

Roma, 21-25 Settembre 2015

Test di caratterizzazione di un prototipo di rivelatore a gas a micro pattern per protonterapia sul fascio dell'acceleratore TOP-IMPLART.

*Ampollini A.³, **Basile E.**¹⁻⁴, Carloni A.¹, Carpanese M.³, Castelluccio D.M.², Cisbani E.¹, Colilli S.¹, De Angelis G.¹, Frullani S.¹, Ghio F.¹, Giuliani F.¹, Gricia M.¹, Lucentini M.¹, Notaro C.¹, Picardi L.³, Santavenere F.¹, Spurio A.¹, Vacca G.¹, Vadrucchi M.³*

(1) Istituto Superiore di Sanità (ISS) - Roma -Dipartimento Tecnologie e Salute

(2) ENEA - Istituto di Radioprotezione - Monte Cuccolino - Bologna

(3) ENEA - Unità Tecnica Sviluppo di Applicazioni delle Radiazioni - Frascati

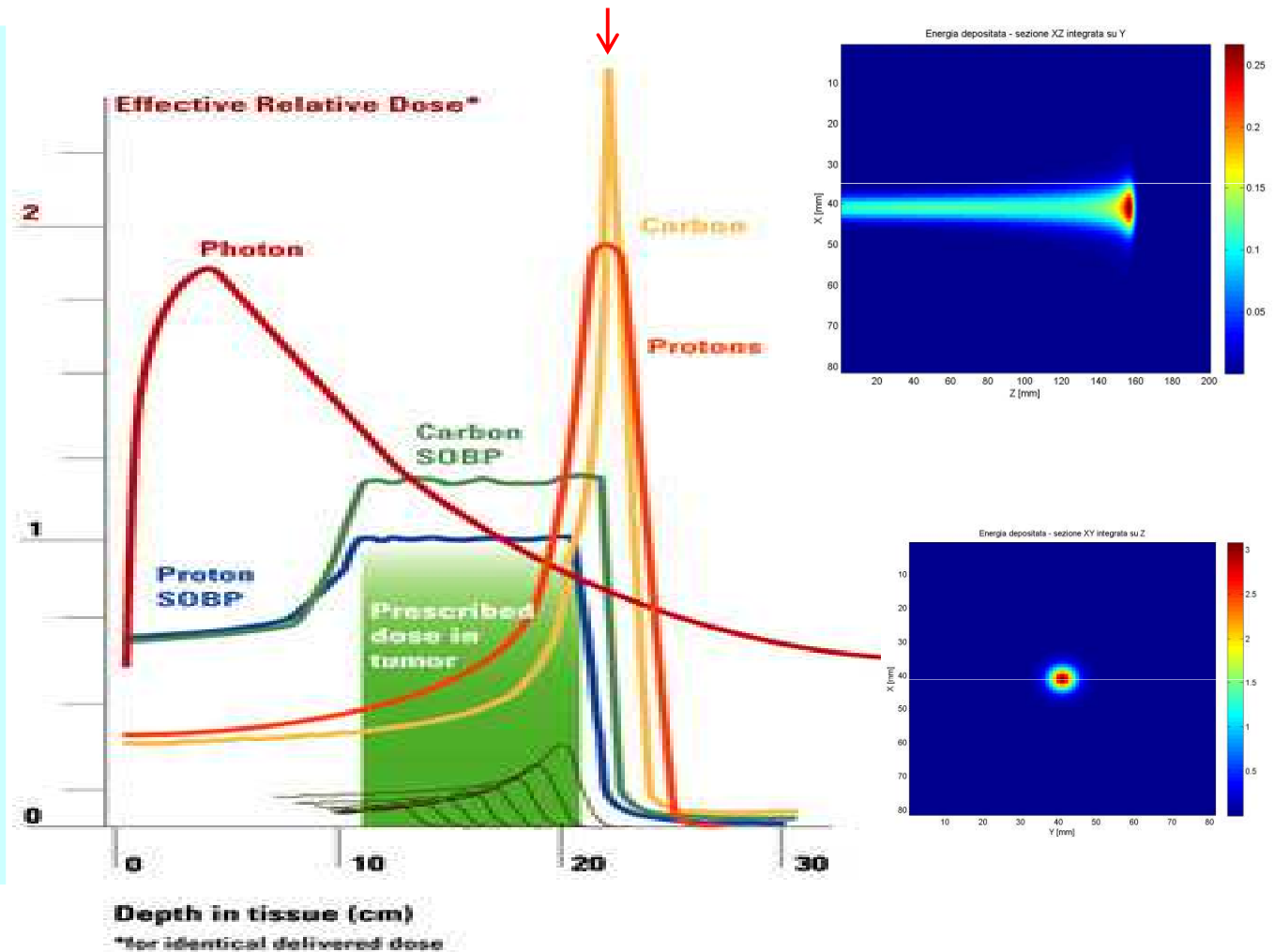
(4) Azienda Ospedaliera Ospedali Riuniti Papardo-Piemonte - Messina

Progetto TOP-IMPLART finanziato da Regione Lazio

Basi fisiche dell'Adroterapia

- Gli adroni (protoni e ioni) depositano la maggior parte della loro energia alla fine del loro percorso (range) nel materiale attraversato, nel cosiddetto **picco di Bragg**
- La profondità di penetrazione dipende dall'energia del fascio
- Sommando fasci aventi diverse energie si ottiene una regione con dose desiderata, lo **Spread Out Bragg Peak (SOBP)**

Bragg Peak



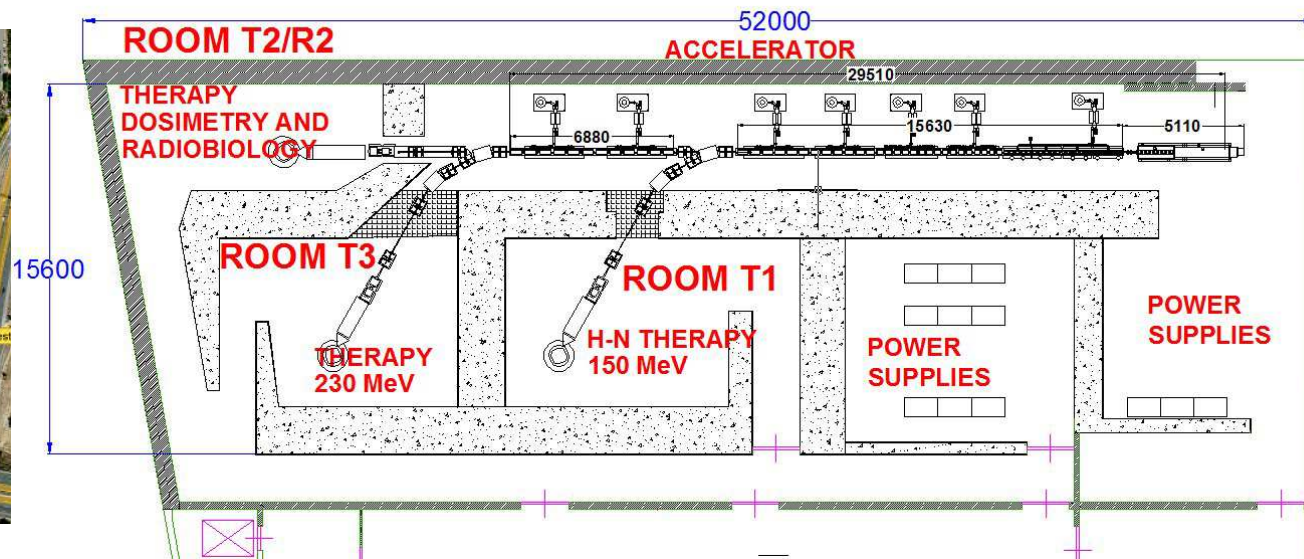
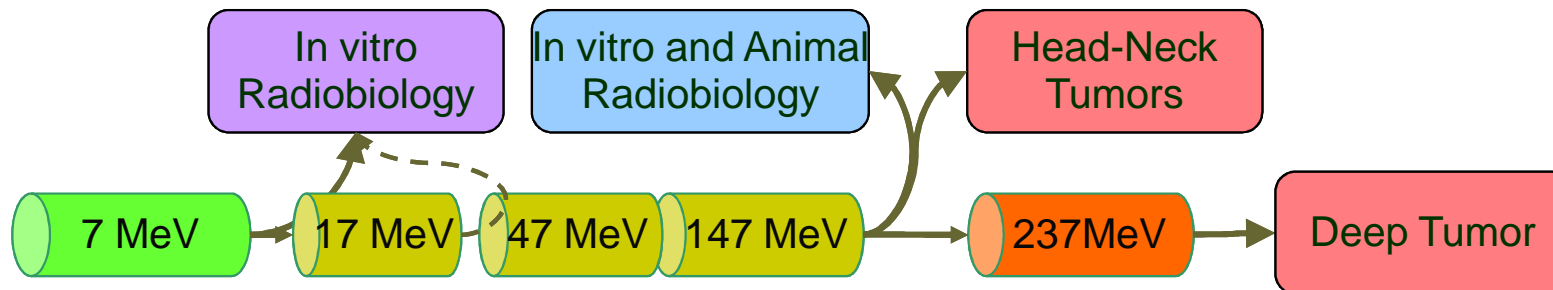
La radioterapia con adroni è intrinsecamente conformazionale ed è virtualmente la tecnica radioterapica di elezione nella cura di molte patologie tumorali.

