

FRAG

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Laboratori Nazionali del Sud
Catania

- Introduzione

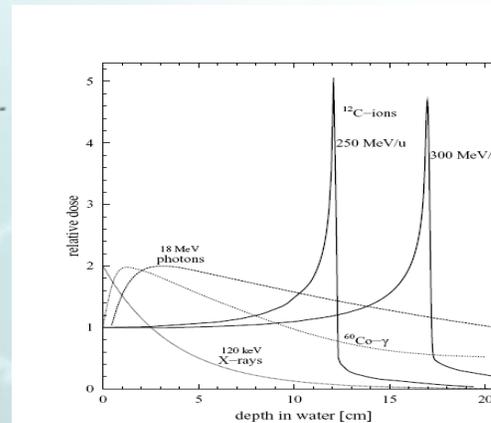
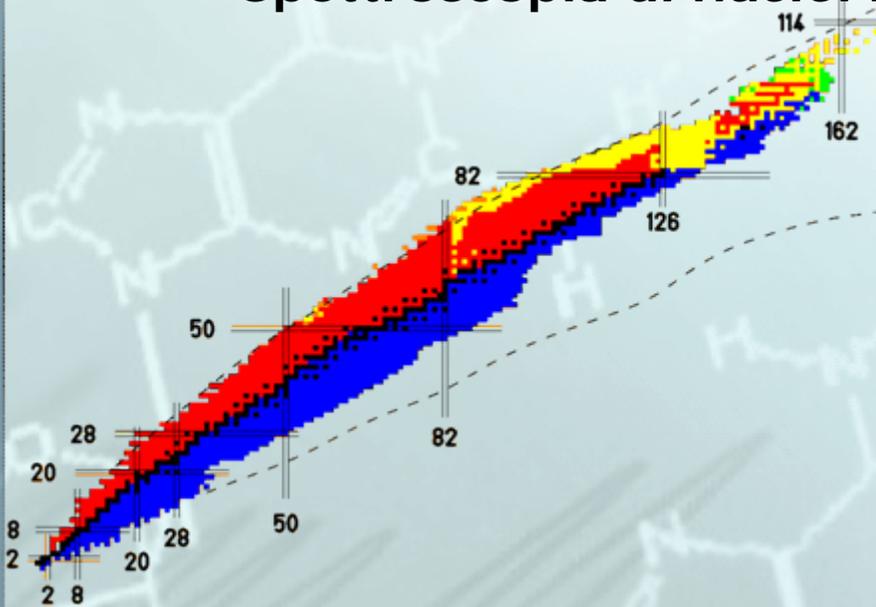
- Attività svolta

- Attività prevista

Introduzione

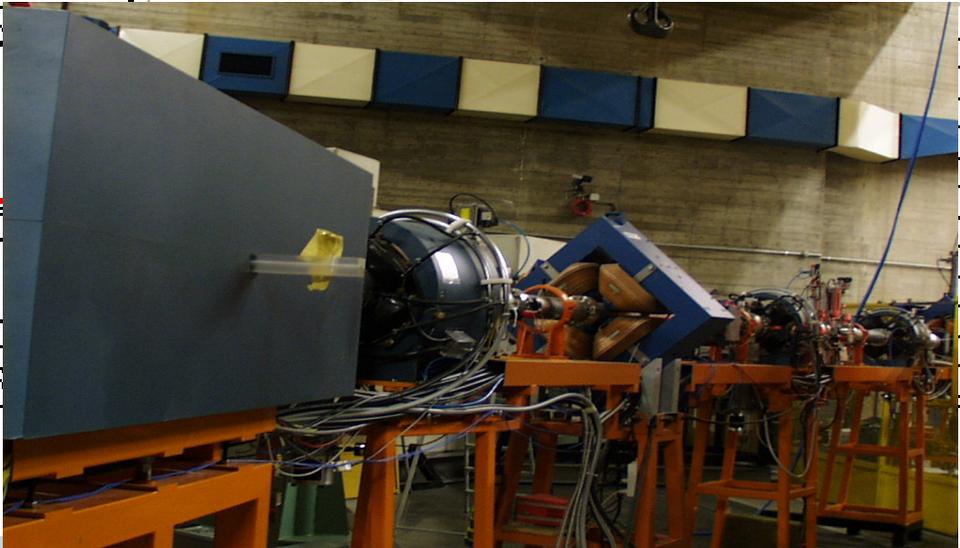
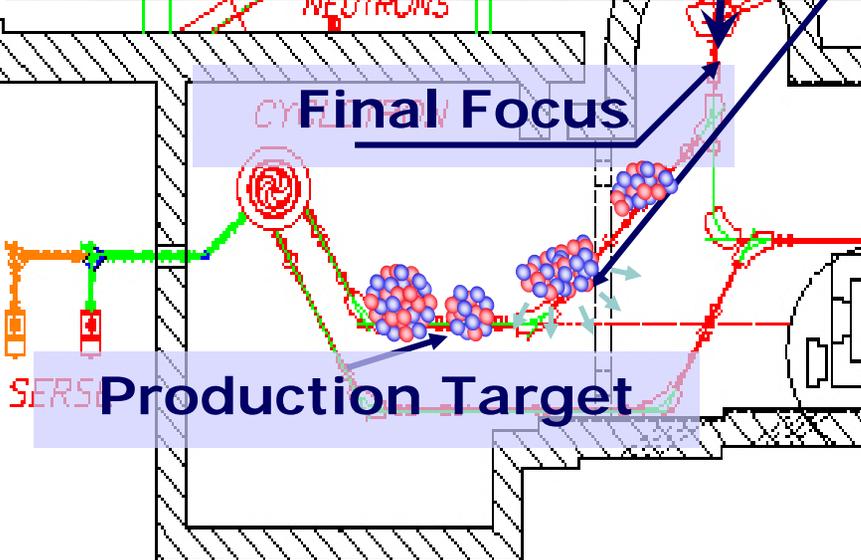
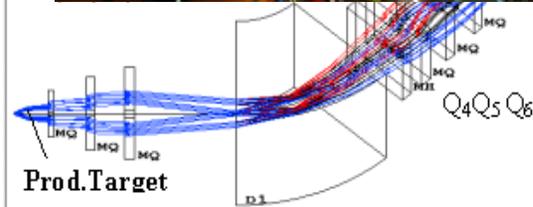
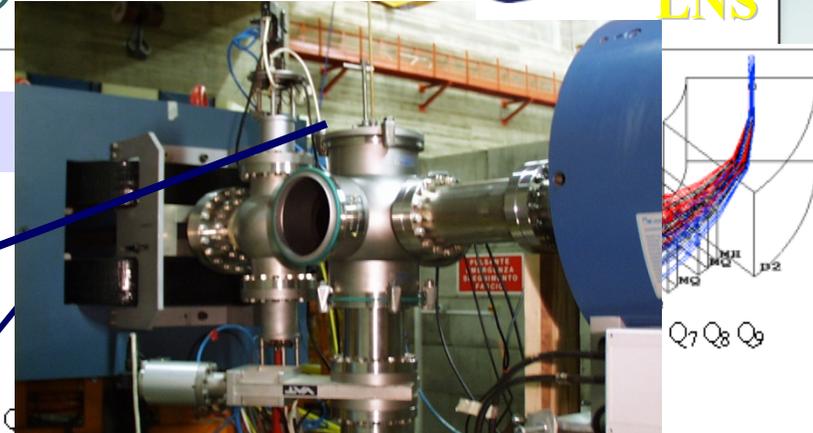
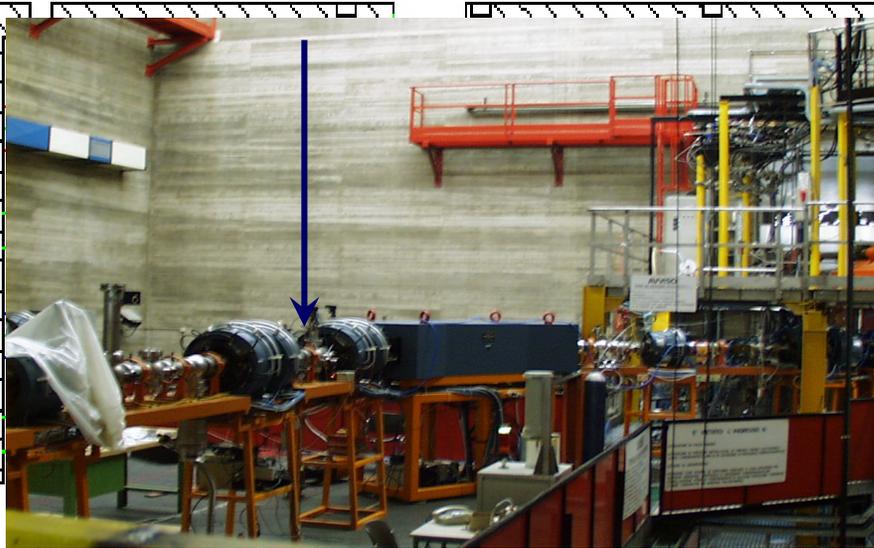
«FRAG» → *frammentazione per...*

- **Spettroscopia di nuclei radioattivi 'proton-rich' .**

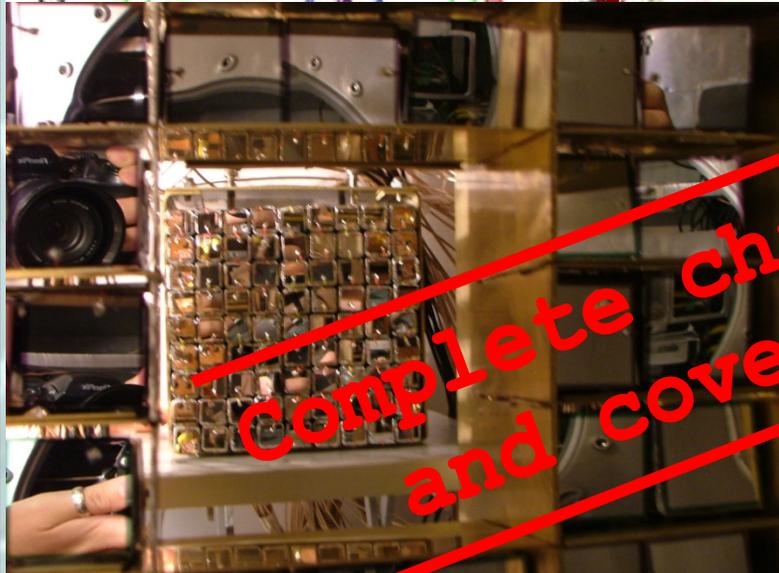
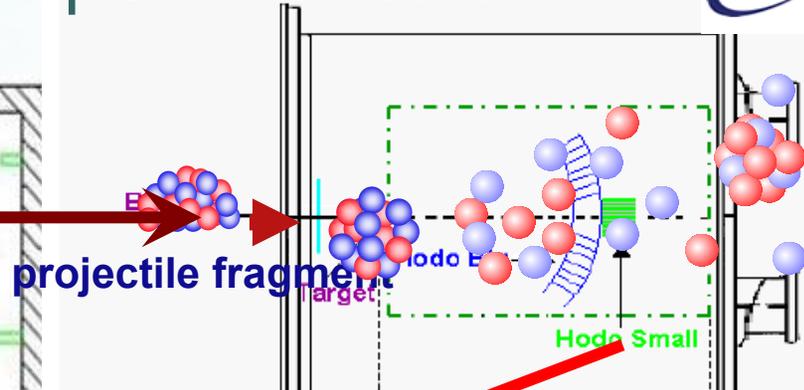
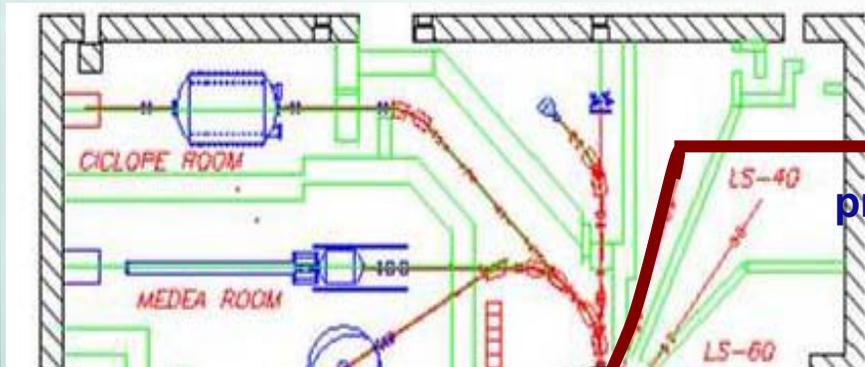


