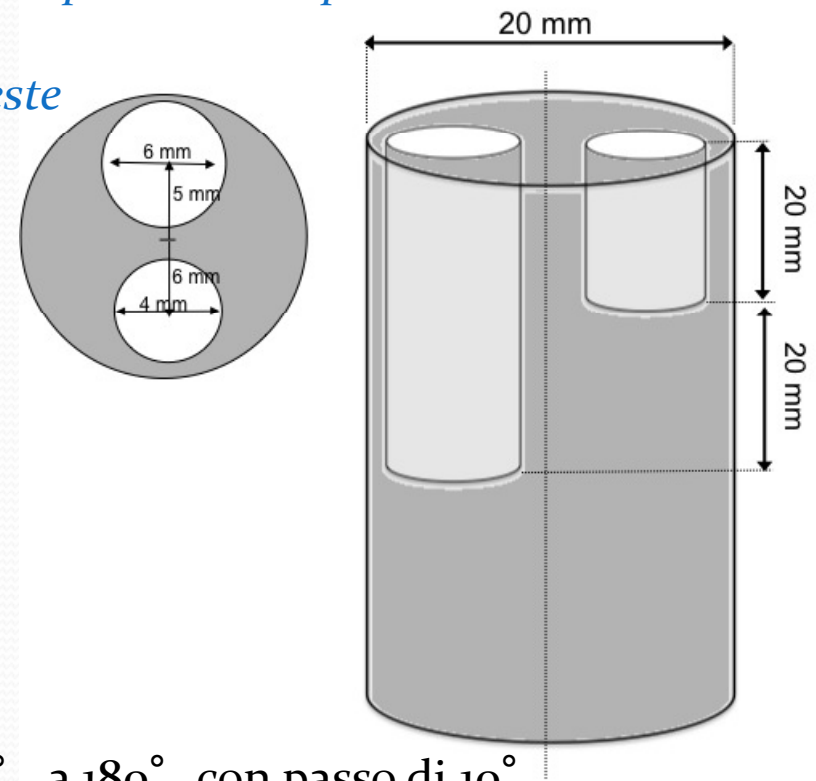
Algoritmo utilizzato: FBP Filter Back Projection

Sviluppato per tomografie a raggi X si basa sull'Ipotesi che le particelle abbiano traiettorie rettilinee e complanari

Eventi selezionati per soddisfare queste richieste



Preliminary



- Proiezioni da 0° a 180° con passo di 10°
- Nuovi algoritmi di ricostruzione sono in fase di studio e realizzazione

Conclusioni

- Nella terapia con protoni un apparato pCT è utile per aumentare l'efficacia clinica del trattamento
- 'Prima' ha realizzato un prototipo ($5 \times 5 \text{ cm}^2$) capace di effettuare radiografie con protoni e tomografie
- Nuovi test dell'apparato con fasci di protoni di alta energia (180 MeV, TSL-Uppsala) e studio di nuovi algoritmi di ricostruzione delle immagini
- 'Prima+' sta costruendo un nuovo sistema con un campo di vista allargato ($5 \times 20 \text{ cm}^2$) per sperimentazione pre-clinica