Protonterapia con LINAC: il progetto TOP-IMPLART

TOP-IMPLART (*Terapia Oncologica con Protoni - Intensity Modulated Proton Linear Accelerator for Therapy*): sistema innovativo basato, per la prima volta, su un acceleratore lineare; installazione prevista presso l'ospedale IFO-Regina Elena/Roma.

Collaborazione: ENEA/Frascati + ENEA/Casaccia + ISS + IFO + Aziende Private

Fondi: ISS (<2002), Sparkle (2007-2009), Regione Lazio (>2009)



Monitor del rilascio di dose requisiti e specifiche in TOP-IMPLART LINAC



TOP-IMPLART LINAC **scanning attivo (3+1D)**

in:

- **Intensità** (rilascio istantaneo di dose)
- **Energia** (profondità/Z)
- **Posizione trasversa** (X/Y)

Permette terapia **altamente conformazionale**

⇒ Richiesto monitor dei parametri di fascio molto accurato e a livello di singolo impulso

Il monitor del fascio deve provvedere:

- Misure di posizione, profilo, direzione e intensità in real-time per ogni impulso
- Informazioni di retroazione per correggere piccole deviazioni dal piano di trattamento
- Shutdown automatico in caso di almeno un parametro fuori dall'intervallo di accettazione
- Alta affidabilità

Pulsed beam characteristics

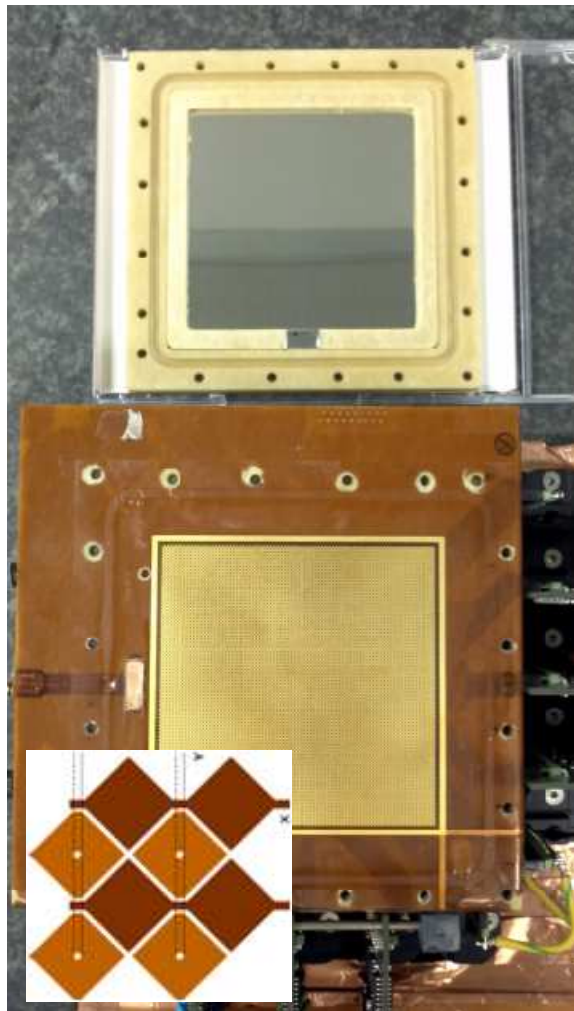
■ Energy in the range	130-250 MeV
■ Beam cross section	1-10 mm
■ Beam current	0.1-10 μ A
■ Average current:	3.5 nA
■ Pulse period	1-3.5 μ s
■ Pulse frequency	10-100 Hz
(fast dose repainting)	

Beam monitor system specifications

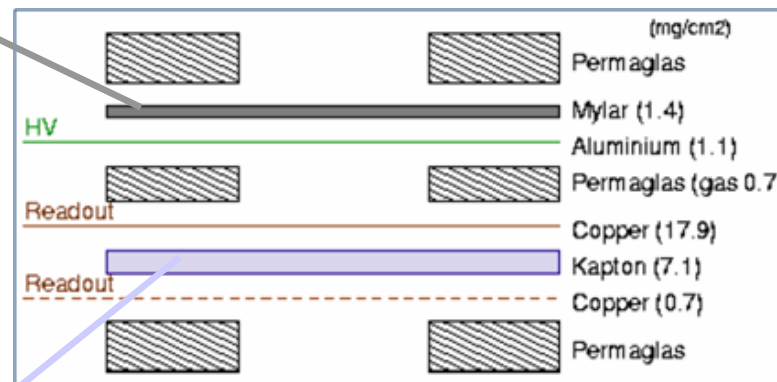
■ Light compact chamber	
■ Good spatial resolution (\sim 1/10 mm) ⇒ MPGD	} Dedicated Electronics
■ Wide dynamic range (10^4 at least)	
■ Good sensitivity (\sim 100 fC)	
■ Zero dead time (or near zero)	
■ Rapid response (< 1ms)	
■ Typical number of channels: few 100	

Camera a ionizzazione per il monitor del fascio TOP-IMPLART

Il sistema di monitor di fascio del TOP-IMPLART è basato su una camera a ionizzazione segmentata, costruita con tecnologia Micro-Pattern Gaseous Detector (MPGD)



- **AREA ATTIVA** di anodo e catodo: $7 \times 7 \text{ cm}^2$
- **ANODO:** Al ($5 \mu\text{m}$)
- **GAP** tra anodo e catodo: 2 mm



- **BIAS:** 100 - 300 V
- **Water Eq. Thick.:** 0.017 cm
- **Gas:** Azoto (o Aria)

- **CATODO:** Kapton ($50 \mu\text{m}$) con **PADs** in Cu ($15 \mu\text{m}$) sul lato d'incidenza del fascio e **STRIPs** in Cu ($15 \mu\text{m}$) sull'altro lato
 - ❖ **PITCH:** $875 \mu\text{m}$ (versione finale $\sim 400 \mu\text{m}$)
 - ❖ **Gap tra pad:** $120 \mu\text{m}$
 - ❖ **CANALI:** 80×80

Foglio di readout prodotto da R. De Oliveira al TS-DEM, CERN

Elettronica di readout con amplificatore multi-guadagno

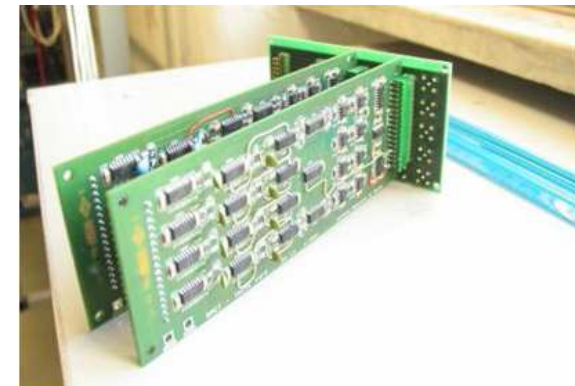
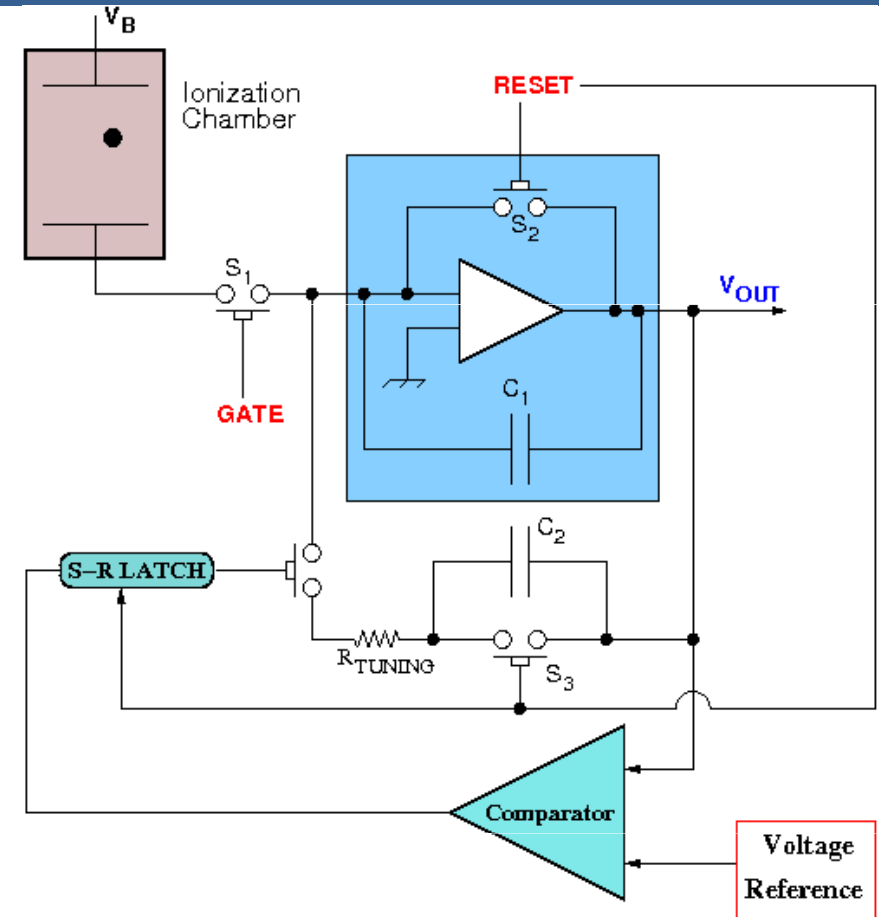
Basata su amplificatore di trans-impedenza (Carica/Tensione) con capacità di “sample and hold” in retroazione.

L'amplificatore adatta automaticamente il guadagno alla quantità di carica in ingresso.

