

# RIVELATORE A EMULSIONI NUCLEARI: STATO DELL'ARTE E PROSPETTIVE

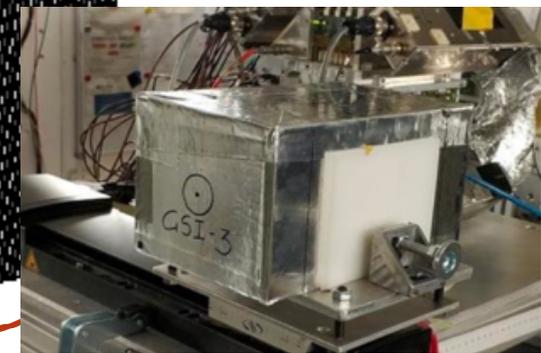
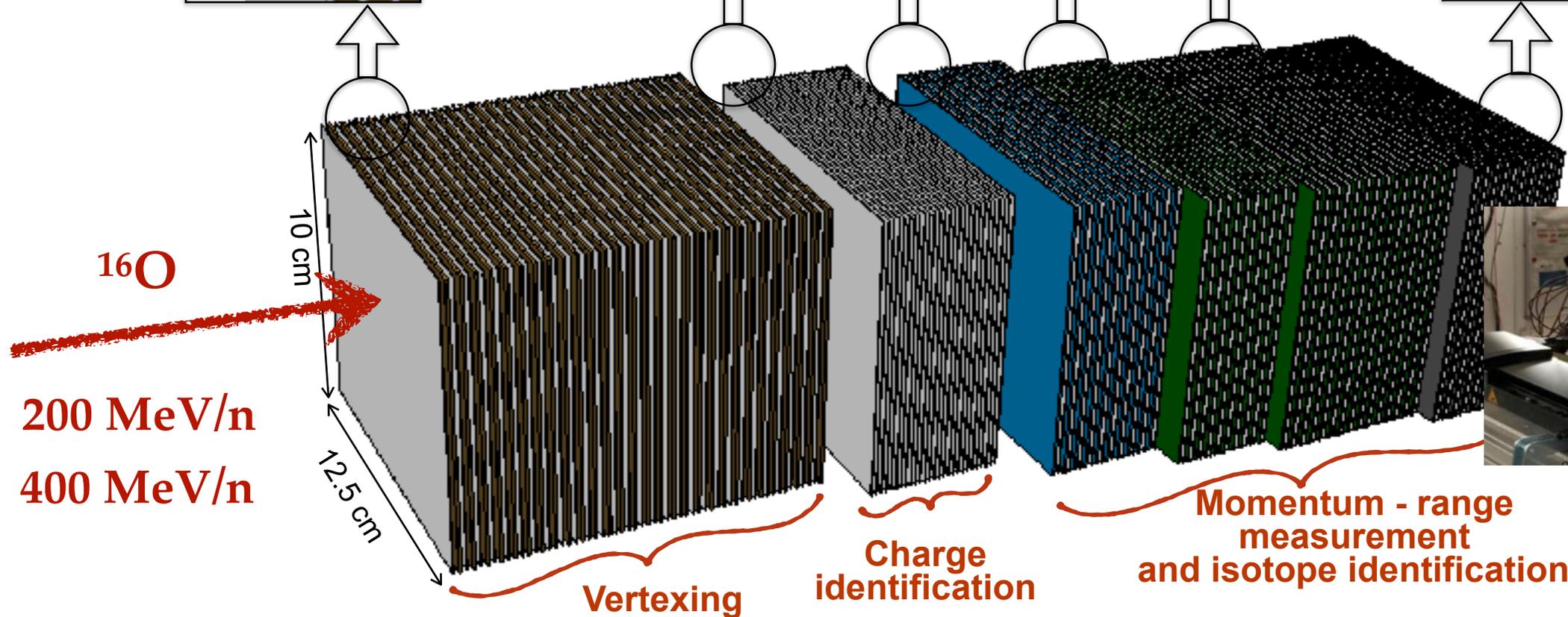
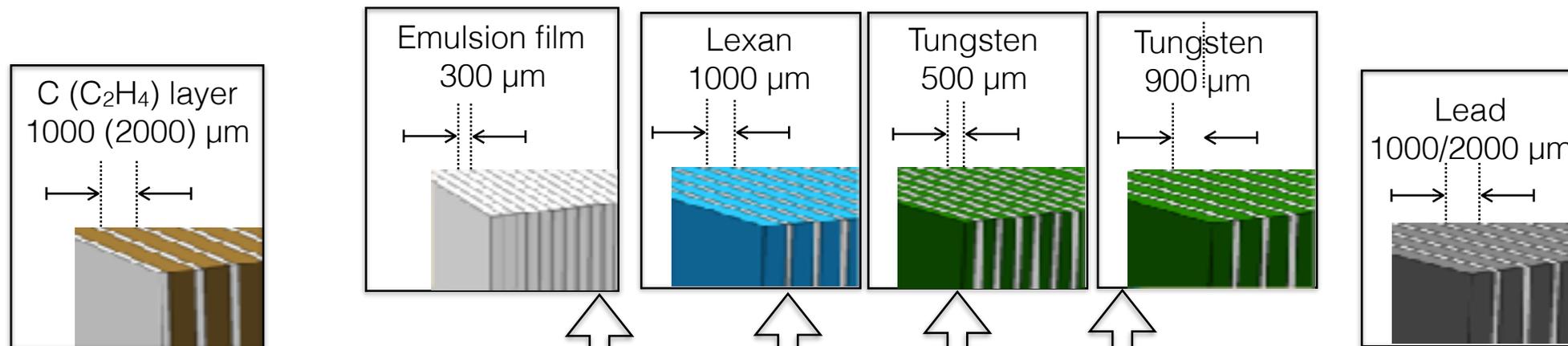


A. Alexandrov, V. Boccia, A. Di Crescenzo, G. De Lellis, G. Galati,  
A. Iuliano, A. Lauria, M. C. Montesi, A. Pastore, V. Tioukov

*Università di Napoli "Federico II", INFN Napoli,  
Università di Bari, INFN Bari*

FOOT: referee meeting  
Bologna, 31th August 2022

# The emulsion spectrometer structure



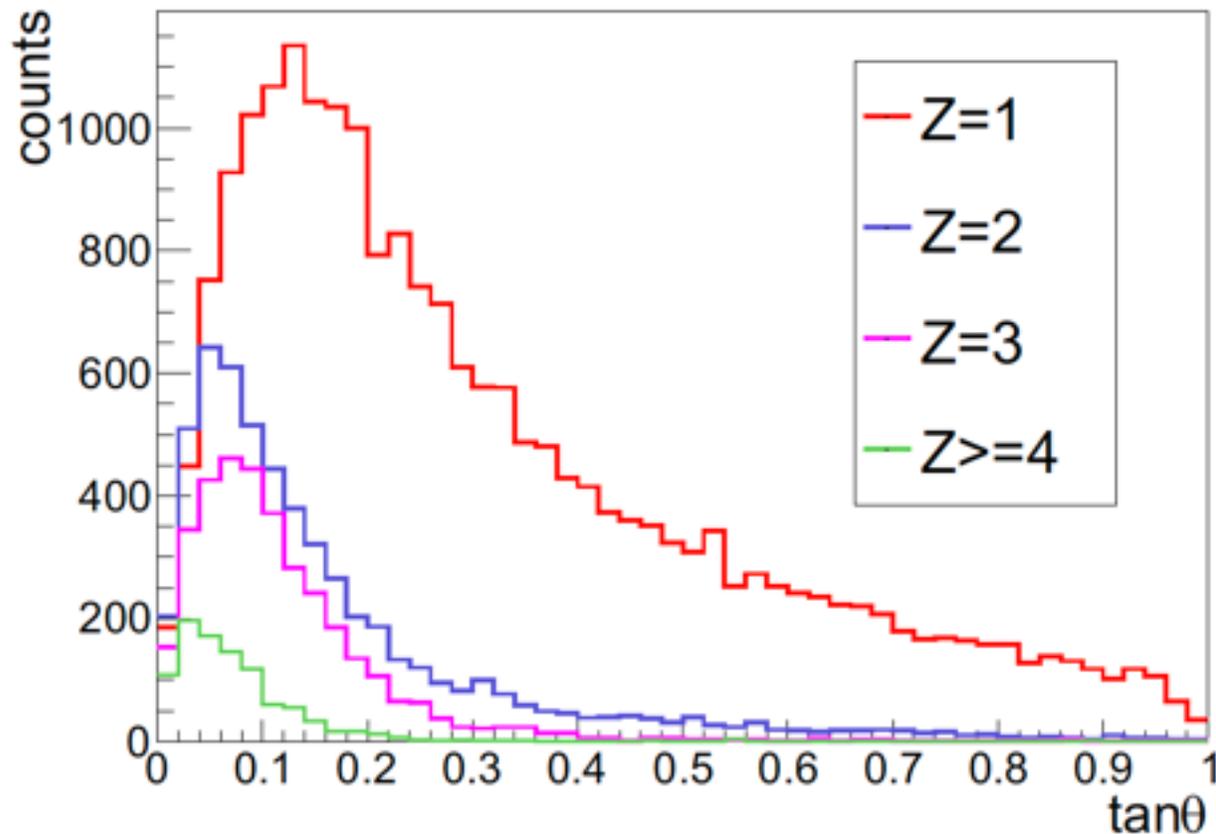
# STATO DELL'ANALISI (DAL 2021)