- **Frammentazione di nuclei stabili medio-leggeri e di fasci radioattivi per applicazioni in adroterapia e radioprotezione nello spazio.**

Il progetto FRIB's (2005-2007)



L'apparato sperimentale



**HODO-SMALL: 81 two-folds
telescopes array $\pm 4.5^\circ$ - $\pm 4.5^\circ$
Si(300 μ m)-CsI (10cm)**

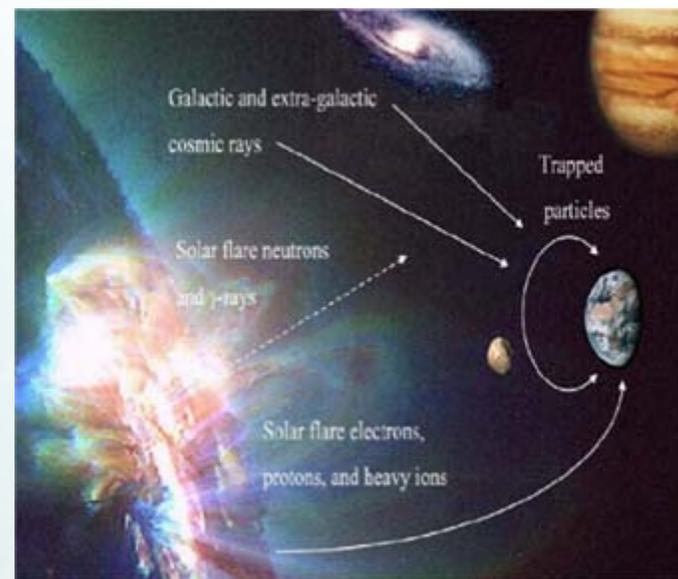


**HODO-BIG: 89 three-folds
telescopes array $\pm 4.5^\circ$ - $\pm 22.5^\circ$
Si(50 μ m)-Si(300 μ m)-CsI (6cm)**

**Complete characterization
and coverage near 90%**

Frammentazione: aspetti applicativi

Perché misure di frammentazione nucleare sono necessarie in adroterapia e nello studio delle previsioni dei rischi da radiazione nello spazio ?



- **Processi nucleari simili**

- **Masse ed energie simili**

- **Come la frammentazione modifica la distribuzione di dose e l'efficacia biologica ?**

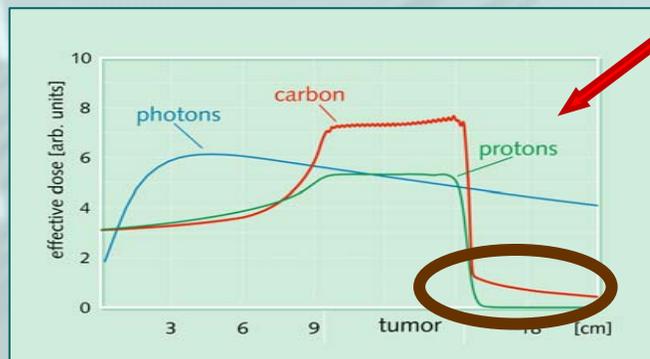
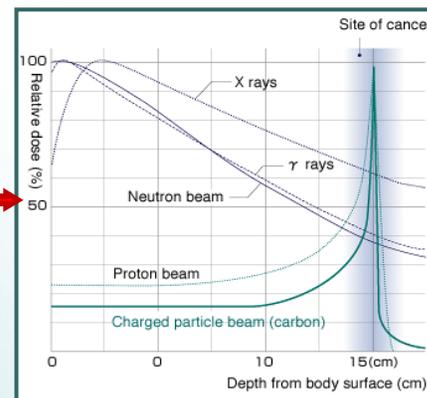
Adroterapia: motivazioni

Vantaggi

- Migliore selettività nel rilascio di dose sulle superfici da trattare: Bragg Peak
- Dispersione laterale e longitudinale ridotta
- Elevata conformità del deposito di dose
- Elevata efficacia biologica



Possibilità di trattare tumori altamente resistenti risparmiando gli organi circostanti a rischio.



Svantaggi

La frammentazione del C determina:

Diminuzione della dose nella regione da irradiare

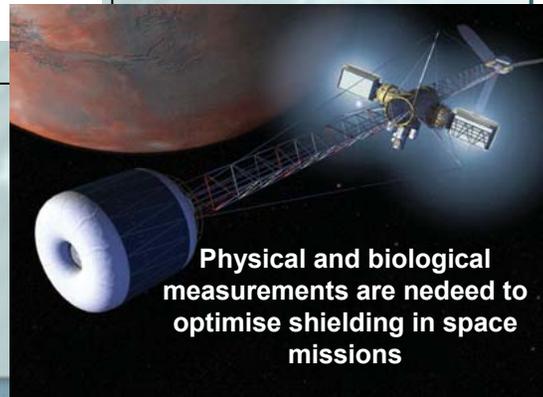
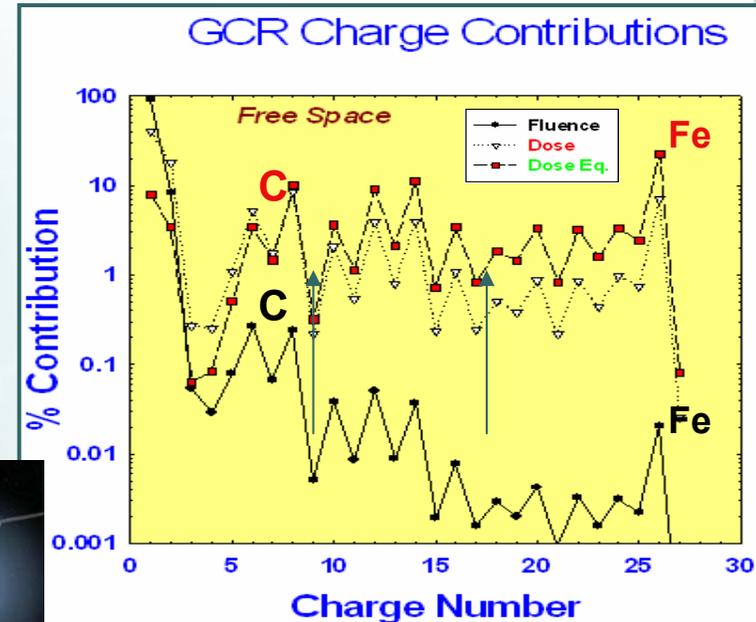
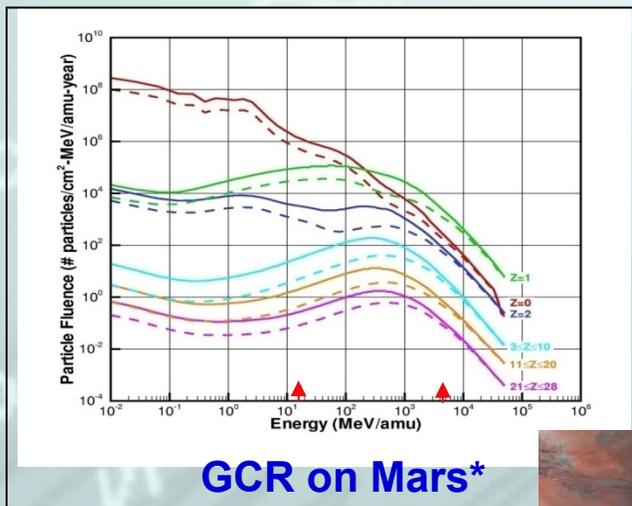
Una dose non voluta nei tessuti sani al di là del volume da trattare

$$D_{\text{biol}}(\vec{r}) = \sum_{Z=1}^{Z_p} \int_0^{E_{\text{max}}} \Phi(Z, E, \vec{r}) \cdot \text{LET}(Z, E) \cdot \text{RBE}(Z, E) \cdot \frac{1}{\rho(\vec{r})} dE.$$