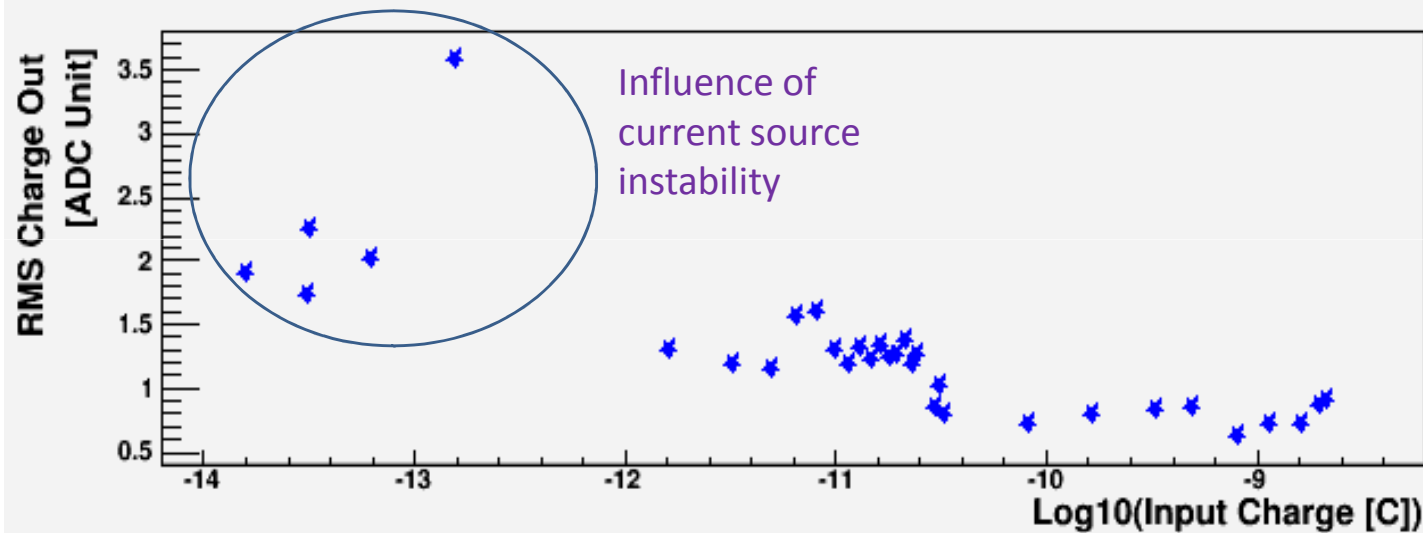
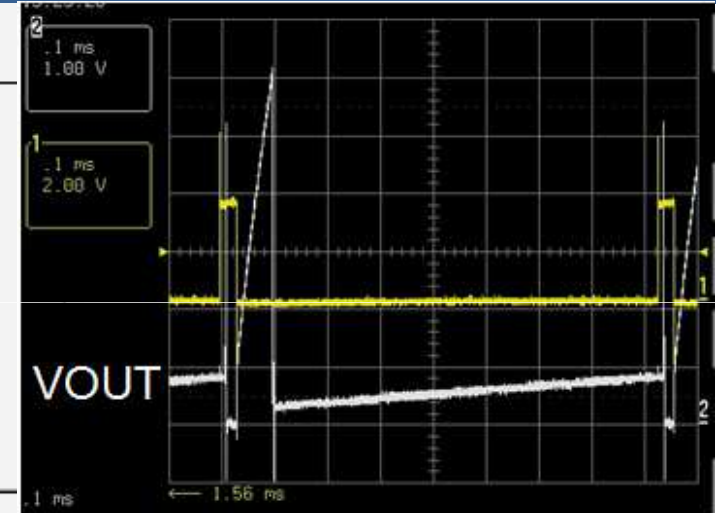
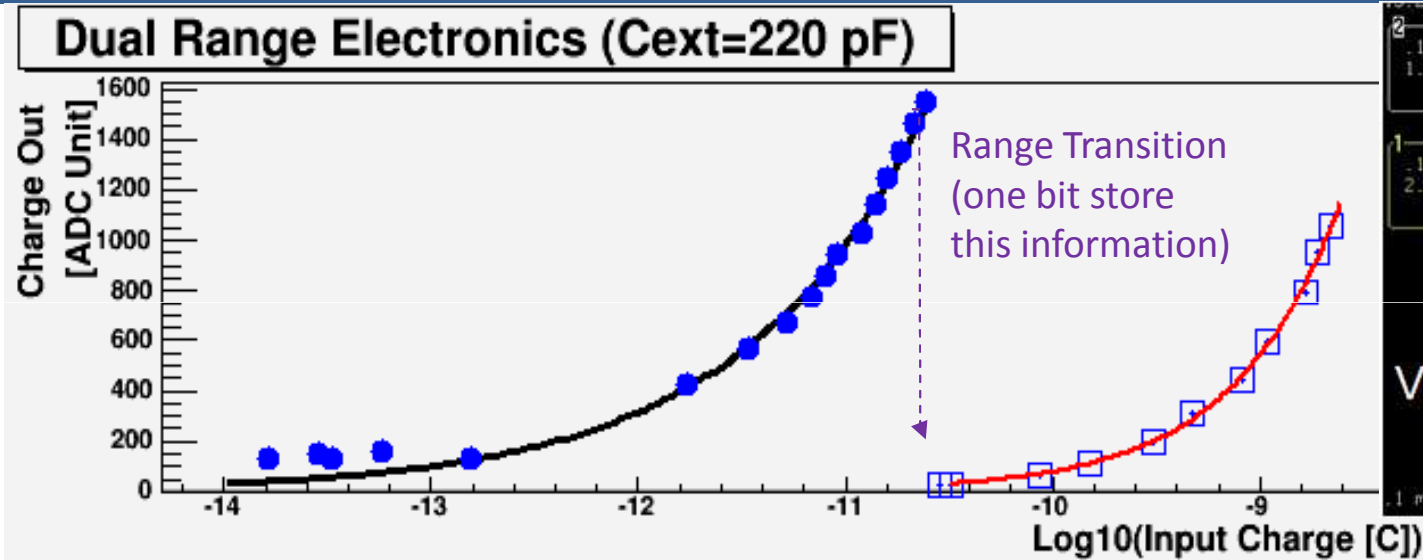
Quando la tensione sulla capacità supera una soglia di riferimento viene automaticamente connessa in parallelo una capacità più grande.

Tale semplice logica può essere replicata

L'elettronica prototipo è composta da schede di front-end a 16 canali, collegate in cascata attraverso backplane passivo

