

Qualche tempo dopo....

Il gruppo di fisica nucleare (GR3) a Firenze

Giovanni Casini
INFN Firenze

sommario

- Il quadro: il progetto SPES e non solo
- Le attività e le sigle INFN (**GAMMA e NUCLEX**)
- manpowe e le richieste

SPES: una facility con 4 fasi



Fase α ciclotrone ed edilizia
Gia' finanziata (circa 22Meuro)

Fase β riaccelerazione di fasci radioattivi
Costo 25Meuro

Among applications, production of radionuclides of medical interest is particularly interesting.

Fase γ radioisotopi per Medicina
Costo 17-20Meuro (NON INFN!)

The model is the ARRONAX centre at Nantes

New methods

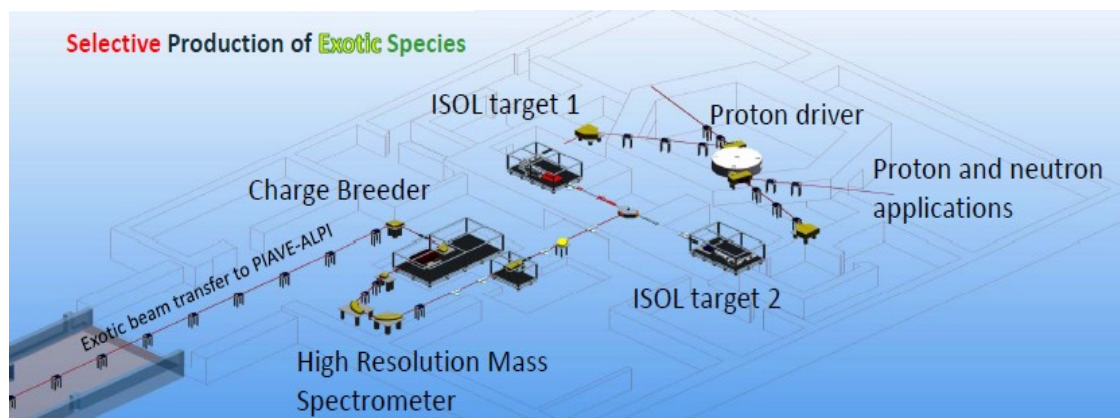
New isotopes (Cu-radionuclides)

Fase δ una facility per neutron irradiation
Costo 10Meuro (un po' INFN?)

SPES: una facility con 4 fasi



The preparation of a radioactive beam (the **production**, the **extraction**, the isotope **purity** selection, the **transport** and the **diagnostics**) is crucial and practically part of experiments



Fondi stanziati 2003: 17200ke

Circa 300ke all'anno freschi dal 2010 in poi

Finanziamento (addizionale) Edilizia del Ciclotrone 2011 (circa 3000ke)

Fondi premiali 5600ke (giugno 2012)

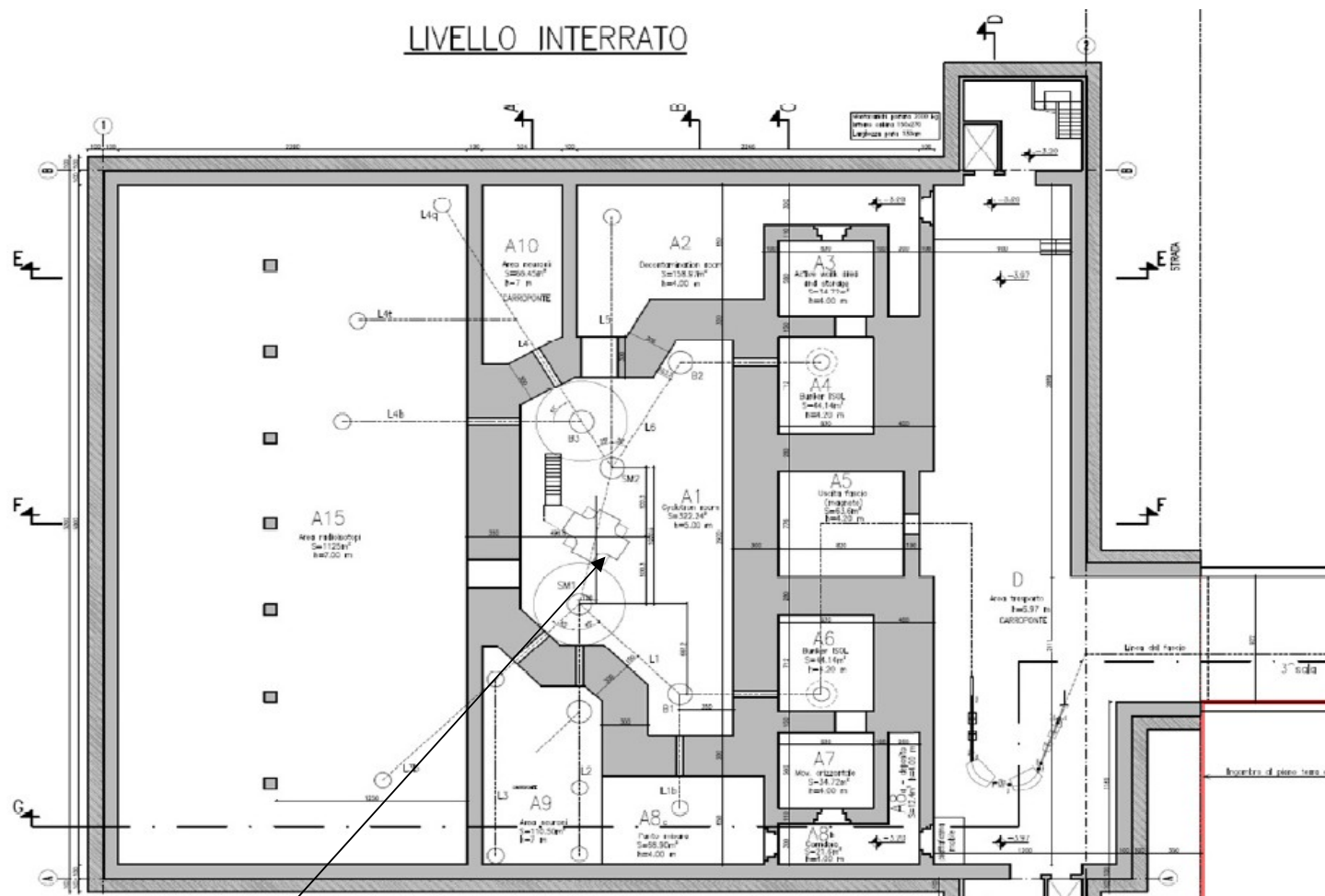


SPES e' organizzato in otto **Task**

task 0	task1	task 2	task3	task4	task5	task7	task8
management	Safety, RP & Control	Infrastruc ture	ISOL Target	Transp ort	Cyc	Re- acc	Scient. Supp.

Edificio con pianta 50x60m²

Inizio costruzione circa febbraio 2013



**Costo
dell'edilizia
circa 11000ke**

**8000ke erano
residui del
finanziamento
2003 mentre
altri 3000
sono stati
erogati nel
2011**

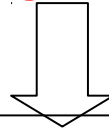
Ciclotrone della BEST B70 (Canada')

Firenze e SPES: un legame profondo



Il gruppo III di Firenze e' da decenni coinvolto in attivita' effettuate presso i LNL

Esperimenti sia di spettroscopia **gamma (struttura)** che di **specie cariche (reazioni)**



Dal 2008: istituzione di un **SPES Steering Committee** formato da ricercatori di LNL, di LNS e delle sezioni variamente coinvolte nell'iniziativa

Per Firenze: dal 2008 a maggio 2012 **G.C.**
Da giugno 2012 **A.Nannini**

2010: istituzione di un **SPES instrumentation group** per le interazioni con il Gruppo Supporto Scientifico

Members: **G.C.**, G. DeAngelis, G. LaRana, N.Pollarolo

2010: istituzione di un **Gruppo Supporto Scientifico** per la promozione dei casi di fisica e la valutazione delle LoI

A.Covello, S.Pirrone, A.Dipietro, G.Colò, A.Gargano, S.Lenzi, N.Pollarolo, **GC**

Attività di Gr III legate a SPES

Gruppo SPES supporto scientifico: organizzazione e elaborazione dello Workshop internazionale per le LoI (novembre 2010, LNL)

da Firenze: una LoI sulla Coulex

una LoI su eccitazione del dipolo dinamico

Una LoI sul trasporto di isospin in reazioni semiperiferiche

Gruppo SPES supporto scientifico organizza una serie di incontri di un giorno (SPES one-day workshop):

20 maggio 2012 Napoli: **Direct (transfer) Reactions**
(circa 35 partecipanti, intervenuto anche M.Taiuti presidente di CSN3)

27/28 settembre 2012 Firenze: Coulomb Excitation

Nel 2013 Milano **Napoli: Collective excitations in nuclei**

LNL: **Fusion Evaporation: intensita' dei fasci**

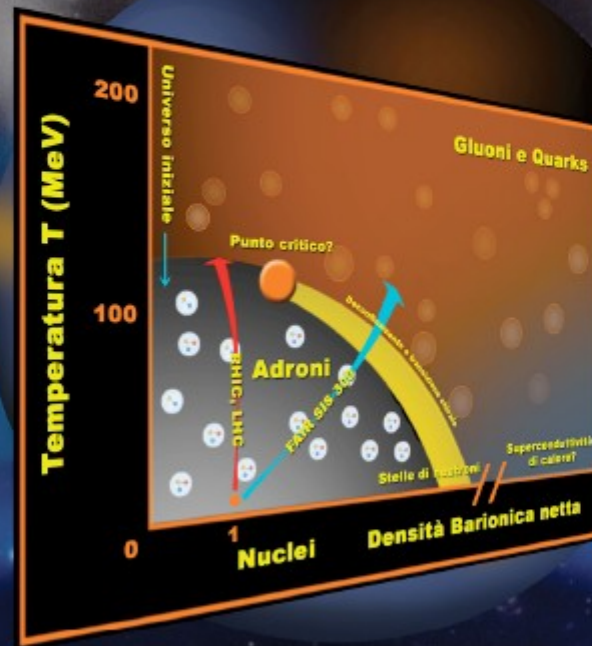
Catania: **Search of isospin effects with RIB**

CCS 4 luglio 2012 g.c.

FISICA NUCLEARE GENERALE

Incontro Nazionale di Fisica Nucleare

12 - 14 novembre 2012
Laboratori Nazionali del Sud, Catania



Sperimentali e teorici
di fronte alle nuove sfide
della fisica nucleare

Un evento
importante per tutta
la comunità nucleare
italiana
(CSN3 e anche
CSN4)

- dinamica dei quark e degli adroni
- transizioni di fase e QGP
- struttura nucleare e dinamica delle reazioni
- astrofisica nucleare