---

- 1) Articolo sulla misura della carica, in S2, con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV/n su target in  $\text{C}_2\text{H}_4$  (<https://doi.org/10.1515/phys-2021-0032>, Open Physics, 2021);
- 2) Completata l'analisi sulla misura della carica, in S2, con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV/n su target in C e a 400 MeV/n su C e  $\text{C}_2\text{H}_4$ ;
- 3) Completata la ricostruzione dei vertici, in S1, a 200 MeV/n su C e  $\text{C}_2\text{H}_4$ ;
- 4) Ricostruzione in corso dei vertici, in S1, a 400 MeV/n su C e  $\text{C}_2\text{H}_4$ ;
- 5) Completata la misura della sezione d'urto integrata a 200 MeV/n su target in C e  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

# STATO DELL'ANALISI

- 1) Articolo sulla misura della carica, in S2, con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV/n su target in  $\text{C}_2\text{H}_4$   
(<https://doi.org/10.1515/phys-2021-0032>, Open Physics, 2021)

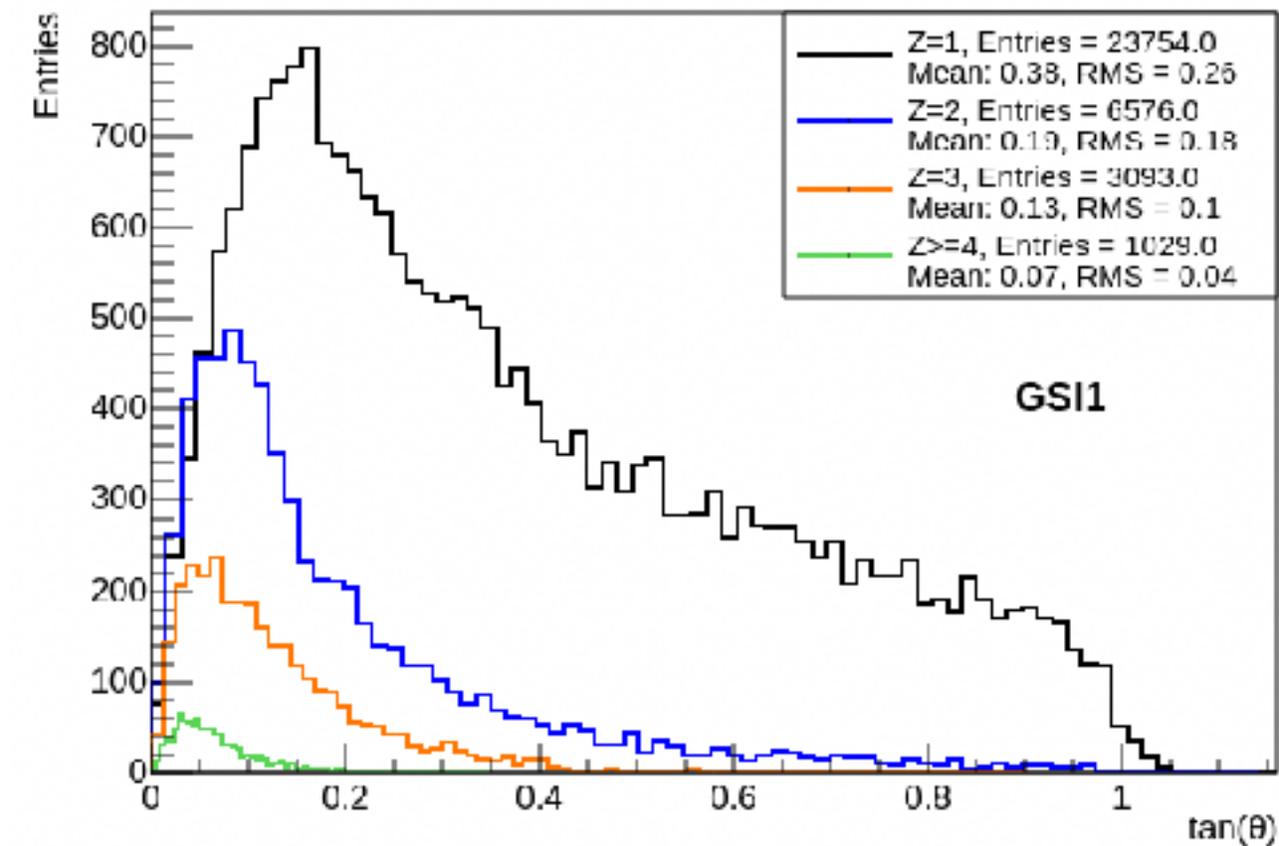


Z	Fragments classification					
	CB	PCA	Total	%	Syst. Err. (%)	Stat. Err. (%)
1	21,199	/	21,199	70	5	0.7
2	1,438	3,506	4,943	16	2	1.4
3	/	2,915	2,915	10	2	1.9
$\geq 4$	/	1,108	1,108	4	1	3.0
Total	22,637	7,529	30,166			

# STATO DELL'ANALISI

2) Completata sulla misura della carica, in S2, con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV/n su target in C e a 400 MeV/n su C e  $\text{C}_2\text{H}_4$

## $^{16}\text{O}$ @ 200 MeV/n su C

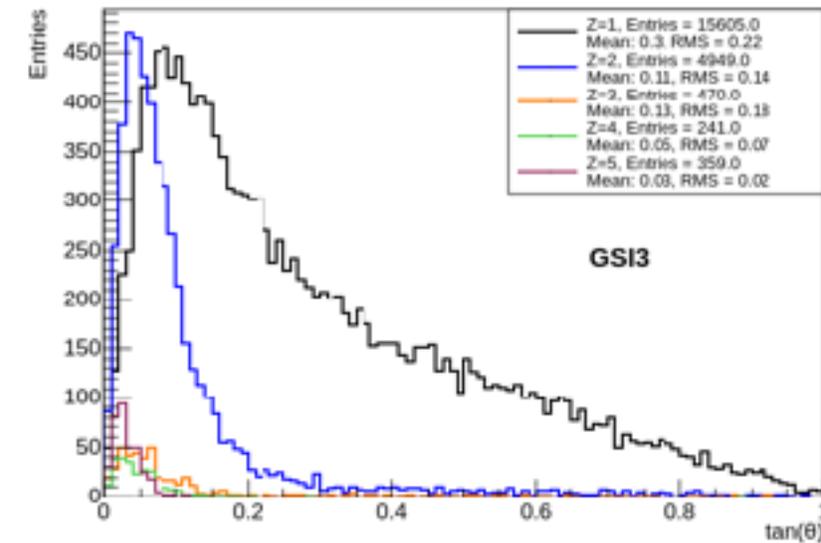
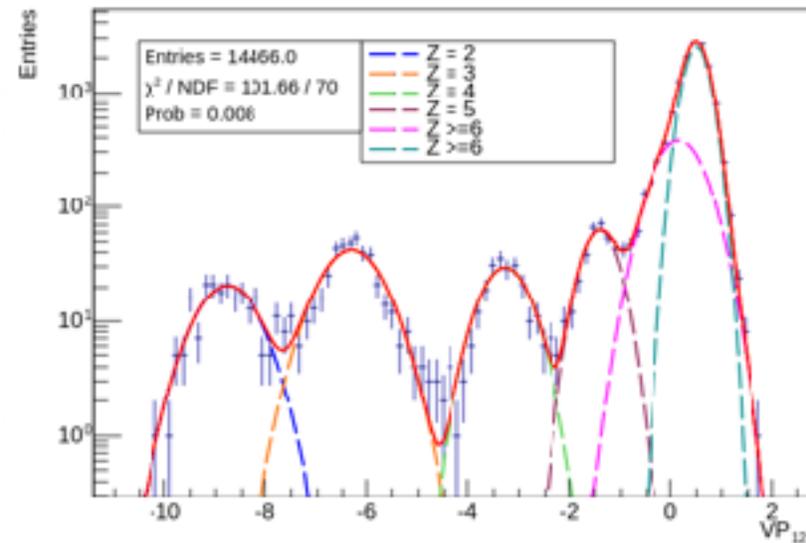
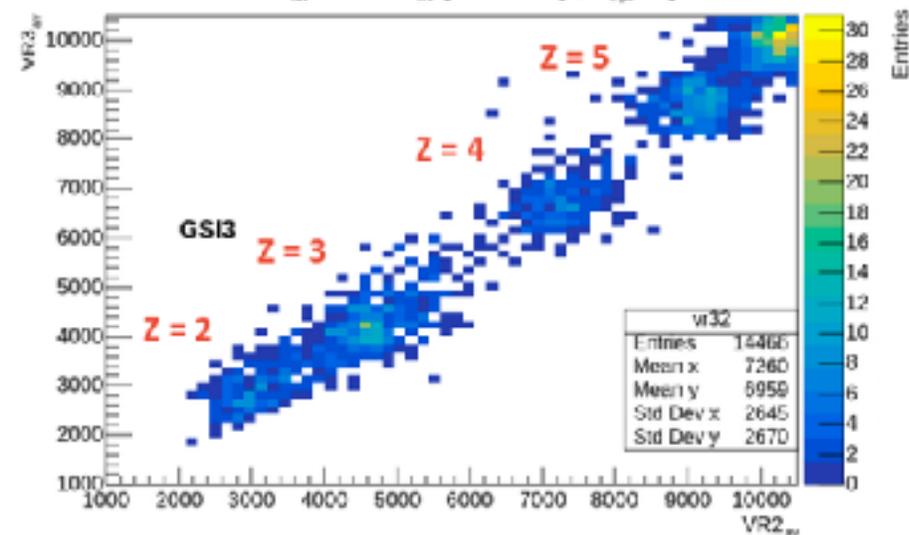