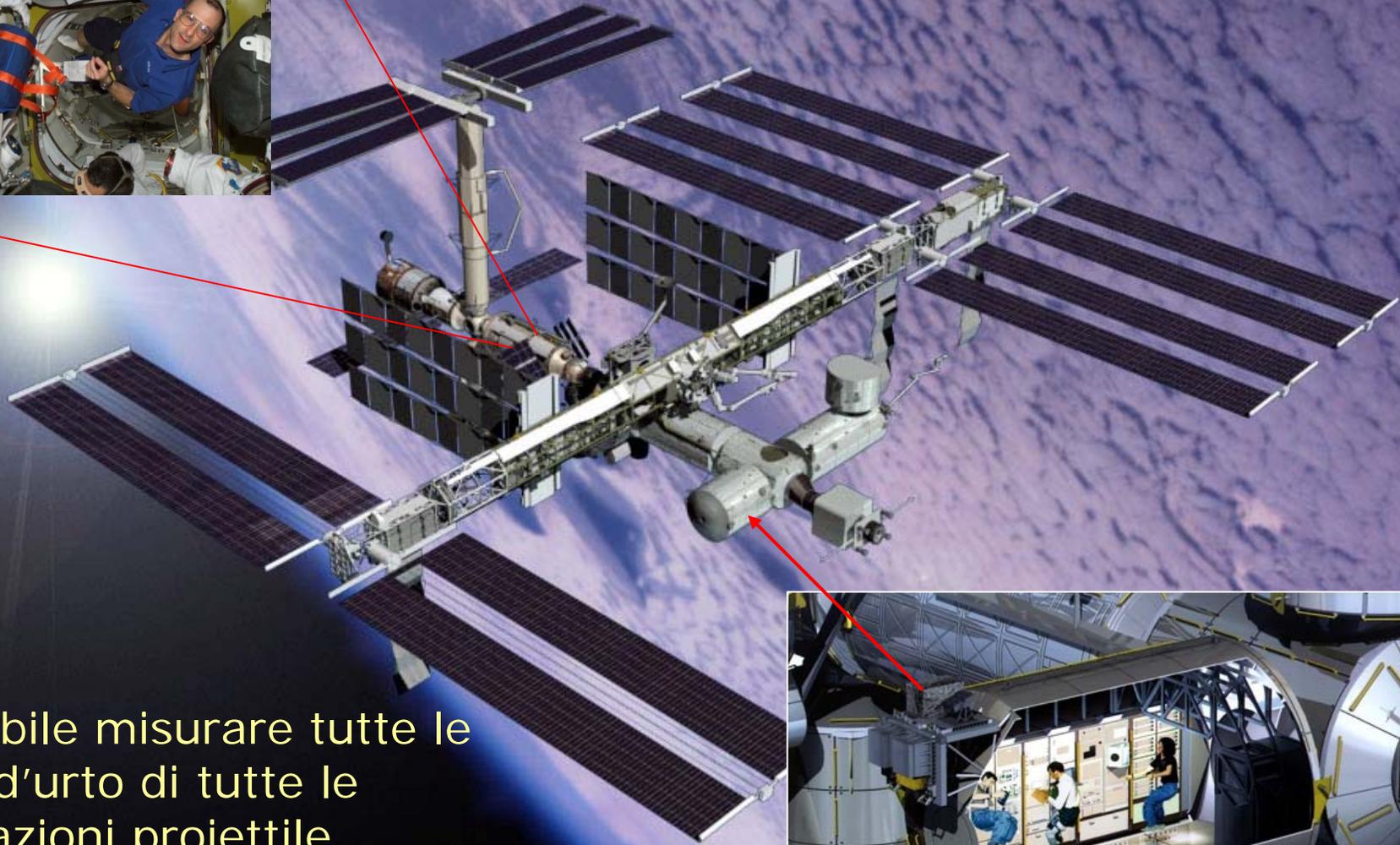
Necessario un esauriente "database" di sezioni d'urto di frammentazione nucleare e fluenze nella regione d'energia per l'adroterapia.

Rischi da radiazioni nello spazio

- Le schermature : unica soluzione pratica ed efficace per ridurre i rischi da radiazione nello spazio .
- Il processo di frammentazione nucleare va studiato per una corretta progettazione delle schermature



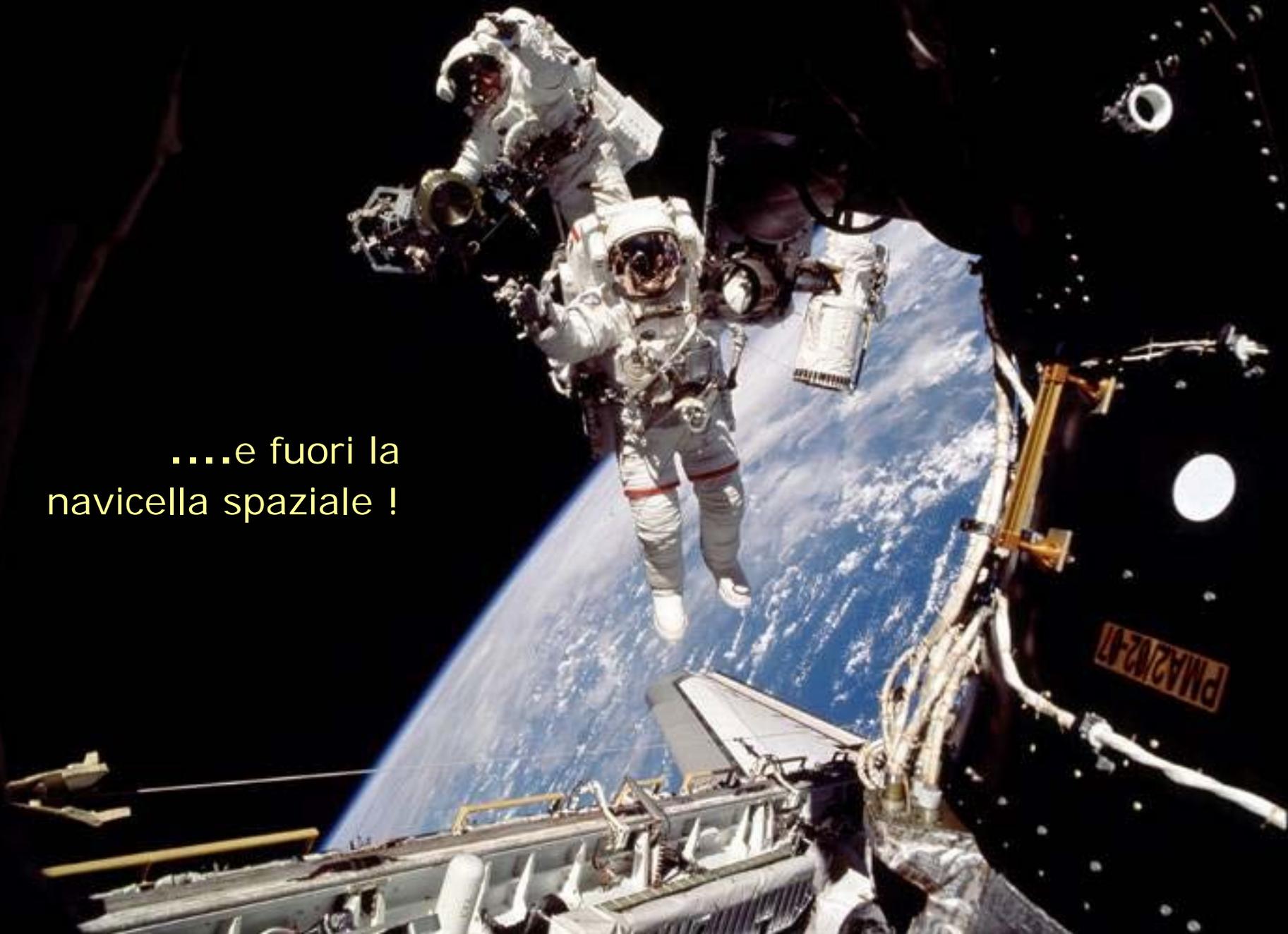
Courtesy of L.Sihver



Impossibile misurare tutte le sezioni d'urto di tutte le combinazioni proiettile bersaglio dentro ...



....e fuori la
navicella spaziale !



Frammentazione nucleare e modelli

- Simulazioni con codici analitici sono utilizzati per affrontare questi problemi .
- Tale approccio presenta notevoli incertezze dovute alla scarsa quantità di dati sperimentali sia di sezioni d'urto di frammentazione che alla diversa qualità dell' efficacia biologica della radiazione



La valutazione delle prestazioni e la verifica dei modelli fisici nei codici di trasporto necessitano di ulteriori esperimenti con gli acceleratori !

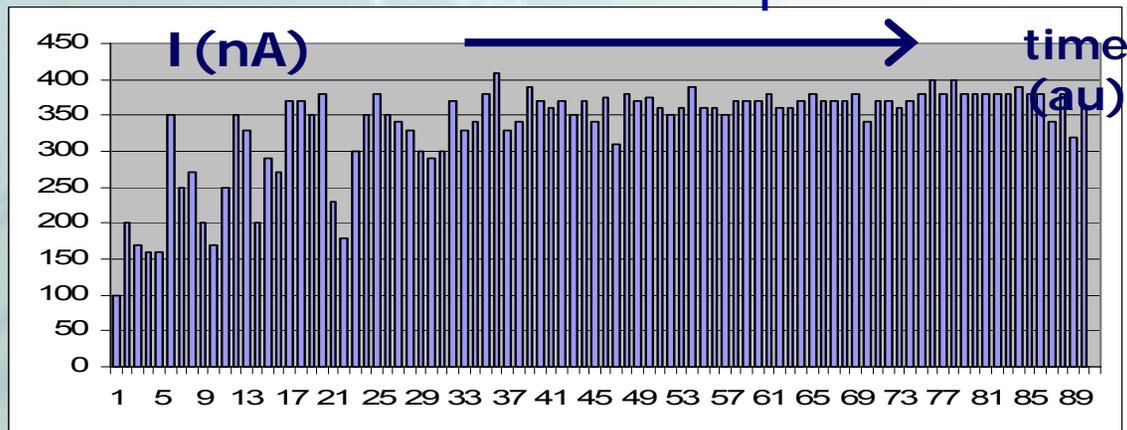
Esperimenti *FRAG + DiProton + Flubber*

1. Preparazione

TUE 5	^{20}Ne
h. 14:00	
h. 15:00	First Setting (^{18}Ne)
h. 17:00	Second Setting (^{18}O)
h. 19:00	Secondary Beam on TStrip

Più di un mese di stabilità

2. Intensità del fascio primario



→ stabilità del fascio radioattivo

FRAG $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}, ^{197}\text{Au}, \text{CH} @ 62\text{MeV}$

Dati sperimentali relativi ai valori assoluti della sezione d'urto di frammentazione del ^{12}C (ma anche di O, Ca, Fe) NON SISTEMATICI → TPS (Gr. V)

