

Fisica Nucleare: ...e naufragar m'è dolce in questo mare (di Fermi)

Un contributo in onore al lavoro di Enrico Fermi sulla statistica delle particelle a spin semintero quando era professore a Firenze (1924-25)

(e in ricordo del collega [Alberto Dellafiore](#), fisico nucleare della nostra Sezione)

Statistica di Fermi: la sua 'presenza' in fisica nucleare negli obiettivi di studio fondamentale o relativamente ai mezzi di esplorazione sperimentale

Il mare come ambiente di studio (interesse)

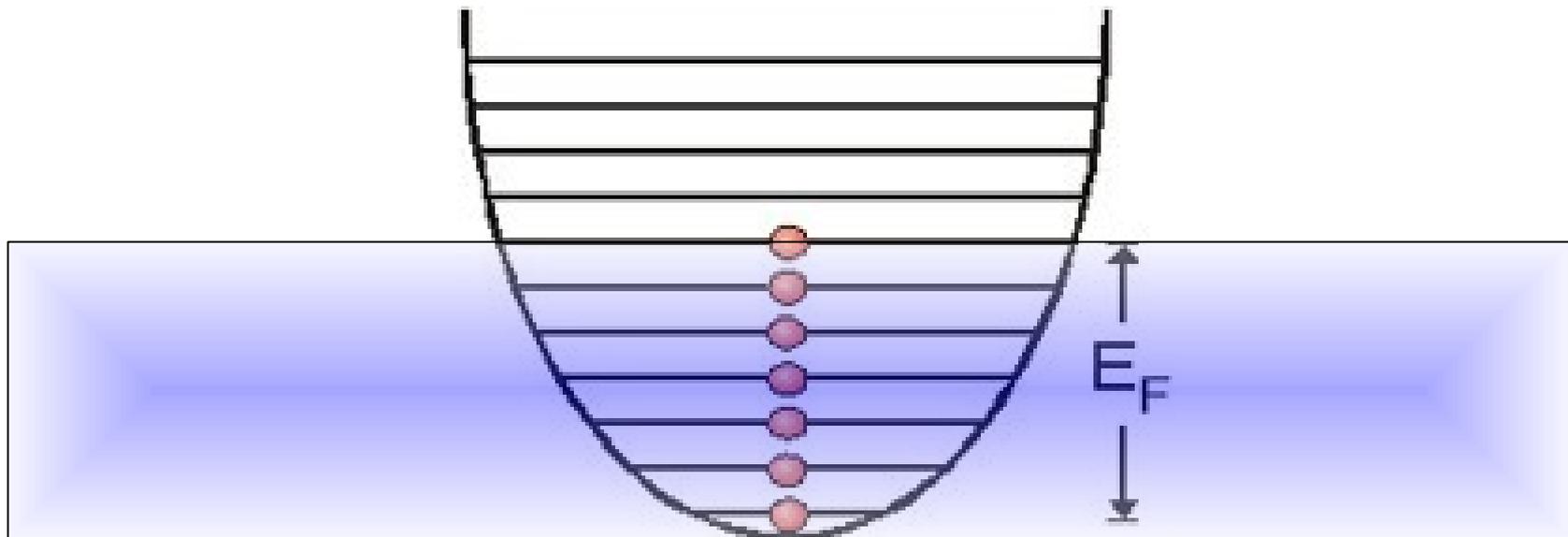
Il mare come orizzonte in cui si puo' naufragare (difficolta')

Il mare come mezzo su cui galleggiare (strumenti)



Il mare di Fermi

Sistema quantistico a bassa temperatura (rispetto alla sua tipica scala energetica) composto da fermioni che occupano tutti e soli gli stati disponibili (due fermioni per stato, a spin opposti) e che non possono interagire fra loro (principio di W.Pauli)