Z	Cut-Based	PCA	Total	%	Stat. Err (%)
1	23754	/	23754	69	0.6
2	715	5861	6576	19	1.2
3	/	3093	3093	9	1.8
> 3	/	1029	1029	3	3.0
Total	24469	9983	34452		

# STATO DELL'ANALISI

2) Completata sulla misura della carica, in S2, con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV/n su target in C e a 400 MeV/n su C e  $\text{C}_2\text{H}_4$

## $^{16}\text{O}$ @ 400 MeV/n su C

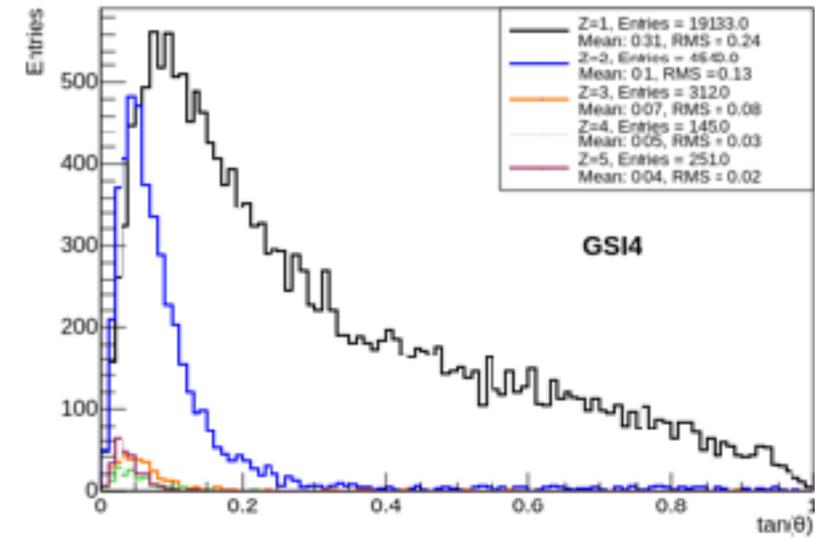
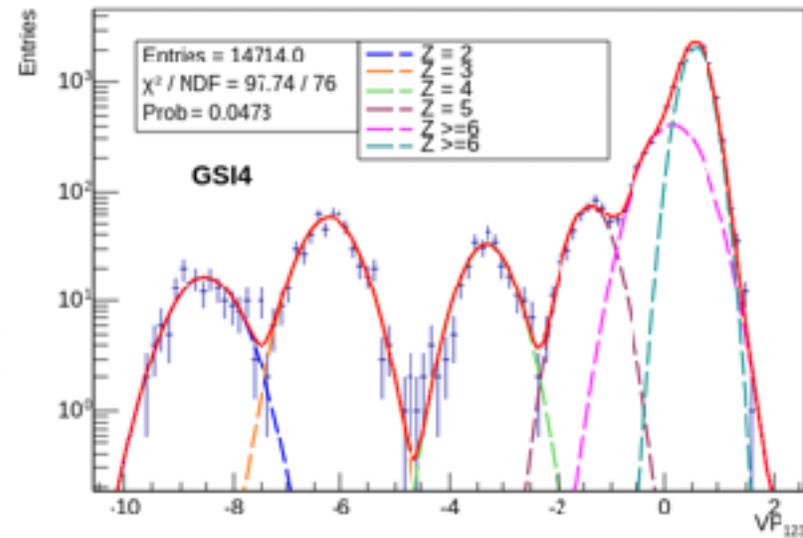
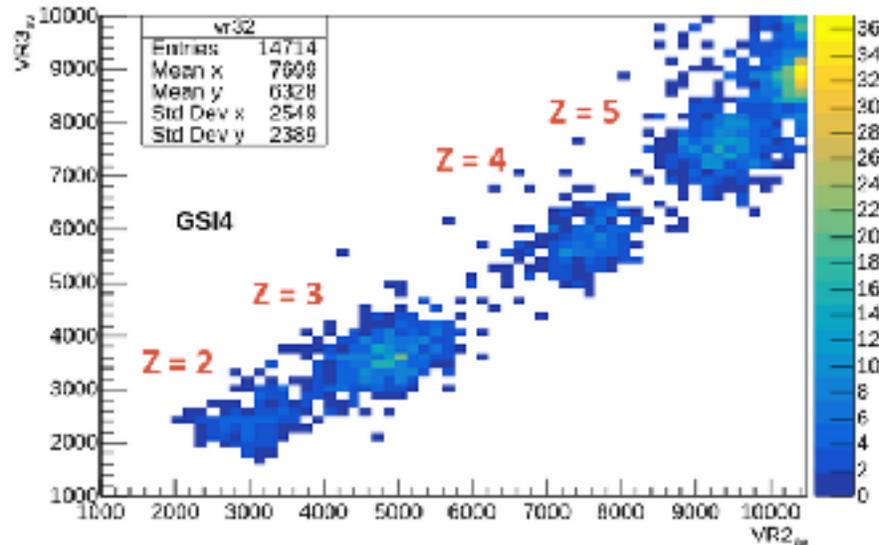


Z	Cut-Based	PCA	Total	%	Stat.Err (%)	Syst.Err (%)
1	14607	988	15605	<b>44.0</b>	0.4	4
2	/	4949	4949	<b>14.5</b>	0.2	0.1
3	/	470	470	<b>1.2</b>	0.06	/
4	/	241	241	<b>0.6</b>	0.04	/
5	/	359	357	<b>1.0</b>	0.05	/
>5	/	13247	13247	<b>38.0</b>	0.3	/

# STATO DELL'ANALISI

2) Completata sulla misura della carica, in S2, con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV/n su target in C e a 400 MeV/n su C e  $\text{C}_2\text{H}_4$

## $^{16}\text{O}$ @ 400 MeV/n su $\text{C}_2\text{H}_4$



Z	Cut-Based	PCA	Total	%	Stat.Err (%)	Syst.Err (%)
1	18436	730	19166	<b>60.2</b>	0.4	5
2	/	4507	4507	<b>14.2</b>	0.2	0.1
3	/	312	312	<b>1.0</b>	0.06	/
4	/	145	145	<b>0.5</b>	0.04	/
5	/	251	251	<b>0.8</b>	0.05	/
>5	/	7462	7462	<b>23.4</b>	0.3	/

# STATO DELL'ANALISI

3) Completata la ricostruzione dei vertici, in S1, a 200 MeV/n su C e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

<b><sup>16</sup>O @ 200 MeV/n</b>		<b>GSI1 C target</b>	<b>GSI2 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> target</b>
<b>Beam particles</b>		19375	20625
<b>MC</b>	<b>True vertices</b>	4895	5744
	<b>Reco vertices</b>	4112	4904
<b>DATA</b>	<b>Data vertices</b>	4086	5136