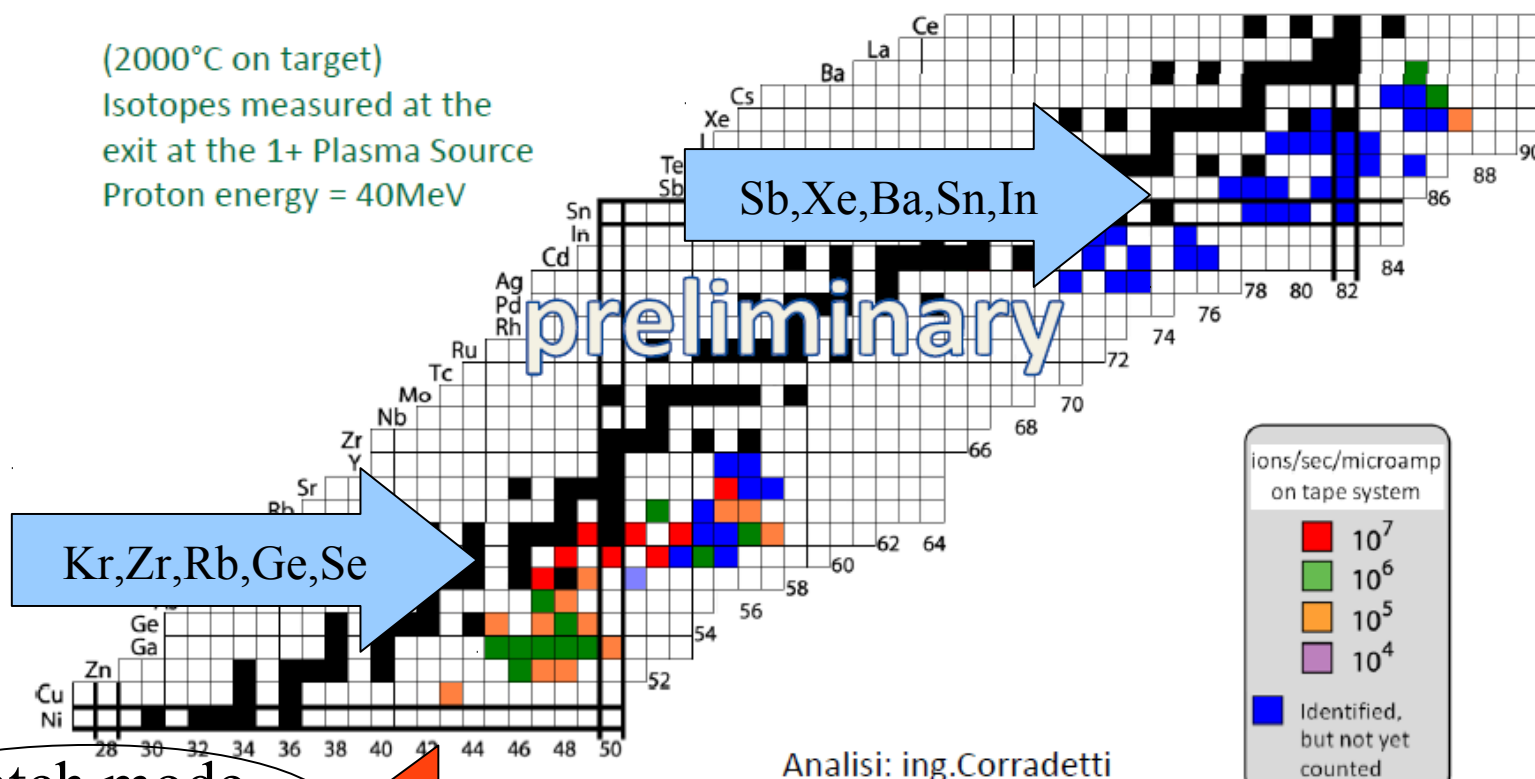
Ricordare di rispettare la deadline per registrarsi (10 Settembre)

SPES:

verso zone meno note della carta dei nuclidi

The produced ions from UCx sliced target:

(2000°C on target)
Isotopes measured at the
exit at the 1+ Plasma Source
Proton energy = 40MeV



Batch mode
Or other carbides

Al,Ti,Ni....?

CdS 4 luglio 2012 g.c.

Reazioni e fisica con SPES



Constraints:

- bombarding energies from 3 to 12 AMeV (for A around 100)
- Exotic light species from SiC production targets
- $N \gg Z$ intermediate nuclei from UC-x fission targets
- Batch mode operation: the 'corriere dello zar' method

Complete Fusion: $X+Y \rightarrow \text{CN}^*(X+Y)$ and evaporation

Incomplete Fusion $X+Y \rightarrow \text{CN}'^*(X+Y') + Y''$ and decay

Deep inelastic scattering $X+Y \rightarrow X'^* + Y^{*''}$ and their decay

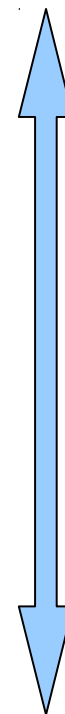
where X is the
radioactive beam

Multinucleon Transfer $X+Y \rightarrow X'^* + Y^{*''}$ and their decay

Transfer reactions in reverse kinematics: $X+y(\text{light}) \rightarrow (d,p) \text{ or } (d,3\text{He}) \text{ or } (d,t) + Z'$

Coulomb Excitation $X+Y \rightarrow X^* + Y$ and decay

central



peripheral

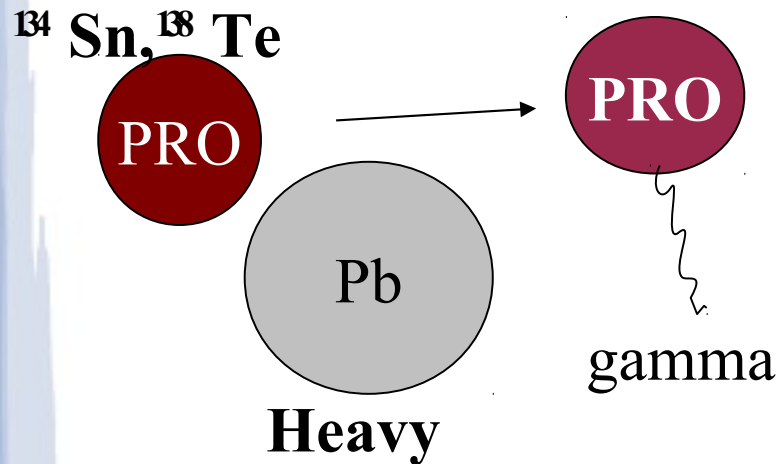
Esperimento gamma

- realizzazione apparato per misure di Coulomb Excitation
- misure ai LNL con AGATA - PRISMA (in collaborazione con i colleghi di Padova e Legnaro)
- misure di polarizzazione con i clusters di AGATA
- misure di elettroni di conversione
- studi nell'ambito del modello a bosoni interagenti IBA-2

Tecnici di supporto: M.Ottanelli e U.Carcassi

Coulomb Excitation: a key experiment for nuclear structure

Single particle states spectroscopy in unknown regions



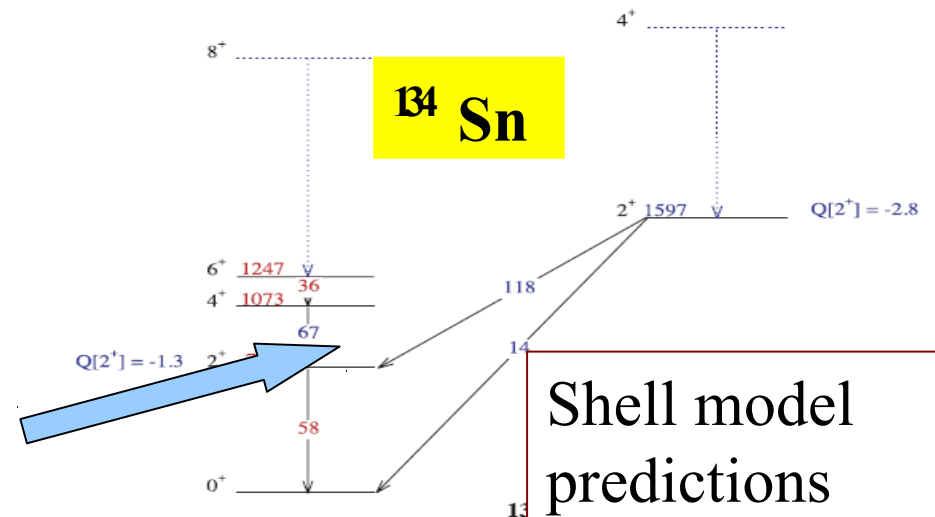
Metallic beams of n-rich Sn, Te $A=134\text{Sn}, 136, 138\text{Te}$
 $E_b=4-5\text{MeV/u}$

Powerful spectroscopic technique, favoured by the **large Coulomb cross sections** and suitable for **low-intensity beams like RIBs**

Scattered PROJ detected in Si-Arrays
for example **SPIDER** or **TRACE**

Fine study of gamma emission **GALILEO**

$B(E2, 0+ \rightarrow 2+)$ strength



Shell model
predictions
GOSIA code

Diverse LoI basate su misure di Coulomb Excitation



LoI citing this kind of technique:

$^{134}\text{Sn}, ^{138}\text{Te} + \text{Pb}$ B.Melon SPIDER+GALILEO

odd-A D.Mengoni TRACE+GALILEO

$^{136}\text{Ba}, ^{138}\text{Ce} + \text{C}$ N.Pietralla SPIDER/TRACE+GALILEO

$^{138}\text{Xe}, ^{140}\text{Ba} + \text{C}$

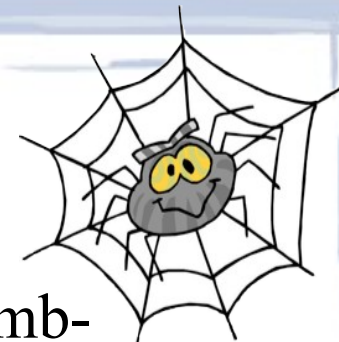
$\text{Ba}, \text{Ce}, \text{Xe} + \text{Pb}$ E.Sahin, G.DeAngelis SPIDER/TRACE+GALILEO

$^{98}\text{Sr} + \text{Au}$ D.Tonev TRACE+GALILEO

$^{84}\text{Ge}, ^{86}\text{Se} + \text{Pb}$ X.Valiente-Dobòn TRACE+AGATA

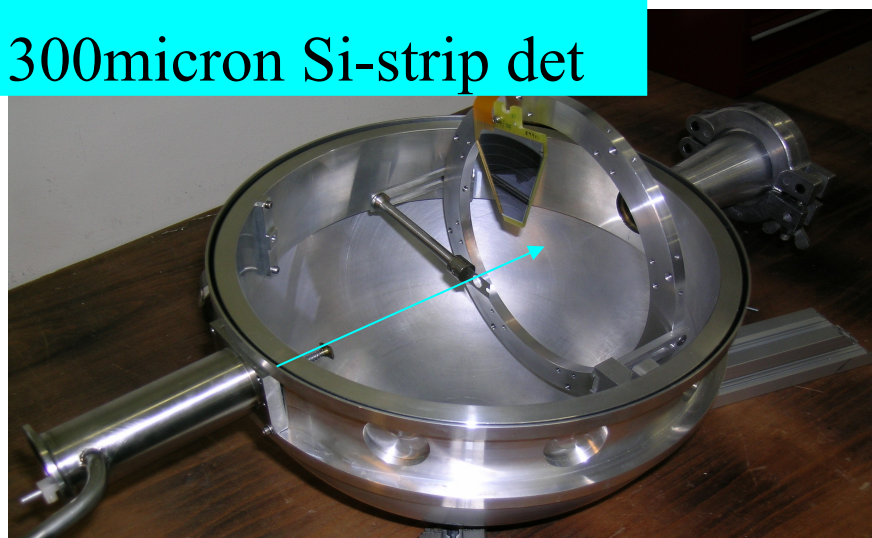
$^{909}\text{Y} + \text{X}$ M.Kmiecic TRACE/DSSSD+ AGATA+ PARIS

Verso SPES: il rivelatore **SPIDER** (in costruzione)



E' un semplice Si-detector anular adatto per misure di Coulomb-Excitation (rivela il proj deflesso)

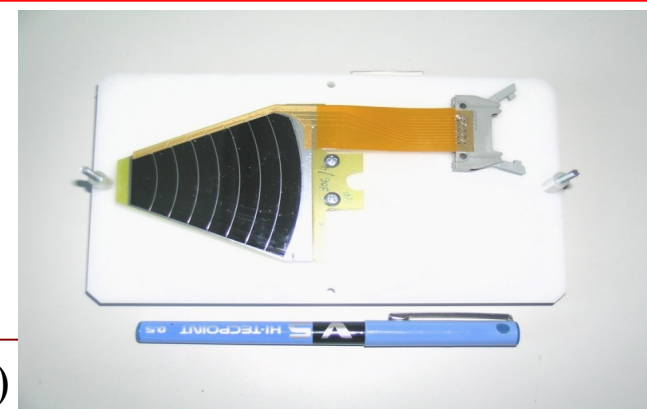
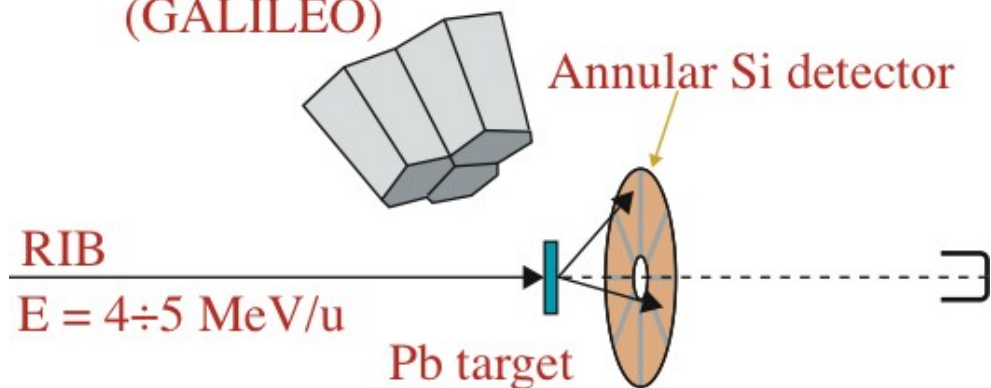
300micron Si-strip det