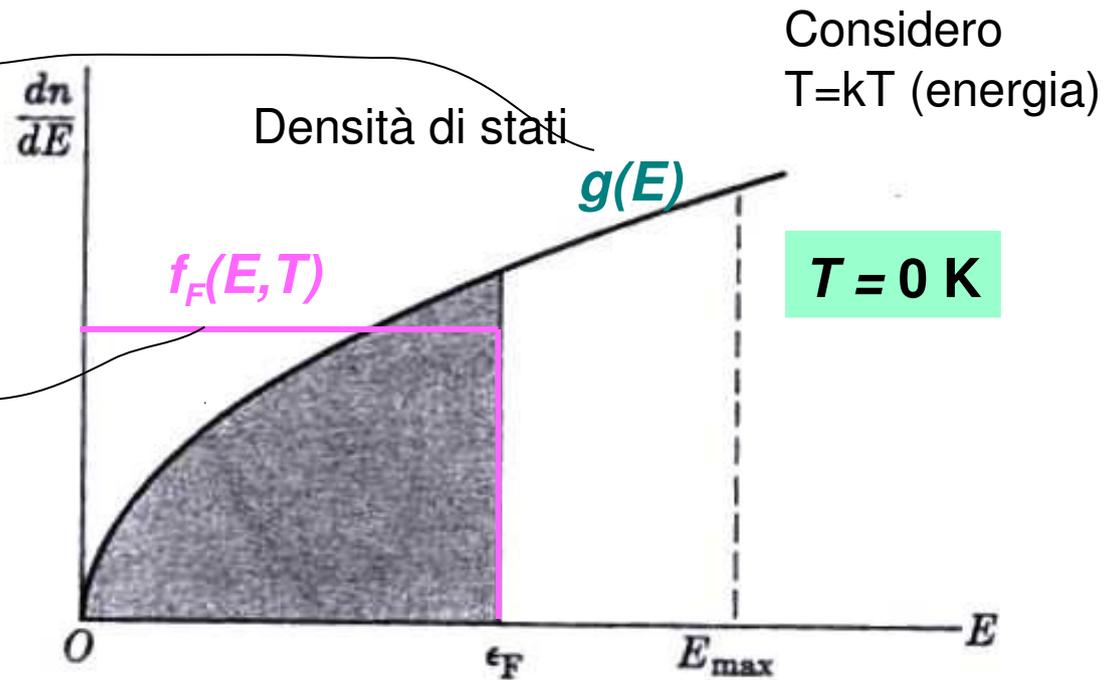


Il mare di Fermi...freddo e caldo

$$\frac{dN(E)}{dE} = \frac{g(E)}{e^{(E-E_F)/k_B T} + 1}$$

Se si integra sull'energia si trova che gli N fermioni con densità $\rho = N/V$ occupano a $T=0$ i livelli fino a $E=E_f$

$$E_F = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{3\rho}{\pi} \right)^{2/3}$$



Energia media

$$\mathbf{E} = \langle E_{T=0K} \rangle = \frac{C \int_0^{E_F} E^{3/2} dE}{C \int_0^{E_F} E^{1/2} dE} = \frac{\frac{2}{5} E_F^{5/2}}{\frac{2}{3} E_F^{3/2}} = \frac{3}{5} E_F$$

E_F (**Energia di Fermi**) da' la scala in base alla quale 'catalogare' un sistema.
 Freddo (degenere): $T \ll E_F$ pochissimi stati presso la superficie del mare (con energie $\sim E_F$) non sono completamente occupati

Energie di Fermi sulla scala atomica

$$T_F = E_F / k_B \quad k_B \approx 9 \cdot 10^{-5} \text{ eV K}^{-1}$$

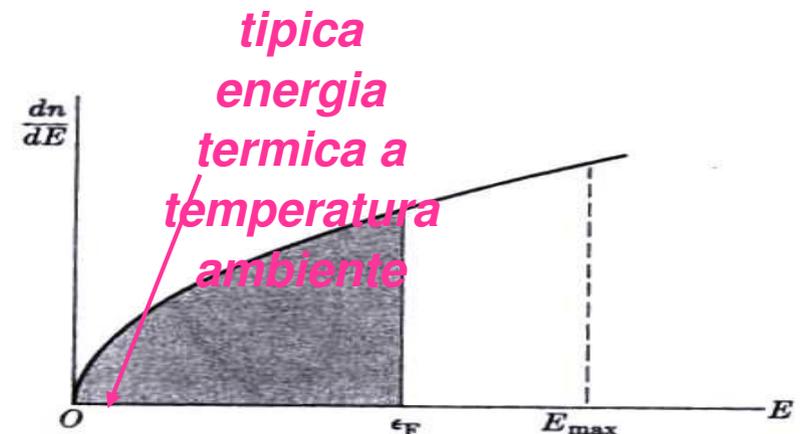
metallo	E_F (eV)	T_F (K)
Li	4,7	$5,5 \cdot 10^4$
Na	3,1	$3,7 \cdot 10^4$
K	2,1	$2,4 \cdot 10^4$
Cu	7,0	$8,2 \cdot 10^4$
Ag	5,5	$6,4 \cdot 10^4$
Au	5,5	$6,4 \cdot 10^4$