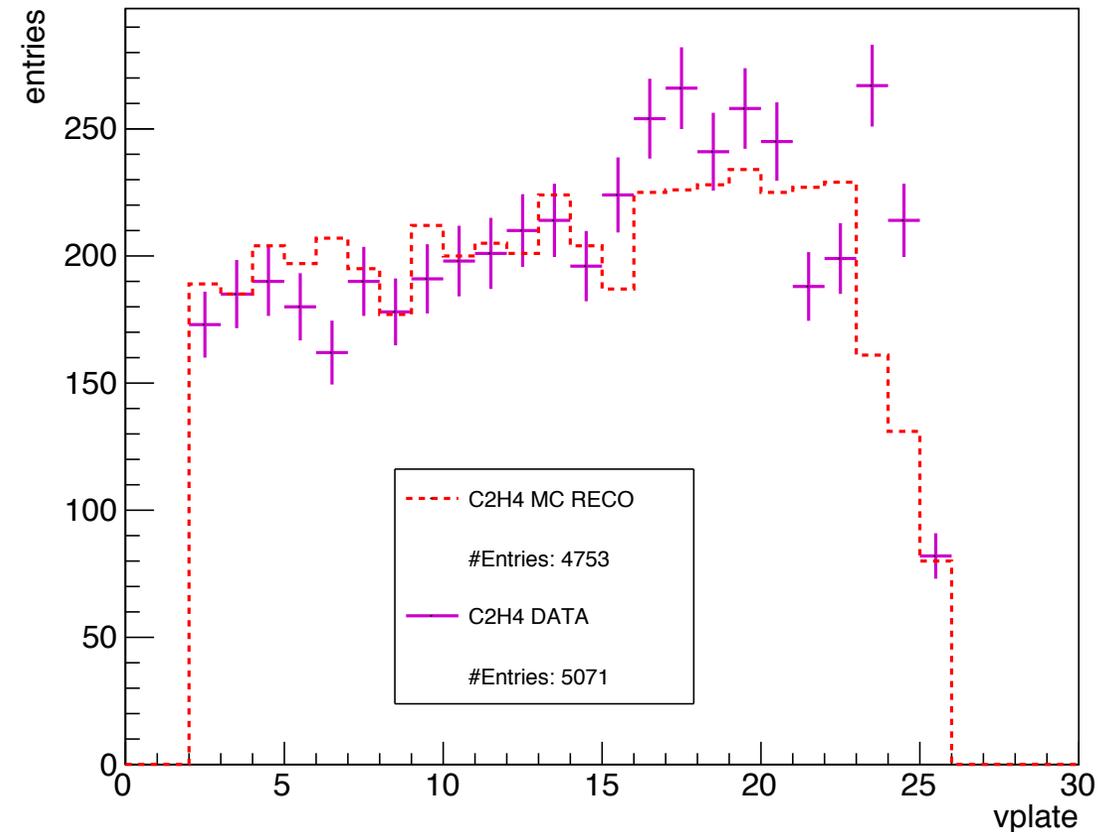
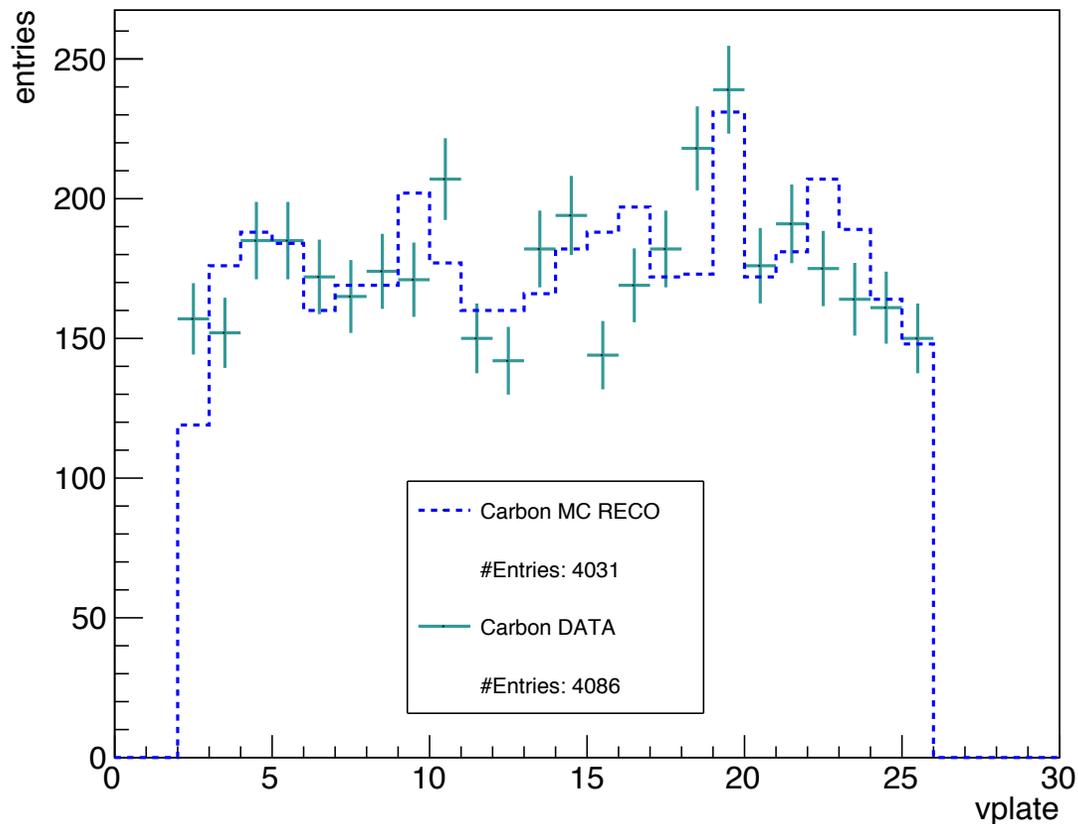
Cuts for vertices selection:

- $n \geq 3$ ,  $n$  = number of tracks (parent + daughters)
- At least 2 daughters with at least 3 segments

# STATO DELL'ANALISI

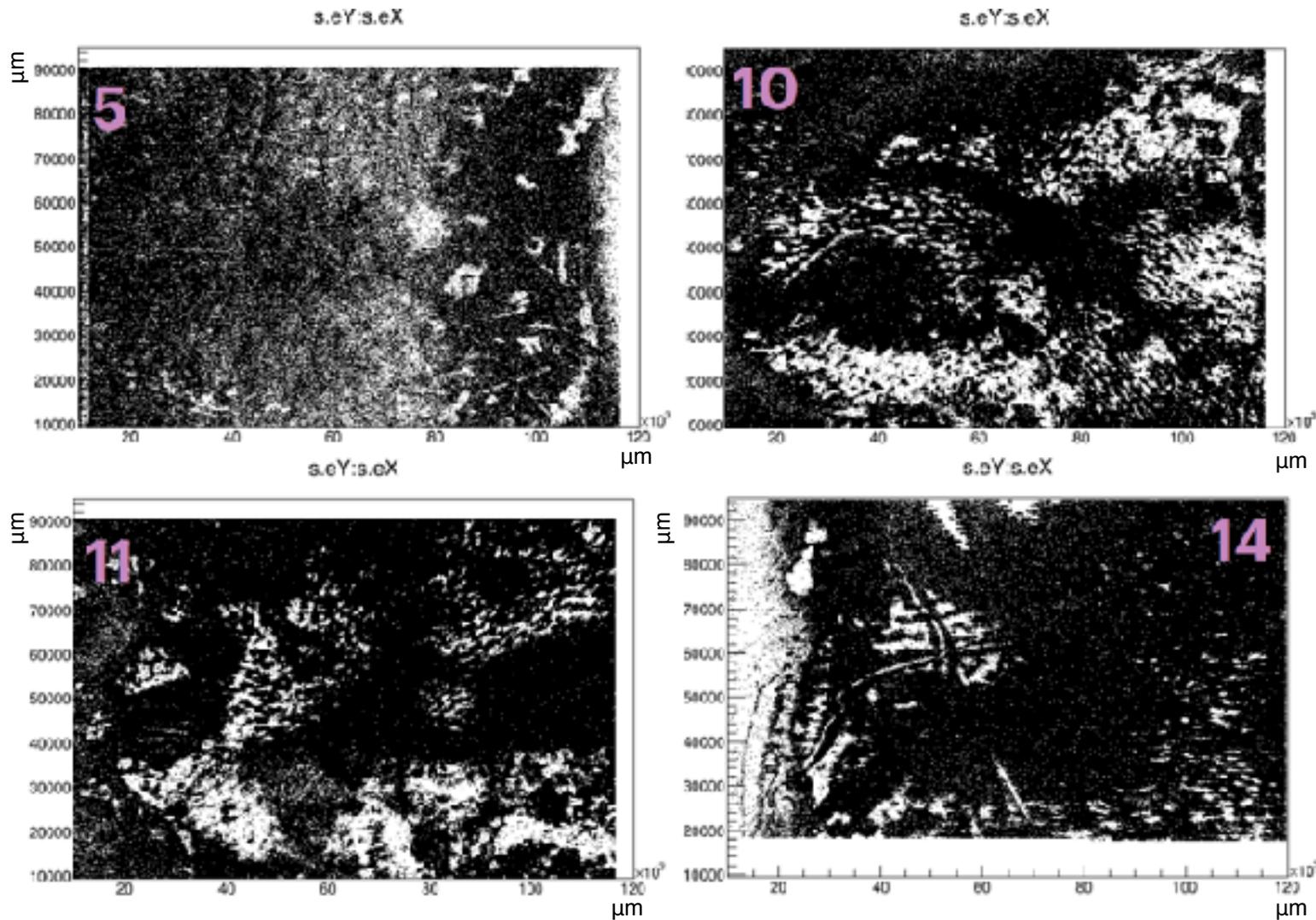
3) Completata la ricostruzione dei vertici, in S1, a 200 MeV/n su C e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

