

MOTIVAZIONI DELLA PROPOSTA NUCL-EX

termodinamica

Studio **sperimentale** di un fluido nucleare di
van der Waals – Collisioni fra ioni pesanti

Scopi: studiare la termodinamica di un sistema nucleare
(finito, carico, 2 componenti)
osservabili per identificare la transizione di fase

Studio: sistemi a diverse energie di eccitazione
reazioni periferiche - funzioni di eccitazione
reazioni centrali - energia di eccitazione ben definita

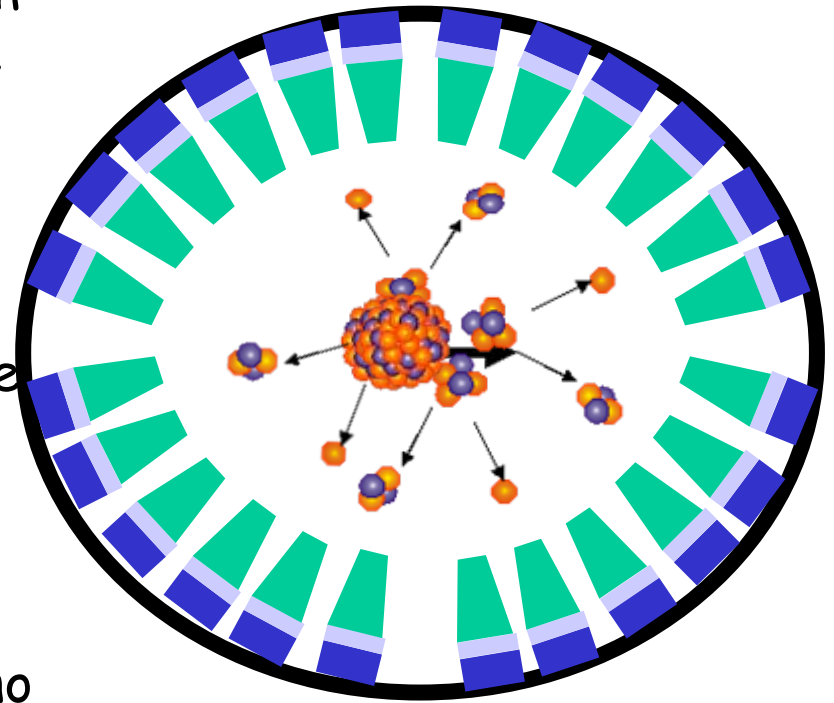
Dai prodotti di reazione misurati ottenere informazioni su:

- ❖ partizioni primarie
- ❖ equilibrio
- ❖ comportamento critico
- ❖ segnali termodinamici

Collisioni fra ioni pesanti: Apparatati a 4π

- Z_i , k_i , θ_i , φ_i sono misurati per quasi tutti i prodotti carichi, evento per evento, con buona risoluzione energetica (pochi %) e basse soglie energetiche (rivelatori a gas). Le masse m_i sono misurate per frammenti leggeri
- Frammenti e particelle sono rivelati a $\sim 10^{14}$ fm/c, con le stesse caratteristiche di 10^3 fm/c, poichè la propagazione in vuoto non permette interazioni con la materia
- Analisi statistiche multidimensionali su osservabili globali per evento permettono di selezionare gli eventi in classi di centralità
- Il sistema che decade può essere identificato e la sua energia di eccitazione ottenuta per calorimetria dal bilancio energetico:

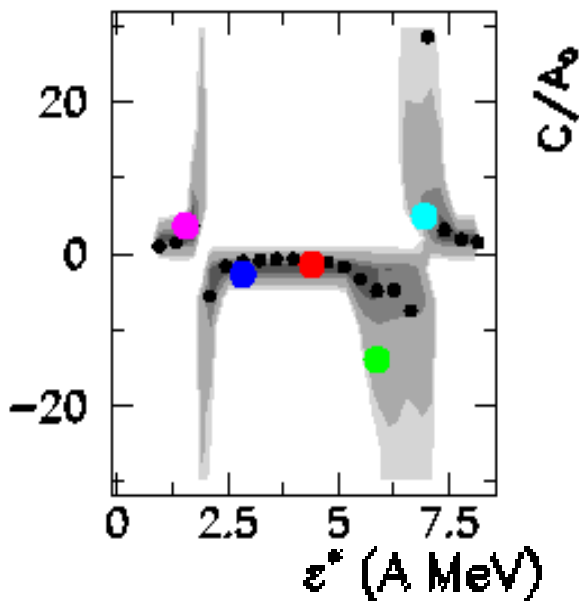
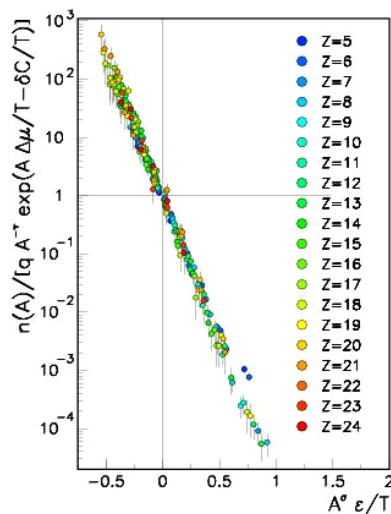
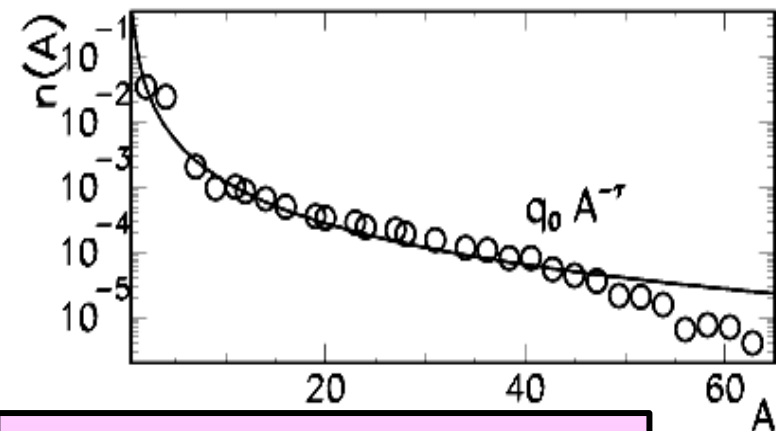
$$E^* + m_0 = \sum_{i=1}^M (m_i + k_i) + M_n (m_n + k_n)$$