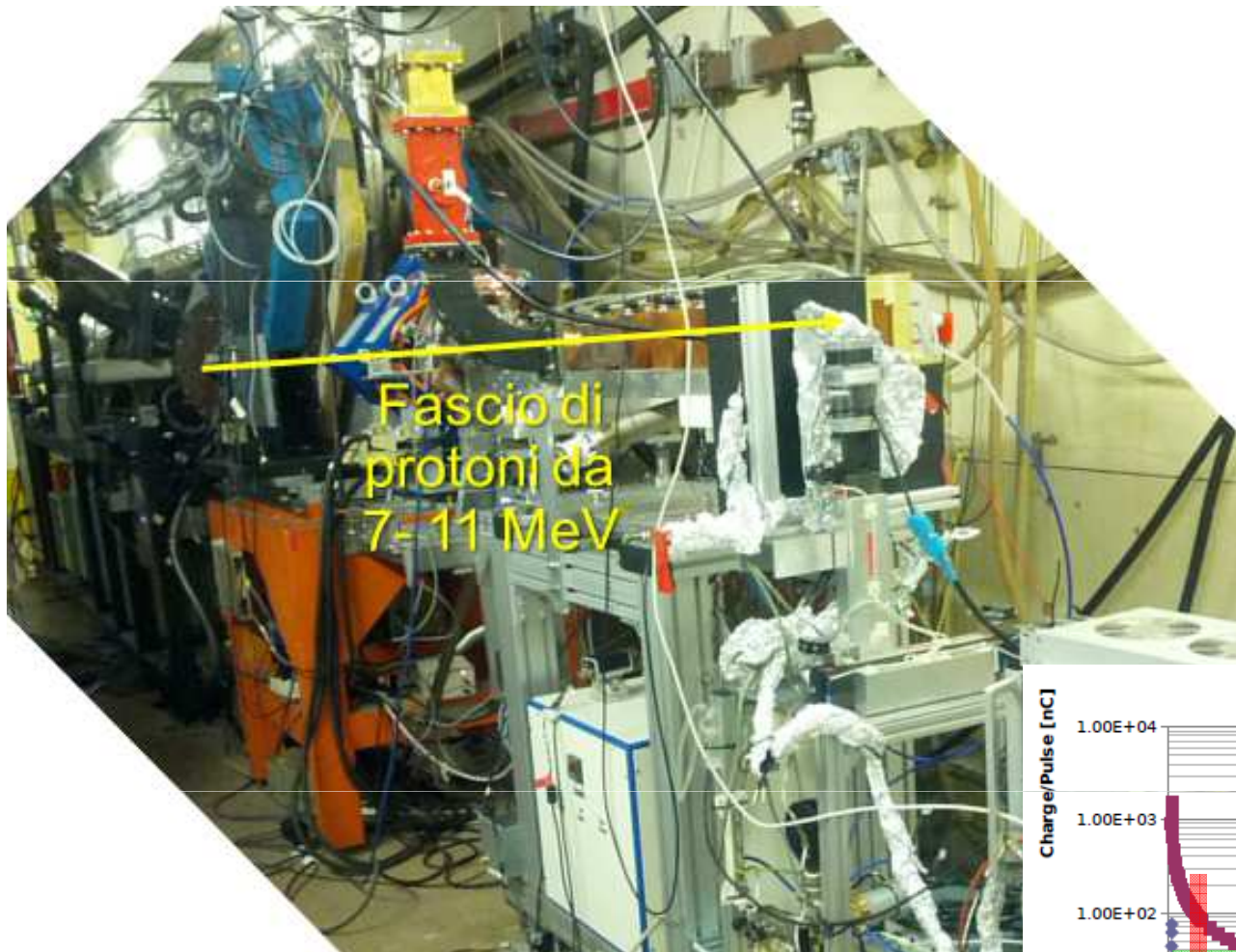


Test sull'elettronica di readout: Performance del doppio regime

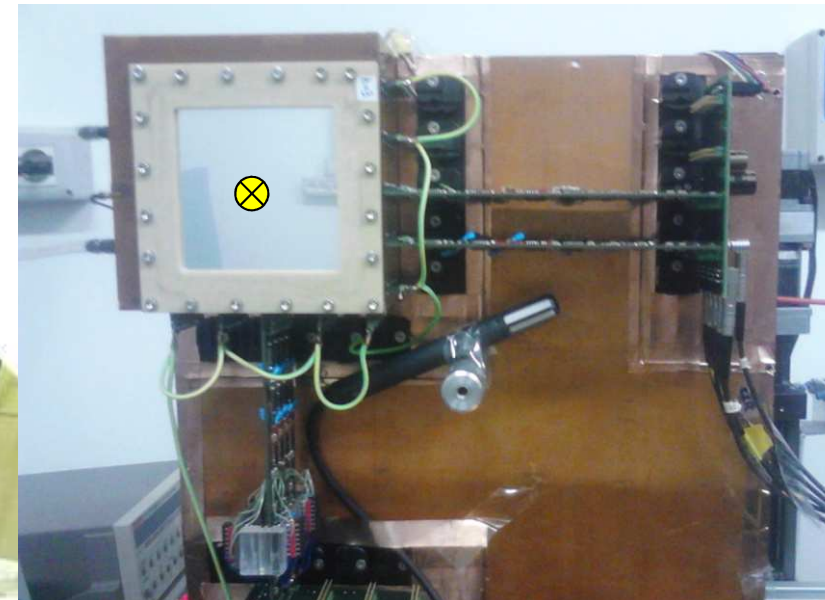


- ❑ Range dinamico maggiore di 10^4 (da circa 2 pC a decine di nC)
- ❑ Sensibilità relativa inferiore al 3% (sensibilità minima assoluta di 70 fC)

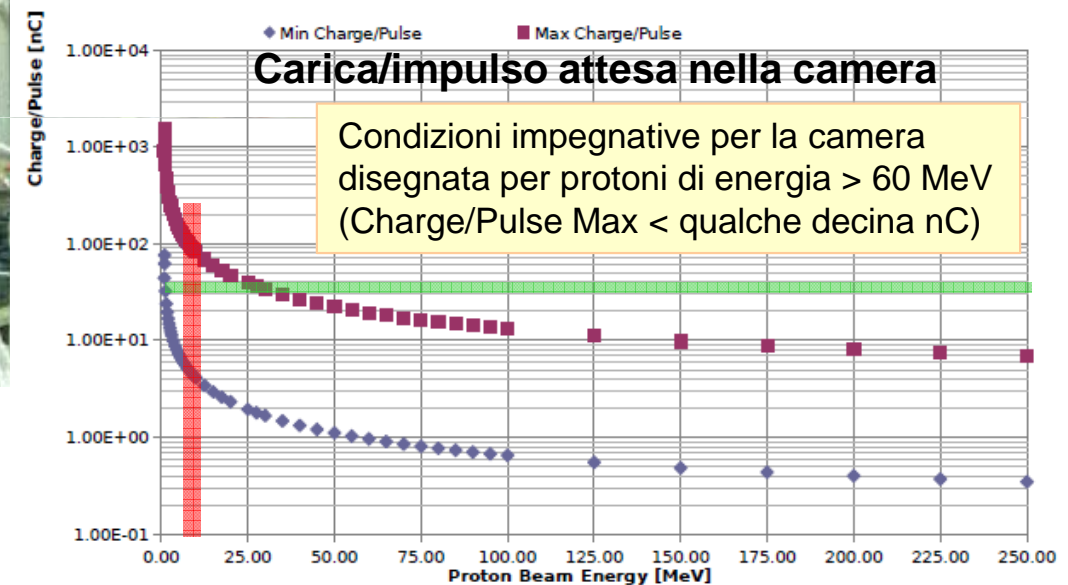
Primi Test sotto fascio protoni TOP-IMPLART 7-11 MeV - Configurazione



Vista Frontale: camera + elettronica



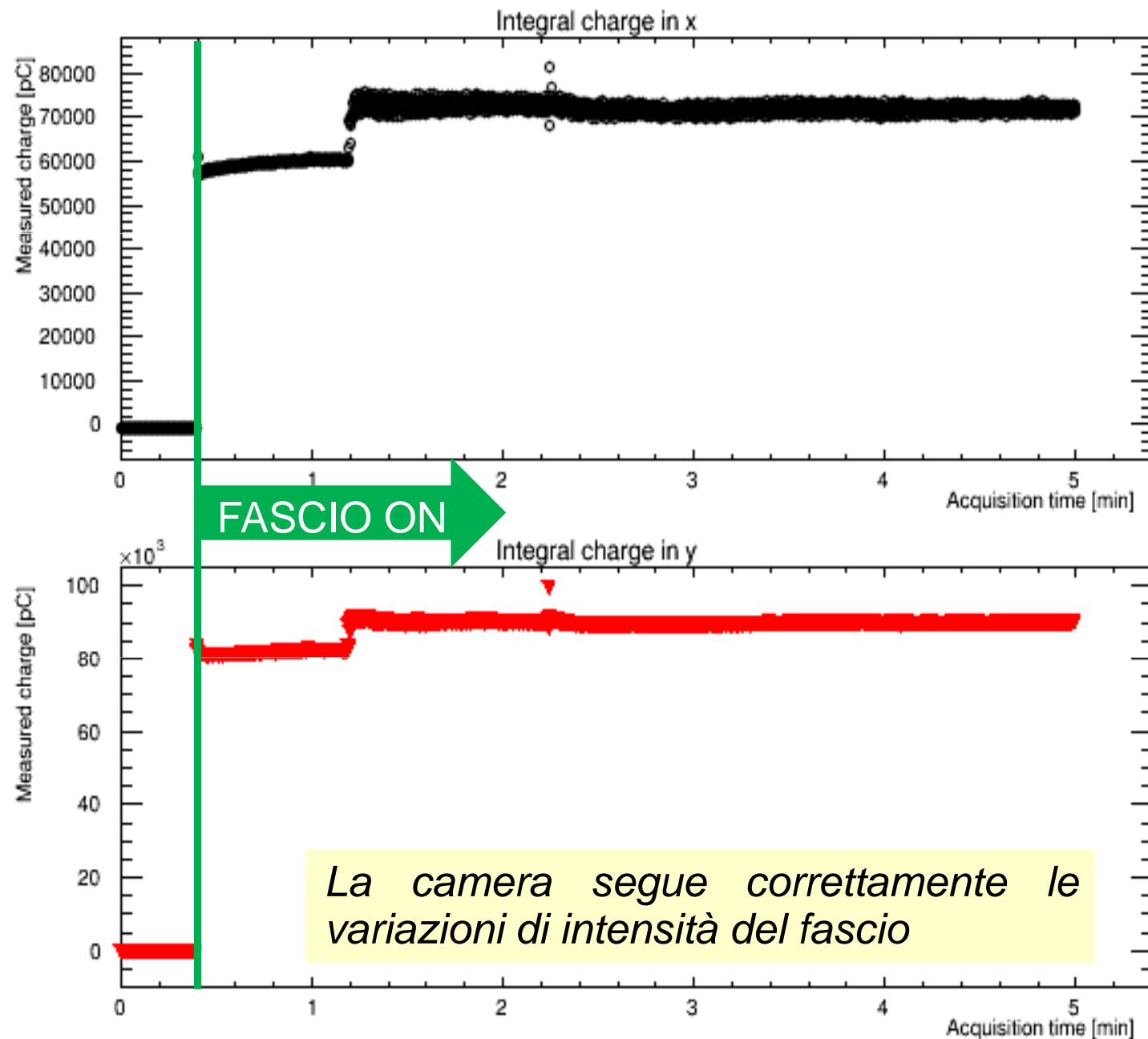
Caratteristiche del fascio:
Intensità: 10 - 40 pC/impulso
Frequenza impulsi: 5 - 20 Hz
*Il fascio non è stato ancora caratterizzato,
la sua stabilità non è garantita*