**<sup>16</sup>O @ 200 MeV/n**



# STATO DELL'ANALISI

4) Ricostruzione in corso dei vertici, in S1, a 400 MeV/n su C e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

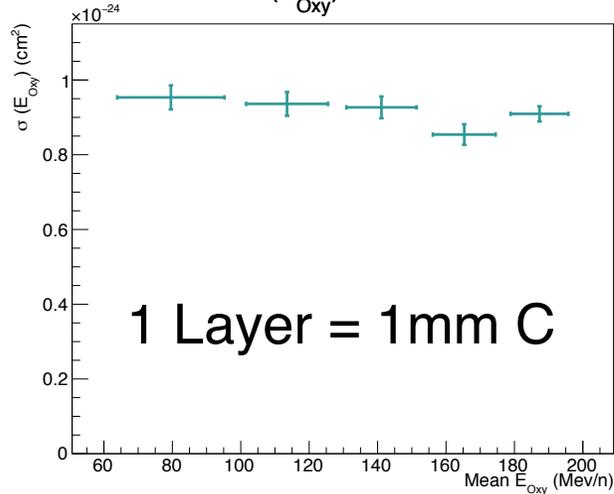


Bad quality for  
some emulsion  
films (30%)

# STATO DELL'ANALISI

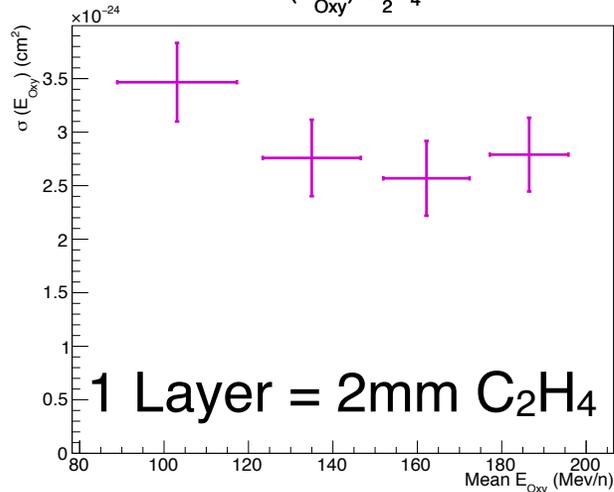
5) Completata la misura della sezione d'urto integrata a 200 MeV/n su target in C e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>

$\sigma(E_{\text{Oxy}})$  Carbon



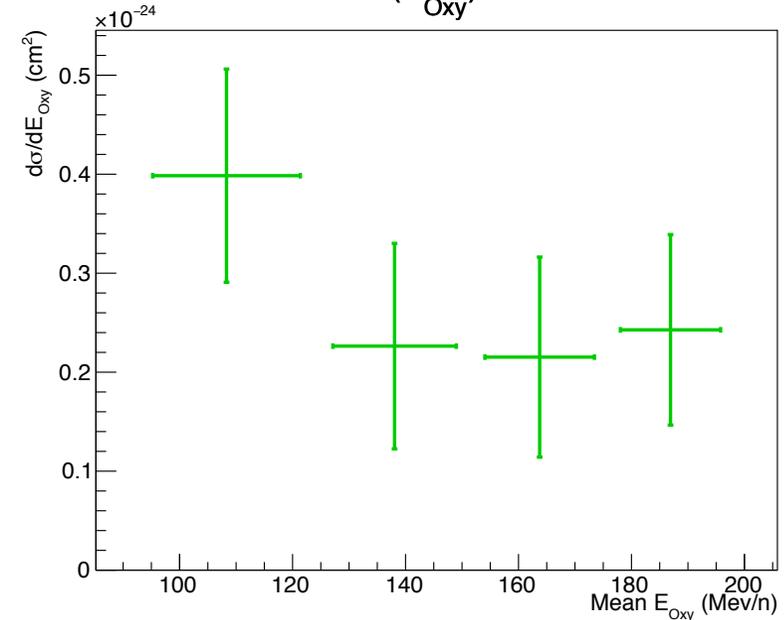
852 +/- 17 mB @ 288 MeV

$\sigma(E_{\text{Oxy}})$  C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>



1260 +/- 13 mB @ 441 MeV

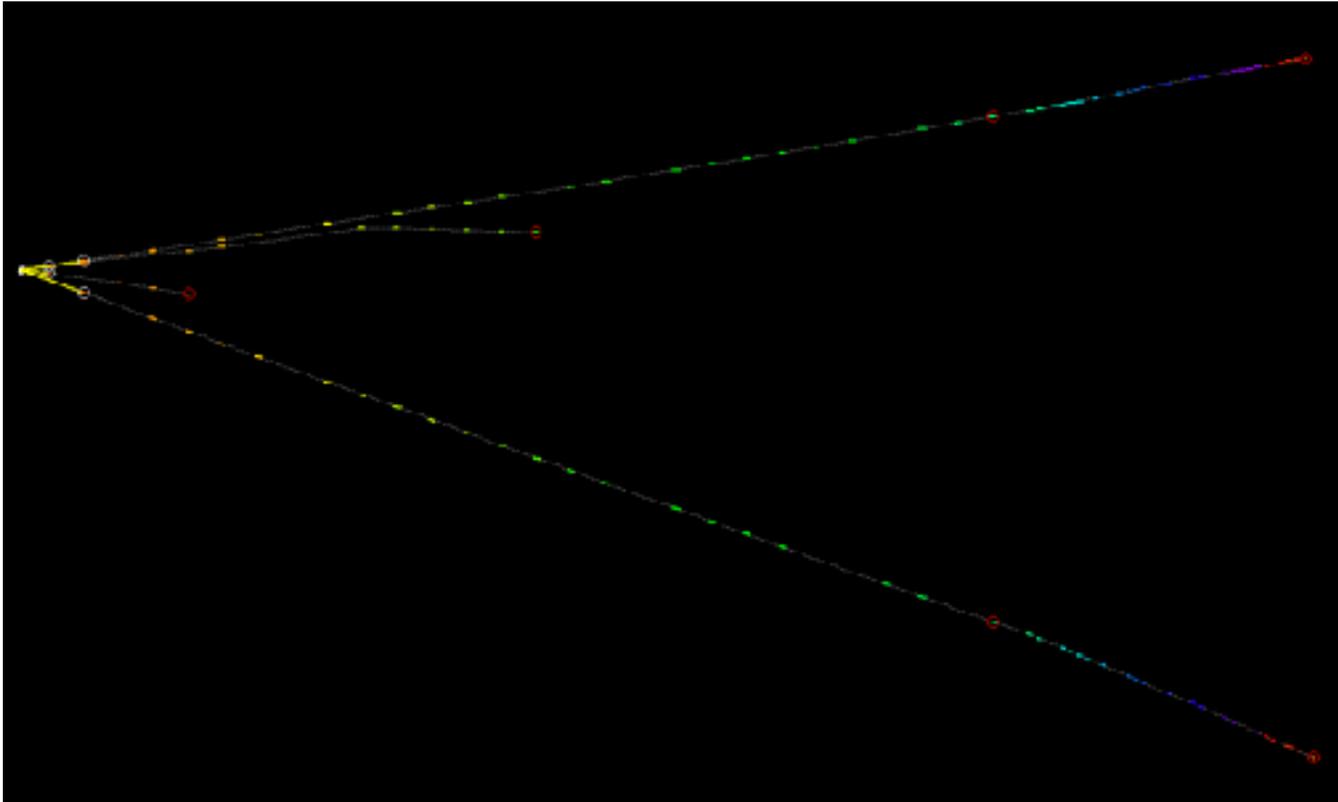
$\sigma(E_{\text{Oxy}})$  H



<https://crosssection-db.herokuapp.com/>

# ON GOING

- 1) Ottimizzazione della connessione tra la sezione di vertexing e la sezione del riconoscimento di carica;
- 2) Sezione d'urto a 400 MeV/n su C e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>