Multics&Miniball
Garfield

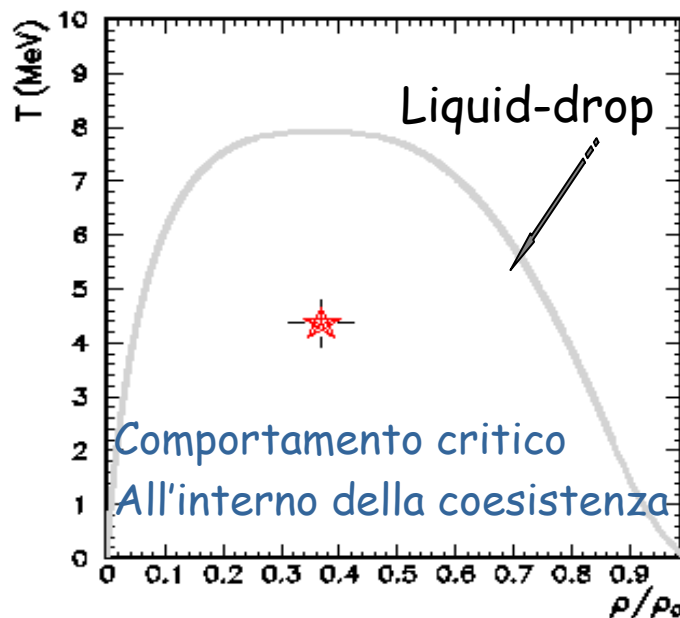
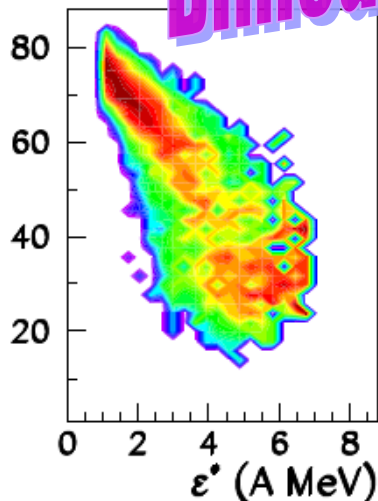
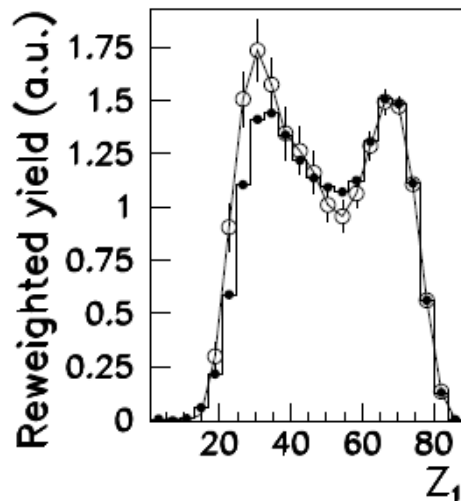
Indra, Isis, Fasa,
EOS, Lassa,
Nimrod, ...

Transizione di fase liquido-gas



	Au	Liquido-Gas
τ	2.1 ± 0.1	2.196 ± 0.024
σ	0.66 ± 0.02	0.647 ± 0.006
ϵ_c^*	$4.4 \pm 0.1 \text{ A MeV}$	

Bimodalita'



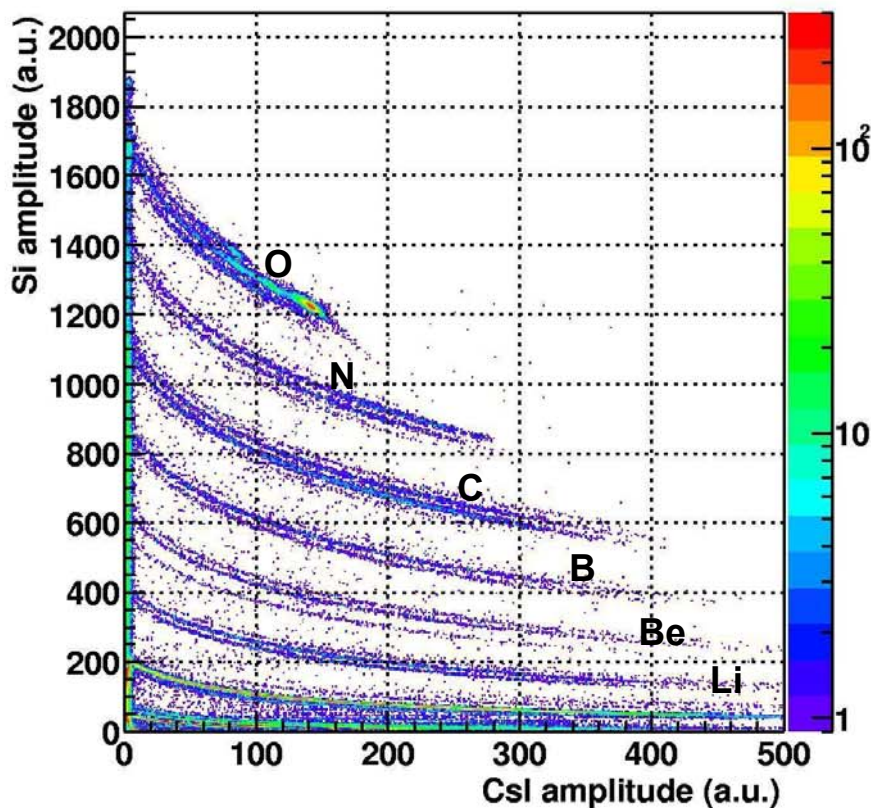
Elettronica digitale

risultati ottenuti con un telescopio Si-CsI del RCo

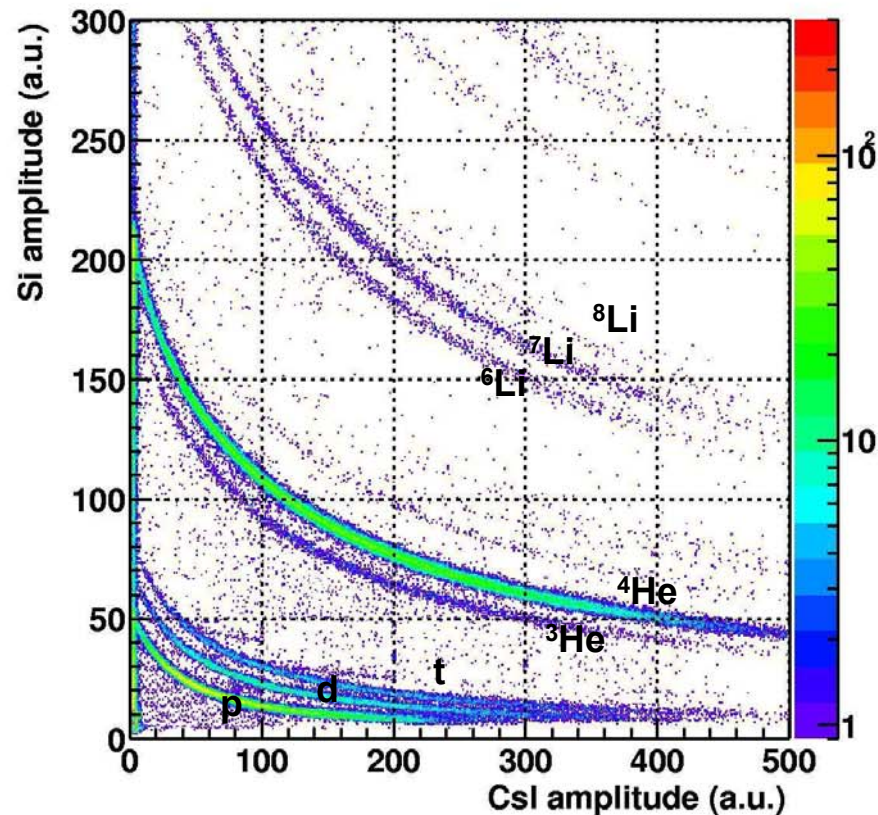
Digital Standard Si-CsI(Tl) Telescope

L. Bardelli et al: LNL Annual Report (2002)

ΔE -E correlation from digitized data



Digitized data: expanded view



Elettronica digitale - grafici on-line giugno 2006

8 scintillatori CsI(Tl) su 180 (due settori in avanti) trattati in modo digitale dal nostro FADC/DSP nell'esperimento con Garfield - Giugno 2006