Nei METALLI gli elettroni 'liberi' hanno potenziali chimici di qualche eV (T_F sopra 10000 K). Il gas di elettroni nei metalli e' freddo a tutte le temperature ordinarie (e oltre il punto di fusione)

$$T_F \gg T \text{ ambiente}$$

E_F e' assai maggiore dell'energia termica a temperatura ambiente $E_{term} = 0.026 \text{ eV}$

Energia Media $\langle E \rangle = 3/5 E_F = 1-4 \text{ eV}$



Energie di Fermi sulla scala nucleare

Nel nucleo la forza forte satura gli adroni per cui $\rho = \text{costante}$ nello stato fondamentale.

$\rho = 0.14 - 0.17 \text{ fm}^{-3}$ (da dividere in due per n e per p)

$E_F = 30 - 40 \text{ MeV}$

$\langle E \rangle = 18 - 24 \text{ MeV}$

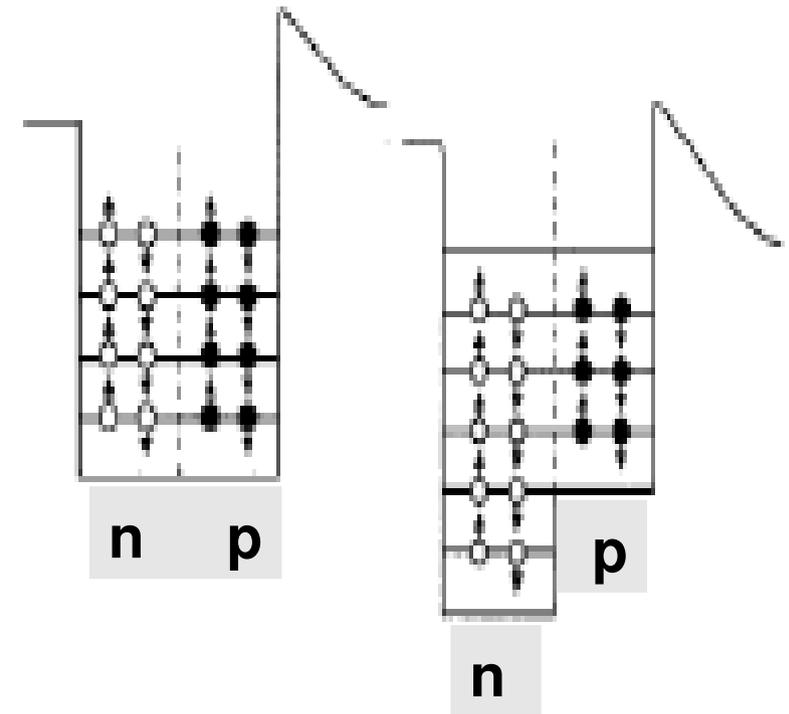
(E_F e' circa 1 miliardo di volte maggiore della temperatura ambiente)