$\text{C} + \text{C} \longrightarrow$ N° di primari $\approx 5 \cdot 10^{12}$

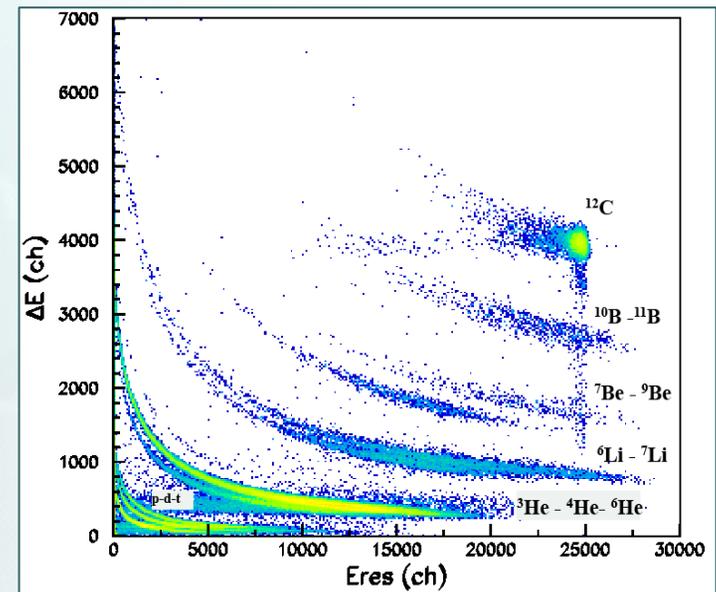
Corrente $\sim 40 - 80 \text{ pA}$

$\text{C} + \text{CH}_2 \longrightarrow$ N° di primari $\approx 1 \cdot 10^{12}$

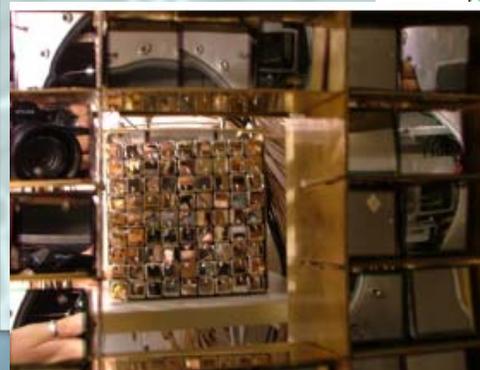
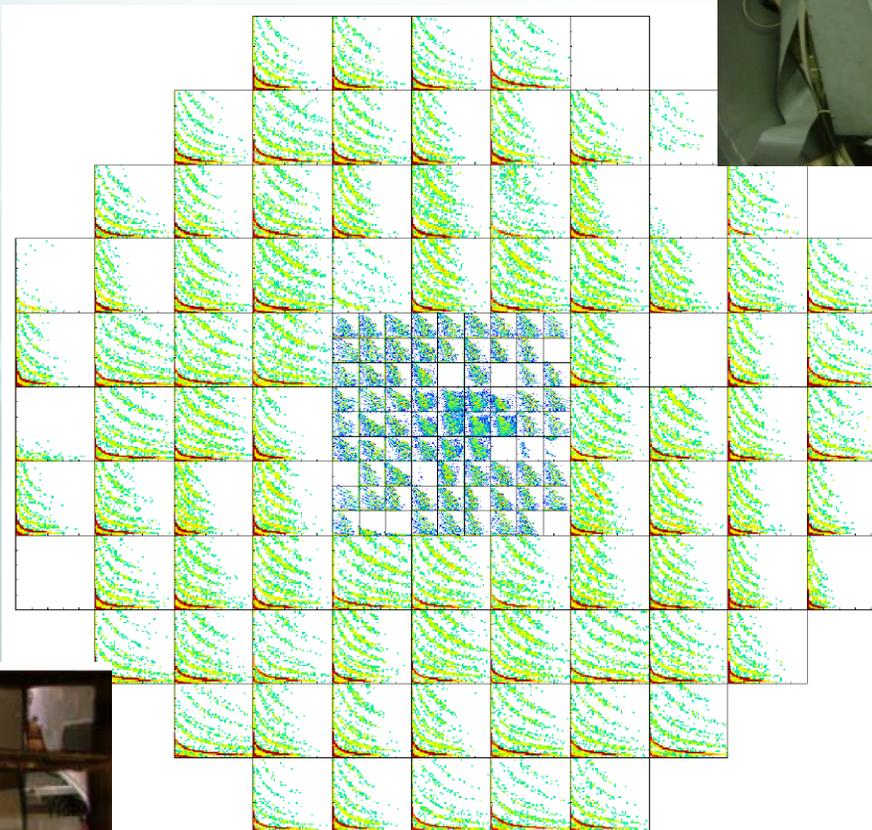
Corrente $\sim 40 - 60 \text{ pA}$

$\text{C} + \text{Au} \longrightarrow$ N° di primari $\approx 11 \cdot 10^{12}$

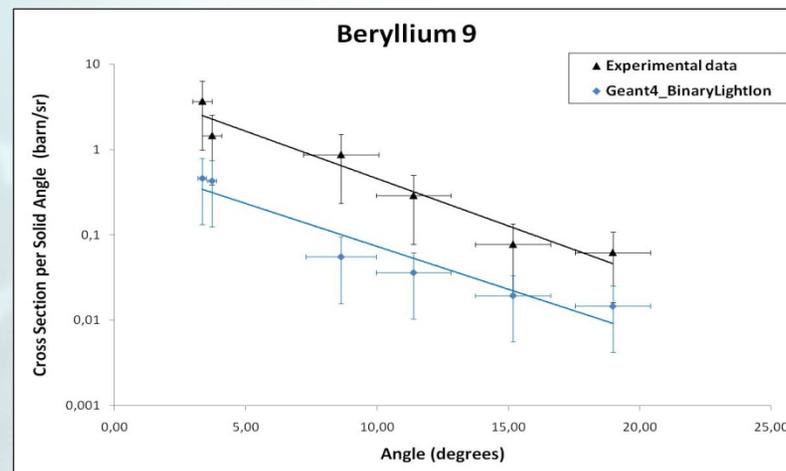
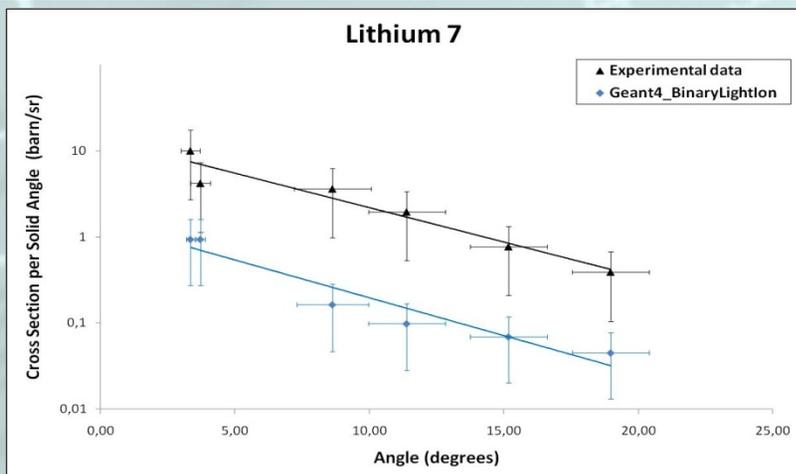
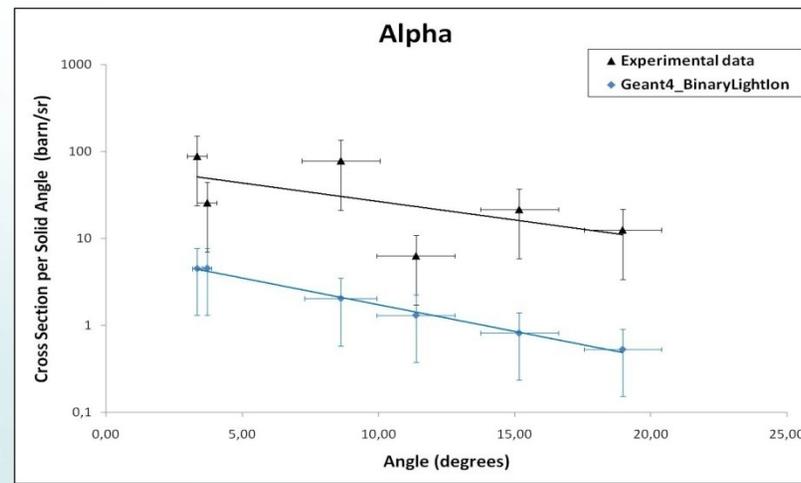
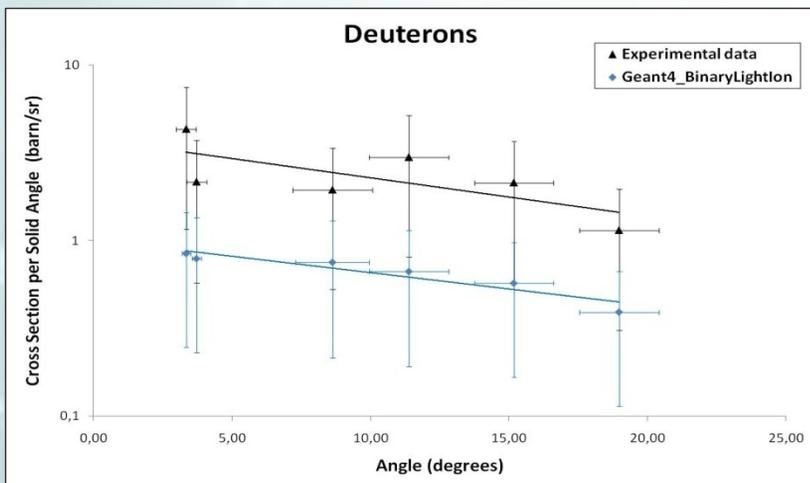
Corrente $\sim 180 - 230 \text{ pA}$



Matrici DE-E



Distribuzioni angolari di sezioni d'urto misurate vs. simulazioni



Proposta di esperimento al GSI

“Extensive study of nuclear reactions of interest for medical and space applications.”

G.Cuttone, F.Marchetto, G.Raciti, E.Iarocci, V.Patera, C.Agodi, C.Sfienti, E.Rapisarda, M. De Napoli, F. Giacoppo, M.C. Morone, A. Sciubba, G.Battistoni, P.Sala, Sacchi, E.Spiriti, G.A.P.Cirrone, F.Romano

INFN: LNS, LNF, Roma2, Roma3, Milan, Turin, Roma Tor Vergata

S.Leray, M.D. Salsac, A.Boudard, J.E. Ducret, M. Labalme, F. Haas, C. Ray
DSM/IRFU/SPhN CEA Saclay, IN2P3_Caen, Strasbourg, Lyon

M. Durante, D. Schardt, R. Pleskac, T. Aumann, C. Scheidenberger, A. Kelic, M.V.Ricciardi, K.Boretzky, M. Heil, H. Simon, M. Winkler

GSI

P. Nieminen, G. Santin

ESA

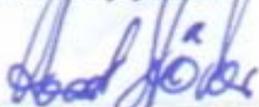
Misure di Frammentazione al GSI

II G-PAC ha approvato con priorità A le misure:

- **C+C @ 0.2, 0.4 and 1.0 AGeV**
- **C+Au @ 0.2, 0.4 AGeV**
- **O+C @ 0.2, 0.4 AGeV**

with evidence of the relevance of the proposed measurements, including detailed simulations supporting the need to measure precise differential distributions. In summary the G-PAC recommends approval of the key measurements with medical relevance, requiring 33 shifts of data taking with primary beam.