Prima evidenza di buon funzionamento fascio di protoni OFF/ON

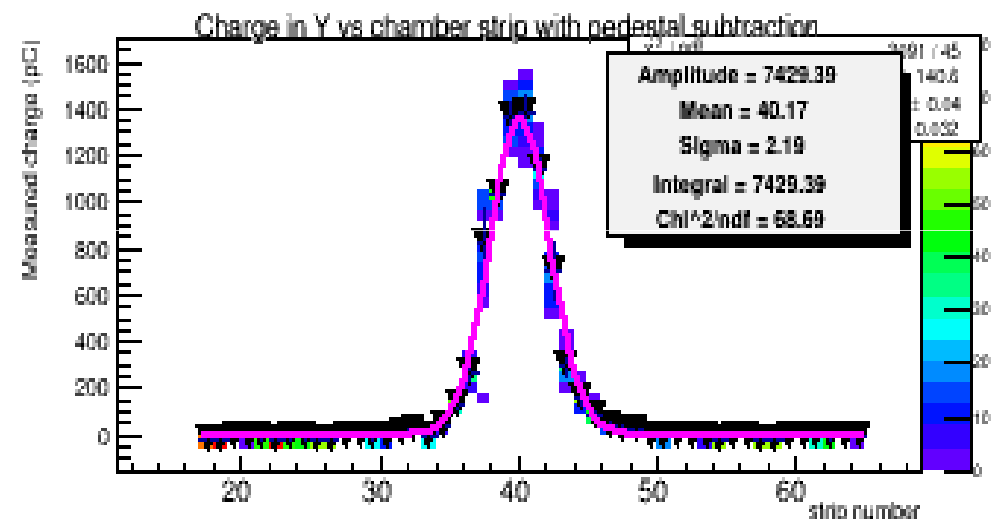
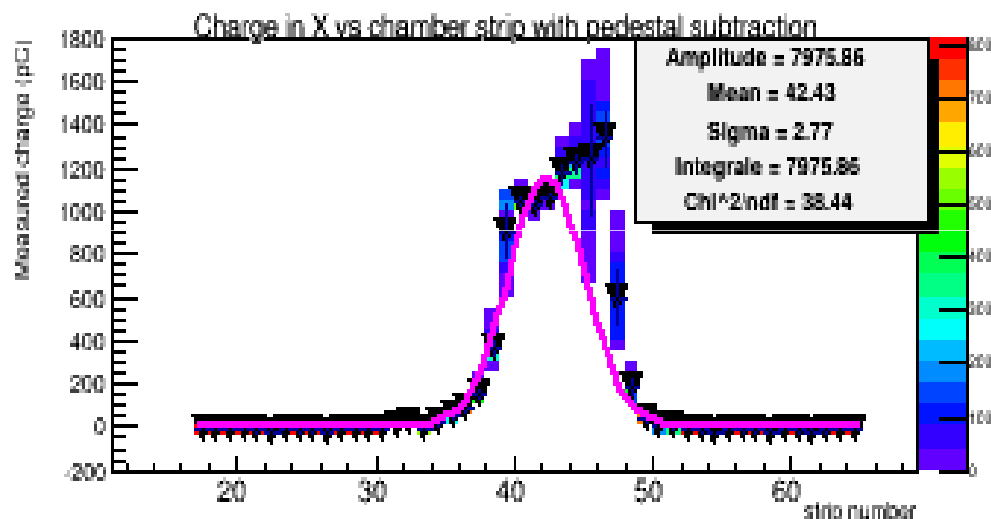
Carica integrale in X
(nero) e in Y (rosso)
misurata con:

- Fascio OFF
- Fascio ON da 11 MeV con variazioni programmate in intensità

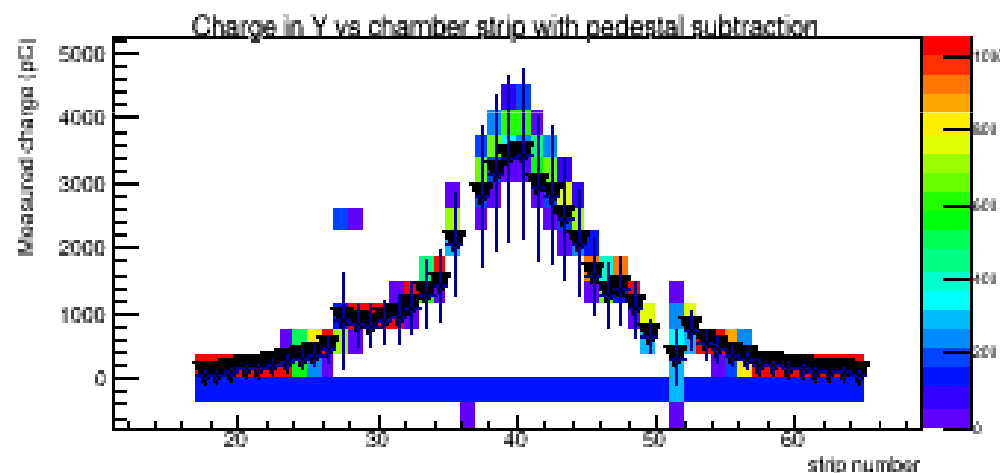
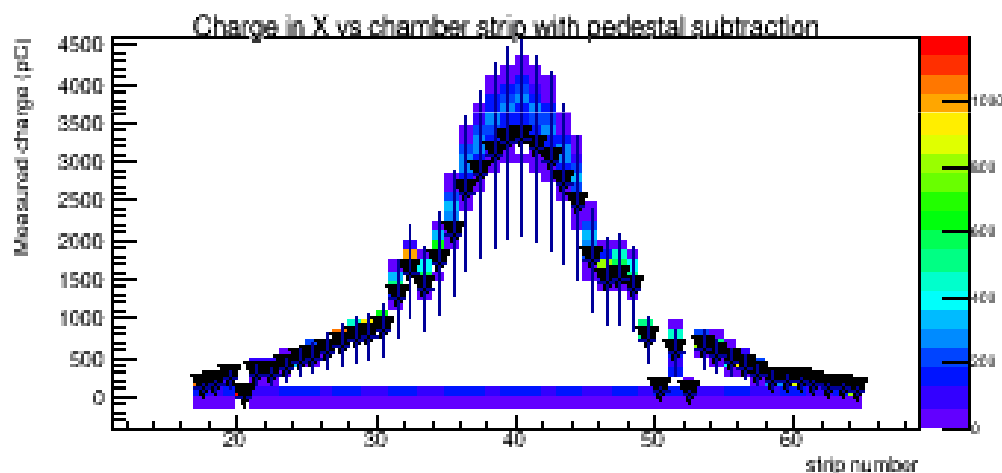


Primi profili del fascio TOP-IMPLART

Profili di carica del fascio in X (a sinistra) e in Y (a destra)



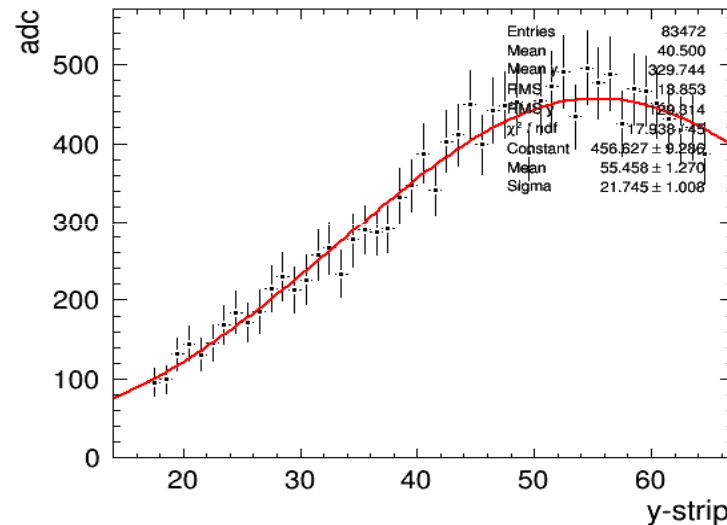
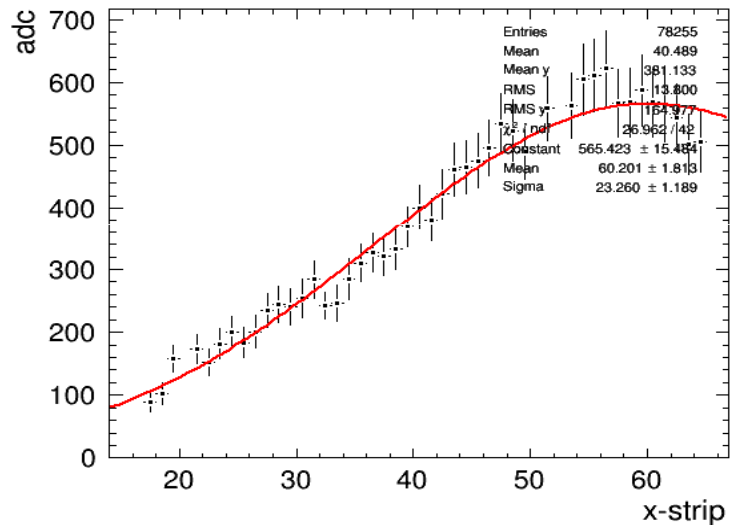
PROTONI da 7 MeV (SCDTL OFF) *Filtrata contaminazione di x-ray ed elettroni*