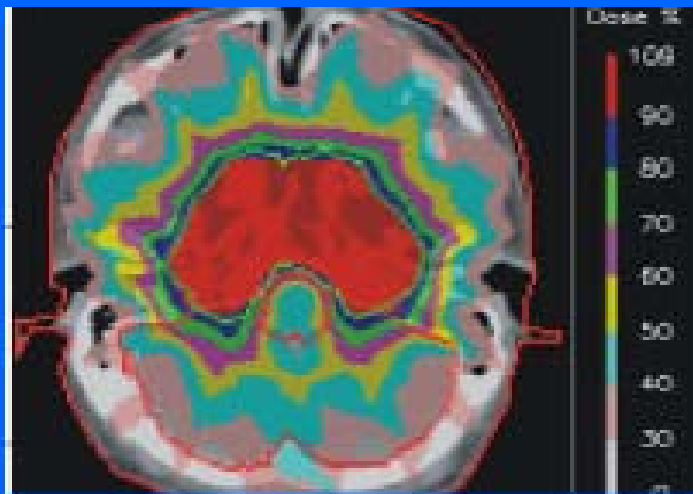


Spare

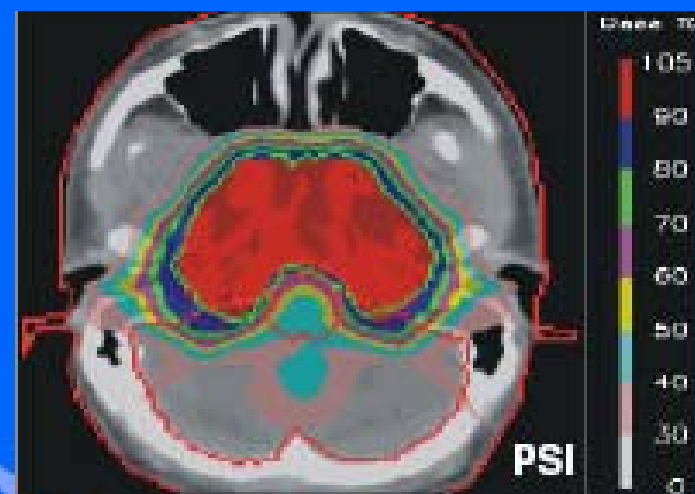
Confronto tra irraggiamento con raggi X e con protoni