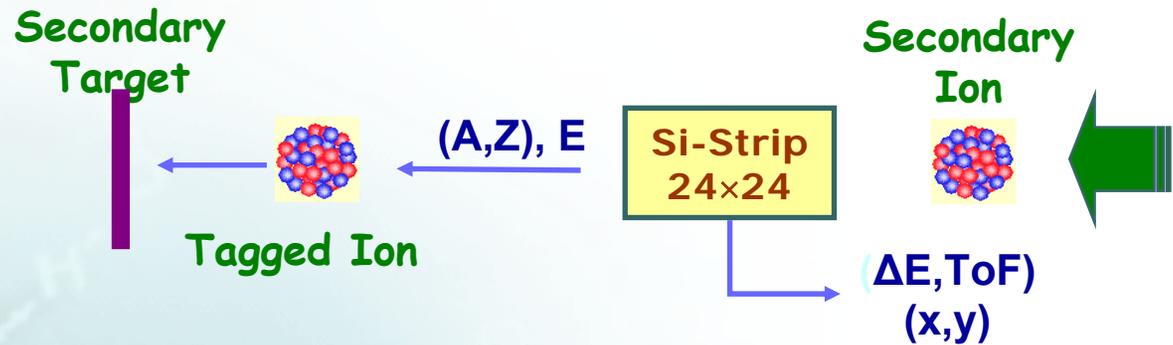
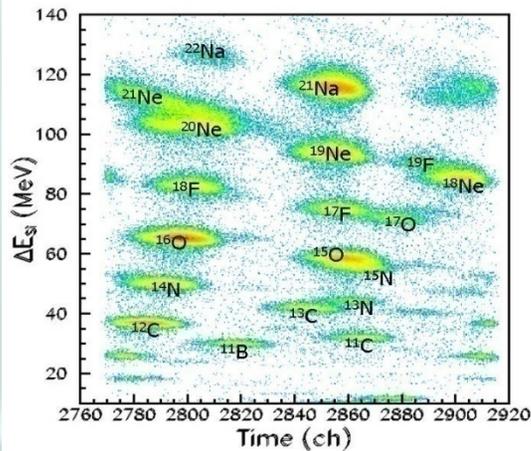
Sincerely yours,



Prof. Dr. Horst Stöcker

Cc: Dr. Radek Pleskac, GSI

Il set up sperimentale: tagging



💡 **Idea base : identificare evento per evento gli ioni in**

- Carica e massa **(Z,A)**
- Posizione **(x,y)**
- Energia **E**

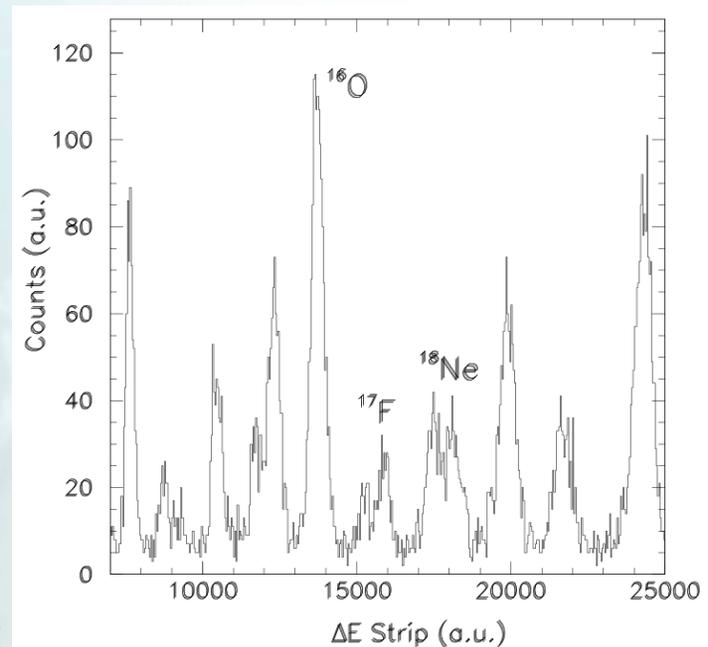
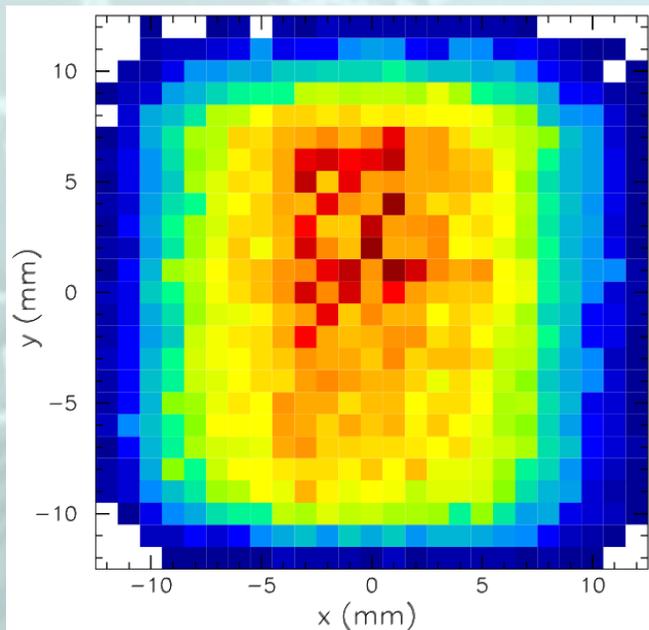
💡 **modificando meno possibile le loro caratteristiche**

- 💣 Energia ➡ energy loss
- 💣 Direzione ➡ straggling
- 💣 Intensità ➡ reactions

Fasci radioattivi prodotti per frammentazione: ^{18}Ne , ^{17}F

$^{18}\text{Ne}, ^{17}\text{F}$ Produzione (Nuova)

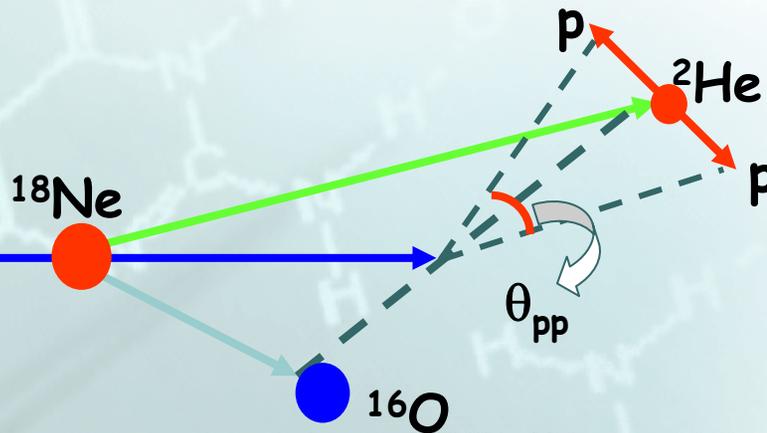
- 👉 300÷400 nA di corrente di fascio primario
- 👉 70 kHz di fascio secondario sul rivelatore di tagging
- 👉 ≈ 5 kHz di ^{18}Ne e ≈ 3 kHz di ^{17}F



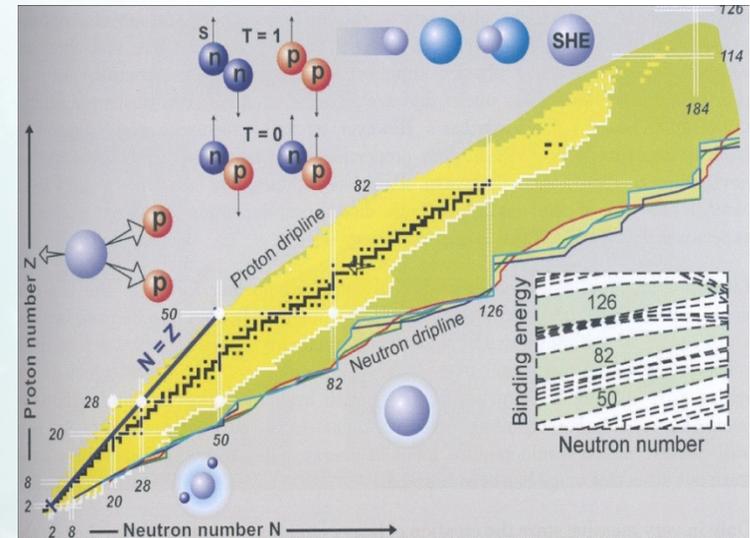
DiP $^{18}\text{Ne} + \text{natPb} @ 40\text{AMeV}$

Studio approfondito della radioattività del diprotone nel ^{18}Ne

G. Raciti et al., *Phys. Rev. Lett.* **100**, 192503 (2008)



- (66±9)% direct three-body
- (3±2)% virtual sequential
- (31±7)% ^2He decay



Necessaria più statistica per una misura più precisa del
 “ branching ratio ”

Flubber $^{17}\text{F} + \text{natPb}, ^{12}\text{C} @ 40\text{AMeV}$

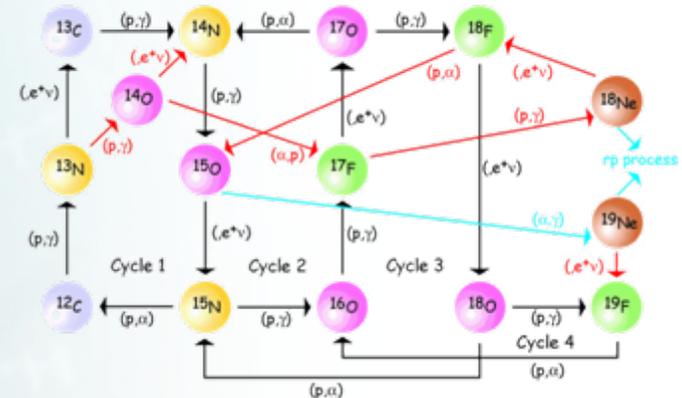
Studio dei prodotti di reazione del break-up del ^{17}F :

- metodo indiretto per misurare σ di *cattura radiativa* alle energie di interesse astrofisico

IDEA : Coulomb breakup ~ inverso della cattura radioativa

Reazione "chiave" per l'astrofisica nucleare:
 $^{16}\text{O}(p,\gamma)^{17}\text{F}$

- struttura *halo* del ^{17}F come $^{16}\text{O} + p$



CNO: $T_9 < 0.2$ Hot CNO: $0.2 < T_9 < 0.5$ rp process: $T_9 > 0.5$

Esperimento HUPPY: ^{17}Ne

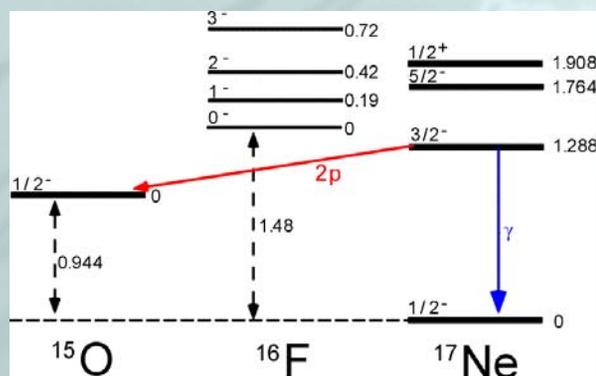
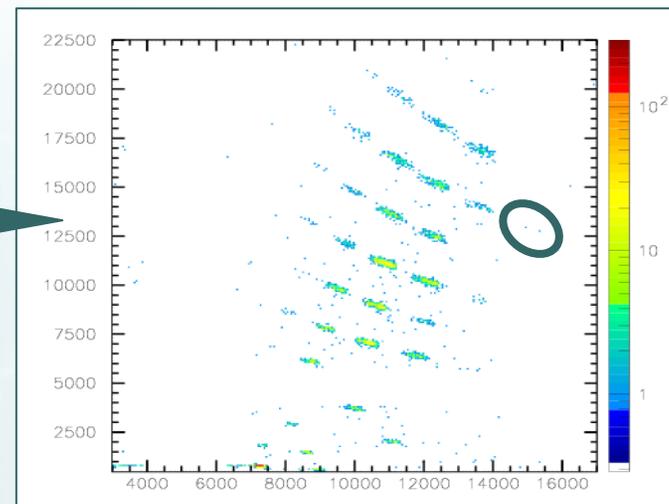
Si propone uno studio sistematico del decadimento del diprotone che consenta, anche per gli emettitori leggeri noti, una misura del loro raggio.