PROTONI da 11 MeV (SCDTL ON) *Profilo del fascio consistente*

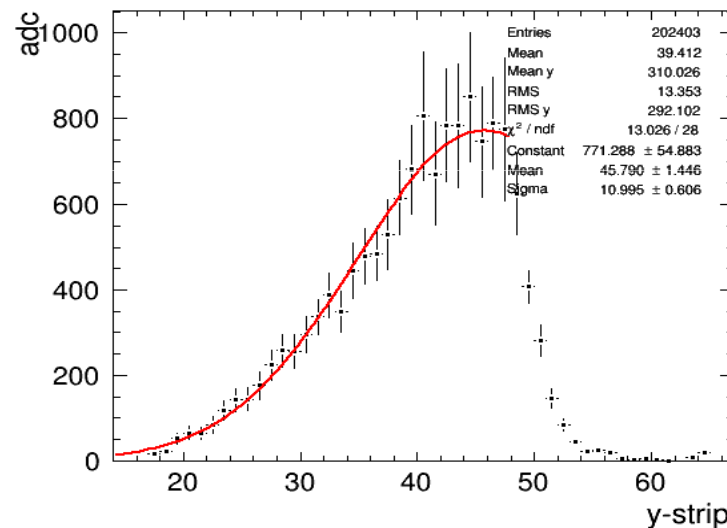
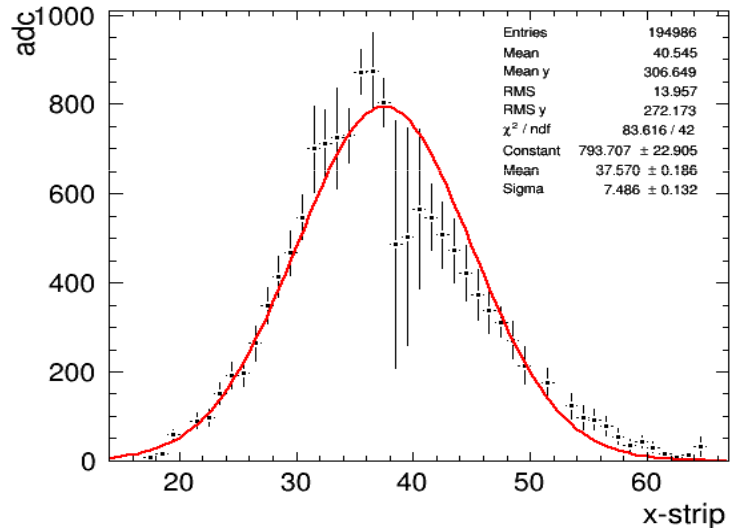
Profilo del fascio di protoni in aria

42 cm **Distanza gun-camera = 42 cm** 42 cm



Profilo del fascio di protoni a due differenti distanze della camera dalla finestra di uscita del fascio

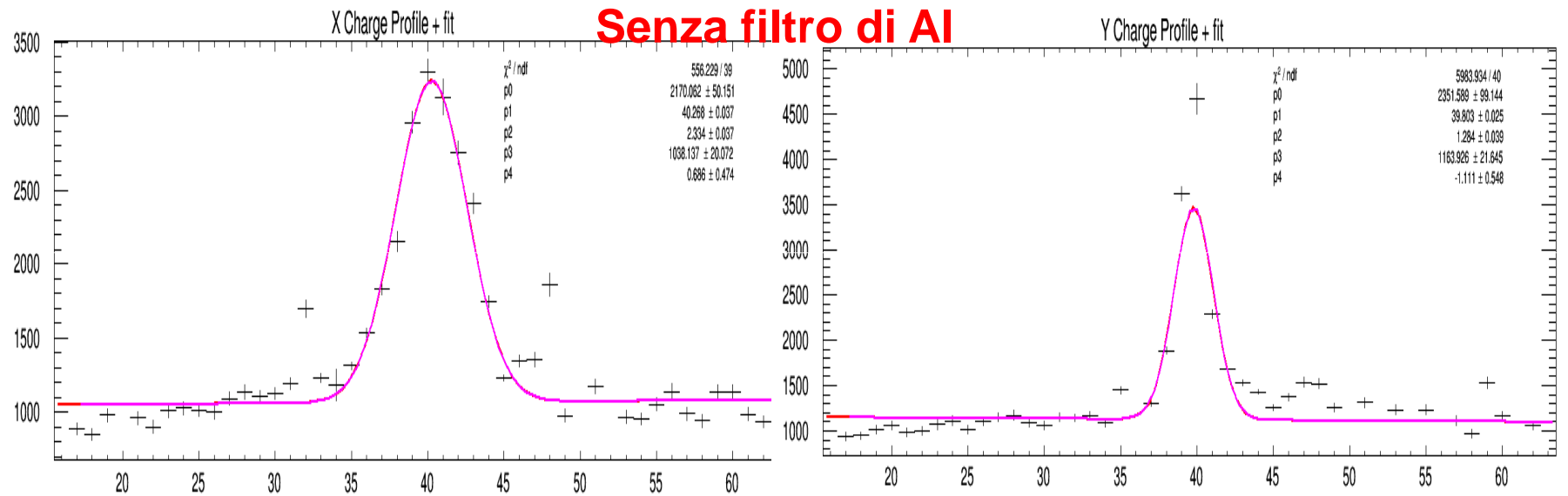
8 cm **Distanza gun-camera = 8 cm** 8 cm



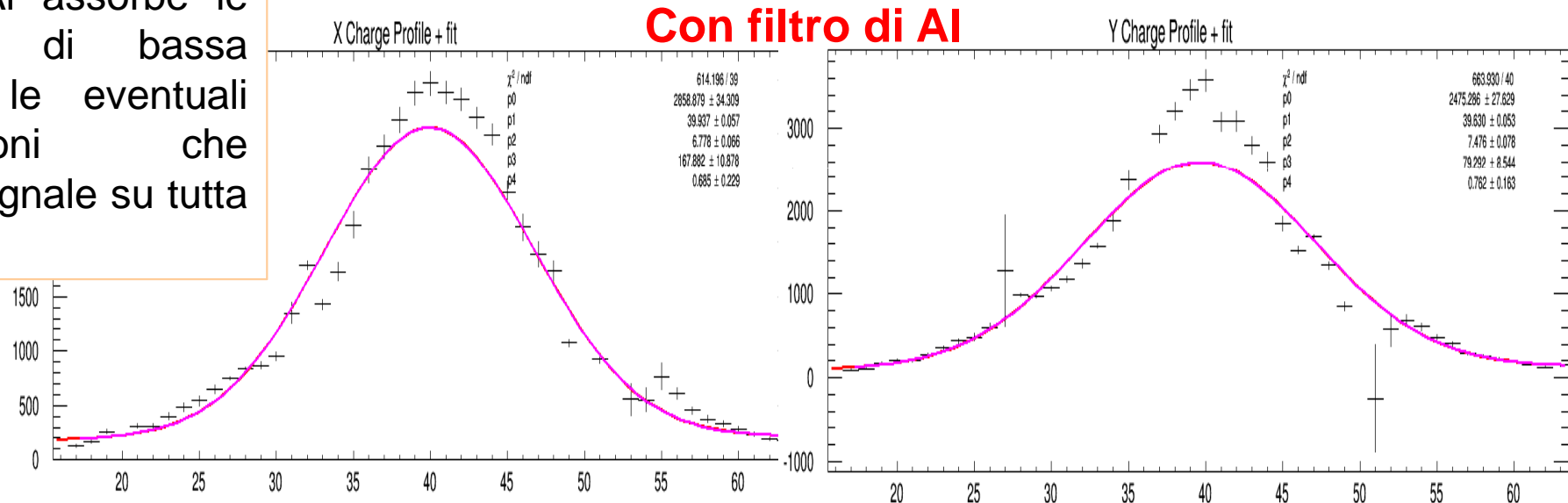
Taglio dovuto all'urto con tubo di uscita

Allargamento del fascio in aria al crescere della distanza finestra tubo - camera

Profili con protoni da 11 MeV Contaminazione x-ray ed elettroni

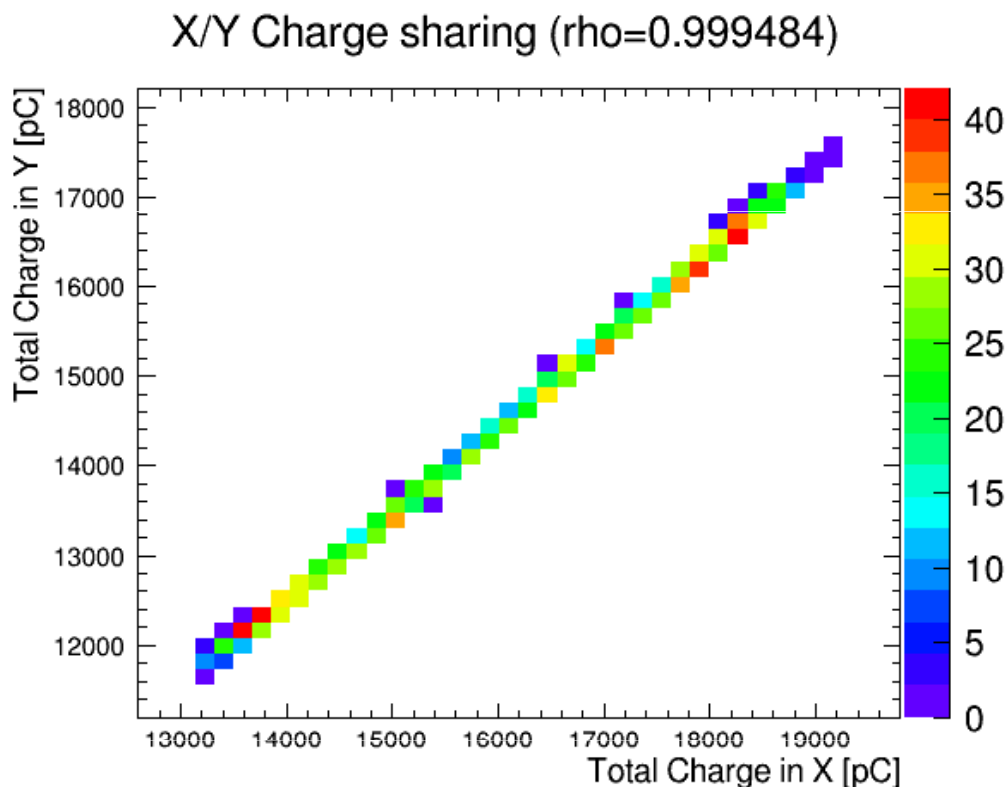


Il filtro di Al assorbe le componenti di bassa energia e le eventuali contaminazioni che generano segnale su tutta la camera