Protons are quantitatively different from X-rays

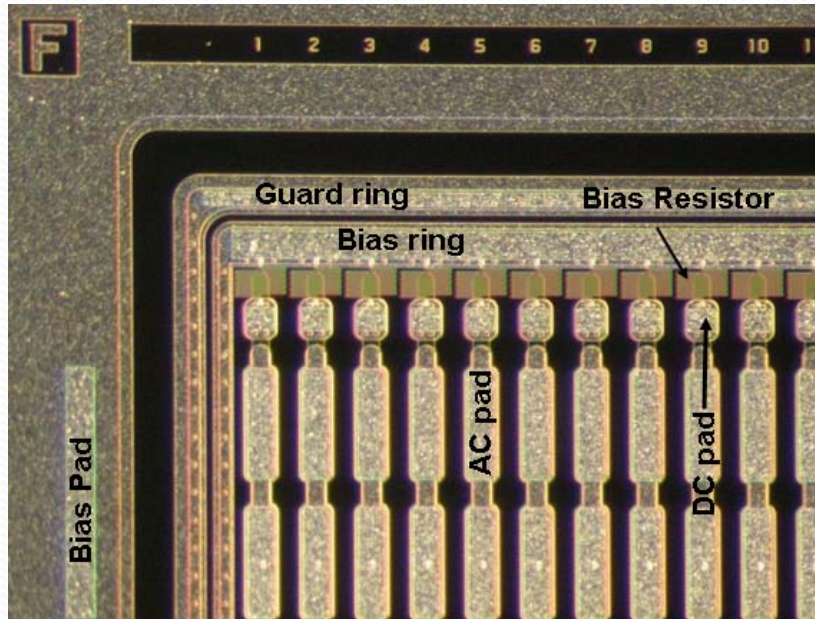
9 X-ray fields



4 proton fields



Silicon strip detector



Manufactured by
Hamamatsu Photonics

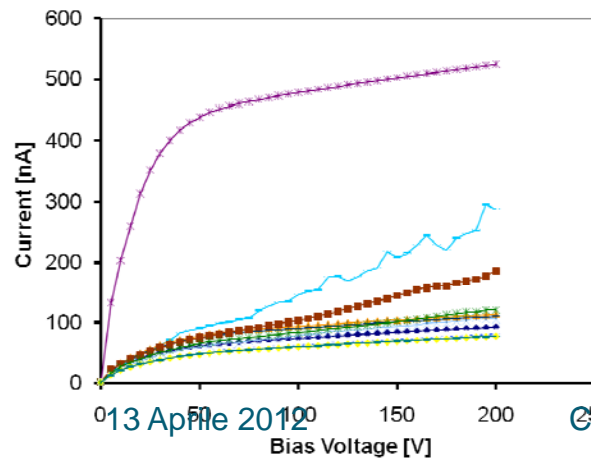
53x53 mm²

p+-on-n strips

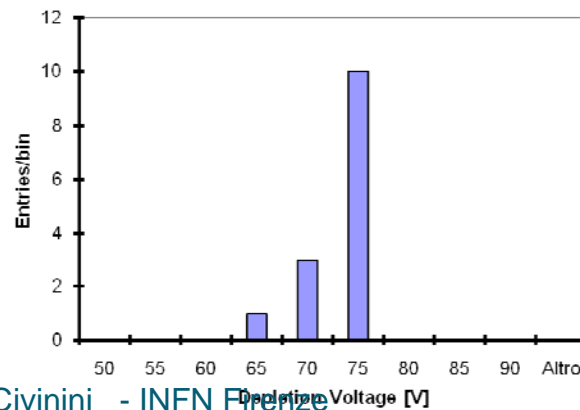
256 ch, 200 μm pitch

200 μm thickness

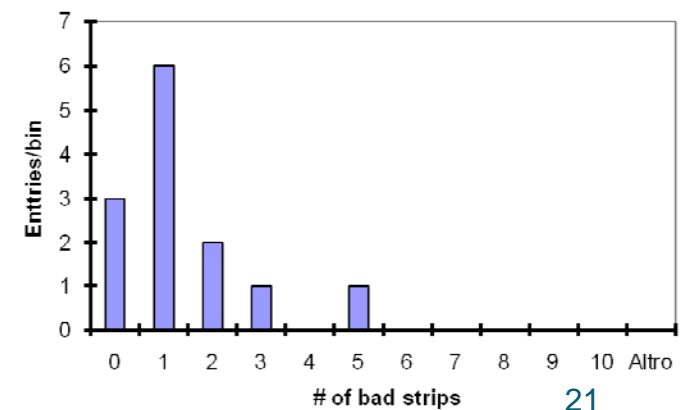
Sensor I-V Characteristics



Sensor Depletion Voltage (from C-V)



Bad Strip Distribution

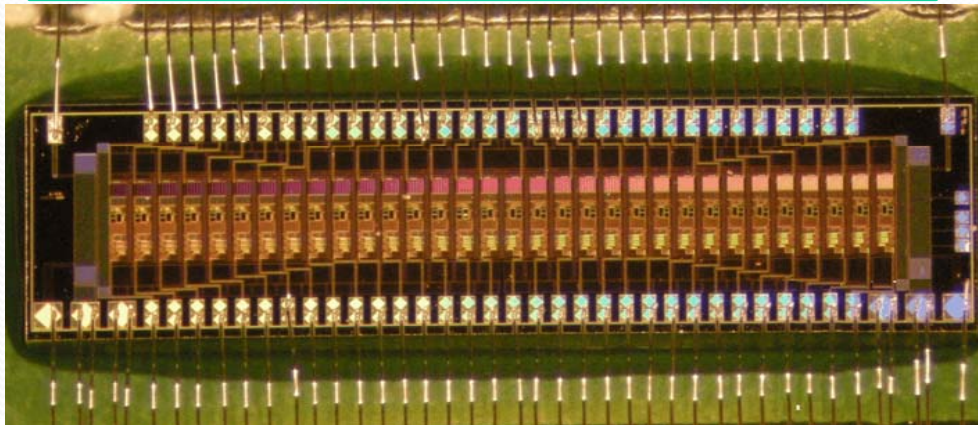
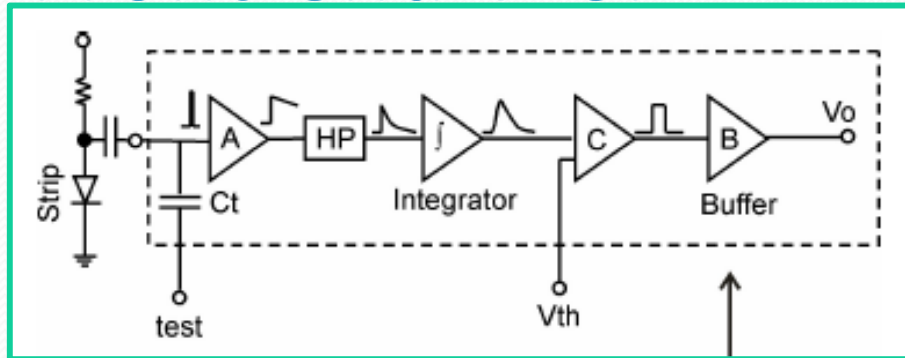