Strip detector sviluppato per il RingCounter di Nuclex ottimo anche per questa applicazione

First-day Experiments with SPES (low current beams practicable)
Coupling with AGATA or with GALILEO
Very versatile set-up for 1-day SPES experiments

Gamma – array
(GALILEO)



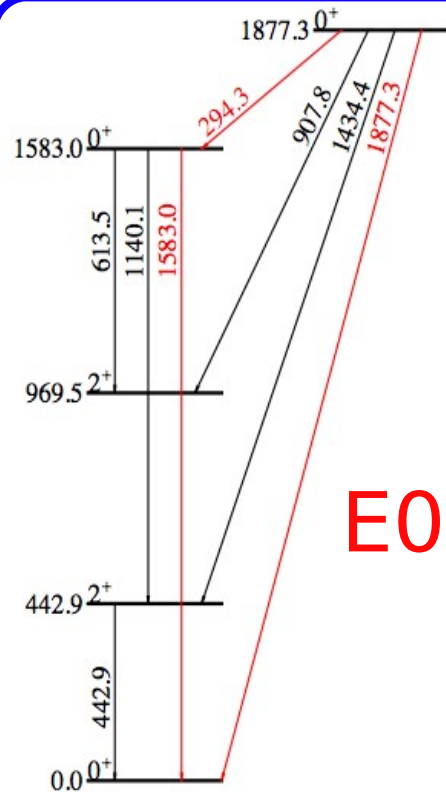
Misure di elettroni di conversione

Spectroscopy of electrons originating from nuclear processes provides an important tool to investigate nuclear structure:

- internal conversion coefficient measurements

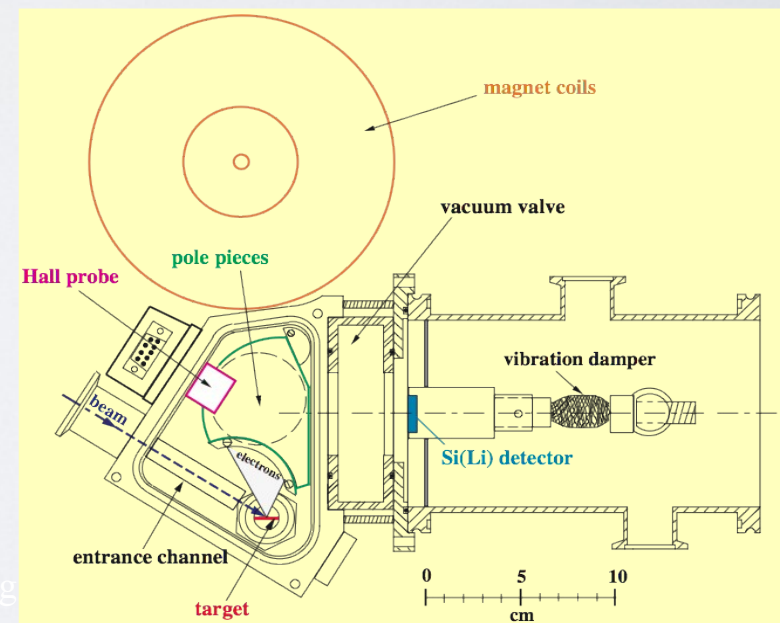
(to determine transition multipolarities and assign spin and parity to nuclear states)

- studies of atomic electron penetration effects in the nucleus (in relation to e.g. electric monopole transitions E0).



Misure ai LNS delle transizioni E0 fra i primi stati eccitati 0^+ in ^{136}Xe , per ottenere informazioni sulla loro struttura (configuration mixing??).

LoI all'ultimo PAC dei LNL (accettata) per installare al TANDEM l'apparato di Firenze per misure di elettroni di conversione



Esperimento nucl-ex

- Caratterizzazione di processi di reazione a vari regimi energetici
- Esplorazione degli effetti di isospin nei processi di eccitazione e decadimento dei nuclei
- Studio dettagliato del processo di fusione ed evaporazione
- R&D e inizio costruzione dimostratore di FAZIA

Tecnici di supporto: G.Tobia e E.Scarlini

Esperimenti a LNL (Garfield e 8plp)

E con FAZIA sia a LNS che a GANIL (negli ultimi due anni)

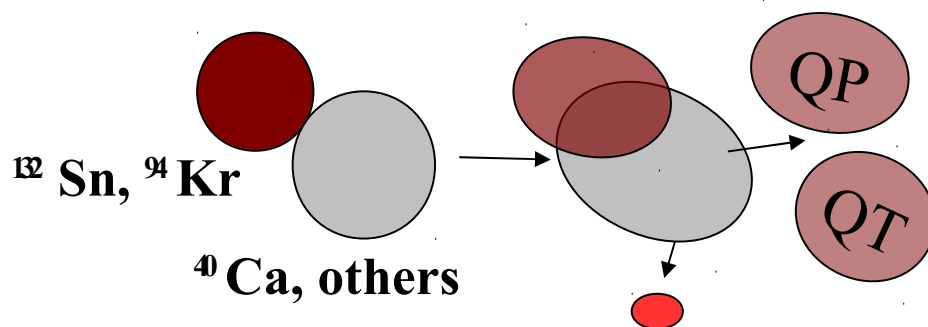
CdS 4 luglio 2012, p.6.

SPES vs. Deep Inelastic Collisions



Isospin Drift of diffusion; how N/Z can affect reaction dynamics and emissions

Isospin dynamics and EOS



SPES: Energetic beams of n-rich Sn
 $E_b = 10-12 \text{ MeV/u}$

Reaction products (from $Z=1$ upward) detected and identified in **FAZIA, GARFIELD, 8p1p**

I flussi relativi di **protoni e neutroni** scambiati fra i due nuclei collidenti, dipendono anche dal termine di **Energia di Simmetria** del potenziale nucleare. Tale termine è poco conosciuto a densità sottosaturate. Si pensa che in certe regioni del sistema interagente (**superficie e collo nucleare**) si raggiungano tali valori “bassi” di densità barionica e ciò consente lo studio della EOS in queste collisioni

SPES instrumentation vs. MNT and DIC



LoI citing this kind of technique:

Sr,Kr,Se,Sn L.Corradi PRISMA+GALILEO

$^{130,132}\text{Sn}$,Ge,Br S.Leoni PRISMA+GALILEO

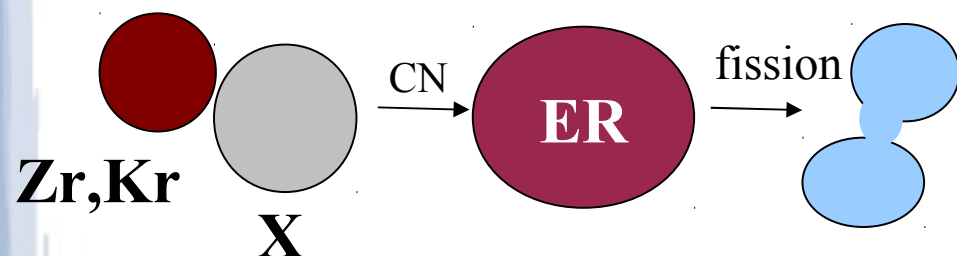
n-rich X+ U C.Ur SPIDER/TRACE+GALILEO

Kr,Xe,Sn + Ca,Pb G.Casini GARFIELD+FAZIA

Kr + Ca S.Pirrone Chimera+FAZIA + RIPEN/NEDA

^{84}Ge , ^{868}Se + Pb A.Stefanini PRISMA

4f SPES instrumentation vs. Fusion+ ER or Fission



Metallic beams of n-rich Sr,Zr,Kr
Eb up to maximum

ER detection
And decay study

Complex dynamical process involving all the
system d.o.f.
Fission time delay and pre-scission emission
Behaviour as a function of N/Z
Competition between fission and fusion (ER)

Interest also for r-process: fission competition
around $Z=92$ stops the nuclear size growth; what is
fission for very n-rich nuclei?

8plp + Corset multidetector+ RIPEN
GARFIELD, FAZIA + RIPEN
CHIMERA (parts) + RIPEN

LoI per SPES basate su reazioni di fusione



LoI citing this kind of experiments:

$^{98}\text{Sr}, ^{100}\text{Zr} + ^{40}\text{Ca}$ A.Stefanini PRISMA

n-rich Zr, Kr, Sn E.Vardaci 8plp RIPEN

$^{134}\text{Sn} + ^4\text{He}$ A.Di Nitto recoil + RIPEN/NEDA + AGATA + DIAMANT

n-rich Rb P.Bednarczyk TRACE AGATA RFD

batch-mode p-rich ^{56}Ni (e.g. ^{100}Sn from $^{56}\text{Ni} + ^{50}\text{Cr}$)

F.Recchia AGATA NEDA (neutron evap) active targ?

Kr, Cs, Sn + Ca, Ni G.Casini GARFIELD+PARIS/HECTOR

Light n-poor + Li, Au G.Baiocco GARFIELD

ESPERIMENTI gia' effettuati

Ti+Ca 300,400,600 MeV Tesi PhD 2012, **Stefano Carboni UNIFI**

C+C 95MeV Tesi PhD 2012, Giorgio Baiocco UNIBO

Experimental set-up @ LNL-INFN

data from $^{12}\text{C}(@ 95 \text{ MeV}) + ^{12}\text{C}$

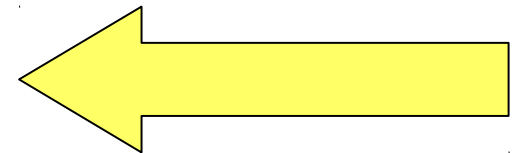
NUCL-EX collaboration campaign:

STATistical properties of LIGHT nuclei from Fus-Evap.

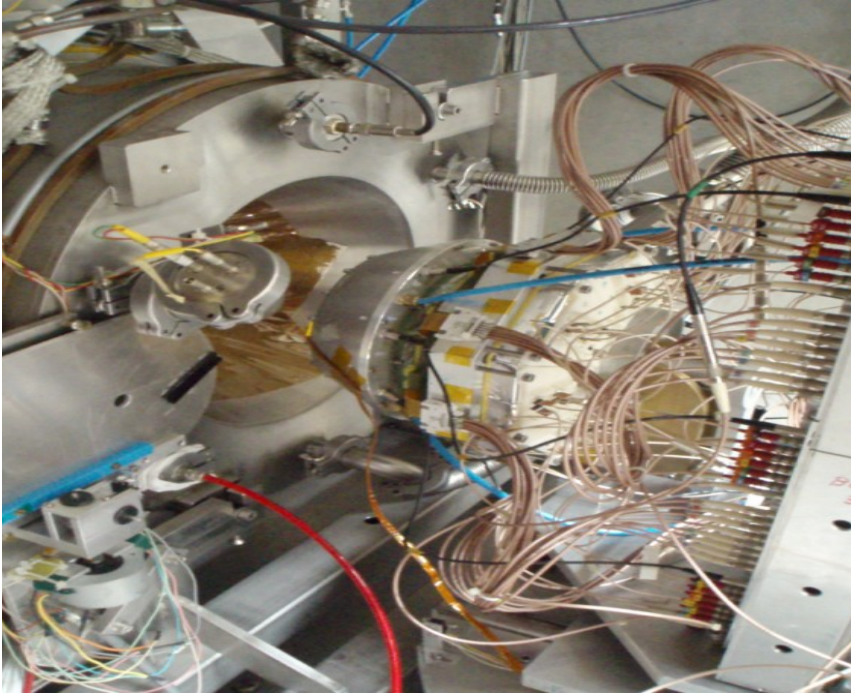
- low multiplicity evts. & high detection coverage
→ (quasi)complete evt. reconstruction
- high energy and angular resolution
→ global control on the decay mechanism