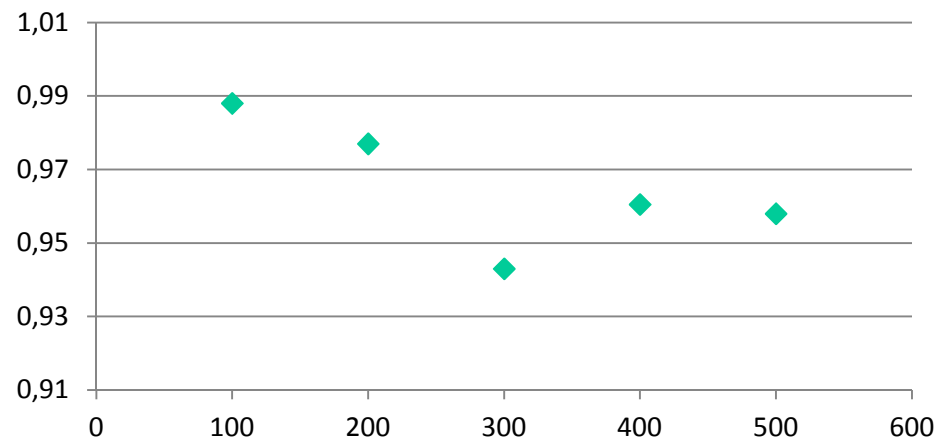


La camera è sensibile alle varie componenti energetiche del fascio

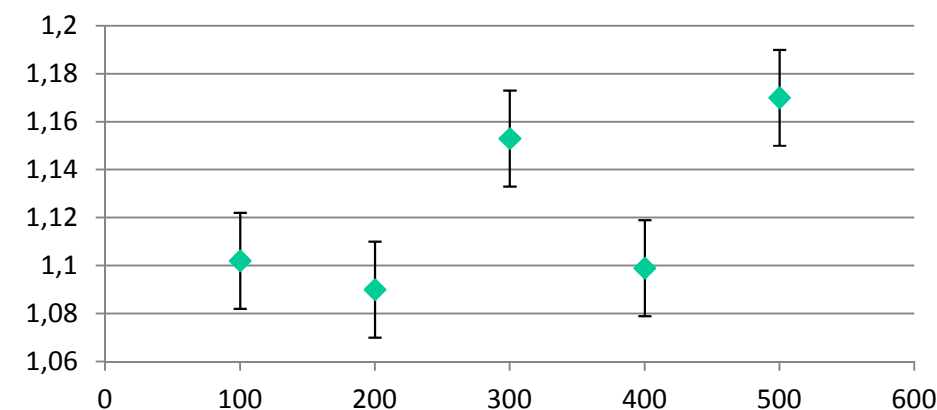
Correlazione carica raccolta x/y



Correlation Factor vs HV



Charge Sharing vs HV



Ottima corrispondenza, buona indipendenza dall'alta tensione

fattore di correlazione > 0.99

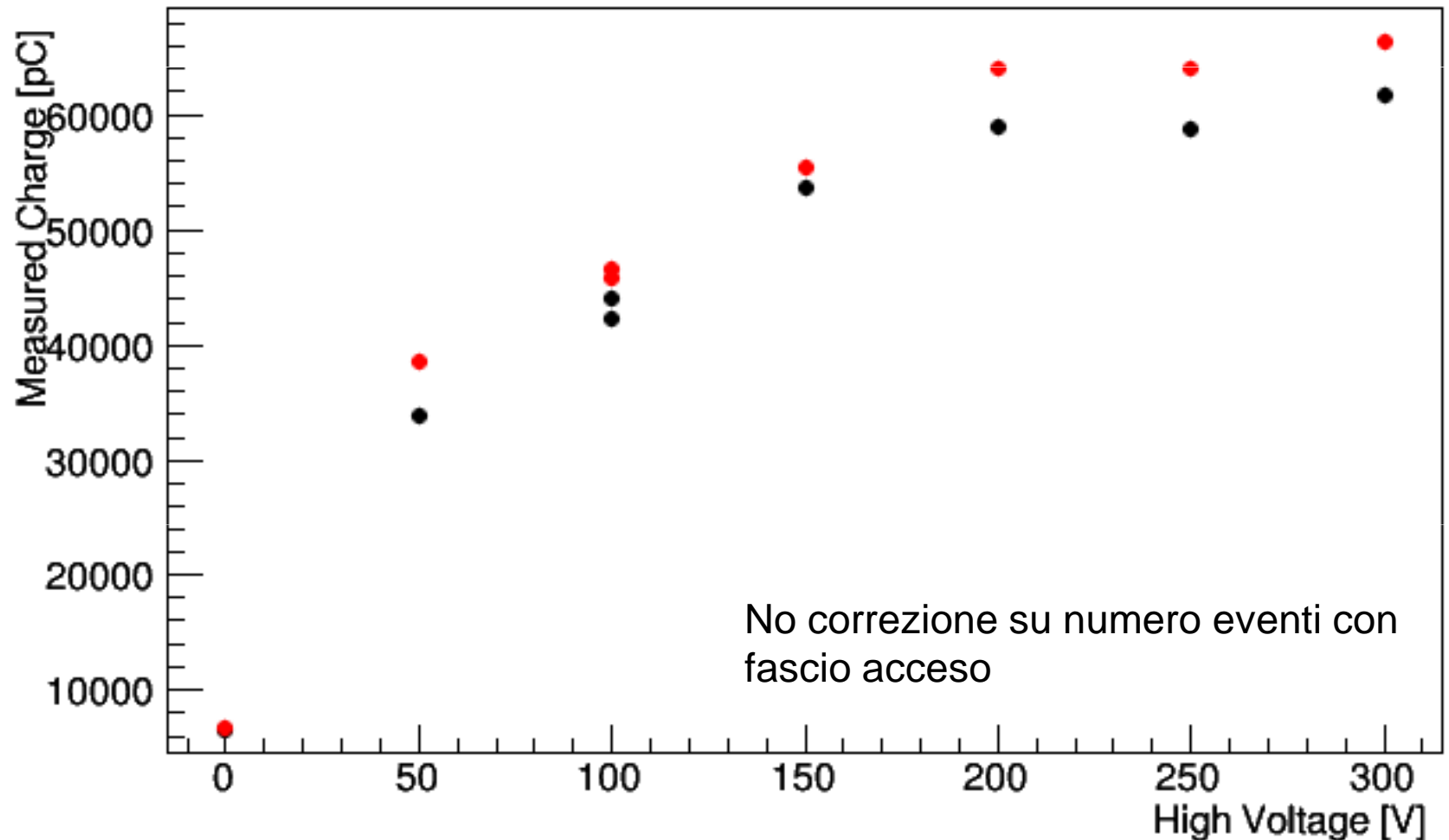
ChargeX/ChargeY 1.11 ± 0.03 (migliorabile con calibrazione fine cambio portata)