13 Aprile 2012

G. Ciminini - INFN Firenze

21

Front-end VLSI

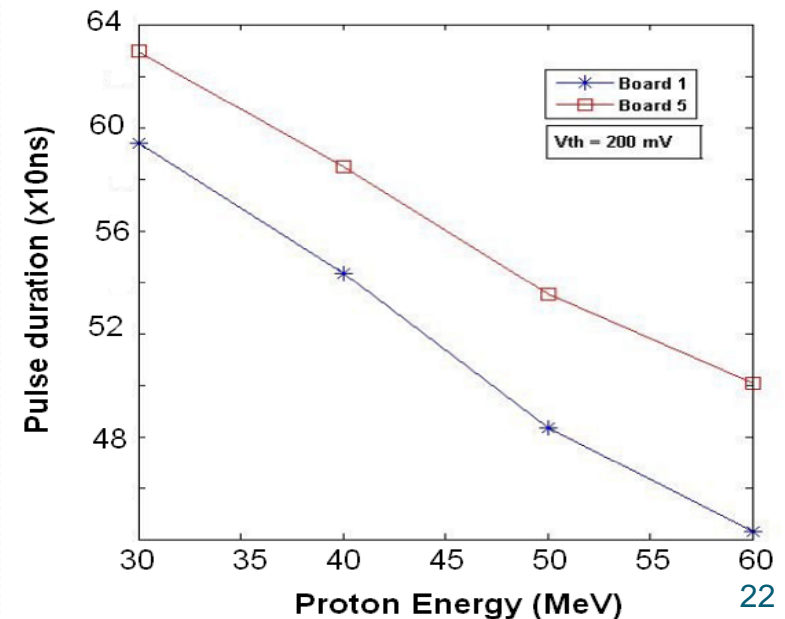
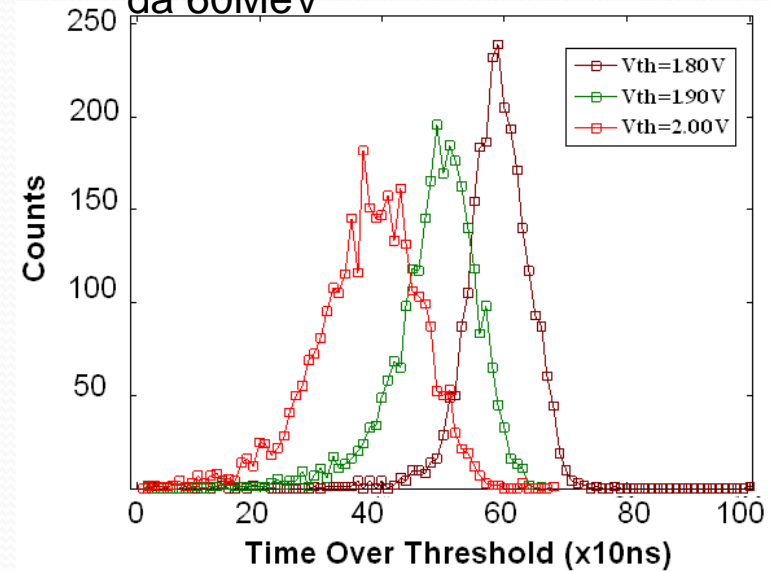


- **Tecnologia AMS 0.35um CMOS**
- **Dimensioni: 1.6 mm x 6 mm**
- **32 discriminatori**
- **Potenza dissipata: 10 mW / canale**
- **Tensione di alimentazione +3.3 V**