A T ambiente il nucleo e' senz'altro degenerare ma si noti che in molti casi tipici, pur ad eccitazioni elevate (oltre 300 MeV), le corrispondenti

temperature sono molto minori di E_F . Dunque **in**

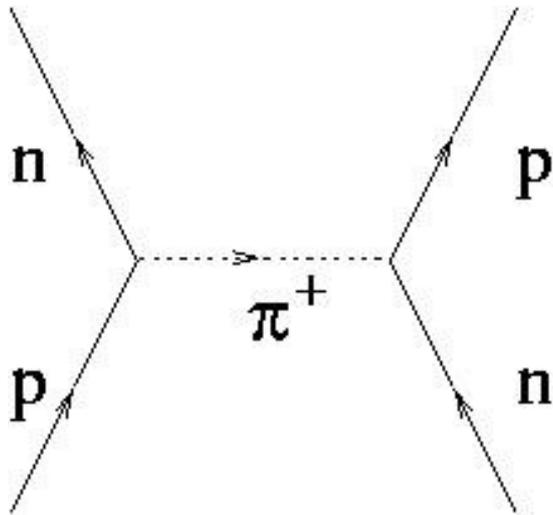
molte reazioni nucleari si puo' assumere che il nucleo resti un gas di fermioni degenerare.

Un mare di due specie, protoni e neutroni



Impulso di Fermi (medio) =
206 MeV/c velocita' di Fermi
(media) = 6.63 cm/ns
Impulso di Fermi = 266 MeV/c
velocita' di Fermi = 8.57 cm/ns

NUCLEAR PHYSICS ?



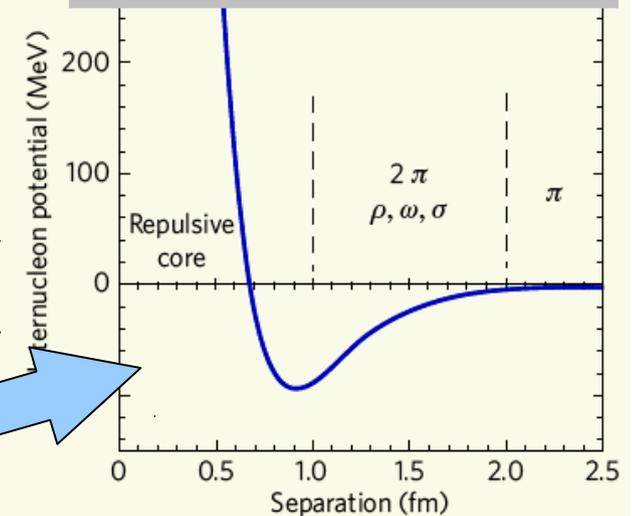
Mesoni, gluoni e la teoria QCD

Empiricamente, da
molti anni (1938)

Yukawa + repulsion

Da principi primi (QCD)
è molto difficile rendere
ragione della parte hard-
core del potenziale

NUCLEAR POTENTIAL



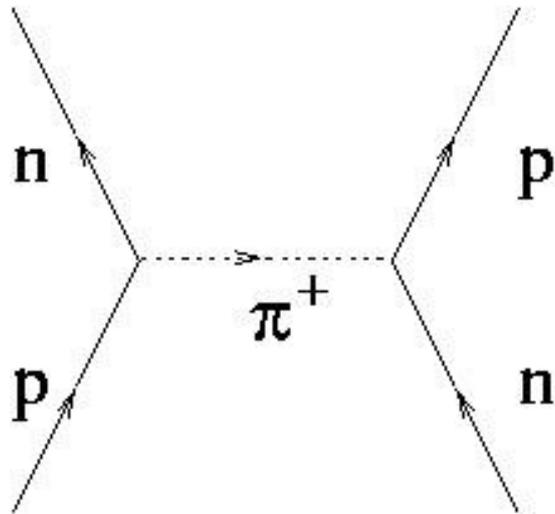
Wilczek Nature, 2007

Solo di recente, con limitazioni e
semplificazioni, l'HARD-CORE e'
stato ottenuto direttamente da
QCD

Non esiste un modello nucleare universale capace di descrivere la struttura e le proprietà dei nuclei; esistono però diversi modelli che si completano a vicenda sia per la **struttura nucleare** che per le **reazioni**

UNCLEAR PHYSICS !