^{17}Ne ...

Ottenuto già con un rate di produzione basso

→ necessario un fattore x10

👉 **CAN BE DONE!**



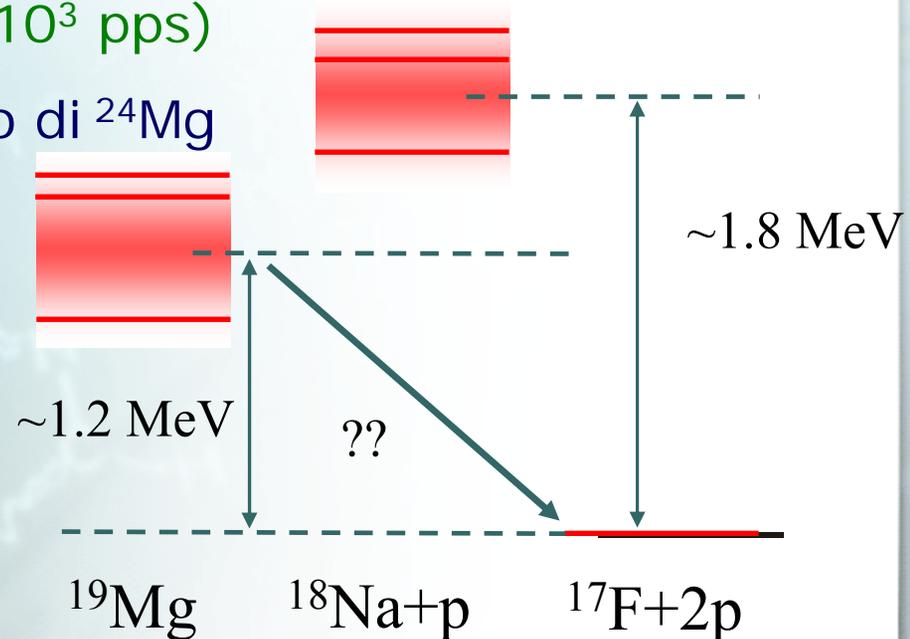
Esperimento HUPPY: ^{19}Mg

Proponiamo uno studio sistematico del decadimento del diprotone con "focus" su $^{16,17}\text{Ne}$ e ^{19}Mg

$^{24}\text{Mg} + ^9\text{Be} \rightarrow ^{20}\text{Mg}$ (x10 factor $\approx 10^3$ pps)

► Produzione del fascio primario di ^{24}Mg
ad alta intensità : da studiare

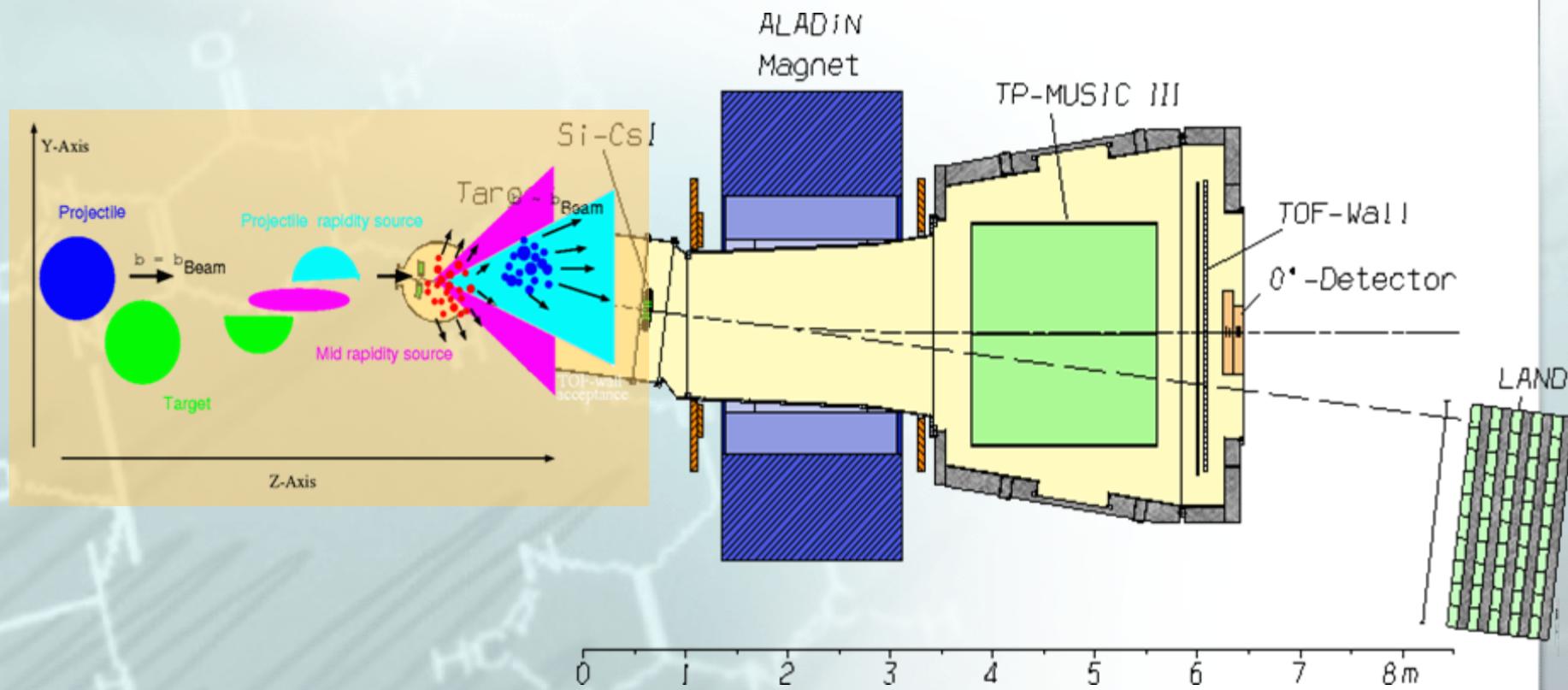
🤔 **COULD BE DONE**



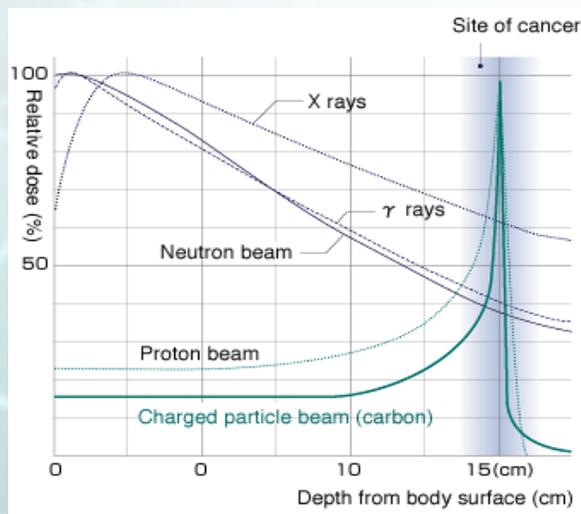
PAC LNS

- ***MAGHY*** *The committee recommends to start with the 24Mg beam development. See also the general comment about FRIBS. _Classification:_ A _Beam attribution_: 21 BTU (24Mg and 20Ne).*
- ***FRIBS: general comment*** *The committee strongly supports the FRIBS development to obtain higher secondary beam intensities. This development together with the available instrumentation might put LNS in a very competitive, in certain cases unique, position for radioactive beam research at intermediate energy.* Several Letters of Intent were submitted and they all present good scientific cases. The committee considers that not only the current LNS users can benefit of such improvements but also new groups, that plan to address different physics issues using the light radioactive ion beams, might be attracted. The committee recommends starting production in 2011 which seems to be a good period when considering the situation of the other in-flight facilities in Europe. The committee agrees with the proposed solution of a shutdown period in order to develop the high intensity FRIBS, but recommends to invest the necessary resources in this project to make the shut-down period as short as possible.. *The committee also strongly supports the developments to obtain intense metallic beams from the cyclotron.*

GSI-GPAC: «Extensive study of nuclear reactions of interest for Medical and Space Applications»: S371