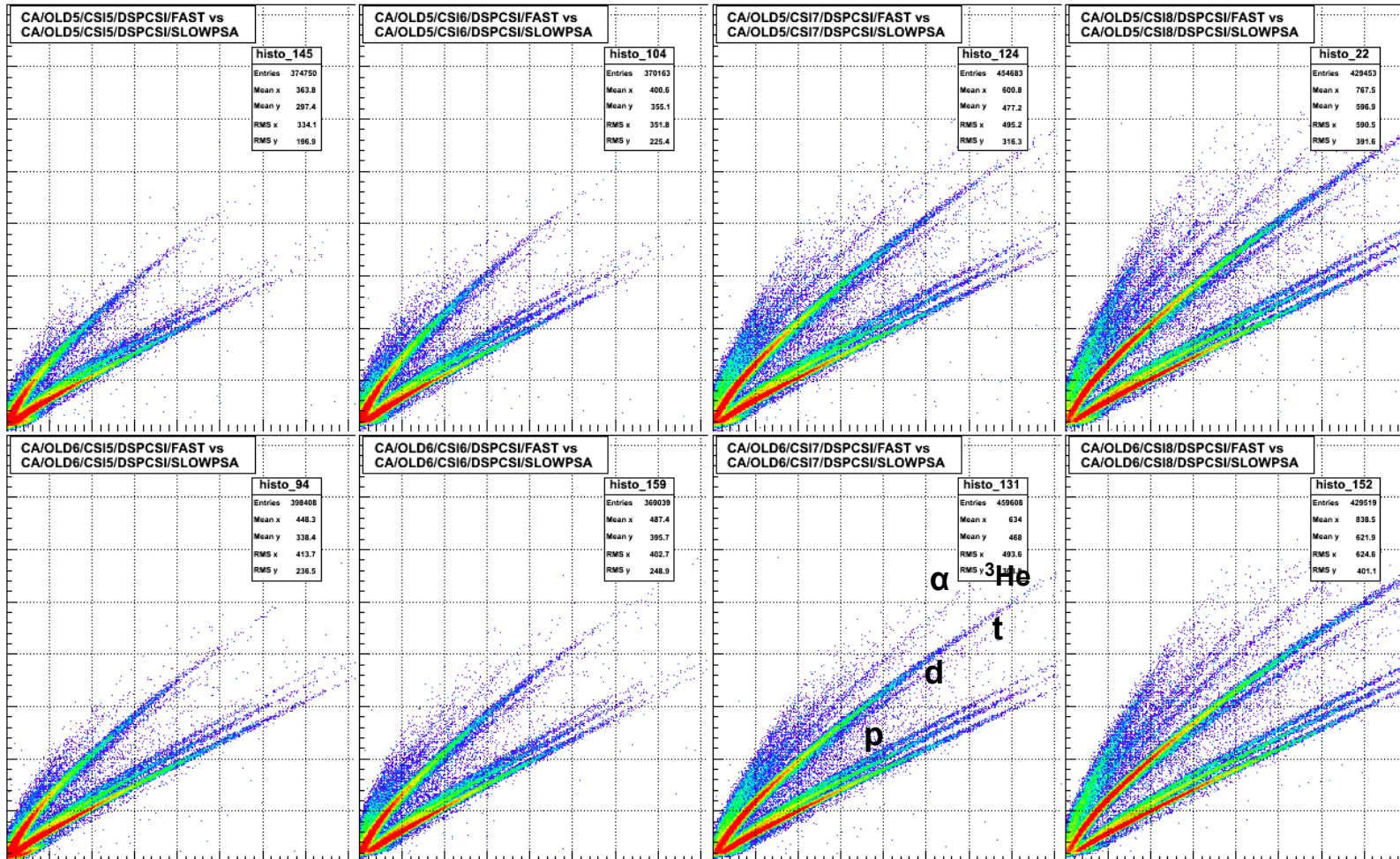
fascio ALPI - LNL:

$^{32}\text{S} + ^{63}\text{Cu}$ @ 16,5 A MeV



GARFIELD DATA MONITOR

***** END OF FILE *****



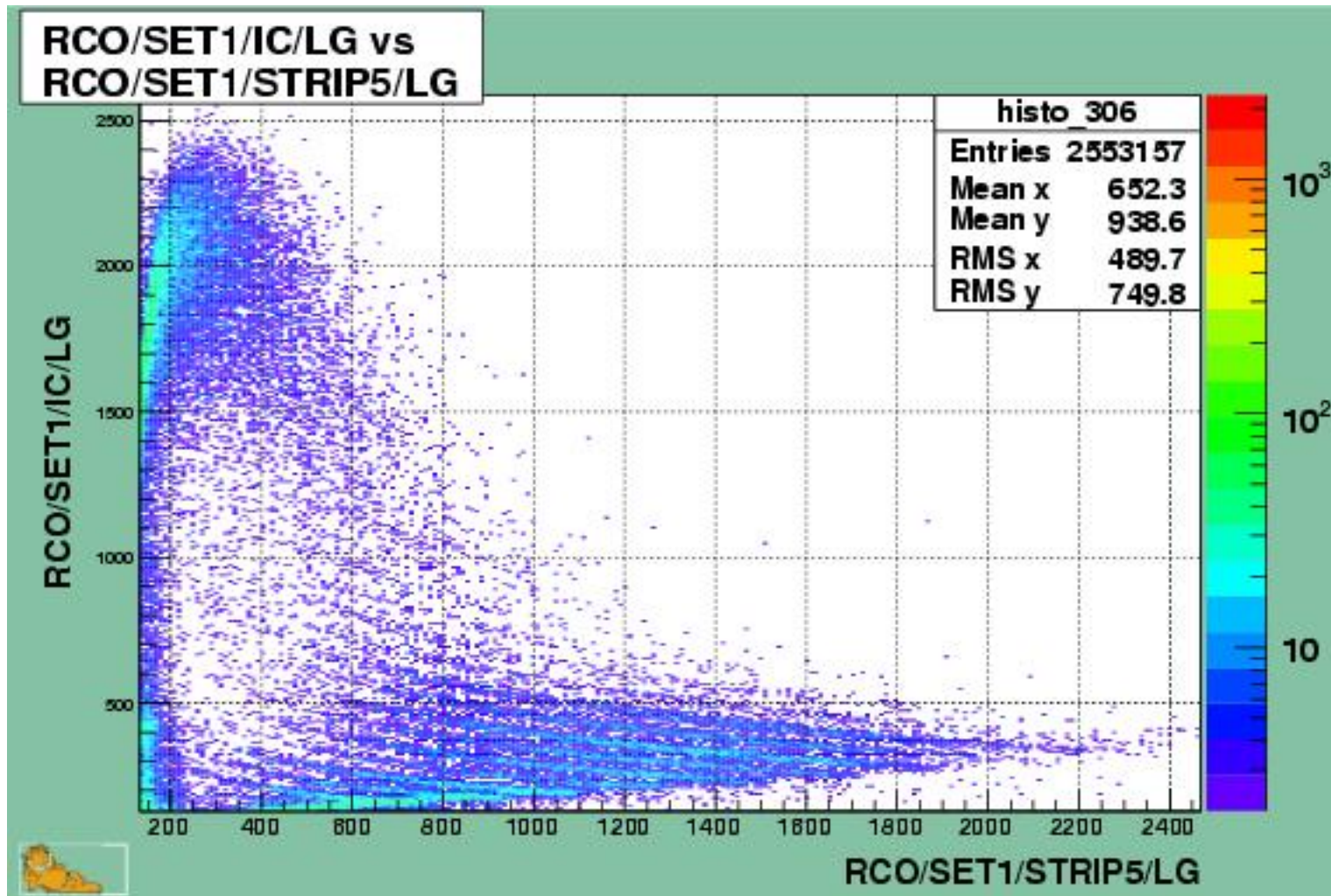
CsI(Tl)