# PUBBLICAZIONI PIANIFICATE

---

- 1) Articolo in preparazione “FOOT for the Moon, Mars and beyond: current status and first cross section measurements for space radioprotection”, da pubblicare su Frontiers nello special issue: “Astroparticle Experiments to Improve the Biological Risk Assessment of Exposure to Ionizing Radiation in the Exploratory Space Missions”;
- 2) Riconoscimento della carica con  $^{16}\text{O}$  a 200 e 400 MeV/n su target in C e  $\text{C}_2\text{H}_4$ ; **(JNST; dicembre 2022)**
- 3) Misura della sezione d’urto integrale e differenziale per angolo e carica con  $^{16}\text{O}$  a 200 MeV su target in C e  $\text{C}_2\text{H}_4$  **(Maggio 2023)**

## LAVORO FUTURO

---

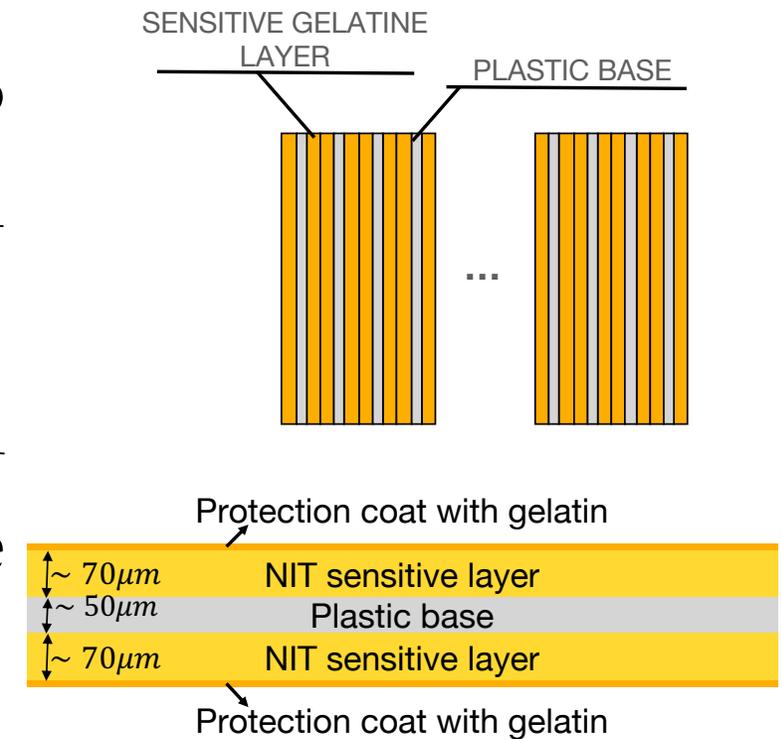
- 1) Misura dell’impulso e separazione isotopica 200 e 400 MeV/n su target in C e  $\text{C}_2\text{H}_4$ ;
- 2) Misura in cinematica diretta con NIT (Nuclear Imaging Tracker)
- 3) Data taking al CNAO con fascio C-12 @ 200 e 400 MeV

# CINEMATICA DIRETTA: NIT

Le NIT (Nano Imaging Tracker<sup>(1,2)</sup>) consentono di fare misure di frammentazione in cinematica diretta grazie alla loro elevata risoluzione spaziale.

I grani, di dimensioni nanometriche (diametro tipico 40 nm), consentono di ricostruire il percorso dei frammenti con una lunghezza di traccia di 100 nm.

La struttura del rivelatore è la stessa delle Emulsion Cloud Chamber (ECC), che utilizza come materiale passivo la base plastica delle emulsioni.

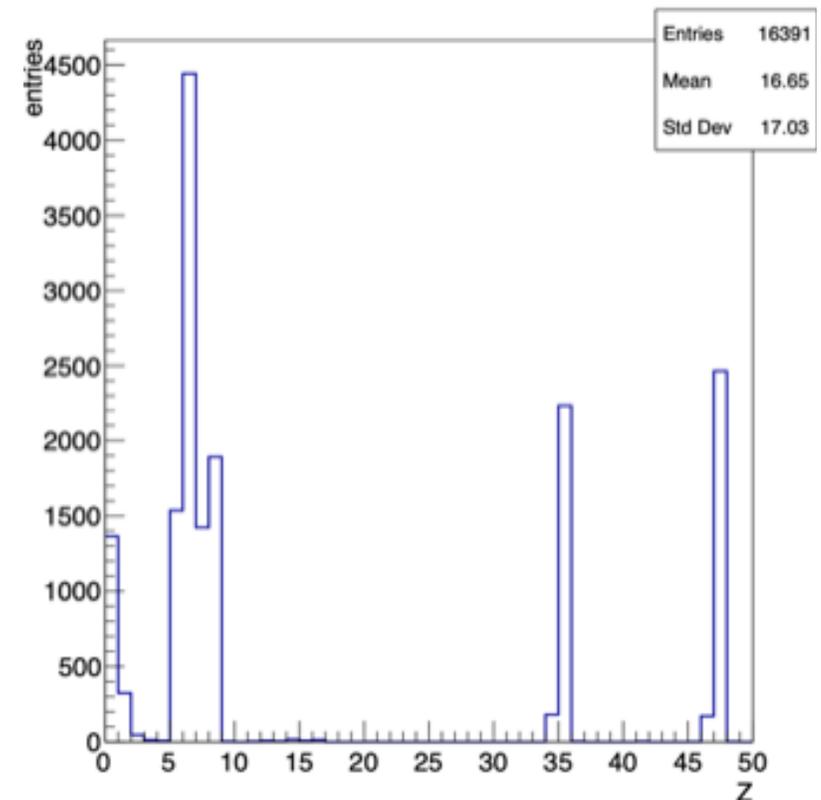


- (1) Asada, T. et al. The development of a super-fine-grained nuclear emulsion. *Prog. Theor. Exp. Phys.* 6, (2017)  
(2) Alexandrov, A. et al. Super-resolution high-speed optical microscopy for fully automated readout of metallic nanoparticles. *Sci. Reports* 10, 18773 (2020)