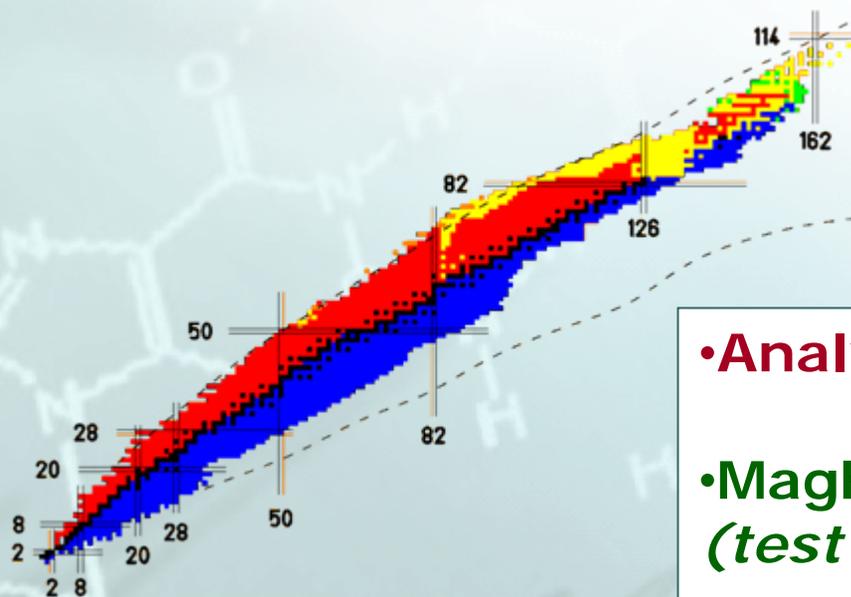
FRAG



Hadrotherapy and Space Exposures

- **Analysis Exp.**
- **LNS@80AMeV**
- **S371@GSI**

FRAG



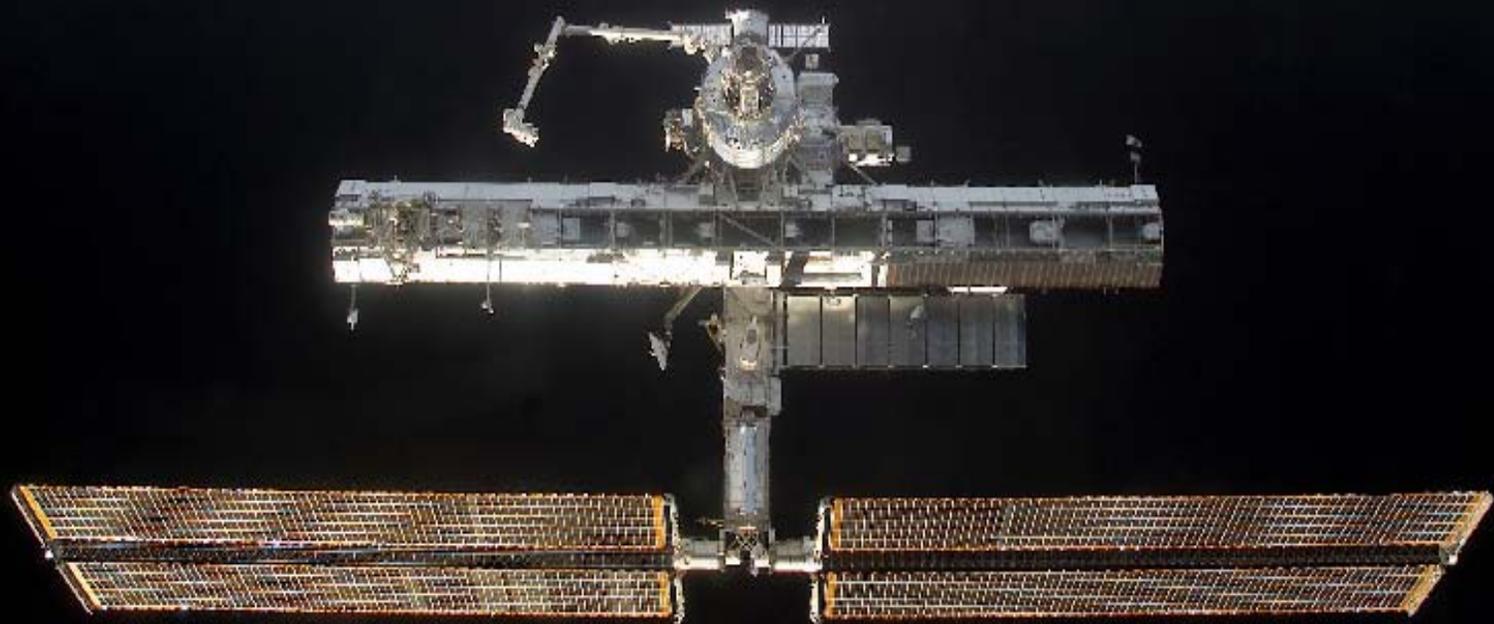
- **Analysis Dipp+Flubber**

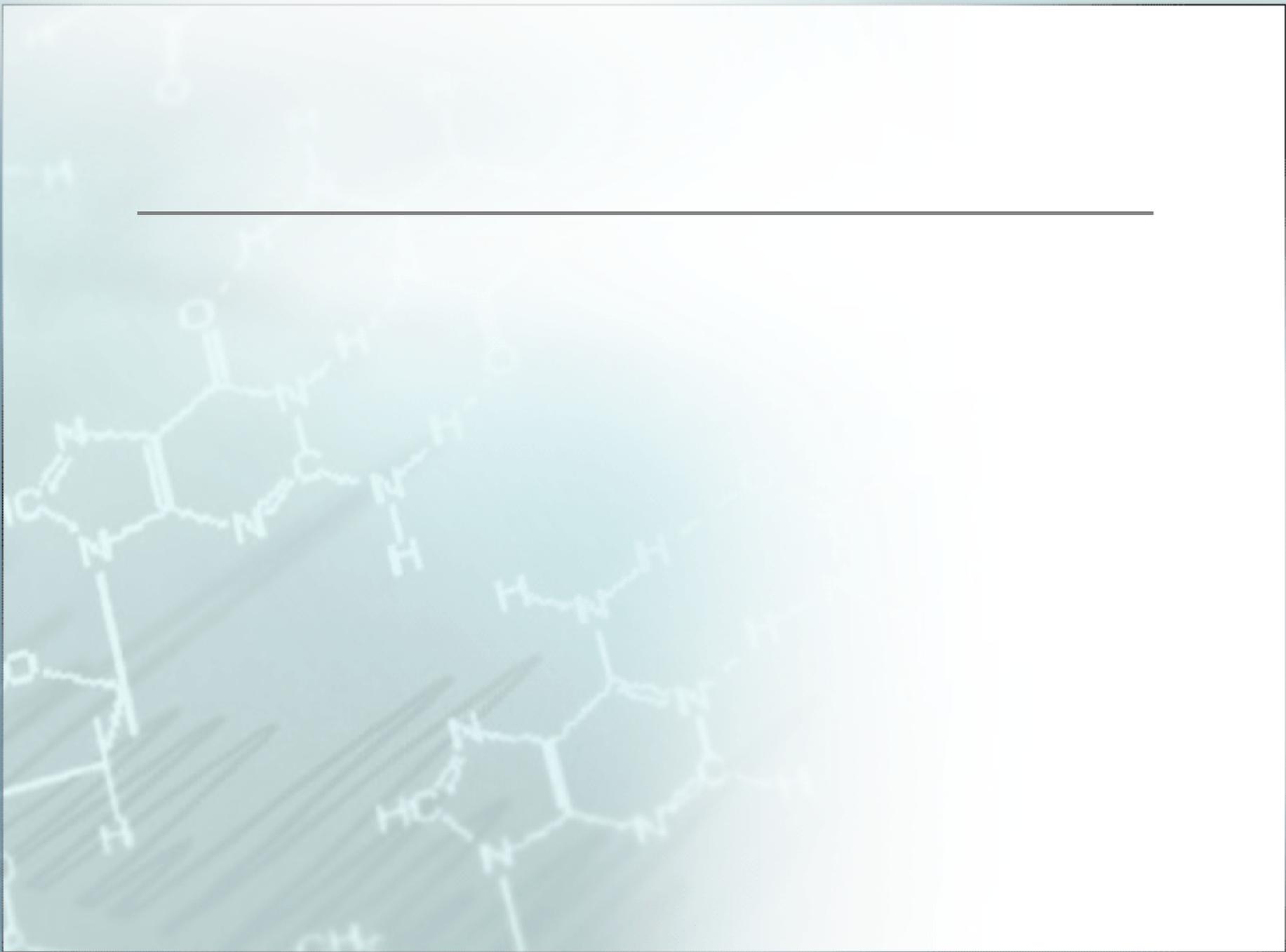
- **Maghy + Huppy**
(test beam)

- **Update Tagging + Diagnostic**

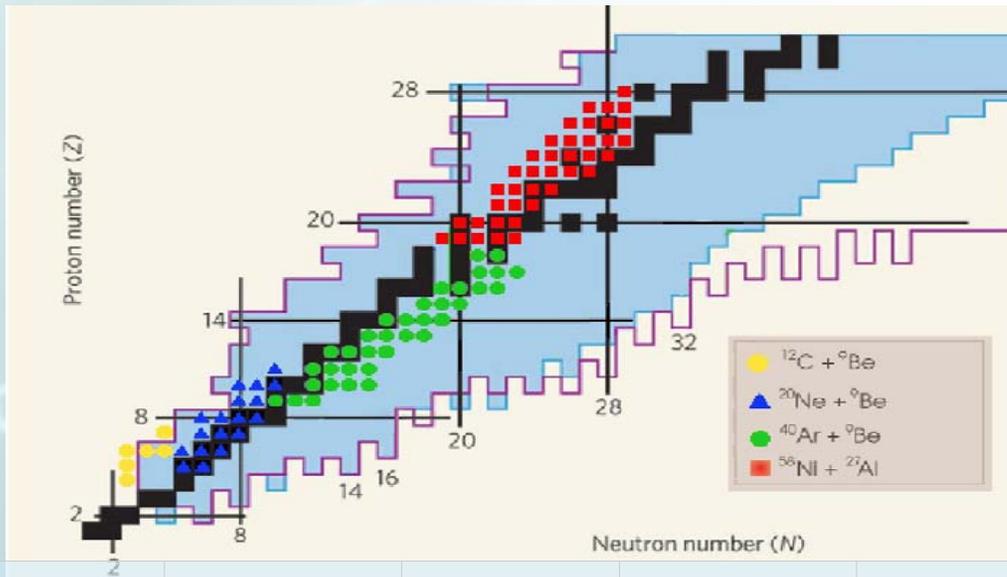
RIBs
Spectroscopy

Grazie !





RESE: Sommario



RIB's prodotti nei tests e loro rese

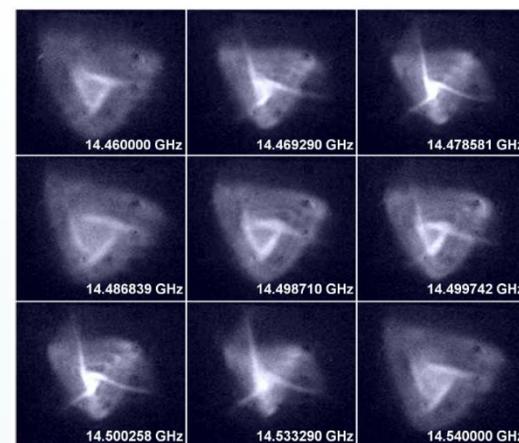
- ✓ Proton rich with $^{58}\text{Ni} + ^{27}\text{Al}$ and $^{20}\text{Ne} + ^9\text{Be}$
- ✓ Neutron rich with $^{40}\text{Ar} + ^9\text{Be}$
- ✓ Light proton rich with $^{12}\text{C} + ^9\text{Be}$

C+Be	ions/sec	Ar+Be	ions/sec	Ni+Al	ions/sec	Ne+Be	ions/sec
^{12}N	6×10^4	^{39}Cl	4×10^5	^{55}Co	3×10^5	^{21}Na	2×10^4
^{10}C	3×10^4	^{36}S	9×10^4	^{53}Fe	1×10^5	^{18}Ne	1×10^4
^8B	9×10^3	^{34}P	4×10^4	^{54}Fe	6×10^4	^{15}O	2×10^4
		^{31}Si	2×10^4	^{53}Mn	5×10^4	^{13}N	5×10^3

Maghys Serial Tests

Implementazione della frequenza del tuning: metodo per aumentare la trasmissione; effetti di "phase correlation" e "plug-in" @ sorgente SERSE

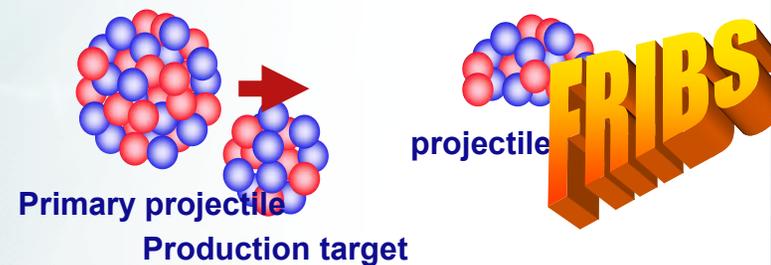
$^{24}\text{Mg}@50\text{AMeV}$: studio sistematico di trasmissione del fascio correlato con misure di emittanza.