PA

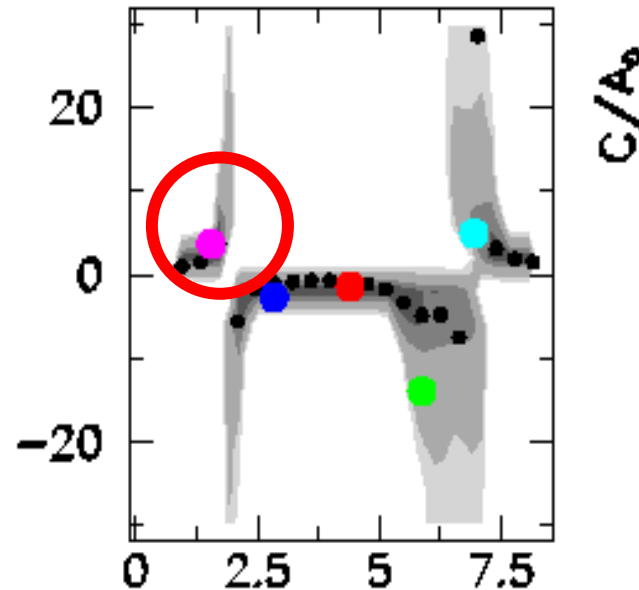
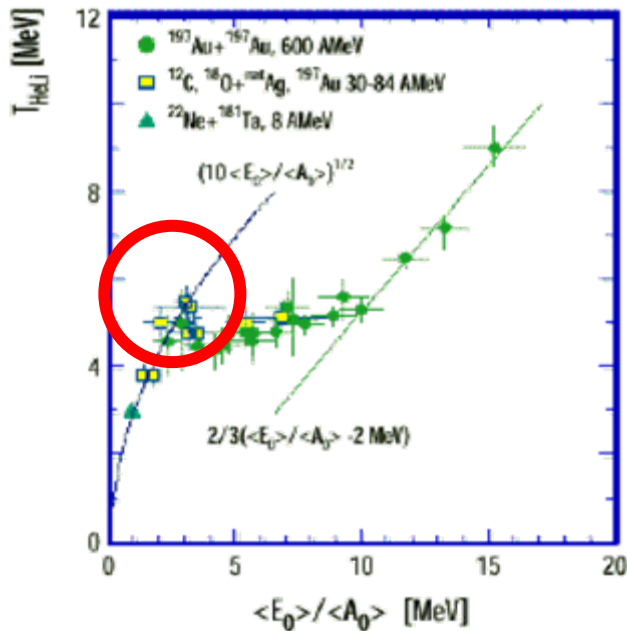
A
D
C
+
D
S
P

Grafici on-line della misura di giugno 2006

Camera a ionizzazione – Si del RCo



Programma futuro – termodinamica



Studio dell'apertura del canale di multiframmentazione

Esperimenti a LNL (Garfield + RCo) **FAZIA ???**

Studio dell'evoluzione del canale di multiframmentazione

Esperimenti a LNS (Garfield + RCo + rivelatori supplementari)

FAZIA ???

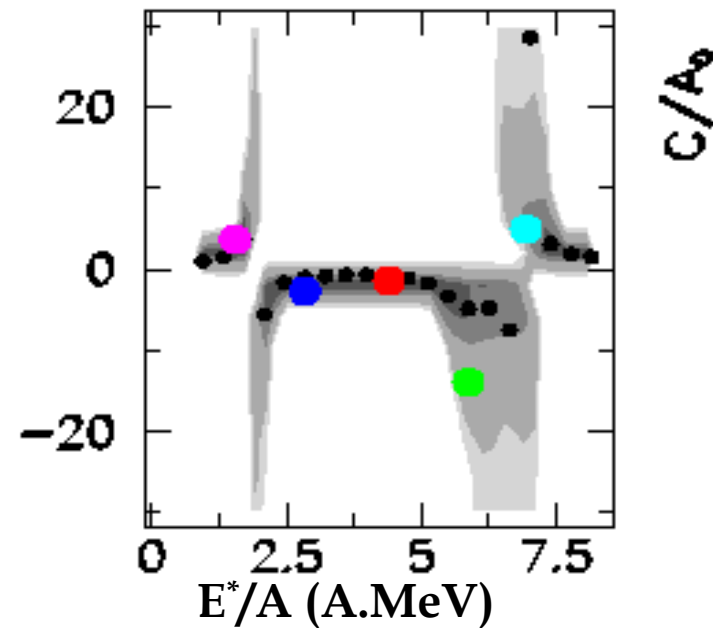
INFORMAZIONI SPERIMENTALI COINCIDENTI

- Una migliore informazione quantitativa
- Informazioni sperimentali coincidenti sono necessarie su:

- Partizione critica del sistema, fluttuazioni
- energia di eccitazione calorimetrica
- temperatura isotopica
- vicinanza dei prodotti di decadimento

Rivelazione a 4π
di massa e carica !!

Multics NPA 2004

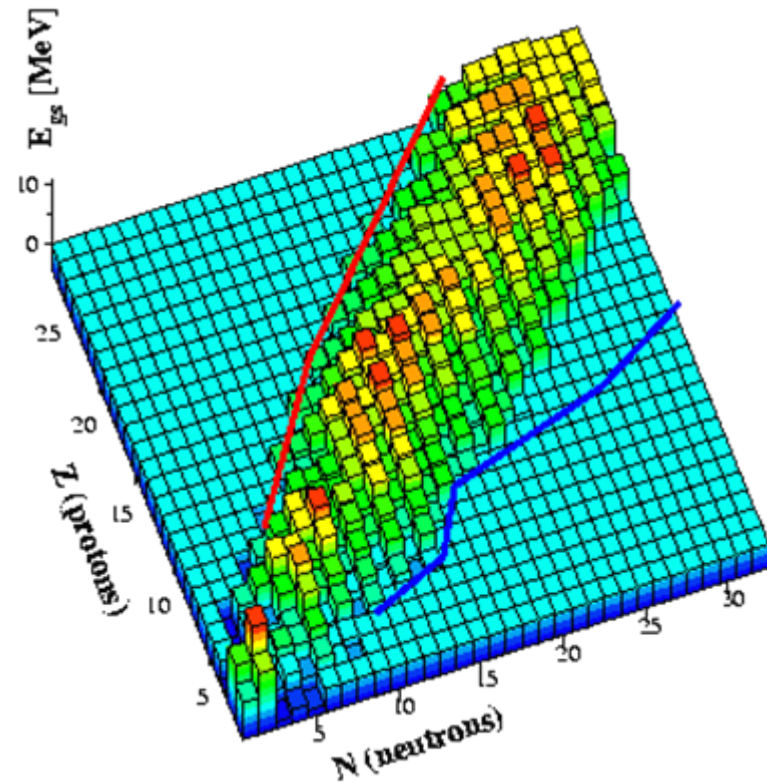


Multics	$E_1=2\pm0.3$	$E_2=6.5\pm0.7$
Isis	$E_1=2.5$	$E_2=7.$
Indra		$E_2=6.\pm0.5$

Cosa ancora e' attuale per misure future?