⇒ **GARFIELD+RCO @ LNL, $^{12}\text{C}(@95 \text{ MeV}) + ^{12}\text{C}$**

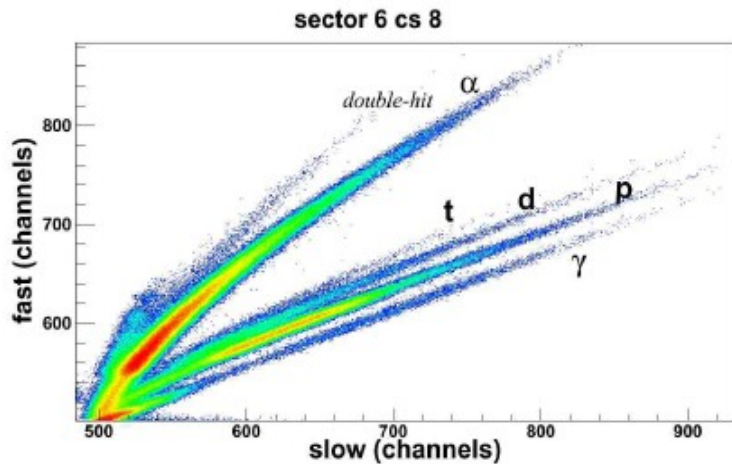
- Compound Nucleus formation and decay
→ Level Density for $A \sim 20$, $e^* \sim 3 \text{ A. MeV}$ (few excl.data!)
- signature of *molecular* structure
→ deviation from a statistical behaviour



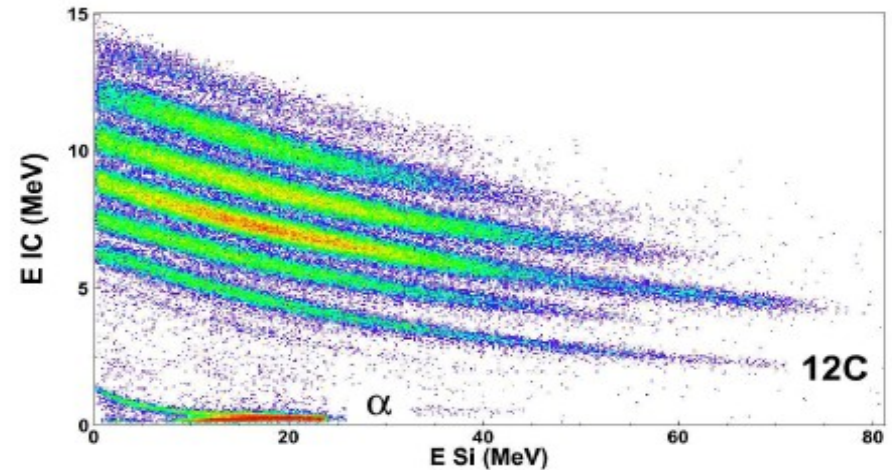
C+C a 95MeV



GARFIELD *CsI fast – slow*



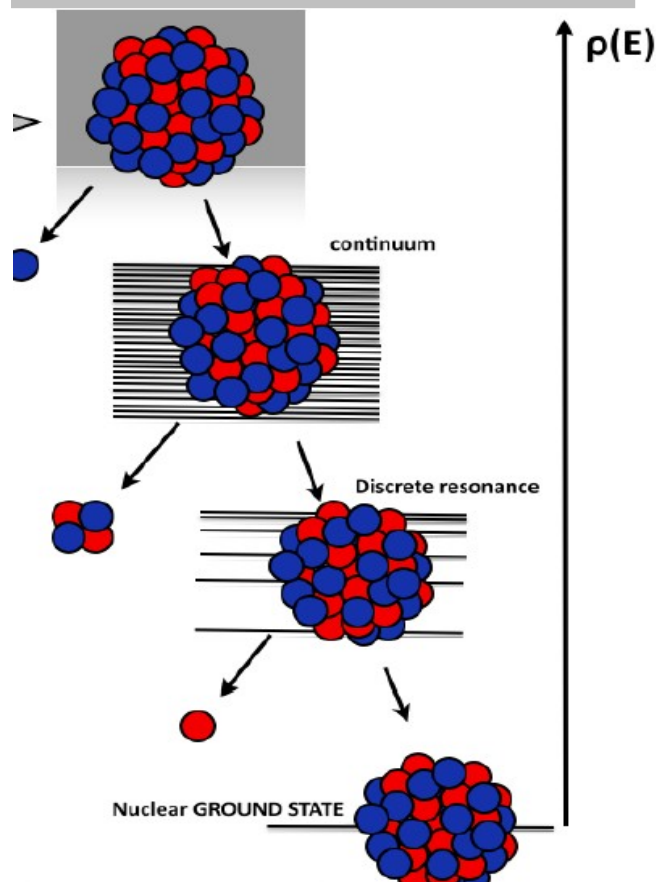
The RCo IC vs. *Si-E*



Identificazione di Z (e A) e misura di energia per ioni in avanti (6-16deg) con buona risoluzione angolare

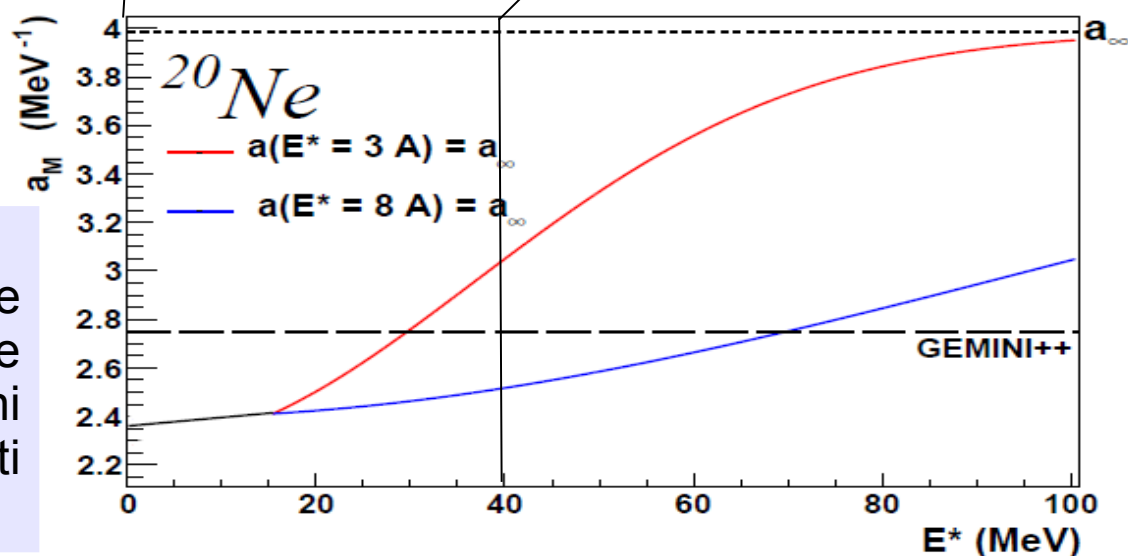
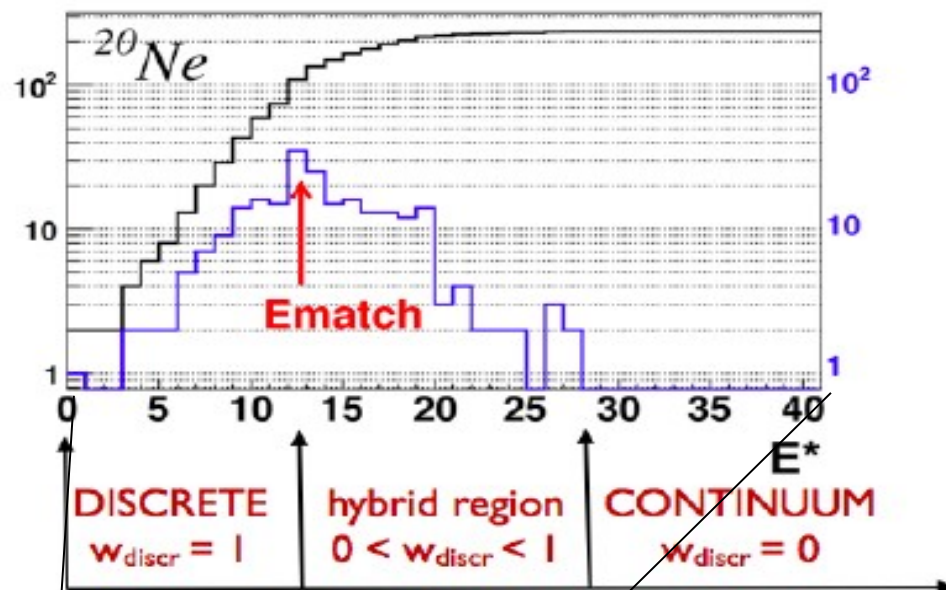
Grande copertura tra 30 e 150 gradi di particelle leggere misurate e identificate in Z (e A) dai CsI di GARFIELD

Statistical decay



Regolazione fine dei parametri di modello evaporativo (in particolare la densità di livelli nucleari) sulla base dei DataBase nucleari, su prescrizioni pubblicate e su test sui nostri dati sperimentali

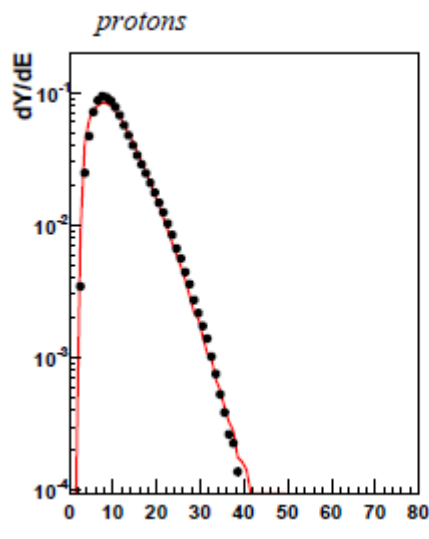
$$w_{discr}(E_d^*) = \frac{dN(E^*)/dE^*(E_d^*)}{d\rho(E^*)/dE^*(E_d^*)}$$



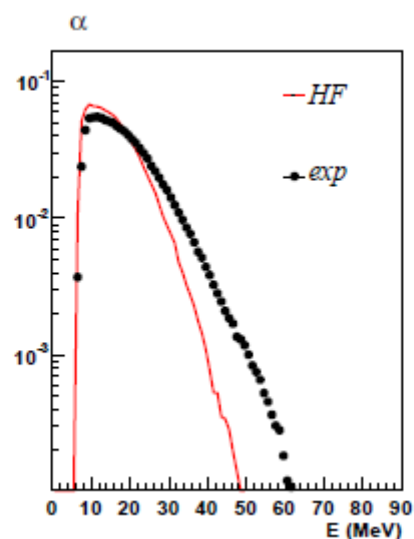
FusEvap channel selection

- **completeness** of the detection $Z_{det} \geq 80\%(Z_{proj} + Z_{targ})$
- **coincidence** between LCP in GARF ($30^\circ \leq \theta_{lab} \leq 150^\circ$) and ER in RCo ($5^\circ \leq \theta_{lab} \leq 17^\circ$)

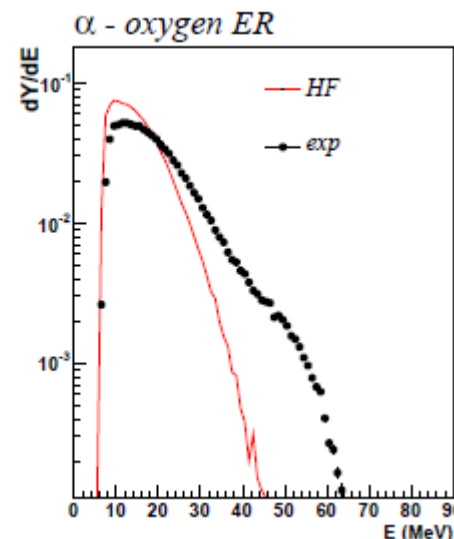
^{24}Mg ($E^* = 62 \text{ MeV}$) decay, $J_{CN} = \text{tria}(0; 12)\hbar$



Protoni perfetti!