# CINEMATICA DIRETTA: SIMULAZIONI MC PRELIMINARI

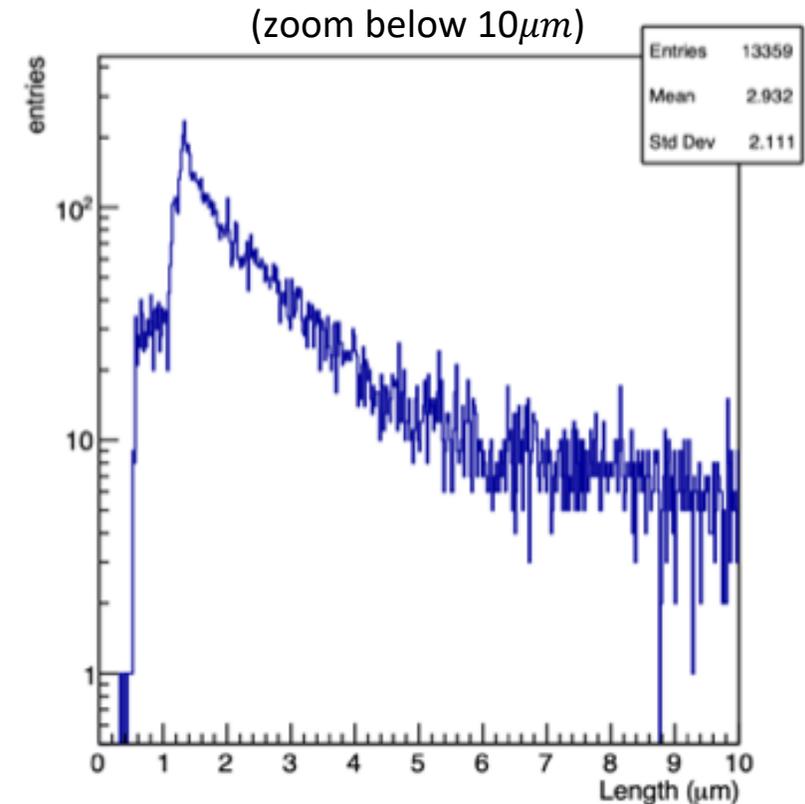
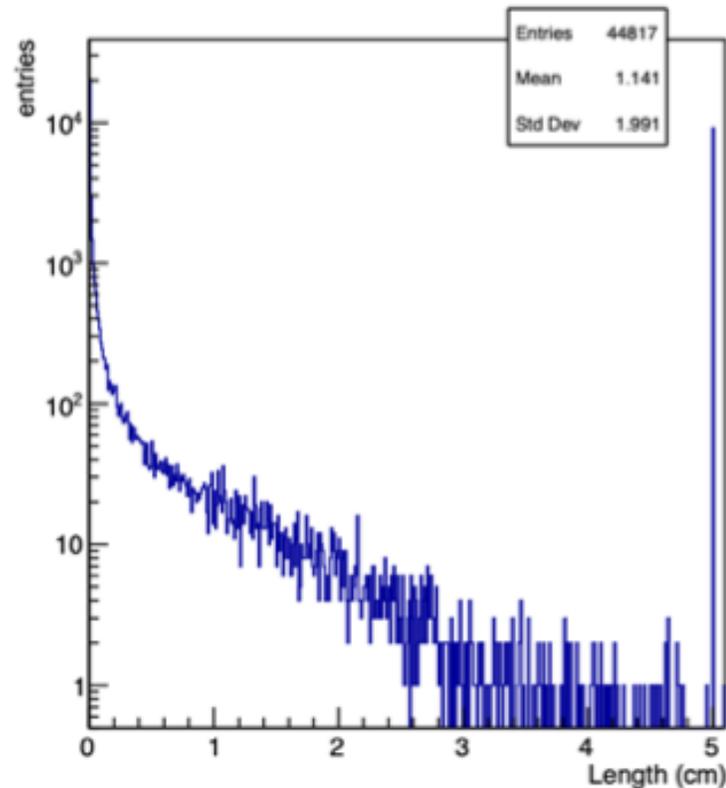
- ▶ 400000 protoni @ 200 MeV
- ▶ 100 NIT:  $70\mu m \cdot 2$  strati di gel sensibile,  $50\mu m$  base plastica,  $(10 \times 12)cm^2$  area
- ▶ Soglia: 10 keV
  
- ▶  $\sim 4\%$  dei protoni del fascio interagisce nel rivelatore:
  - 81% nel gel (C, O, H, N, Ag, Br...);
  - 19% nella base plastica  $(C_8H_8)_n$
- ▶  $\sim 69\%$  delle interazioni sui nuclei  $\neq$  Ag, Br

## Carica dei nuclei che interagiscono con i protoni



# CINEMATICA DIRETTA: LUNGHEZZA DEI FRAMMENTI

- ▶ Le energie tipiche dei frammenti sono qualche MeV e il loro range è di almeno 300-500 nm
- ▶ Circa il 21% dei frammenti esce dal rivelatore: si può pensare a una seconda sezione di rivelatore che utilizzi il Pb (1 mm) come materiale passivo e le emulsioni standard come parte sensibile.



# PRODUZIONE DELLE EMULSIONI

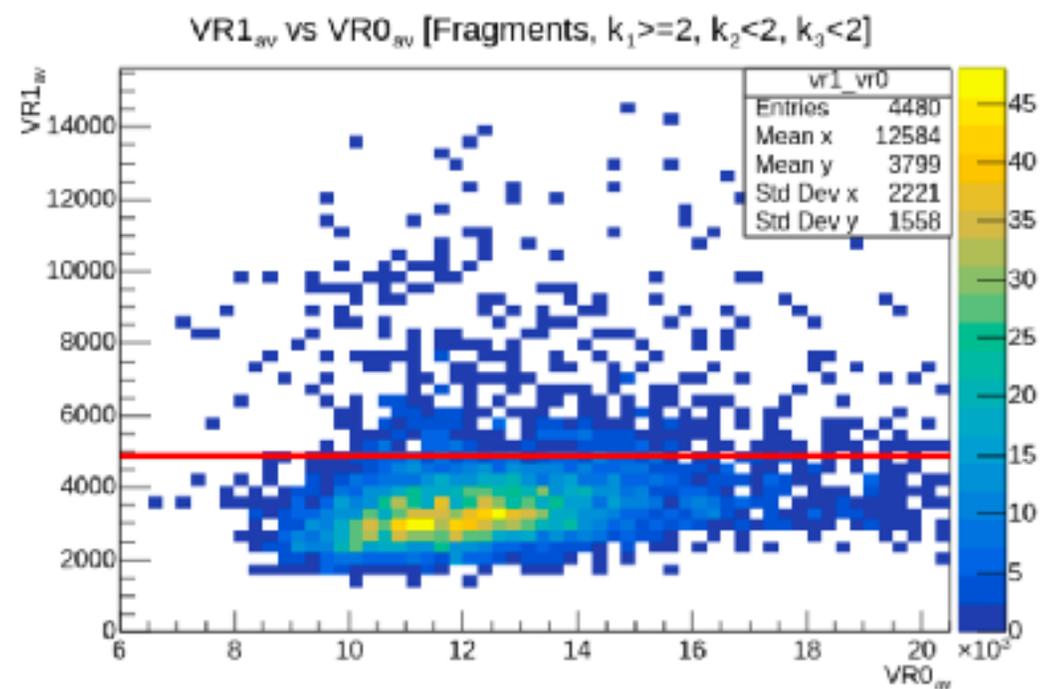
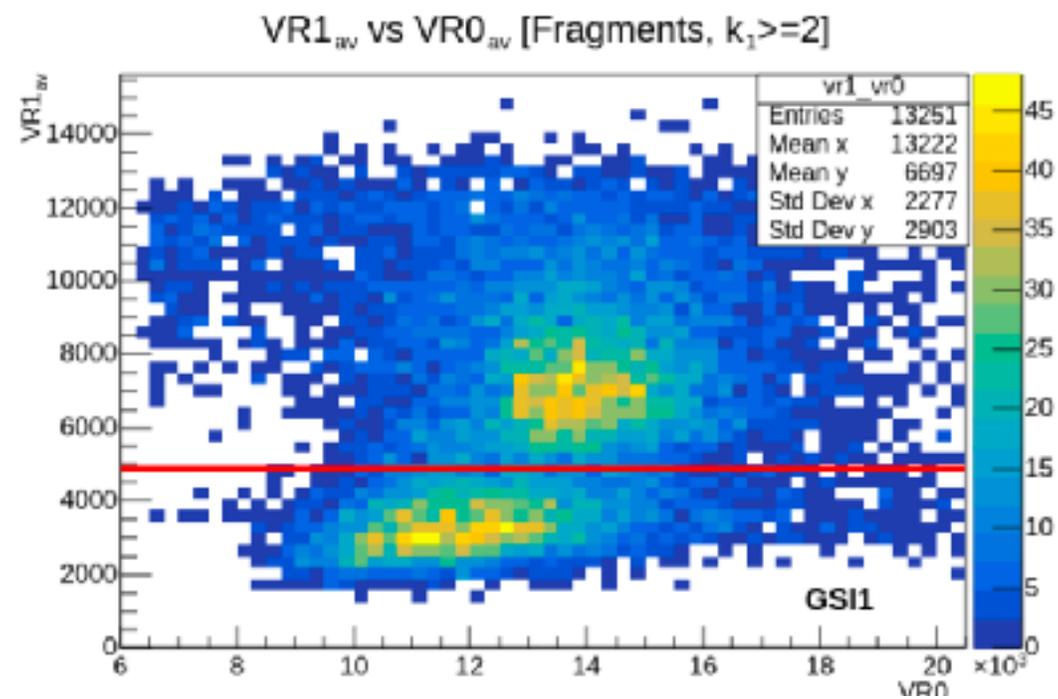
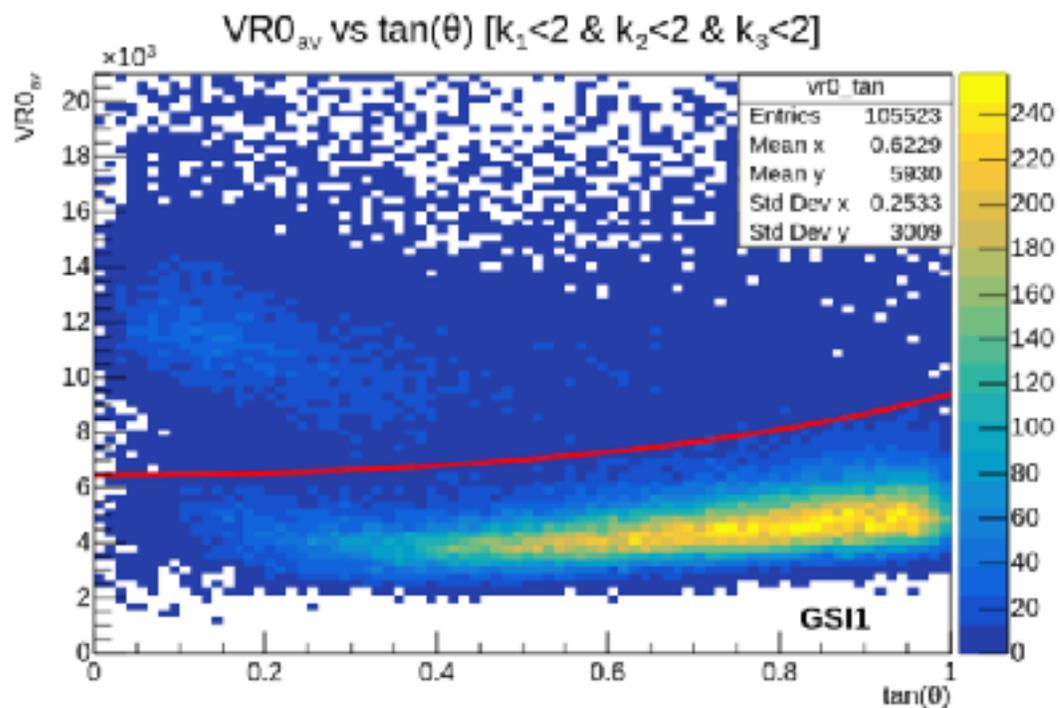
- ▶ Difficoltà nel ricevere emulsioni dalla Russia
- ▶ Per l'esposizione al CNAO (C-12 @ 200 e 400 MeV) useremo le emulsioni prodotte da Nagoya
- ▶ Produrremo (circa  $1.2 \text{ m}^2$ ) di NIT al Gran Sasso per misure di cinematica diretta