Una dimensione ulteriore dell'EoS

sono necessari **fasci di ioni stabili ed esotici** (SPES?? - FRIBS??) per investigare a fondo la transizione di fase variando:
le proprieta' Coulombiane e
il contenuto di isospin (N/Z)
della sorgente che frammenta



sistematica di misure che potrebbero essere effettuate a LNL nella situazione attuale

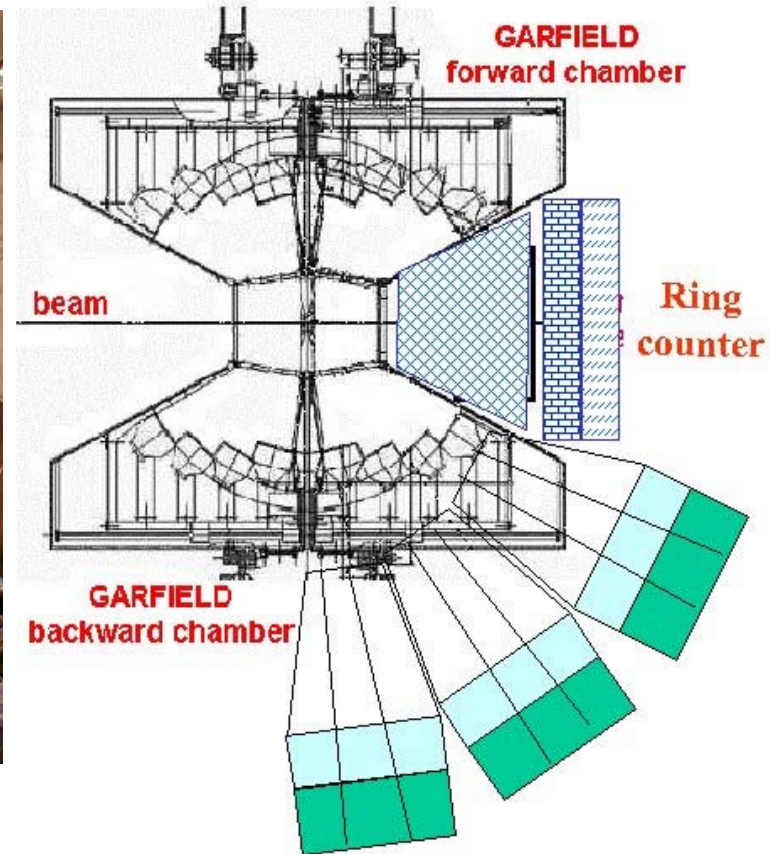
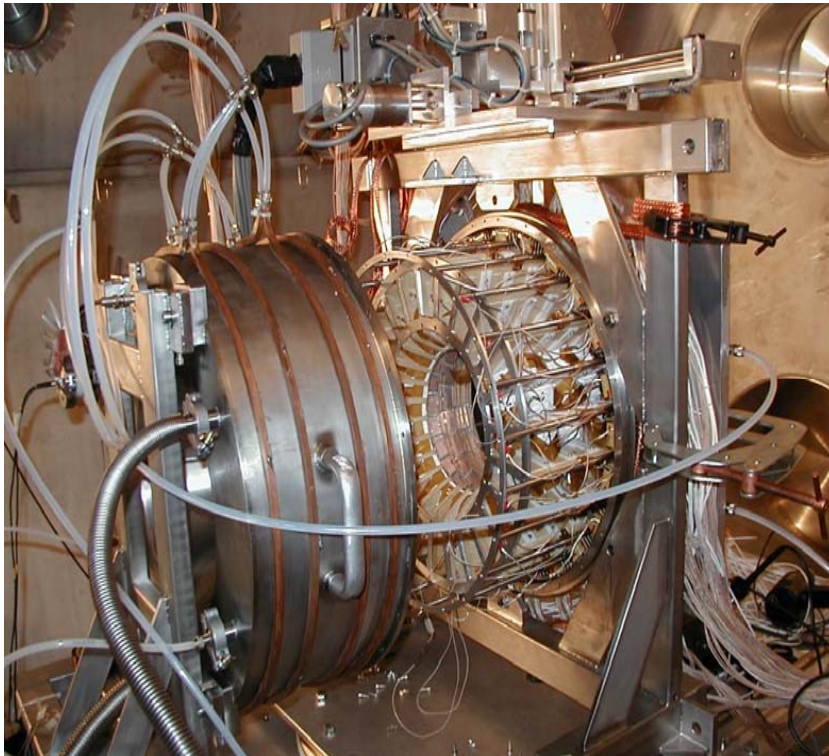
Reaction	Elab A.MeV	θ graz.	σ_{fus} (mb)	A,Z,N/Z c.n.	E* A.MeV	T MeV	T _{lim} MeV
April 2002 beams							
(14,28)Si + (28,58)Ni	19	6	425	80-39-1,05	3,8	6,5	6,7
(16,32)S + (28,58)Ni	17	7	470	84-41-1,05	3,6	6,3	6,8
(20,40)Ca + (28,58)Ni	16	7	480	91-45-1,02	3,7	6,4	6,0
(28,58)Ni + (28,58)Ni	13	9	565	109-53-1,06	3,2	6,0	5,2
(29,63)Cu + (28,58)Ni	12	9	630	116-54-1,15	3,0	5,7	5,9
(35,79)Br + (35,79)Br	10	13	760	156-69-1,26	2,5	5,3	5,5
(20,48)Ca + (28,64)Ni	16	6	570	103-44-1,34	3,8	6,4	8,3

sistematica di misure che potrebbero essere effettuate
se a LNL si realizzasse
la situazione prevista per il 2007

Reaction	Elab AMeV	θ graz.	σ_{fus} mb	A,Z,N/Z c.n.	E* AMeV	T MeV	T lim MeV
Future beams (6 new cryostats)							
(14,28)Si + (28,58)Ni	27	4	300	77-38-1,03	5,0	7,4	6,9
(16,32)S + (28,58)Ni	26	4	305	80-39-1,05	5,2	7,6	6,6
(20,40)Ca + (28,58)Ni	24	5	320	86-42-1,05	5,3	7,6	6,5
(28,58)Ni + (28,58)Ni	21	5	350	99-48-1,06	5,1	7,5	5,8
(28,58)Ni + (32,70)Ge	21	6	350	112-52-1,15	5,0	7,4	6,4
(28,58)Ni + (42,92)Mo	21	7	330	136-63-1,16	4,6	7,1	5,6
(28,58)Ni + (47,104)Ag	21	8	340	152-69-1,2	4,4	6,9	4,9
(29,63)Cu + (28,58)Ni	20	5	377	106-50-1,12	4,8	7,3	6,2
(35,79)Br + (28,58)Ni	17	6	440	126-58-1,17	4,0	6,6	6,3
(35,79)Br + (46,102)Pd	17	9	370	166-75-1,21	4,0	6,7	5,0
(20,48)Ca + (28,64)Ni	24	4	380	97-42-1,31	5,4	7,7	8,1

$$E_p/A_p < 25 \text{ A MeV} \quad A_{p+T} \sim 100$$

(Laboratori Nazionali di Legnaro-INFN-Italy)



apparato GARFIELD + RCo

- Soglie d'energia basse (camere a ionizzazione come ΔE)
- Alta granularita': 400 ΔE -E telescopi $\vartheta \approx 4^\circ$ - 150°
- Identificazione in massa ($1 \leq Z \leq 8$) fino a $\vartheta \approx 30^\circ$
- Elettronica digitale per discriminazione in forma del segnale CsI (identificazione in massa per $Z \leq 4$) e per Pulse shape Silici