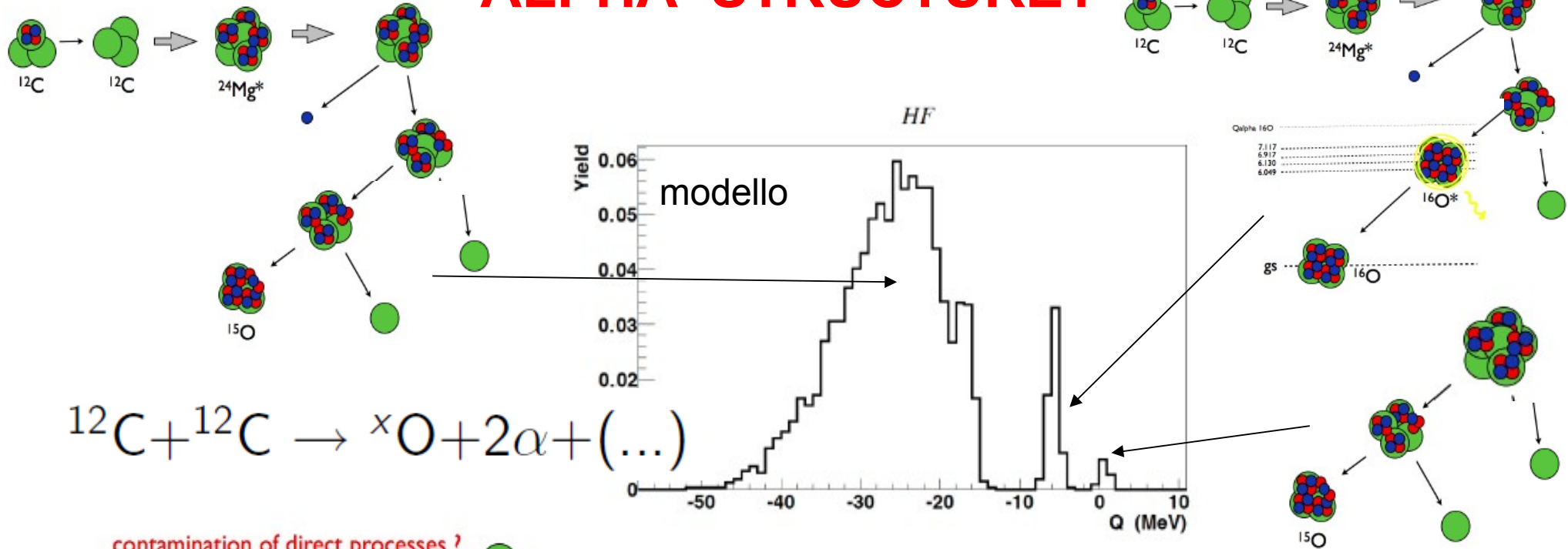
Alfa in eccesso!



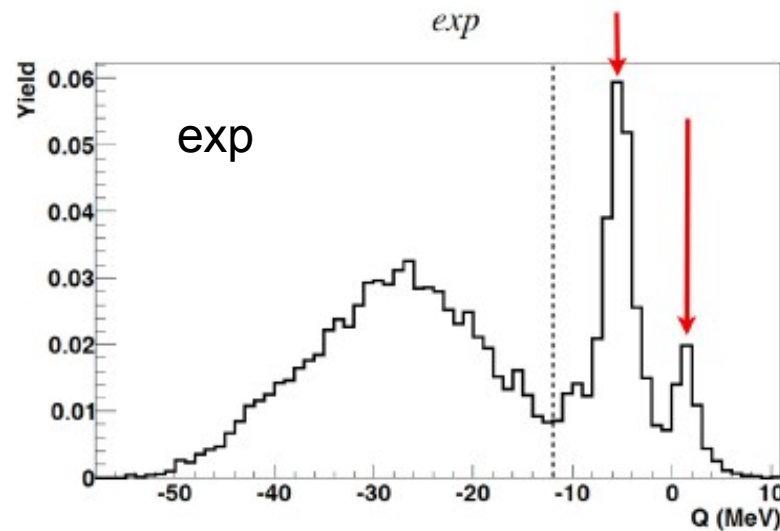
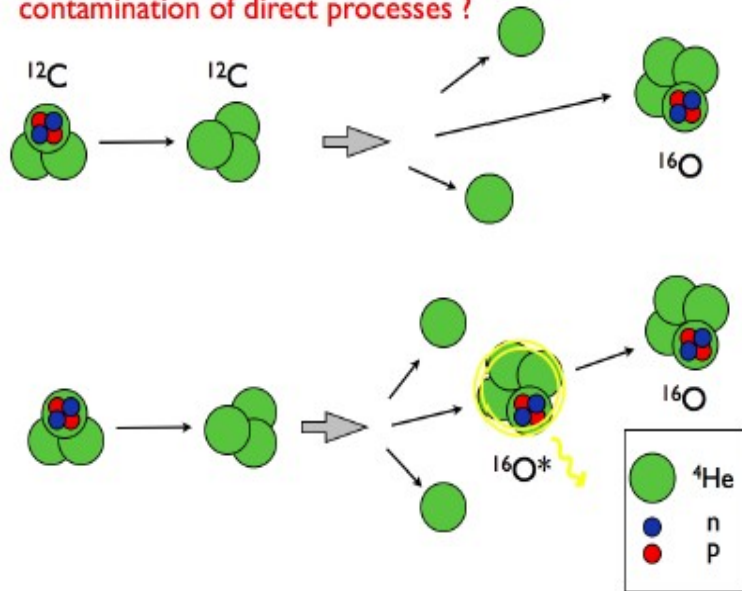
Sovrapproduzione di particelle alfa specie di alta energia e associate alla rivelazione di un ossigeno in avanti

Altre evidenze di emissione non compatibile con evaporazione statistica

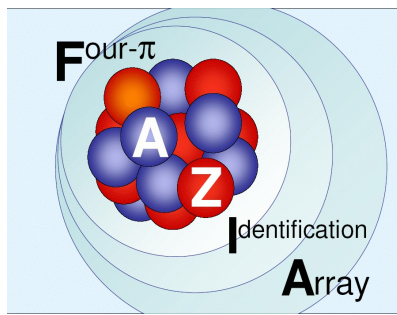
ALPHA STRUCTURE?



contamination of direct processes ?



In programma (autunno) un altro esperimento con stesso CN ma diverso canale di REAZIONE



A brief history of FAZIA

About 40 researchers,
engineers and technicians
now involved in FAZIA

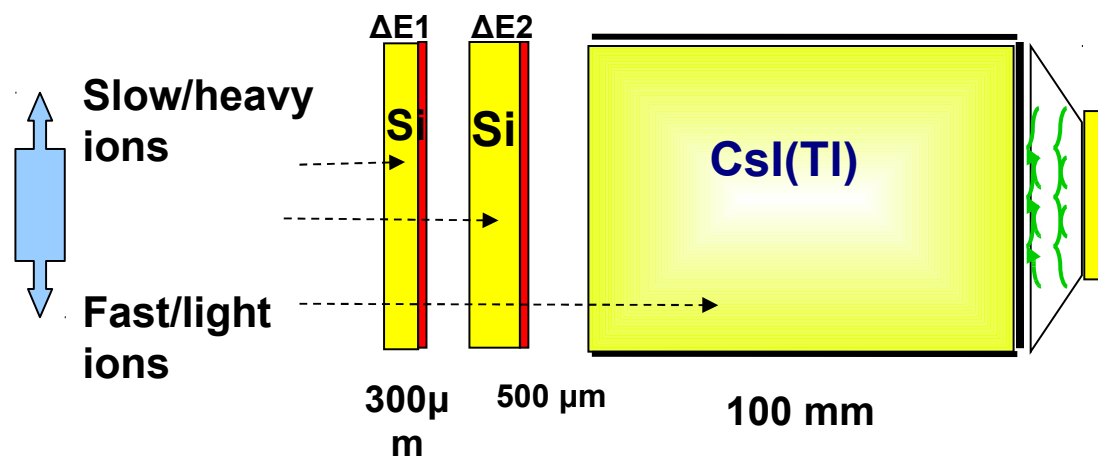


FAZIA dal 2006:

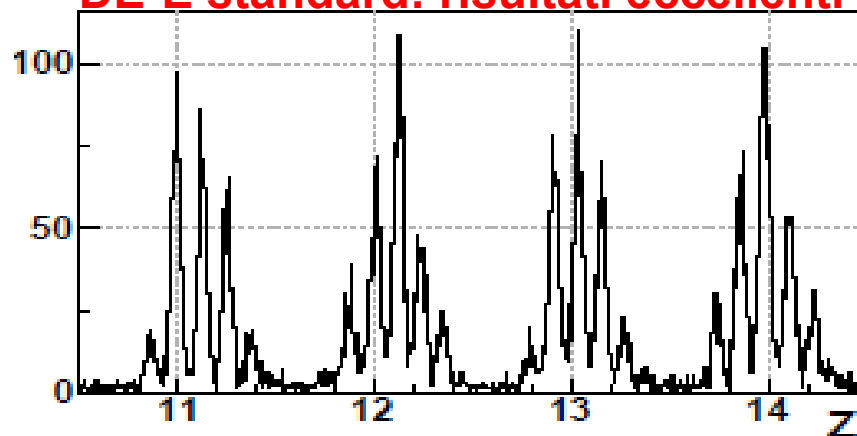
- 2006 ideas, organization, preliminary basis
- 2007 first experiment in LNL, Legnaro
- 2009 2 test experiments in LNS, Catania
- 2009 participation to Spiral2 Eu preparatory phase
- 2010 test experiment in GANIL
- 2011 test experiment in LNS, Catania
- 2011 **signature of a MoU**
- 2012 approved first BLOCK commissioning (LNS)

Identificazione in Z (A) di ioni

Bardelli NIM A 2009 Carboni NIM A 2012

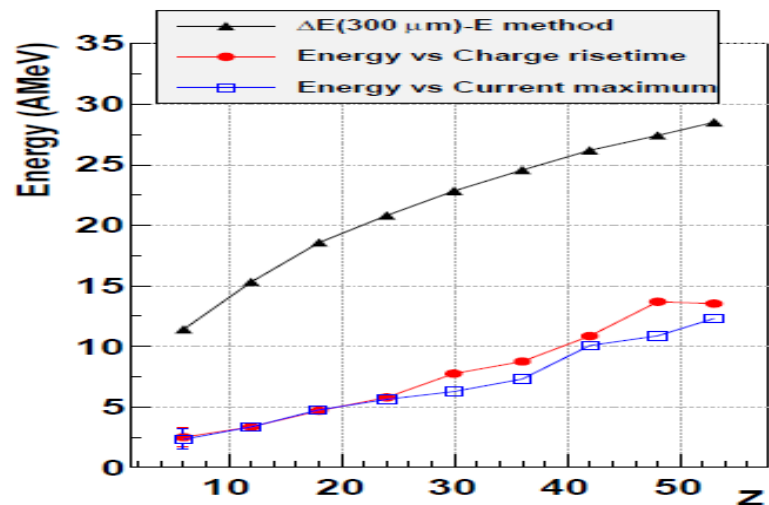


DE-E standard: risultati eccellenti



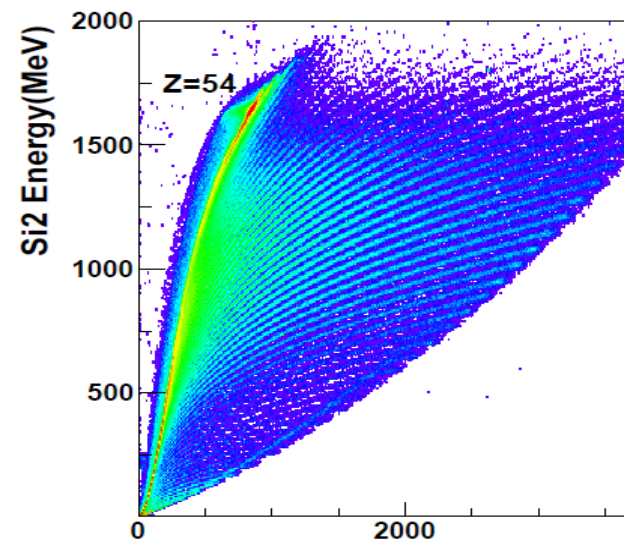
Ioni veloci che penetrano almeno nel secondo Si

Ioni lenti bloccati nel primo Si

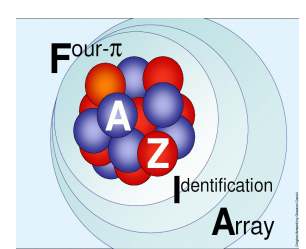


Digital PSA

CdS 4 luglio 2012 g.c.