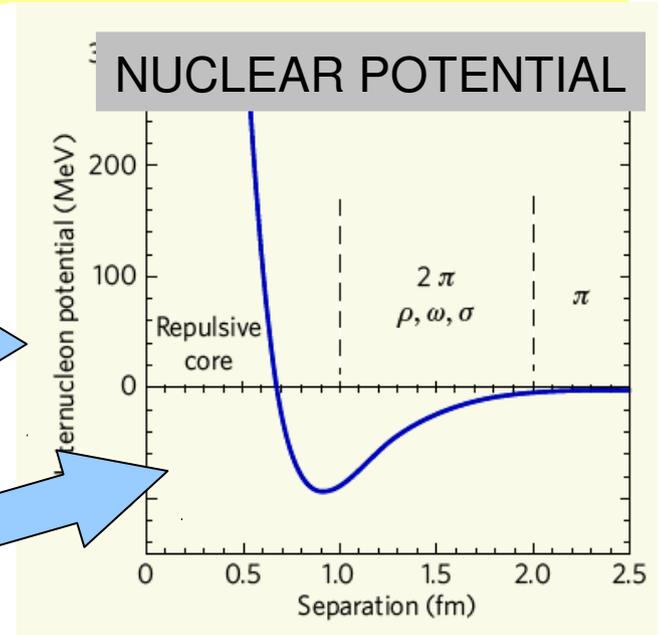
(battuta riportata in una conferenza, 1992 ?)



Mesoni, gluoni e la teoria QCD

Empiricamente, da
molti anni (1938)

Yukawa + repulsion



Da principi primi (QCD)
è molto difficile rendere
ragione della parte hard-
core del potenziale

Wilczek Nature, 2007

Solo di recente, con limitazioni e
semplificazioni, l'HARD-CORE e'
stato ottenuto direttamente da
QCD

Non esiste un modello nucleare universale capace di descrivere la struttura e le proprietà dei nuclei; esistono però diversi modelli che si completano a vicenda sia per la **struttura nucleare** che per le **reazioni**

Orizzonti aperti in Fisica Nucleare

Effetti quantistici e fluttuazioni nei modelli che descrivono le reazioni e nei modelli di struttura (shape, clustering, preformation)

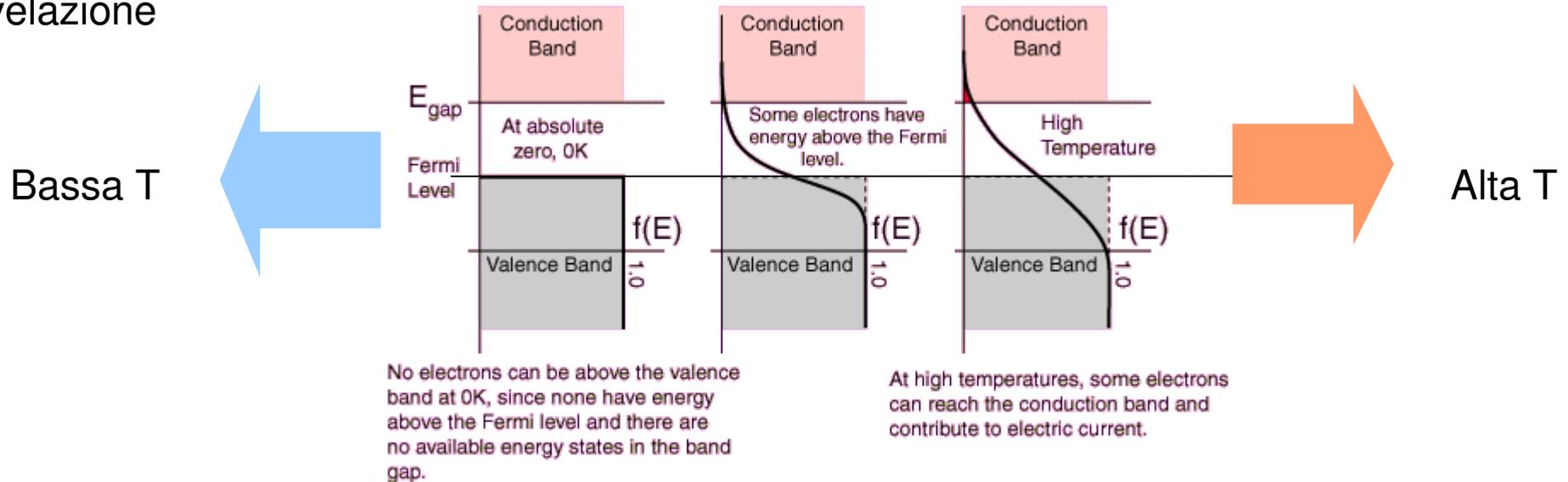
Studio di tipo termodinamico: una **EOS nucleare** per un sistema sistema finito quantistico! (transizioni di fase, calori specifici)