The nuclear symmetry energy

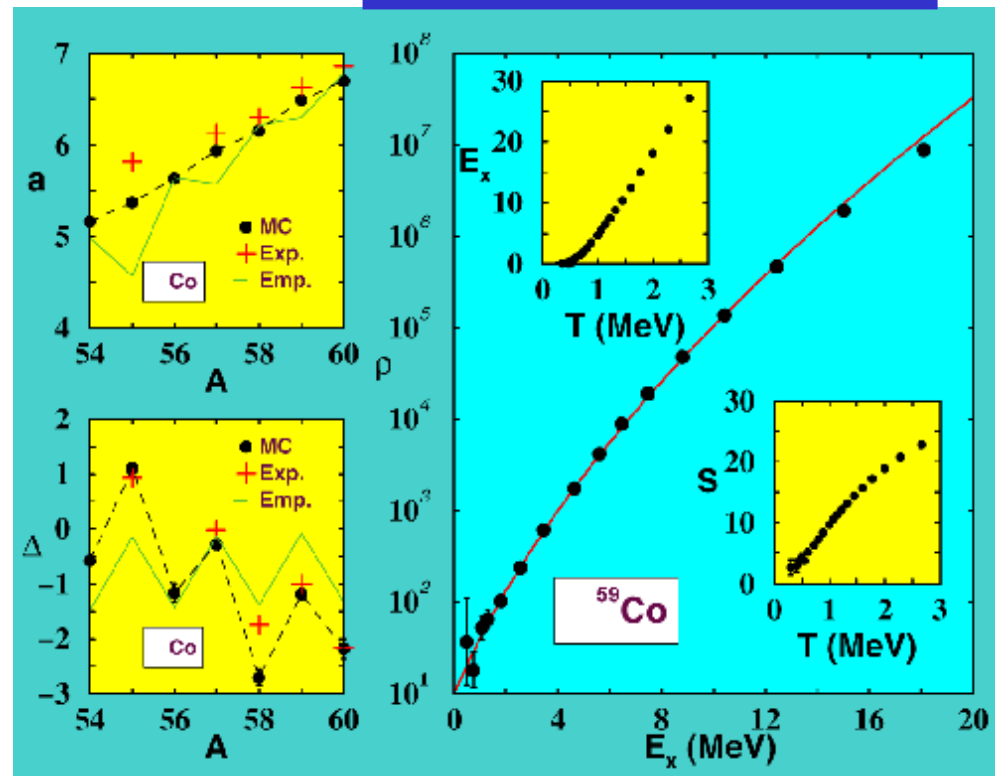
- Is the isovector part of the energy density functional

$$E_{\text{sym}}(\rho) = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 e(\rho, \delta)}{\partial \delta^2} \bigg|_{\delta=0}$$
$$\delta = \frac{\rho_n - \rho_p}{\rho_n + \rho_p}$$

Studio dell'energia di simmetria

- E' la parte isovettoriale del funzionale densita' d'energia
- Dipende dalla temperatura perche' la densita' dei livelli dipende dall'energia e dall'isospin

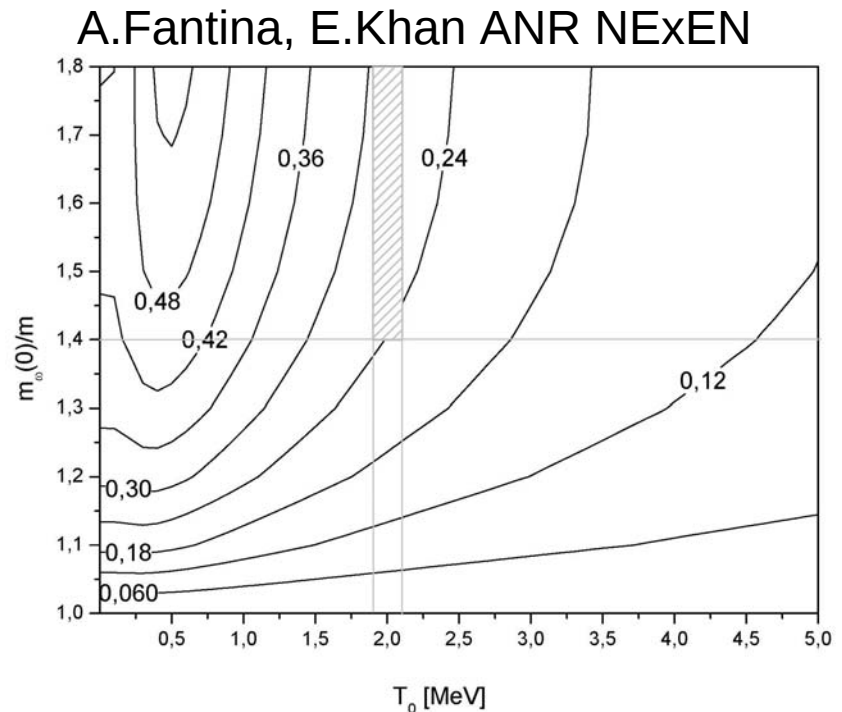
$$\rho_{FG}(a(A,Z,E),\Delta)$$



Y.Alhassid et al. MC Shell Model

The nuclear symmetry energy

- Is the isovector part of the energy density functional
- Depends on temperature because of the energy and isospin dependence of the level density
- Ha importanti applicazioni astrofisiche
Ex: favorisce l'esplosione di SN

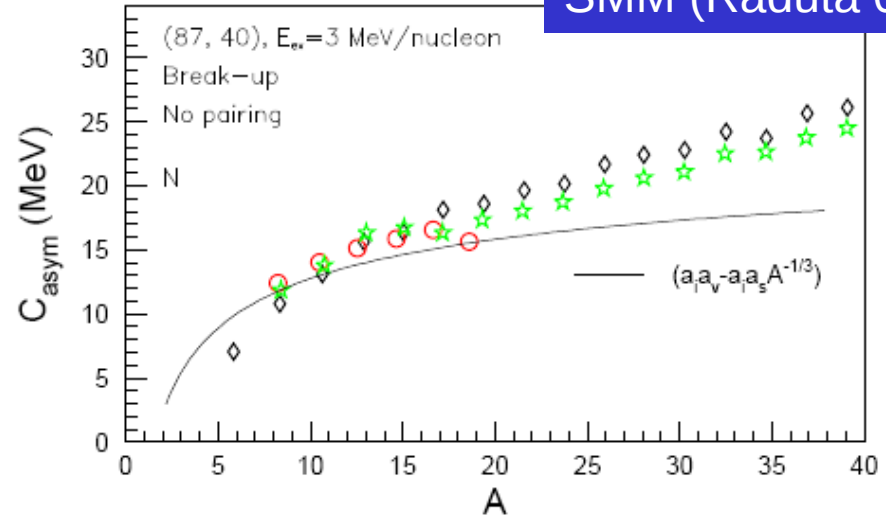


L'energia di simmetria di un nucleo eccitato

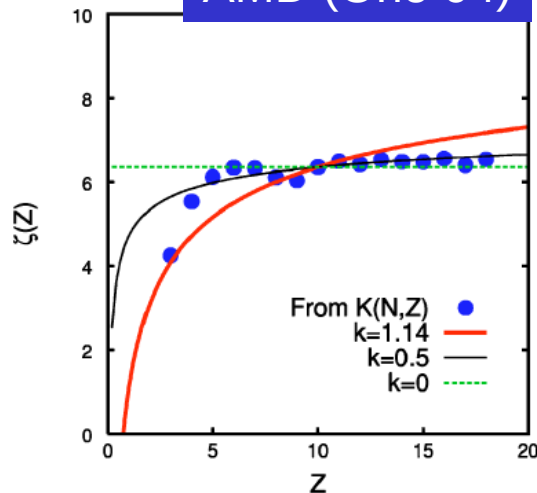
$$\sigma^2(A)|_Z \approx \langle A \rangle T / (2C_{sym}(A))$$

- puo' essere ricavato da osservabili isotopiche misurate in una sorgente ben definita