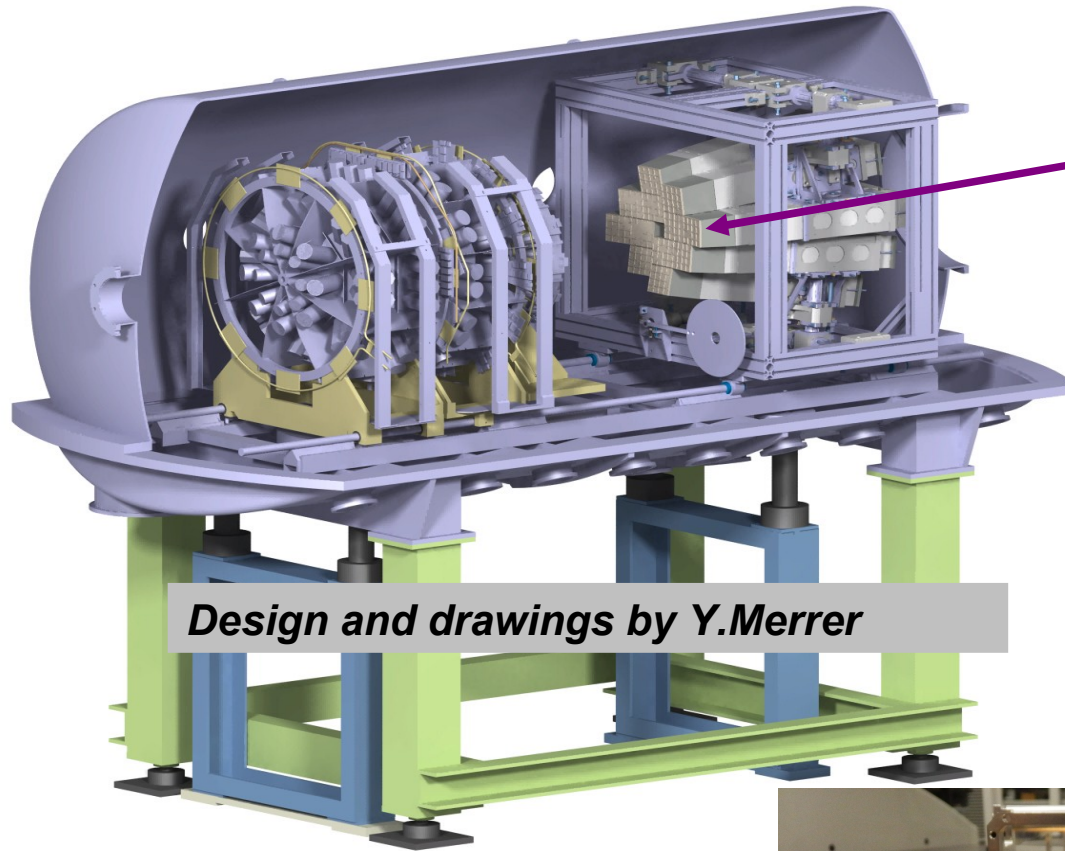


Towards the demonstrator

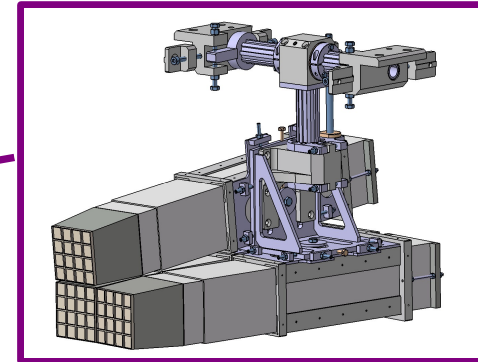


Demonstrator together with **INDRA** at **GANIL**

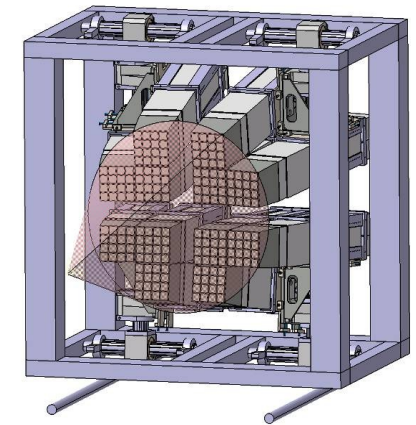
Schedule: **fall 2013-2015**



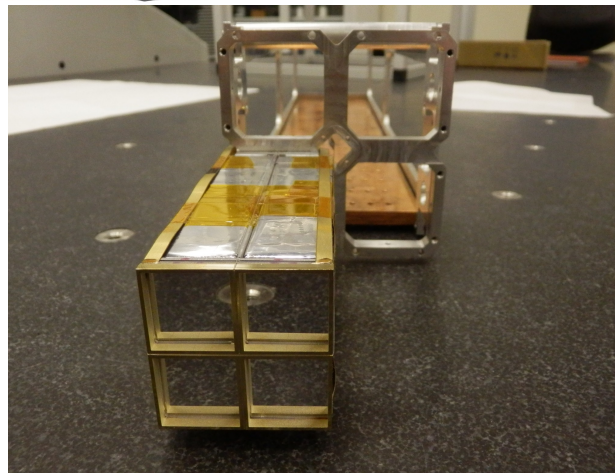
Design and drawings by Y.Merrer



Block held by supports in group of three

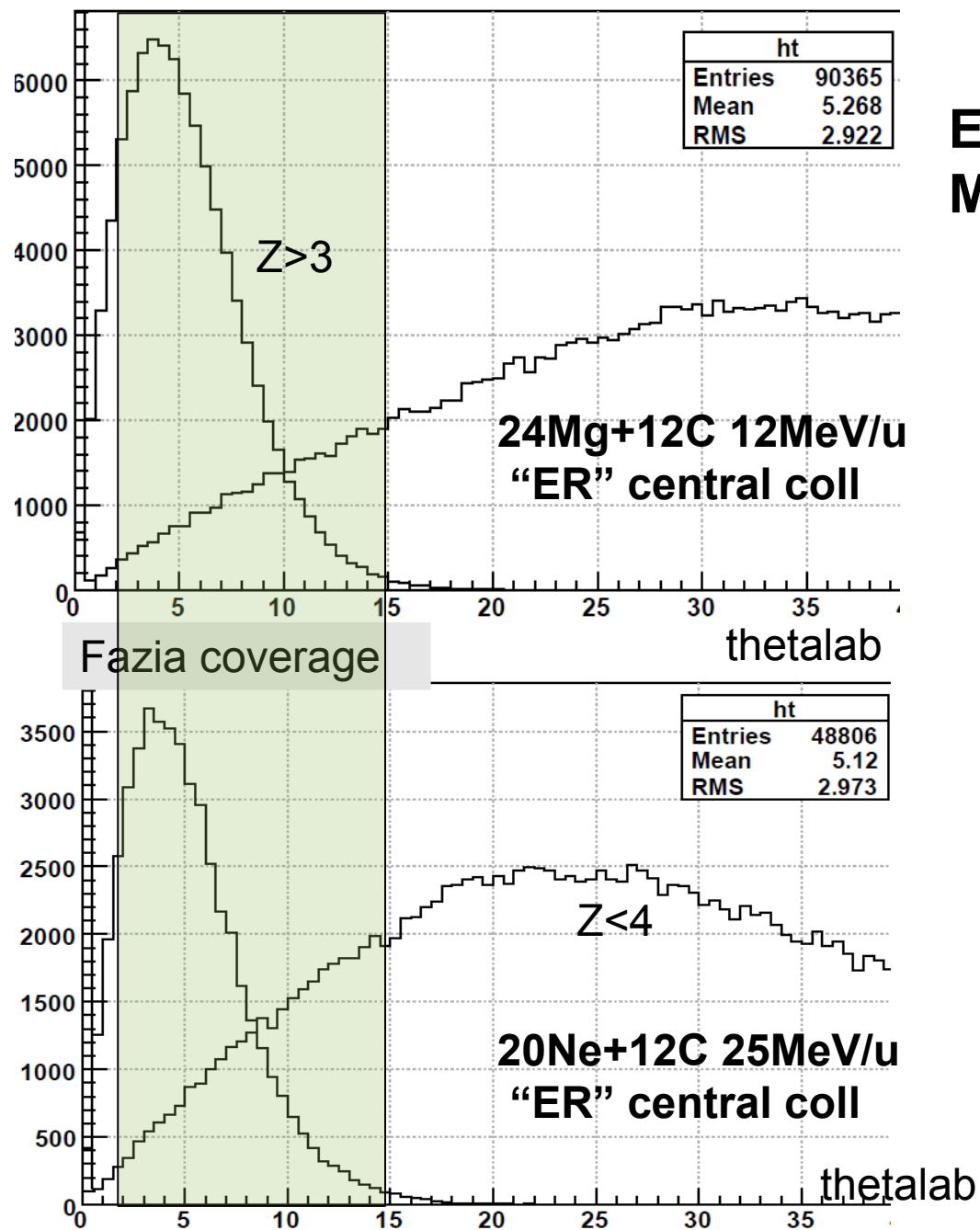
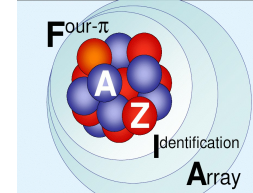


**192 telescopes organized
in 12 blocks, mounted at
100cm from target**

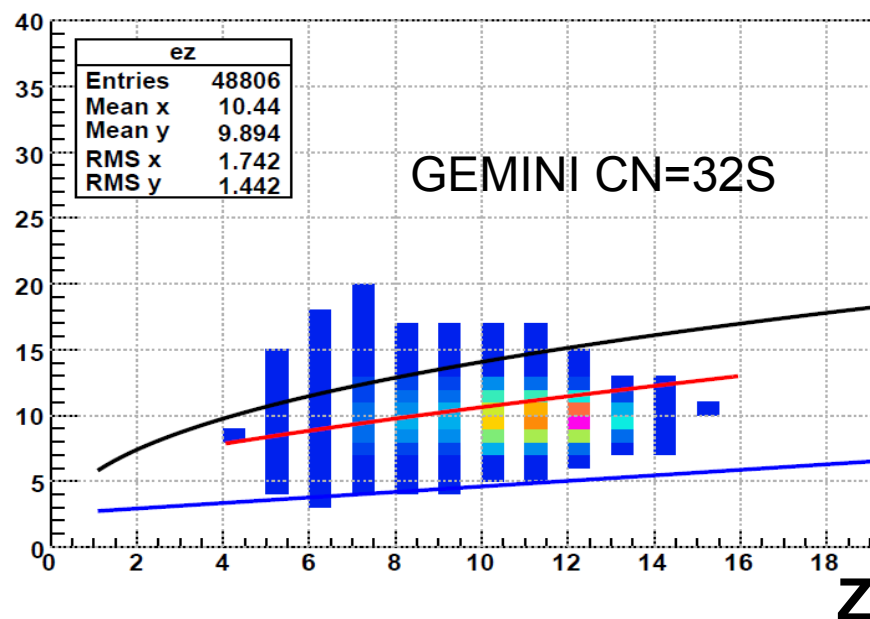
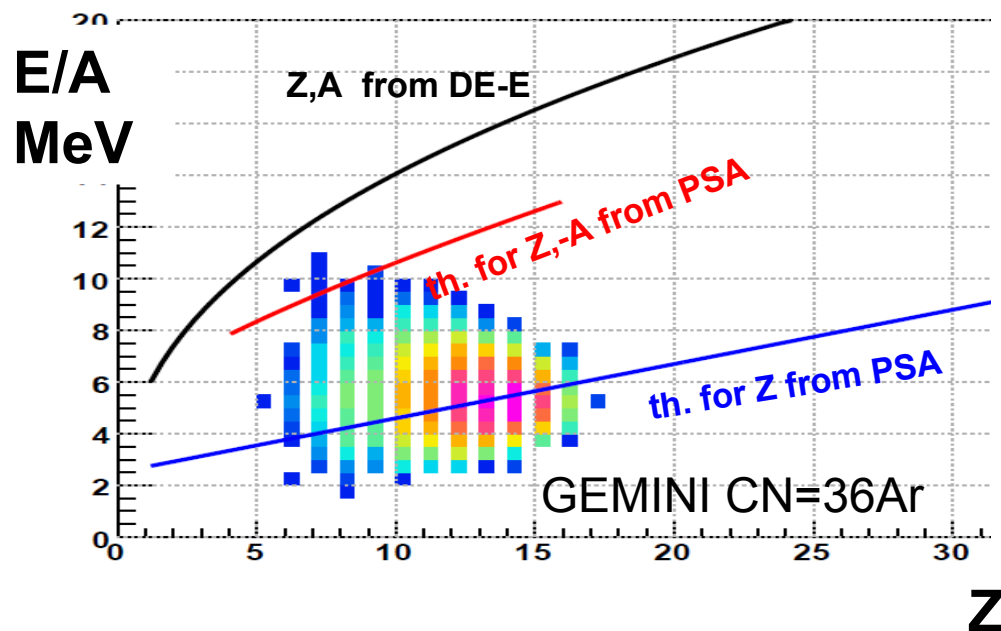