**Dark room facility ai laboratori sotterranei del Gran Sasso**

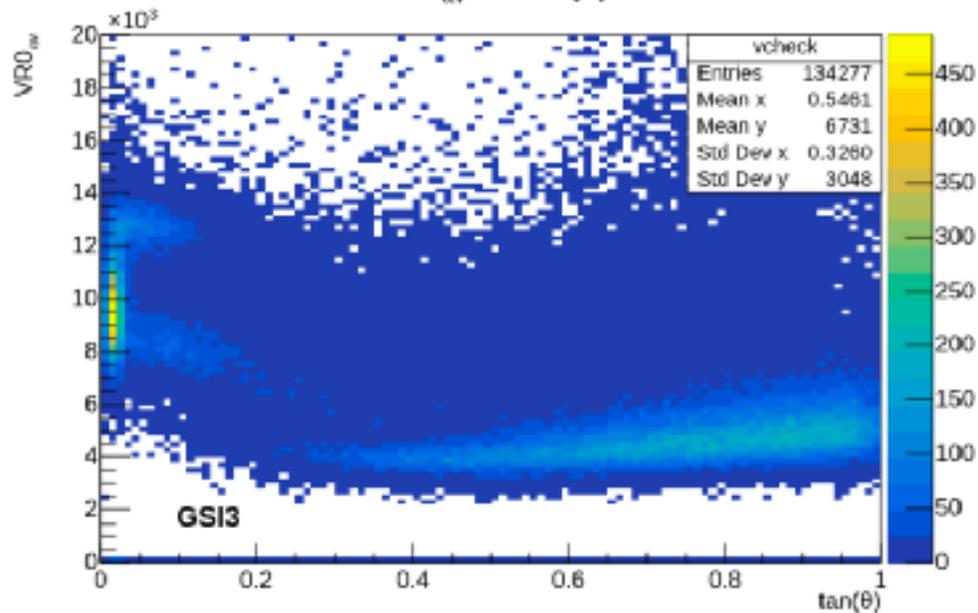


# BACK UP

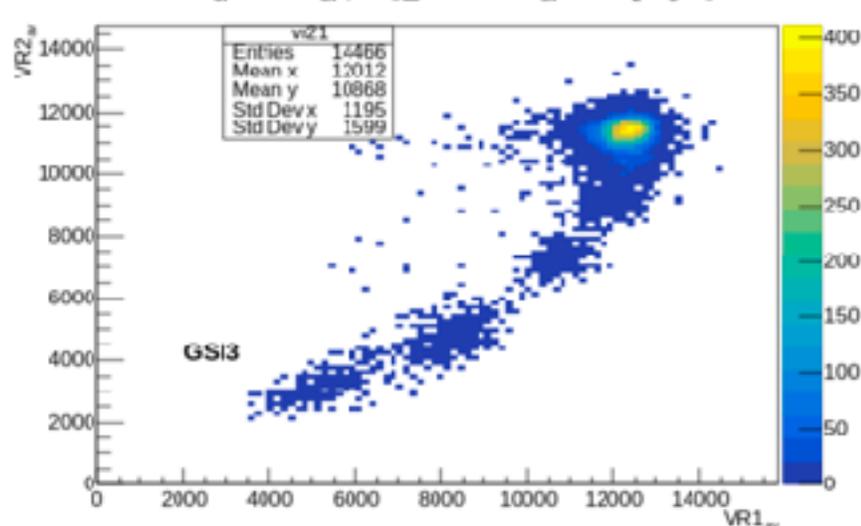
---



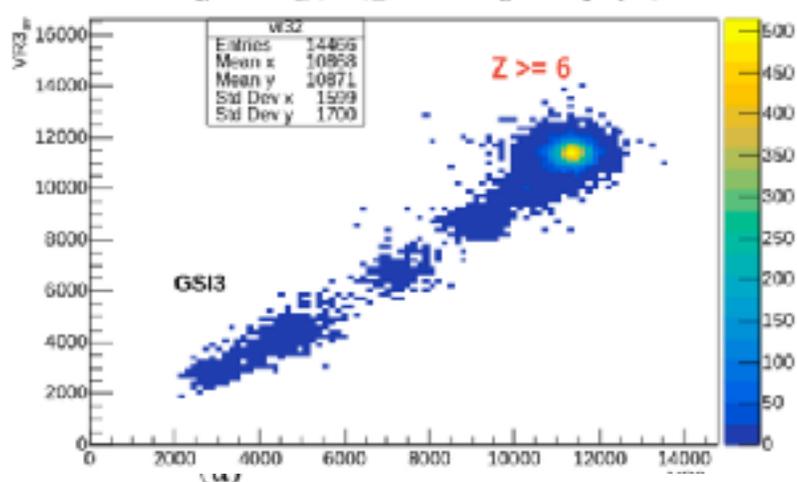
VR0<sub>av</sub> vs tan(θ)



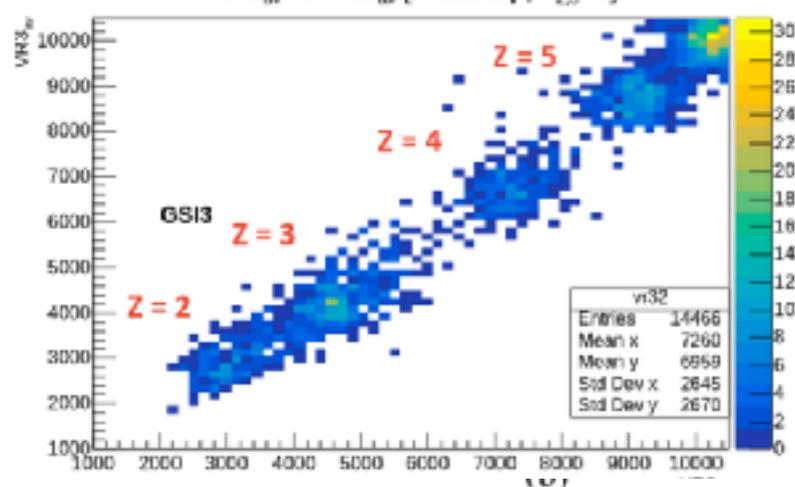
VR2<sub>av</sub> vs VR1<sub>av</sub> [Frag\_Cut & VR1<sub>av</sub>>0 & k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub>>1]



VR3<sub>av</sub> vs VR2<sub>av</sub> [Frag\_Cut & VR1<sub>av</sub>>0 & k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub>>1]



VR3<sub>av</sub> vs VR2<sub>av</sub> [Close-Up, k<sub>2,3</sub>>1]



**Figure 4.35:** (a)  $VR3_{av}$  vs  $VR2_{av}$  distribution for all tracks in GSI3 satisfying the 'Frag Cut' and having  $VR1_{av} > 0$  and  $k_{2,3} > 1$ . (b) Close-up of the same distribution excluding the main peak.