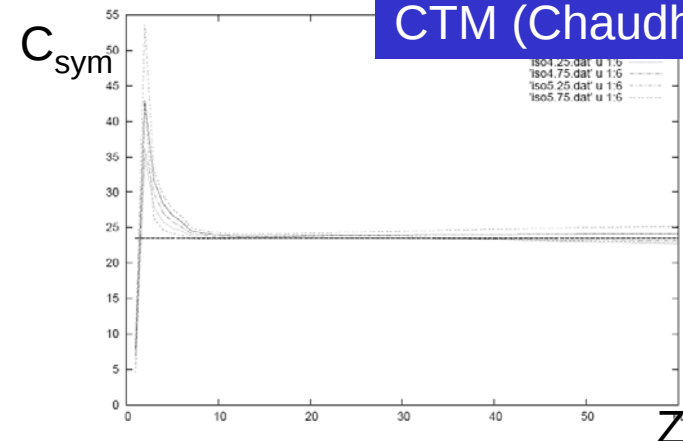
SMM (Raduta 06)



AMD (Ono 04)



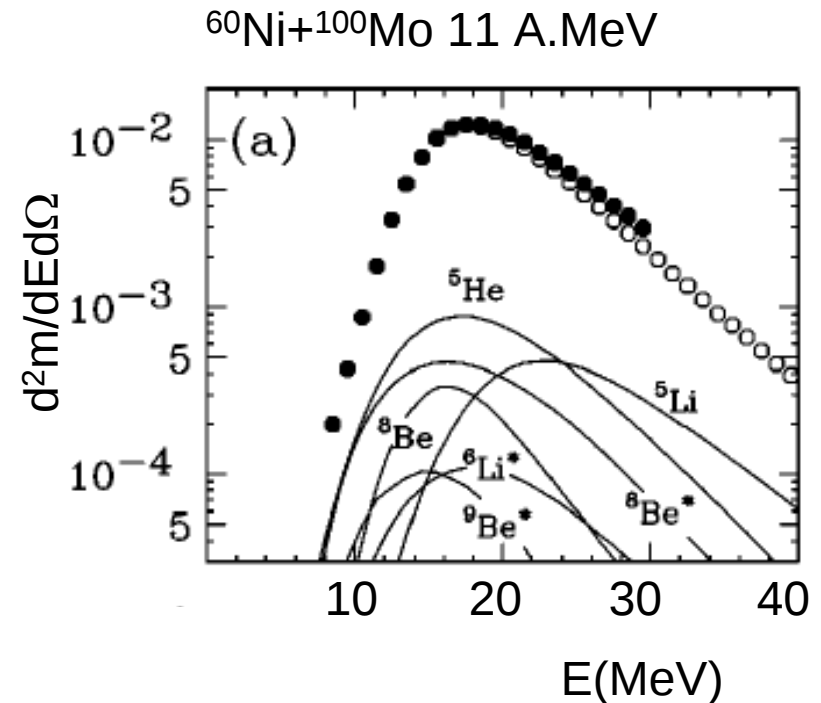
CTM (Chaudhuri 09)



L'energia di simmetria di un nucleo eccitato

$$\sigma^2(A)|_Z \approx \langle A \rangle T / (2C_{sym}(A))$$

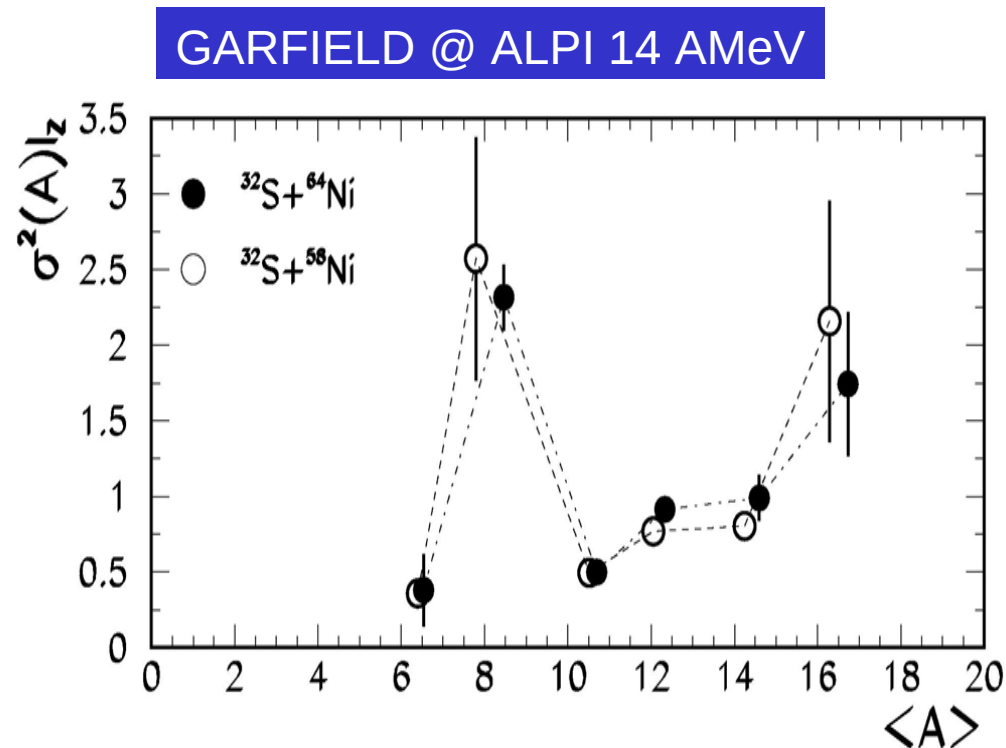
- puo' essere ricavato da osservabili isotopiche misurate in una sorgente ben definita
- Ma il contributo da stati instabili per emissione di particella deve essere sotto controllo



L'energia di simmetria di un nucleo eccitato

$$\sigma^2(A)|_Z \approx \langle A \rangle T / (2C_{sym}(A))$$

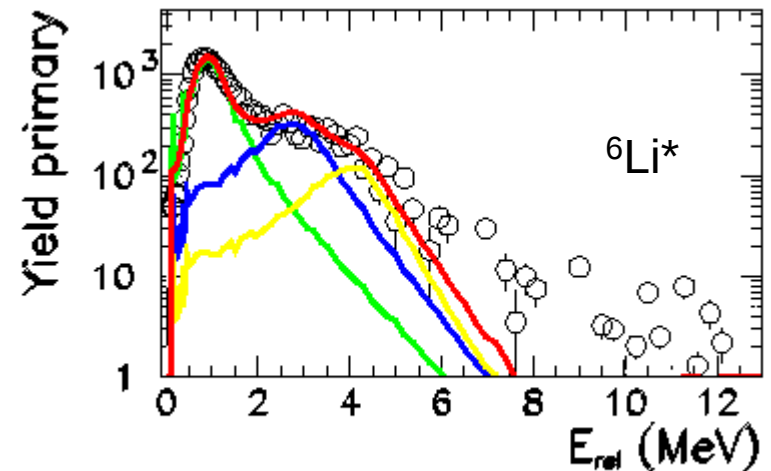
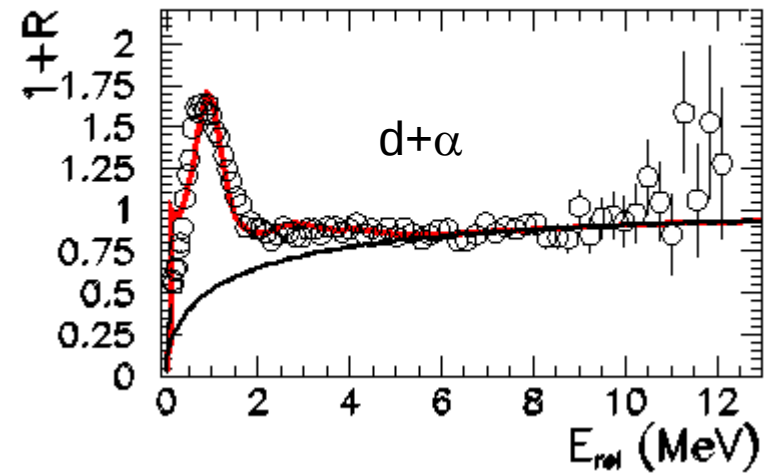
- puo' essere ricavato da osservabili isotopiche misurate in una sorgente ben definita
- Ma il contributo da stati instabili per emissione di particella deve essere sotto controllo
- Cio' porta ad effetti importanti di staggering