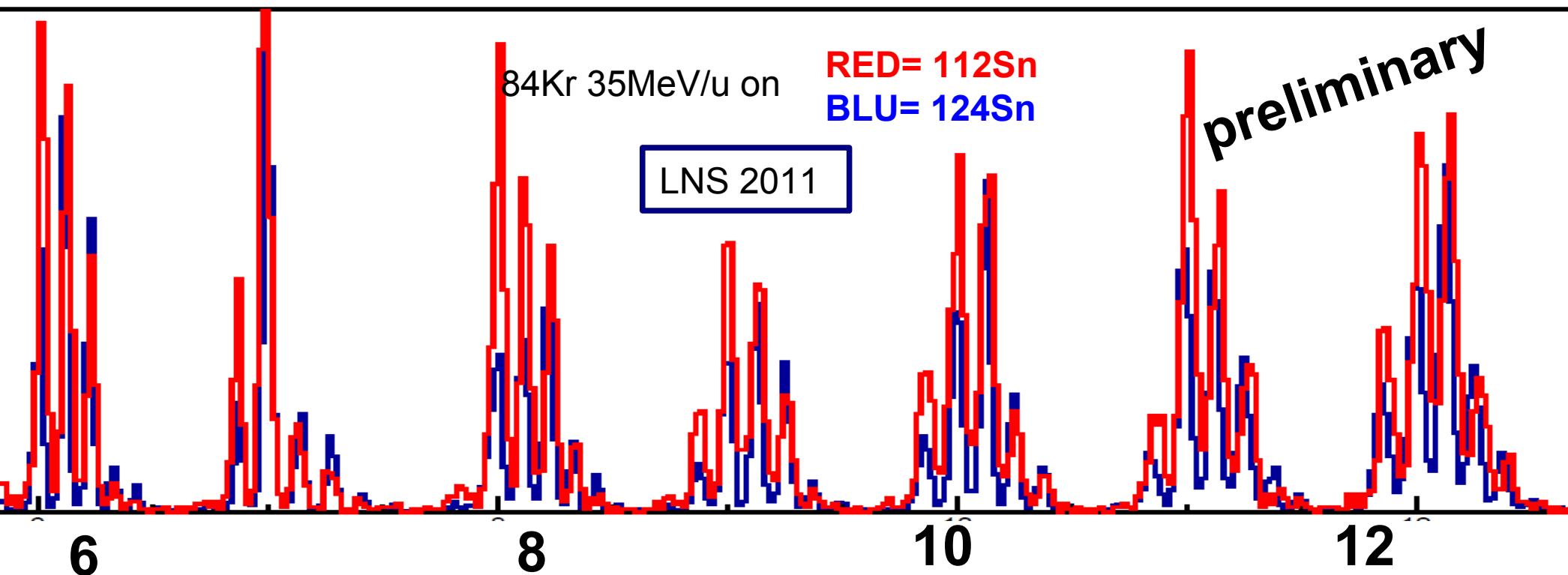
Assemblaggio in
camera pulita;
Prezioso contributo di
E.Scarlini!

Preliminary calculations: where FAZIA can do a good job....

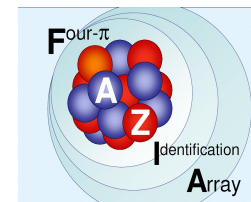
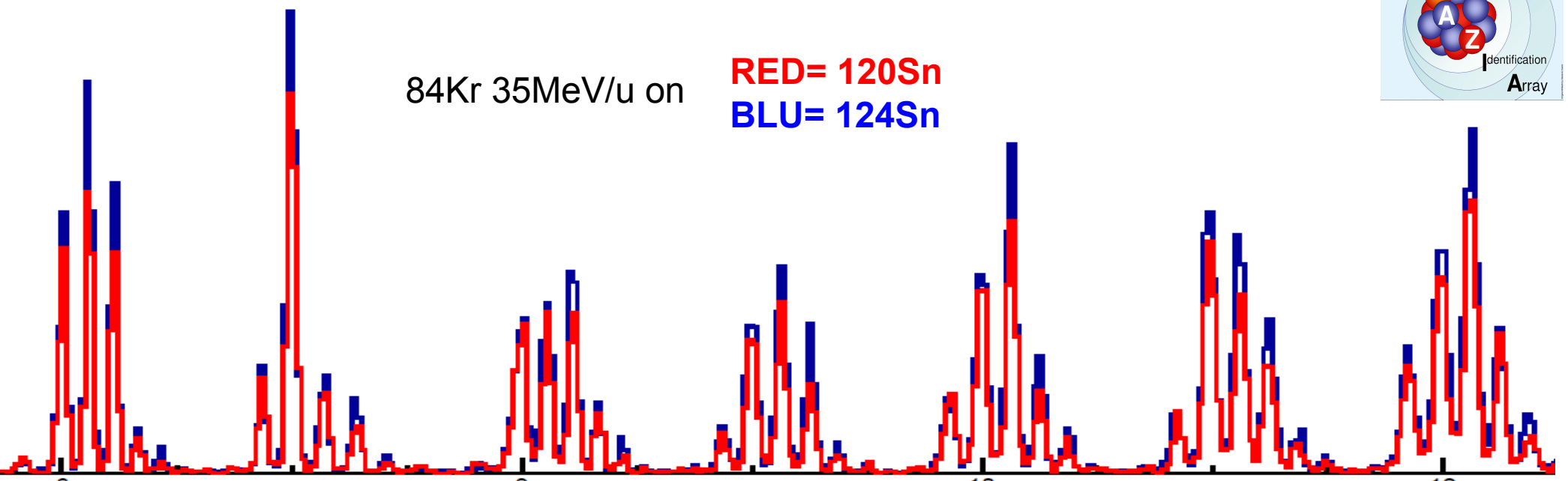


ER detection of light systems





IMF Yields normalized at the QP Z=34 yield



Non ancora definitiva

Richieste 2013

	A carico dell'I.N.F.N.											
	interno	estero	consumo	inviti	seminari	trasporti	pubblicazioni	manutenzione	inventario	licenze-SW	apparati	spservizi
GAMMA	9.00	4.00	9.00						20.00			
NUCLEX	19.00	8.50	8.50			0.50			3.50		50.00	1.00
Tot.Sigle	28.00	12.50	17.50			0.50			23.50		50.00	1.00
Dotazioni di CSN III	8.00	4.50	5.00		1.00	0.50	1.00	1.00	12.50	2.00		
Totale CSN III Firenze	36.00	17.00	22.50		1.00	1.00	1.00	1.00	36.00	2.00	50.00	1.00

FTE 9.3 RICERCATORI + 0.5 TECNOLOGI

SERVIZI

Impiego intenso della Camera Pulita di Sezione per bonding Si **FAZIA**
Richiesta di uso anche per **GAMMA** per il bonding di Silici per **SPIDER**

GAMMA officina meccanica 1mu

NUCLEX officina meccanica 1mu servizio elettronica 0.5mu servizio
tecnico 0.5mu

GIOVANI

2 assegnisti

1 borsa postdoc

2 (3) laureandi magistrali

CdS 4 luglio 2012 g.c.

Gruppo III: AZIONI EXTRA-INFN in atto

Ottimizzazione della risoluzione spaziale ed imaging in scintillatori per la Fisica Nucleare ed applicazioni.

Punteggi dei referee: 97/100 100/100

PI Sandro Barlini UNIFI Assegno

Partecipazione S.Piantelli e G.C,

Coinvoglimento INFN Milano

FIRB

Sviluppo e integrazione di rivelatori per esperimenti di fisica nucleare avanzata (approssimativamente....)

Passato a livello nazionale da Milano

PI A.Bracco UNIMI

Coinvolte UNINA, UNIFI (G.Poggi), UNICT, LNL, LNS

PRIN

Progetto di cooperazione Ministero Affari ESTERI per favorire la ricerca di base fra Italia e Polonia "Progetto Canaletto"

INFN LNL, INFN Fi

Promozione di un accordo tipo COPIGAL (F-Polonia) anche tra I e Polonia

Partecipazione al Copigal, LEA (I-F-Polonia meeting) Cracovia giugno 12



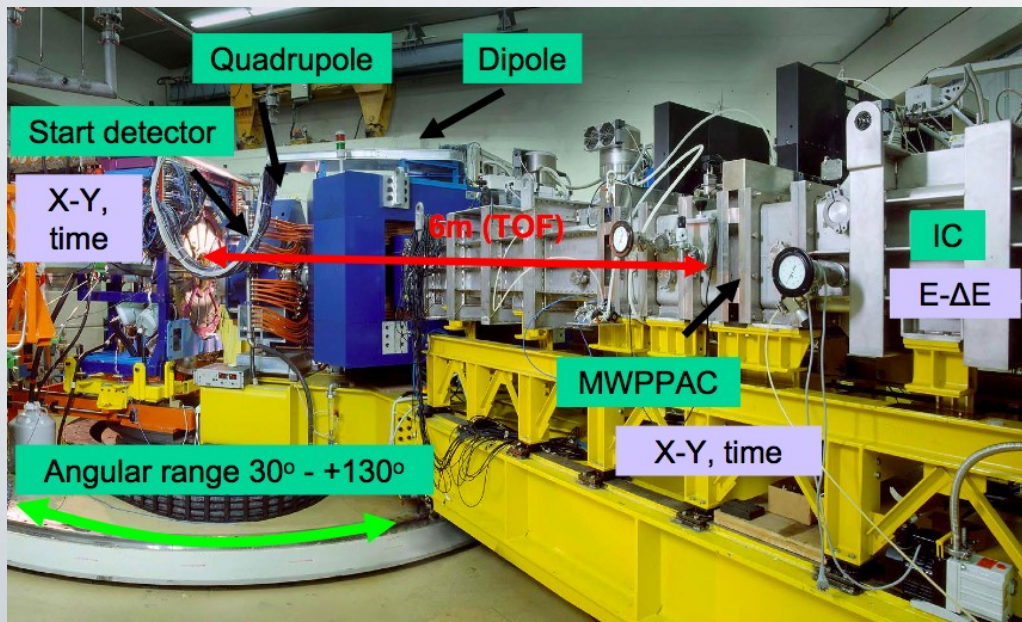
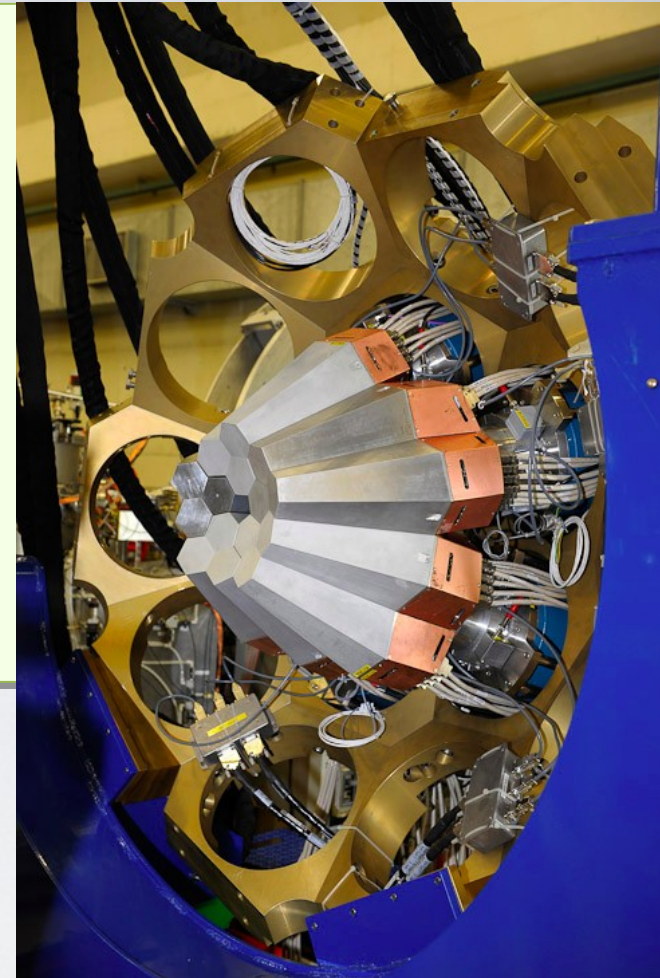
FINE

CdS 4 luglio 2012 g.c.