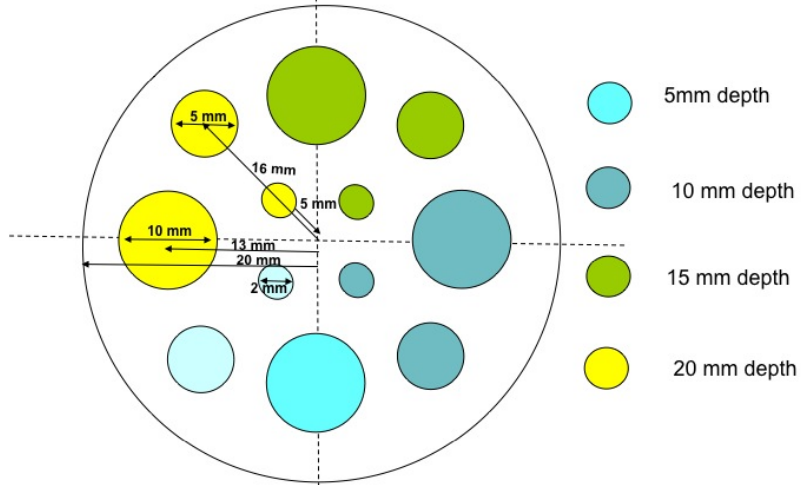
13 Aprile 2012

C. Civinini - INFN Firenze

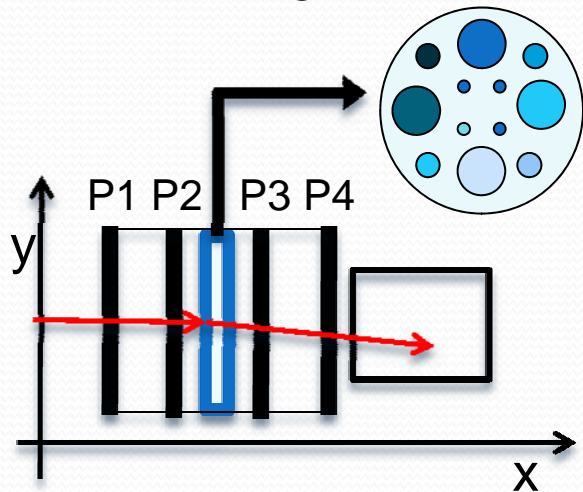
Test effettuati ai LNS con protoni da 60MeV



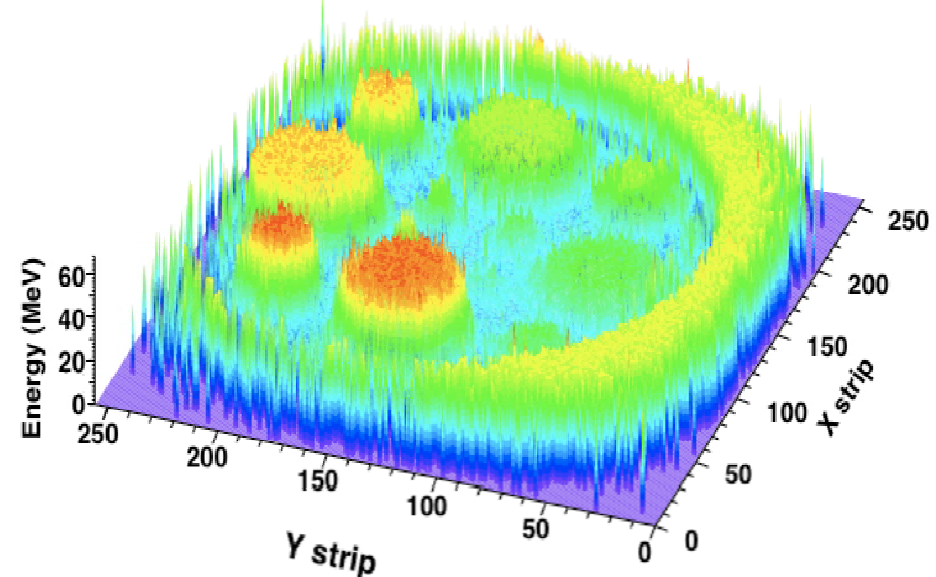
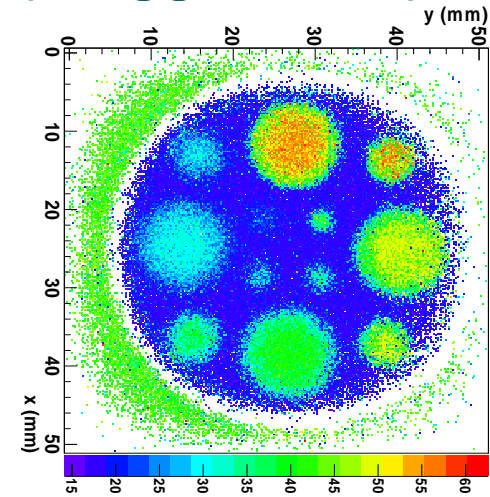
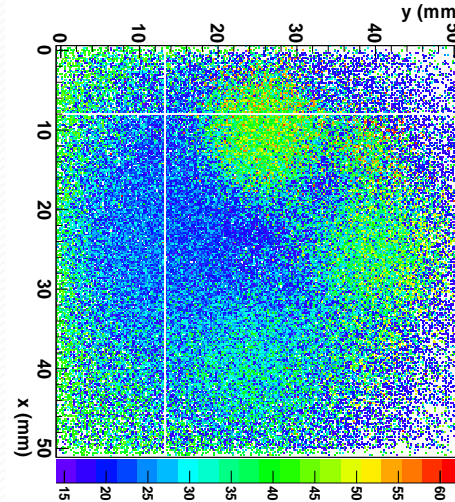
Apparato pCR completo - Test ai LNS (Maggio 2010)



Phantom design



Experimental setup



Proiettata su P3 e corretta