Scopo delle misure proposte

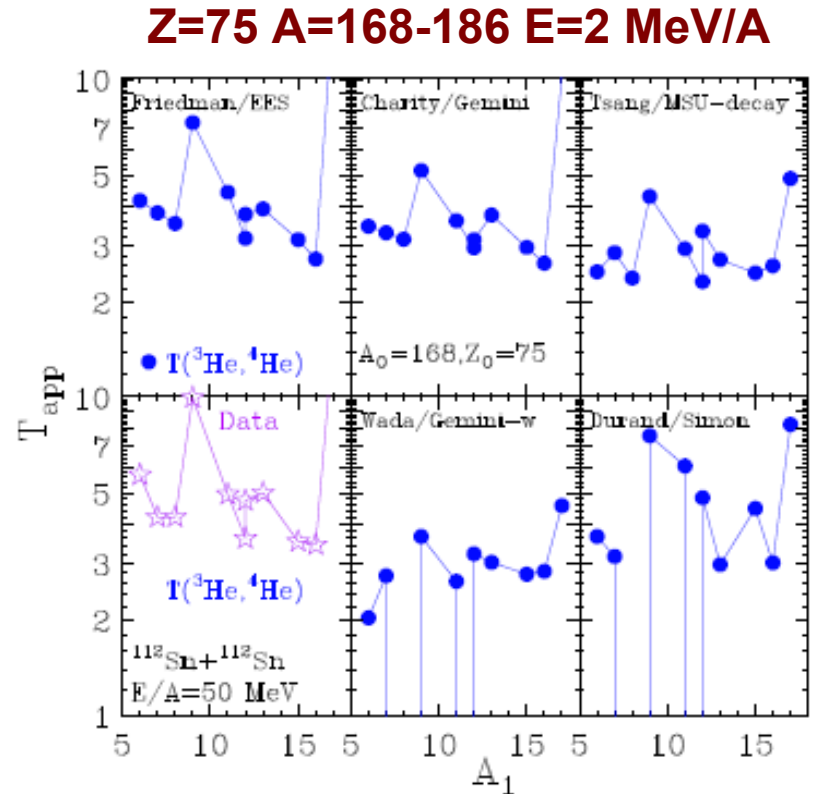
- misurare la popolazione di stati instabili attraverso le funzioni di correlazione

GARFIELD @ ALPI 14 AMeV



Scopo delle misure proposte

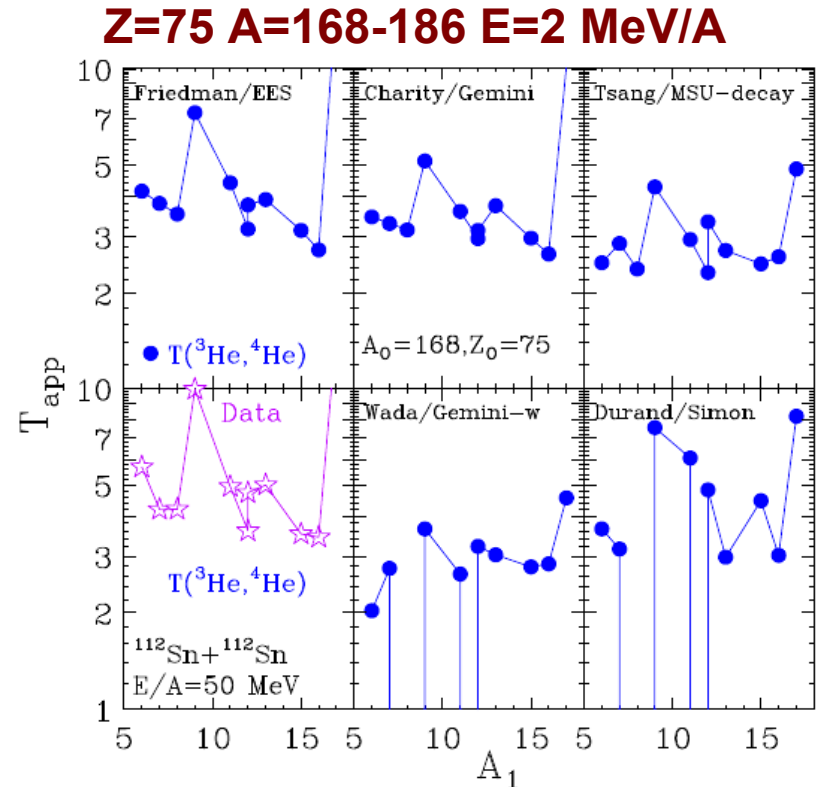
- misurare la popolazione di stati instabili attraverso le funzioni di correlazione
- Punto di riferimento per la densita' dei livelli attraverso modelli evaporativi (Gemini,SMM-MSU,ABLA07...)



B.Tsang et al., in “Dynamics and Thermodynamics with nuclear Degrees of freedom”, Springer 2006

Scopo delle misure proposte

- misurare la popolazione di stati instabili attraverso le funzioni di correlazione
- Punto di riferimento per la densita' dei livelli attraverso modelli evaporativi (Gemini, SMM-MSU, ABLA07...)
- Un nuovo codice evaporativo e' in corso di realizzazione (tesi di dottorato di G. Baiocco Bologna)



B. Tsang et al., in “Dynamics and Thermodynamics with nuclear Degrees of freedom”, Springer 2006

Campagna sperimentale ad Alpi

Reaction	E_{Beam} (A MeV)	N-Z Target	θ_{gr}	A_s	Z_s	E_s^* (A MeV)	N/Z source	N-Z source	σ (mb)
$^{32}S + ^{40}Ca$	17.7	0	5.0	65	32	4.2	1.0	1	400
$^{32}S + ^{48}Ca$	id.	8	4.9	73	33	4.0	1.25	7	460
$^{32}S + ^{48}Ti$	id.	4	5.4	73	35	4.0	1.09	3	440
$^{32}S + ^{58}Ni$	id.	2	6.7	84	41	3.8	1.05	2	430
$^{32}S + ^{64}Ni$	id.	8	6.6	90	41	3.6	1.20	8	485
$^{32}S + ^{58}Fe$	id.	6	6.2	84	39	3.8	1.15	6	465

In ogni gruppo si varia il contenuto di isospin della sorgente ed il suo N-Z (isoscaling e staggering pari-dispari)

Sono necessari 12 giorni di misura per ogni combinazione proj-target

Previsione 2011-2012

- LNL –MI

man. App. LNL 2v.x 7 p. x (6 gg*0.13+.2)	8,0 KE
turni di misura LNL 2 t. * 9 p. * (5 gg*.13+.2)	15,5 KE
riunioni collaborazione n p. * (1 gg*.13+.2)	3,0 KE
ruin. analisi, an. fuori sede,... n p.*(5gg*.13+.2)	4,5 KE

- Consumo

30,0 KE

- Apparati

15,0 KE

- ME responsabile + mobilita' scientifica

- TOTALE

76,0 +?