Confronto con $^{20}\text{Ne}@50\text{AMeV}$

Produzione e trasmissione ^{17}Ne

Produzione e trasmissione ^{20}Mg



Mg: collo di bottiglia



$^{18}\text{Ne}, ^{17}\text{F}$ Produzione

👉 **300÷400 nA di fascio di corrente primaria**

👉 **60 kHz di fascio secondario sul tagging detector**

👉 **≈ 5 kHz of ^{18}Ne e ≈ 3 kHz of ^{17}F**

Fasci metallici al CS :

Be senza timing ≈ 40nA

Ni/Sn/Au senza timing ≈ 15nA

Ni/Sn con timing ≈ 1 nA

Una nuova forma di Radioattività



week ending
16 MAY 2008

PRL 100, 192503 (2008)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

Experimental Evidence of ^2He Decay from ^{18}Ne Excited States

G. Raciti,* G. Cardella, M. De Napoli, E. Rapisarda, F. Amorini, and C. Sfienti

Università di Catania, Dipartimento di Fisica Nucleare, Università di Catania, Via S. Sofia 64, I-95123, Catania, Italy

(Received 21 December 2007; published 15 May 2008)

UNIVERSITÀ Catania

RICERCA ALL'INFN

Scoperto nei Laboratori del Sud un nuovo tipo di radioattività

Un nuovo tipo di radioattività, mai osservata prima, è stata individuata con chiarezza in un esperimento condotto dal gruppo del prof. Giovanni Raciti dell'Università di Catania, presso i Laboratori Nazionali del Sud dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (InfN). Lo studio, pubblicato dalla rivista Physical Review Letters nel suo numero di maggio, ha mostrato l'esistenza di un isotopo dell'elio, l'elio-2, costituito da soli due protoni. Si tratta di un nucleo molto instabile, con una vita media inferiore ad un miliardesimo di secondo, che decade disintegrandosi in due protoni. Non è quindi, almeno per ora, utilizzabile a fini pratici ma sicuramente, come spiega il professor Raciti al bollettino dell'American Institute of Physics, «ci aiuterà a comprendere la struttura di nuclei instabili con un numero di protoni che eccede quello dei neutroni e come, per contro, i nuclei pesanti si formano all'interno delle stelle».

Prestigioso traguardo per il gruppo del prof. Raciti, che ha «isolato» un isotopo dell'elio

L'esperimento è basato su un ingegnoso procedimento. Prima di tutto si fa scontrare un fascio di ioni di neon-20 contro un "foglio" di berillio. Durante questa collisione ad alcuni dei nuclei incidenti vengono "sottratti" due neutroni, cosicché si trasformano in nuclei di neon-18. A questo punto gli stessi nuclei incontrano uno strato di piombo. Questo secondo scontro ha l'effetto di eccitare i nuclei di Neon-18 in uno stato energetico estremamente instabile. Per raggiungere un'energia minore e quindi più stabile, ciascun nucleo di Neon-18 decade emettendo un frammento più piccolo ed una o più particelle. Questa trasformazione si produce in diversi modi. Tra questi i fisici italiani hanno dimostrato esservi un processo, estremamente raro e mai dimostrato prima, in cui i nuclei di Neon-18 producono un nucleo di Ossigeno-16 ed uno di He-2 che rapidamente si disintegra in due protoni.

In precedenza altri studi avevano osservato l'emissione di due protoni rilasciati in processi fisici di questo tipo, ma non erano mai riusciti a dimostrare che questi provenissero dal decadimento di un nucleo di He-2.

Questi studi d'avanguardia, anticipa l'Istituto nazionale di Fisica Nucleare, continueranno nei prossimi mesi presso i Laboratori Nazionali del Sud alla ricerca di nuovi nuclei leggeri instabili con le stesse caratteristiche.

from ^{18}Ne excited states has been studied by complete kinematical reconstruction of

INSTITUTE OF PHYSICS

News Update
Physics News

Journal 865 #2, May 29, 2008 by Phil Scheraga

Jew Form of Artificial Radioactivity

The basic structure of matter has been known for a long time and yet scientists keep learning new things about it by ripping apart atoms. An atom consists of a central core, the nucleus, and a lighter part, a cloud of electrons. The electron part determines all the electrical, and optical properties of the atom, but the nucleus is an important too. It contains most of the mass and the reactions among nuclei are responsible for the energy production in stars.

Nature often plays tricks. Usually hydrogen has one lone proton, but sometimes that nucleus can have two protons. This version, or isotope, of hydrogen is called deuterium. Still another version of hydrogen, consisting of one proton and two neutrons, is called tritium. Helium-4, has four nuclear particles.

la Repubblica.it | L'Espresso | KataWeb | seekmoda | miojob | QUOTIDIANI | TrovaCinema | OEE | ARMY | CAPITAL | Repubblica | ALL MUSIC | Yahoo

Art Advisor | Fashion Manager | Account Supervisor

- HOME
- RECENSIONI
- I BLOG
- ARCHIVIO
- MULTIMEDIA
- NEWSLETTER
- CHI SIAMO
- ABBONAMENTI
- RESE

IN EDICOLA
LE SCIENZE
NOVECENTO: IL SECOLO DELLA SCIENZA
MENTECERCVELLO
BIBLIOTECA DELLE SCIENZE

I BLOG DI LE SCIENZE
Scienza in cucina di DARIO BRESSANINI
Chimica (e ricette) in versi
Made in Italy di MARCO CATTANEO
L'Agencia che non è mai nata (e forse non nascerà mai)
Storie spaziali di CLAUDIA DI GIORGIO
Cronache dal paese dei Nobel (3)
Mente e psiche di DANIELA OVADIA
Perché piace tanto l'uomo infido

FISICA
Creato nei laboratori dell'INFN
Un nuovo isotopo dell'elio
Il suo studio aiuterà a comprendere la struttura di nuclei instabili con un numero di protoni che eccede quello dei neutroni



L'esistenza di un nuovo isotopo dell'elio, l'elio-2, costituito da soli due protoni, e di un nuovo tipo di decadimento radioattivo sono stati dimostrati presso i Laboratori Nazionali del Sud dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) da un gruppo di ricerca diretto da Giovanni Raciti dell'Università di Catania, che ne dà notizia sulle Physical Review Letters.

Si tratta di un nucleo molto instabile, con una vita media inferiore ad un miliardesimo di secondo, che decade disintegrandosi in due protoni. Quindi, almeno per ora, non è utilizzabile a fini pratici ma sicuramente, come spiega Raciti "ci aiuterà a comprendere la struttura di nuclei instabili con un numero di protoni che eccede quello dei neutroni e come, per contro, i nuclei pesanti si formano all'interno delle stelle".

Nell'esperimento un fascio di ioni di neon-20 è stato proiettato contro un "foglio" di berillio. Durante questa collisione ad alcuni dei nuclei incidenti vengono "sottratti" due neutroni, cosicché si trasformano in nuclei di neon-18. Un successivo, secondo scontro con uno strato di piombo ha l'effetto di eccitare i nuclei di neon-18 in uno stato energetico estremamente instabile.

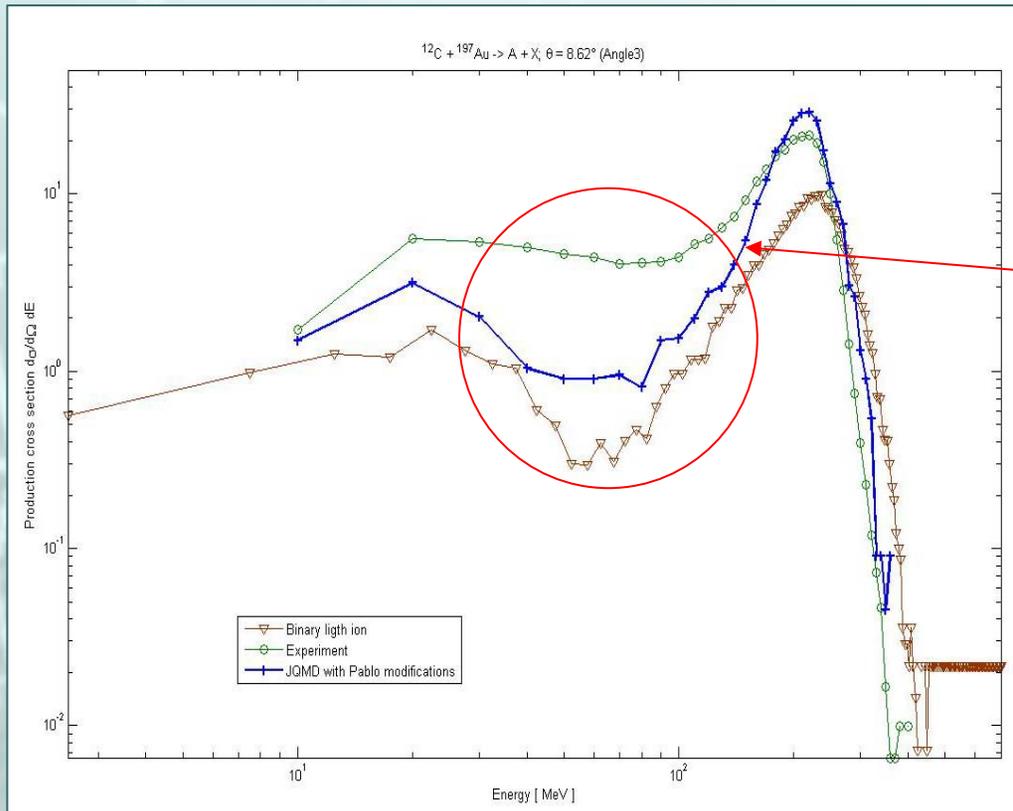
Per raggiungere un'energia minore e quindi più stabile, ciascun nucleo di neon-18 decade emettendo un frammento più piccolo ed una o più particelle. Questa trasformazione si produce in diversi modi. Tra questi i fisici italiani hanno dimostrato esservi un processo, estremamente raro e mai dimostrato prima, in cui i nuclei di neon-18 producono un nucleo di ossigeno-16 e uno di elio-2 che rapidamente si disintegra in due protoni.

In precedenza altri studi avevano osservato l'emissione di due protoni rilasciati in processi fisici di questo tipo, ma non erano mai riusciti a dimostrare che questi provenissero dal decadimento di un nucleo di He-2.

Sezione d'urto di produzione di particelle cariche (particelle α)

Confronto preliminare:

SIMULAZIONI – DATI LNS (^{12}C @ 62 AMeV)



In generale miglior accordo con il JQMD con le nostre modifiche.

Resta comunque una discrepanza notevole nella parte intermedia dello spettro

DiP $^{18}\text{Ne} + \text{natPb}$ @ 40 A MeV

Studio approfondito della radioattività del diprotone nel ^{18}Ne

La radioattività del diprotone è prevista nei Nuclei Proton rich nelle vicinanze o oltre la proton drip line

- ✓ Il livello 6.15 MeV popolato dall'eccitazione Coulombiana (E1 transition) su un bersaglio di Pb
- ✓ Rivelazione completa dei prodotti di decadimento
- ✓ Correlazioni in energia, angolo e momento relativo.
- ✓ ^{18}Ne prodotto a 35 A MeV dalla frammentazione del proiettile ^{20}Ne