Misure ai LNL con AGATA - PRISMA

Il Dimostratore di
AGATA:
misura dei raggi
gamma

5 asymmetric triple-clusters
36-fold segmented crystals
540 segments
555 digital-channels
Eff. 3 – 7 % @ $M_\gamma = 1$
Eff. 2 – 4 % @ $M_\gamma = 30$
ONLINE PSA and γ -ray
tracking



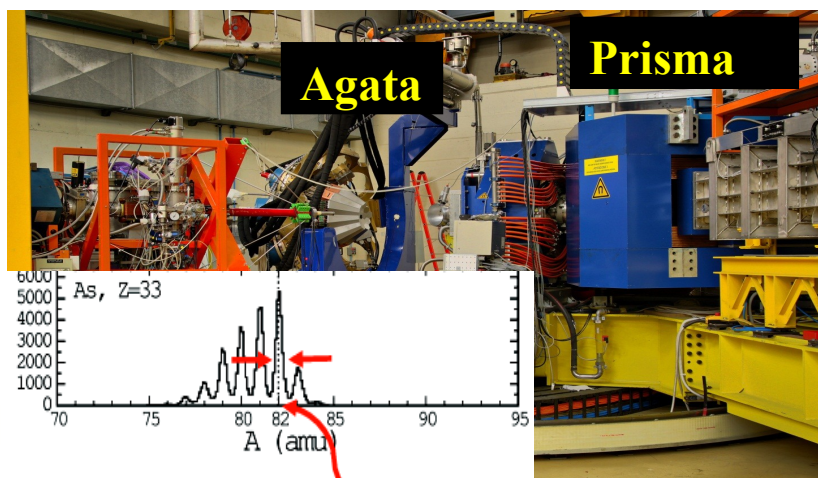
PRISMA: identificazione dei
nuclei prodotti nella reazione
(A, Z).

D5

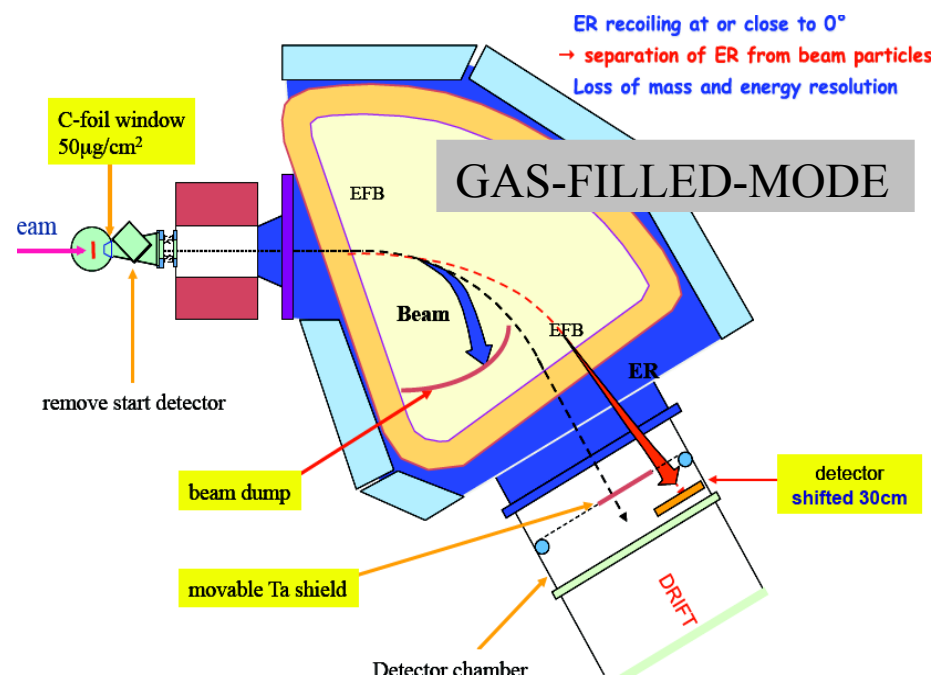
SPES Instrumentation: the present activity on PRISMA (available+R&D)



PRISMA is fundamental for RIB fusion studies (beam rejection capabilities 0deg)
 Operation under study: in vacuum or in gas-filled-mode, so to convey ER to the focal plane.
 Exotic CN detected: further decay could be studied with specific instrumentation.



Vacuum operation



Many experiments in LNL coupled with AGATA
 Upgrading under study: GFM operation; second arm for KCM, small LaBr3 array
 Coupling with AGATA (complete or not) or with GALILEO
 R&D very important for SPES experiments

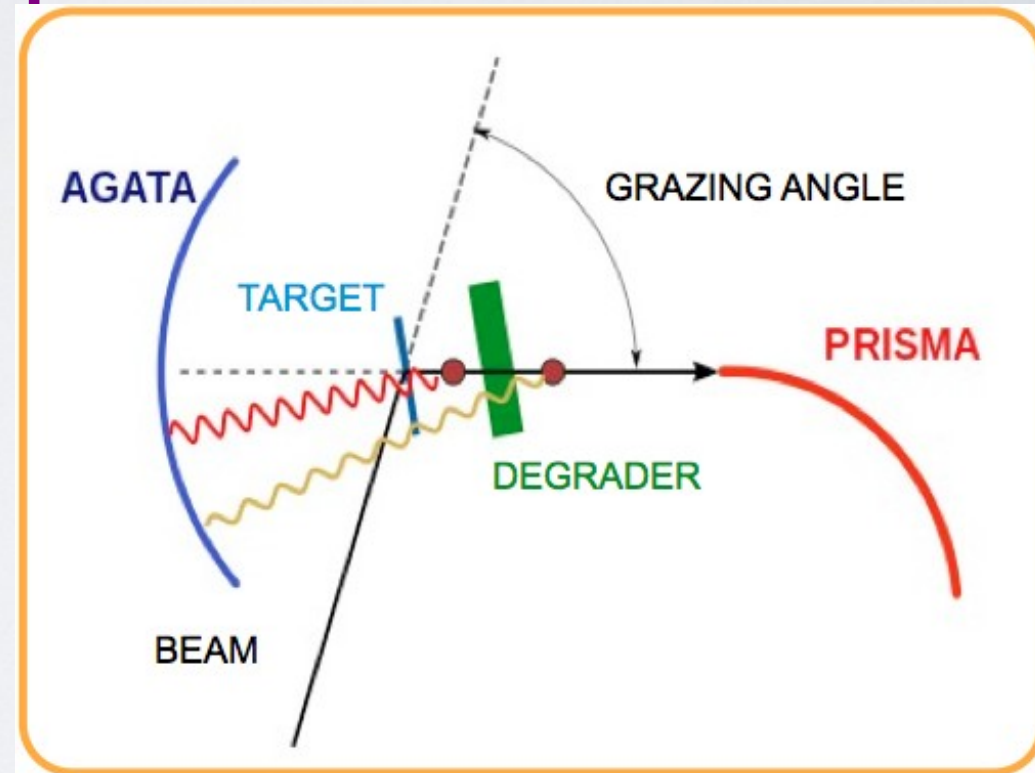
Roma, CSN3 31 january 2012

Misure ai LNL con AGATA - PRISMA

- RDDS lifetime measurement in the region of the neutron-rich doubly magic ^{132}Sn : Lifetime of the 6^+ state in ^{136}Te .
- Gamma-ray spectroscopy of the neutron-rich Kr and Se isotopes in the $N=56-60$ region.

Le vite medie degli stati eccitati sono state misurate con una tecnica che consente di impegnare il metodo del Recoil Distance Doppler Shift a nuclei ricchi di neutroni popolati via trasferimento di più nucleoni. È stato appositamente realizzato un plunger differenziale, dove il nucleo di interesse non viene fermato in un backing spesso ma attraversa un assorbitore per permetterne l'identificazione con lo spettrometro PRISMA.

L'analisi dei dati è in corso.



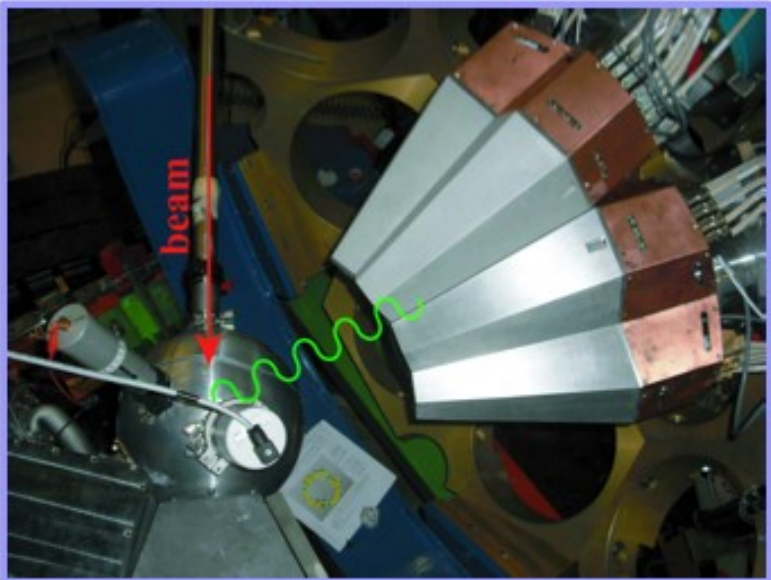
Misure di polarizzazione con AGATA

The angular distribution of Compton scattering is sensitive to the linear polarization of the incoming radiation:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{4} \left(\frac{k}{k_0} \right)^2 \left[\frac{k_0}{k} + \frac{k}{k_0} + 2(\cos^2 \theta - P \sin^2 \theta \cos 2\varphi) \right]$$

where P is the polarization and φ is the azimuthal angle.

In the usual Compton polarimeters, the cross section is measured only at a few values of φ . With the tracking of the Compton scattering (i.e. AGATA), the complete angular distribution can be measured.



Two AGATA Demonstrator modules (six counters) positioned in a way to select γ not far from 90° with respect to the beam direction. Partially polarized γ rays are produced by Coulomb Excitation of the first excited states in ^{104}Pd and ^{118}Pd , bombarding two enriched targets with a ^{12}C beam @ 32 MeV.

The results have been presented to the EGAN 2012 workshop (Orsay 25-27 June 2012).

CdS 4 luglio 2012 g.c.

I fattori giromagnetici degli isotopi pesanti della catena dei Nd sono stati riprodotti, ottenendo il miglior accordo rispetto ai modelli teorici correnti [2].

Studi nell'ambito del modello a bosoni interagenti

- È stata studiata la transizione di fase $U(5) - SU(3)$ utilizzando una Hamiltoniana a un solo parametro. Particolare attenzione è stata rivolta agli effetti ricollegabili al numero finito di bosoni e all'interazione dei moti rotazionali e vibrazionali [3].
- Le recenti misure, di grande precisione, dei fattori giromagnetici degli isotopi pari di Pd e Ru hanno reso possibile un test stringente dei modelli nucleari correnti. Un buon accordo è stato ottenuto con il modello IBA-2, che ha anche messo in luce l'effetto dell'interazione di strutture di particella singola e collettive in ^{104}Pd [4].

[1] A. Giannatiempo, Phys. Rev. C 84, 024308 (2011).

[2] A. Giannatiempo, Phys. Rev. C 84, 034319 (2011).

[3] A. Giannatiempo, L. Fortunato, A. Vitturi, inviato per la pubblicazione.

CdS 4 luglio 2012 g.c.

[4] A. Giannatiempo, inviato per la pubblicazione.

Misure di Coulomb Excitation con fasci radioattivi (RIB)

Coulomb Excitation in inverse kinematics is the most general and simple method capable to provide crucial information on nuclei off the valley of stability (excitation energies, electromagnetic transition rates, quadrupole moments).

The technique for measuring CE of RIBs requires a high efficiency for both the gamma and particle detector due to the low intensity of the available beams.

We propose to perform CE experiments by measuring at forward angles projectiles scattered on a heavy target to provide a clean trigger for γ -ray selection. γ -rays could be detected by the germanium array available at LNL.