Carica integrale versus Alta Tensione (HV) della camera

Risultati preliminari

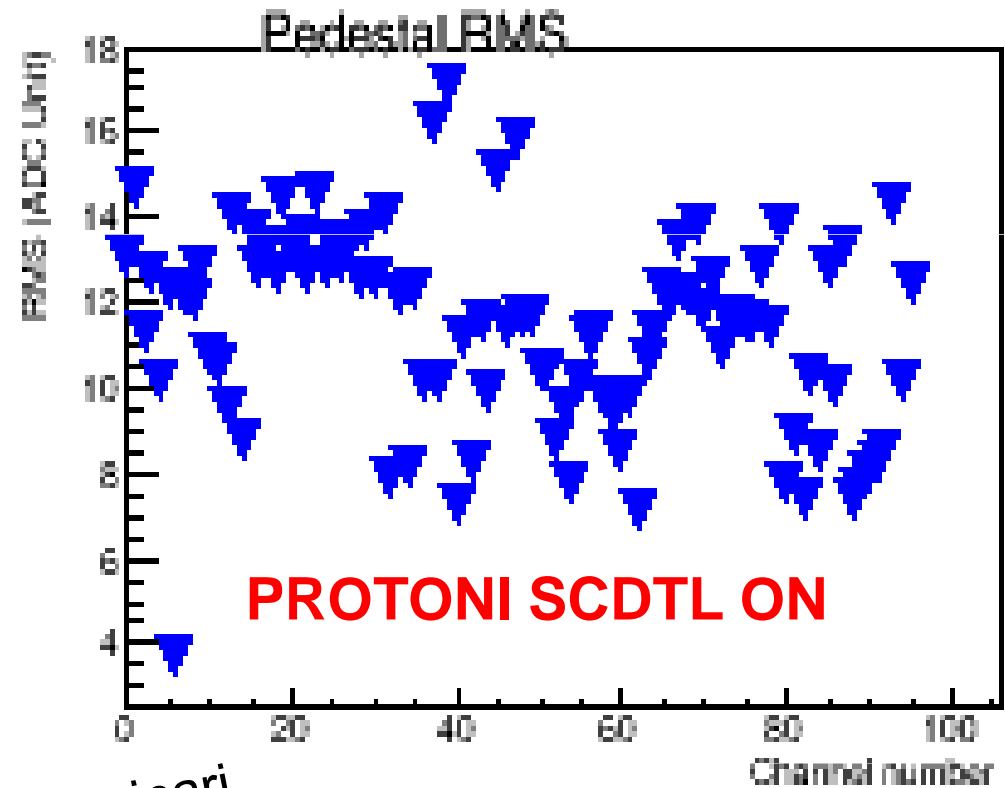
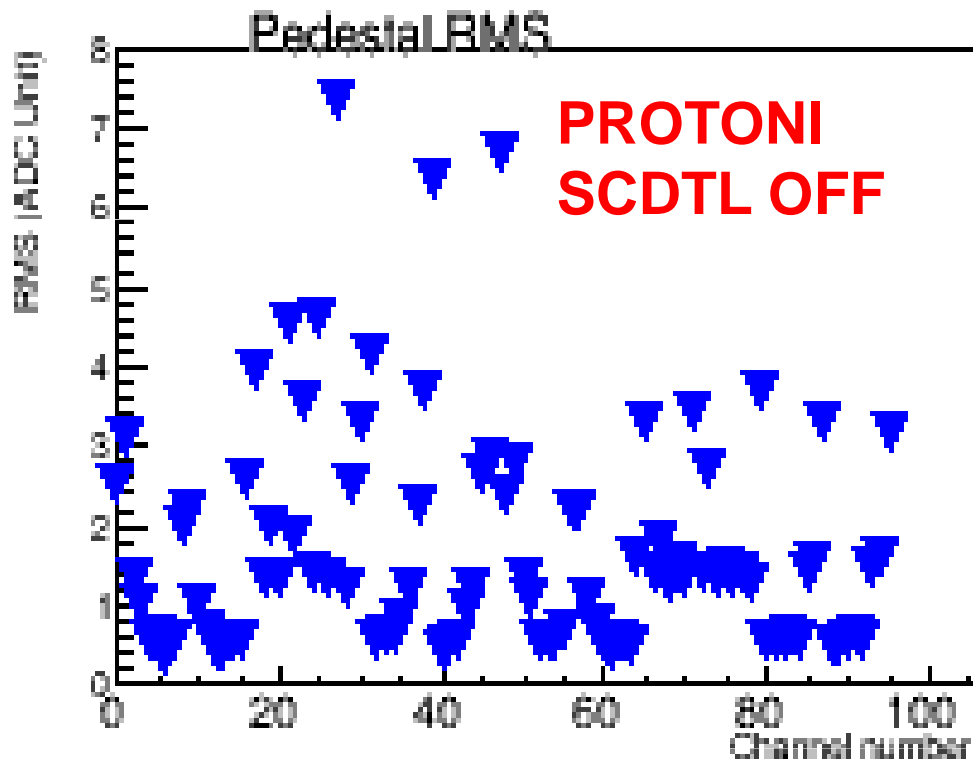
Integral charge vs High Voltage

PROTONI
X nero
Y rosso



Punto di lavoro ~ 200-300 V - Ragionevole margine prima della saturazione

RMS piedistallo protoni

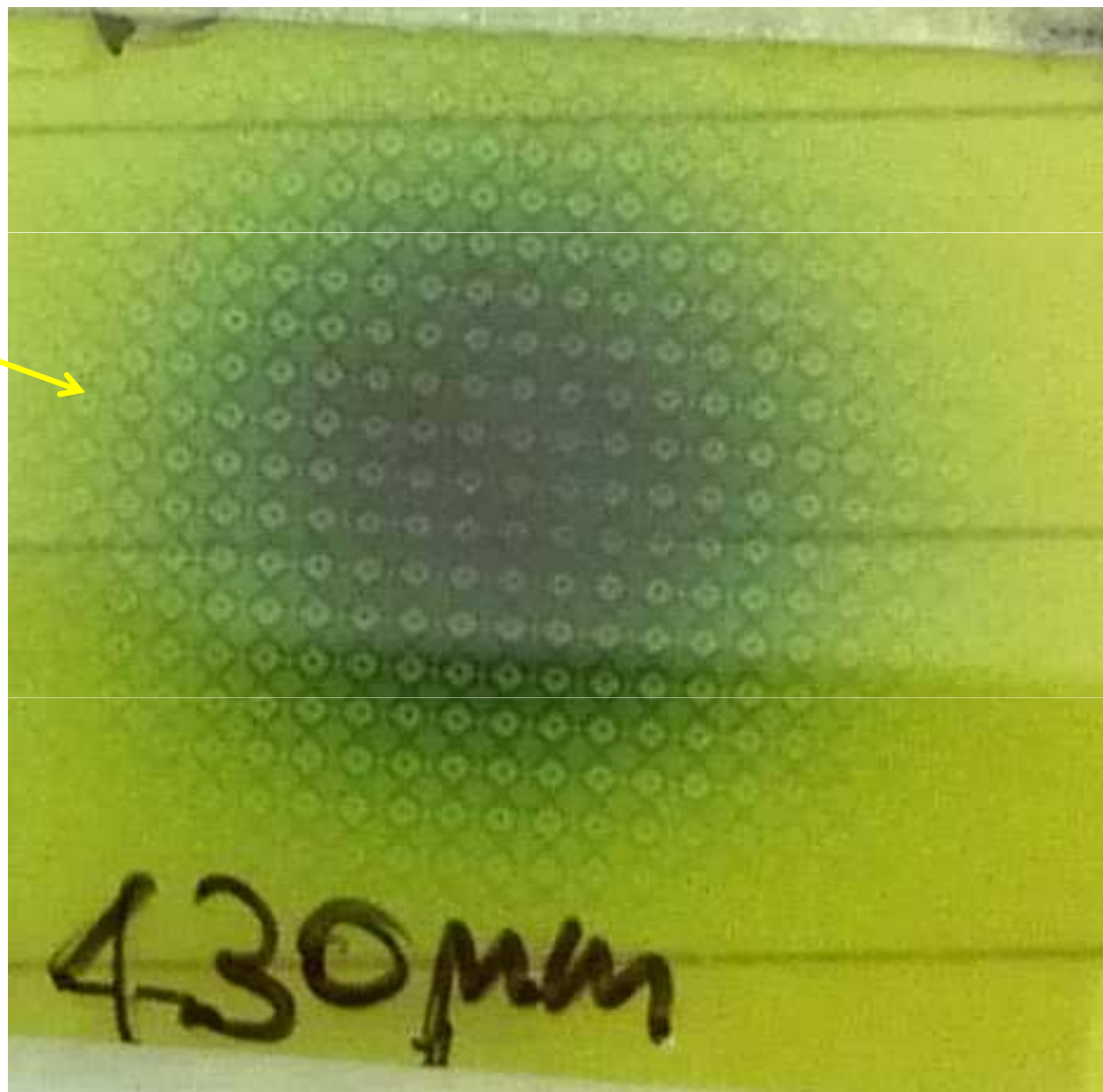
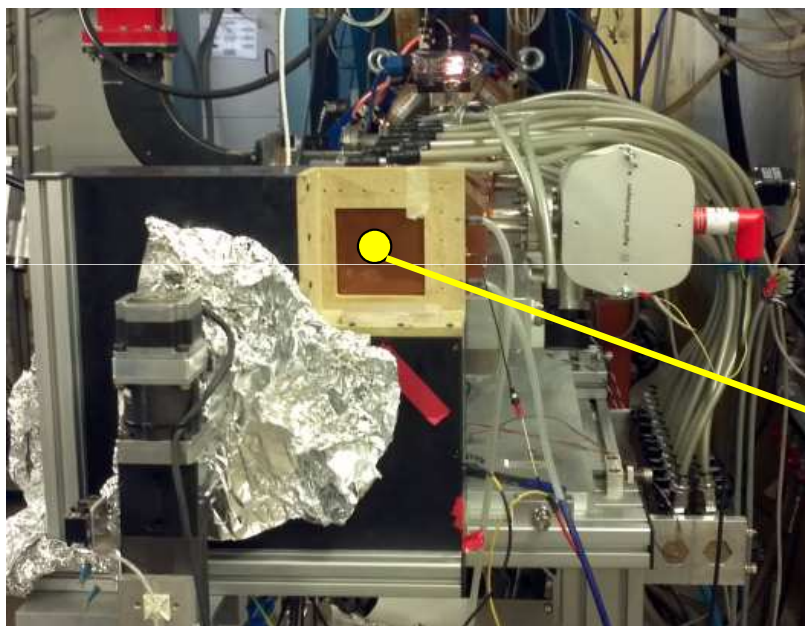


Risultati preliminari

RMS migliorabile, comunque soddisfacente:

- *valore medio ~ 13 (su dinamica di ~ 10000)*
- *variazione tra canali entro qualche unità*

“Radiografia con protoni” della camera



Pattern a pad del foglio di readout della camera ben visibile sulla Gafchromica

- Le prime misure con fascio di protoni confermano le buone performance già verificate precedentemente su elettroni:
 - buone caratteristiche di rumore
 - profilo di fascio del tutto consistente con le aspettative
 - la camera si comporta fundamentalmente come atteso rispetto all'alta tensione, con ragionevoli margini di saturazione.
- il cambio automatico di dinamica funziona a dovere
- E' in fase di sviluppo una nuova, consolidata versione della camera e dell'elettronica (largamente basata su quanto appreso nei test presentati)
- Continueranno test di caratterizzazione

GRAZIE PER L'ATTENZIONE