La doppia natura dei fermioni (n-p) nei nuclei e il ruolo dell'**energia di Simmetria** (nei nuclei e nell'Universo).

Struttura e reazioni nucleari verso le drip-line

Il mare di Fermi: gli strumenti per navigare

RIVELATORI AL SILICIO: la natura a bande di **valenza** e di **conduzione** con la possibilità di avere giunzione a diodo risiedono nella natura fermionica degli elettroni. Qui E_F si trova a metà fra le bande e conferisce ai semiconduttori tutte le peculiarità che hanno utili per la rivelazione



RIVELATORI A SCINTILLAZIONE INORGANICI: le due bande sono molto distanti (cristalli isolanti) ma l'introduzione di impurezze genera livelli permessi nella regione proibita che fungono da trappole per complessi meccanismi di produzione, trasporto e ricombinazione di eccitoni, alla base dei meccanismi di luminescenza.

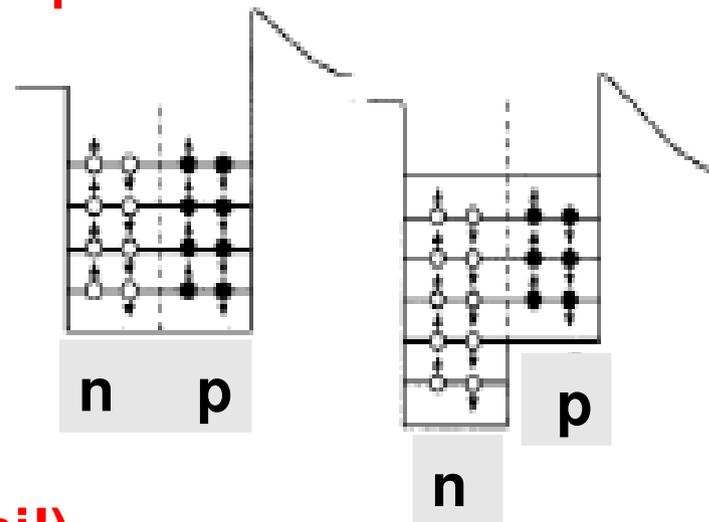
Struttura Nucleare: quali modelli?

MODELLI a NUCLEONI SINGOLI

Fermi gas model: I nucleoni si muovono indipendentemente in un potenziale nucleare (buca quadrata).

Esso e' alla base anche dello **Shell model** che risolve l'equazione di Schrödinger per un potenziale sferico ma con un forte accoppiamento spin-orbita .

Un mare di due specie, protoni e neutroni



MODELLI COLLETTIVI PURI (correlazioni!)

Liquid drop model: I nucleoni interagiscono fortemente l'uno con l'altro

Hamiltoniana di Bohr: hamiltoniana quantizzata per studiare i moti rotazionali e vibrazionali di un fluido incompressibile deformato

MODELLI COLLETTIVI MISTI

L'**IBM** presuppone una struttura a shell (core+ valence nucleons) ma poi introduce subito la collettività del nucleo accoppiando i nucleoni in coppie di bosoni con momenti angolari 0 o 2.



Struttura Nucleare: l'esperimento Gamma



Studio nei nuclei pari-pari delle simmetrie al punto critico delle **transizioni di fase** (quantistiche e non termodinamiche) tra due forme nucleari:

X(5) da una forma sferica a una prolata assiale

E(5) da una forma sferica a una forma gamma instabile (susceptibile di deformazioni asimmetriche variabili).

In queste “simmetrie” viene risolta in modo analitico l'equazione di Bohr adottando al **punto critico** una forma semplificata di potenziale nucleare.

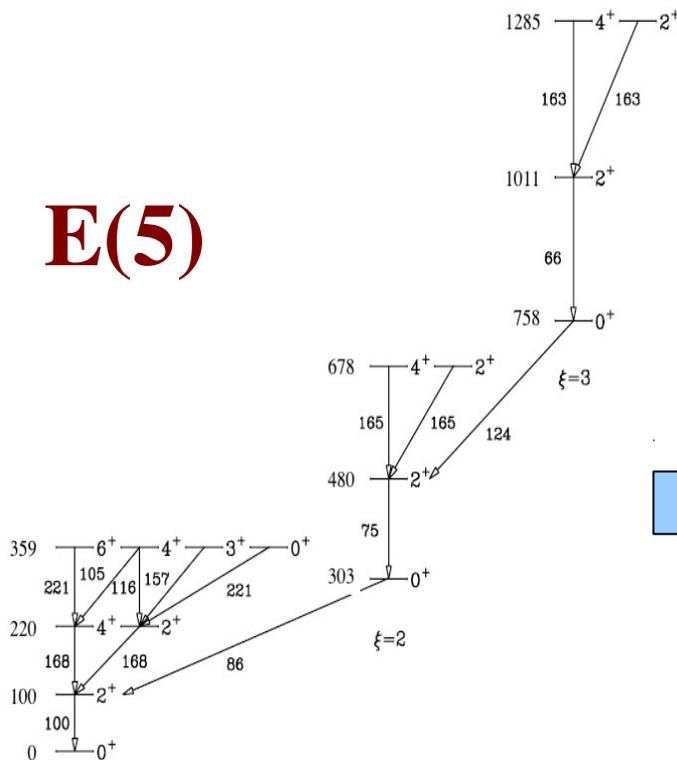
$$\hat{H}_B = -\frac{\hbar^2}{2D} \left[\frac{1}{\beta^4} \frac{\partial}{\partial \beta} \beta^4 \frac{\partial}{\partial \beta} + \frac{1}{\beta^2 \sin 3\gamma} \frac{\partial}{\partial \gamma} \sin 3\gamma \frac{\partial}{\partial \gamma} - \frac{1}{4\beta^2} \sum_{\kappa} \frac{\hat{I}_{\kappa}^2}{\sin^2\left(\gamma - \frac{2}{3}\pi\kappa\right)} \right] + V(\beta, \gamma)$$

Hamiltoniana di Bohr

Struttura Nucleare: l'esperimento Gamma

Con diverse ipotesi su $V(\beta, \gamma)$ si ottengono così in maniera molto elegante ed efficace le bande dei livelli collettivi. Per esempio assumendo un $V(\beta, \gamma) = V(\beta)$ (buca infinita) si ottiene lo schema di E(5)

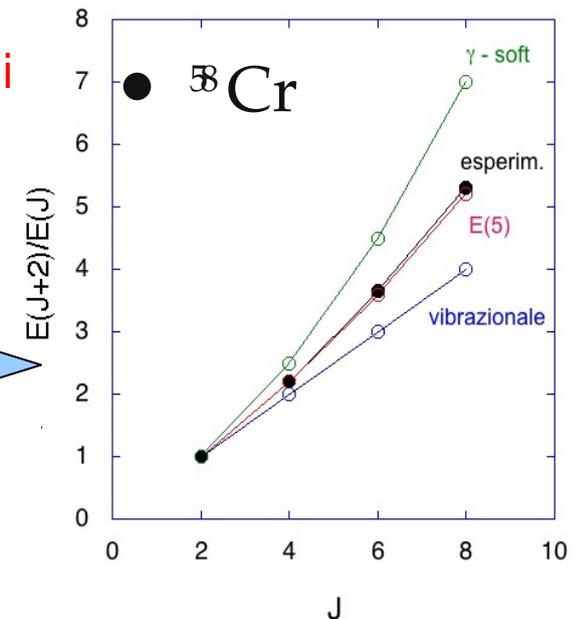
E(5)



Previsioni per gli **autovalori dell'energia** e per le **probabilità di transizione** senza parametri aggiustabili, a parte un fattore di scala



Si cercano candidati tra in nuclei



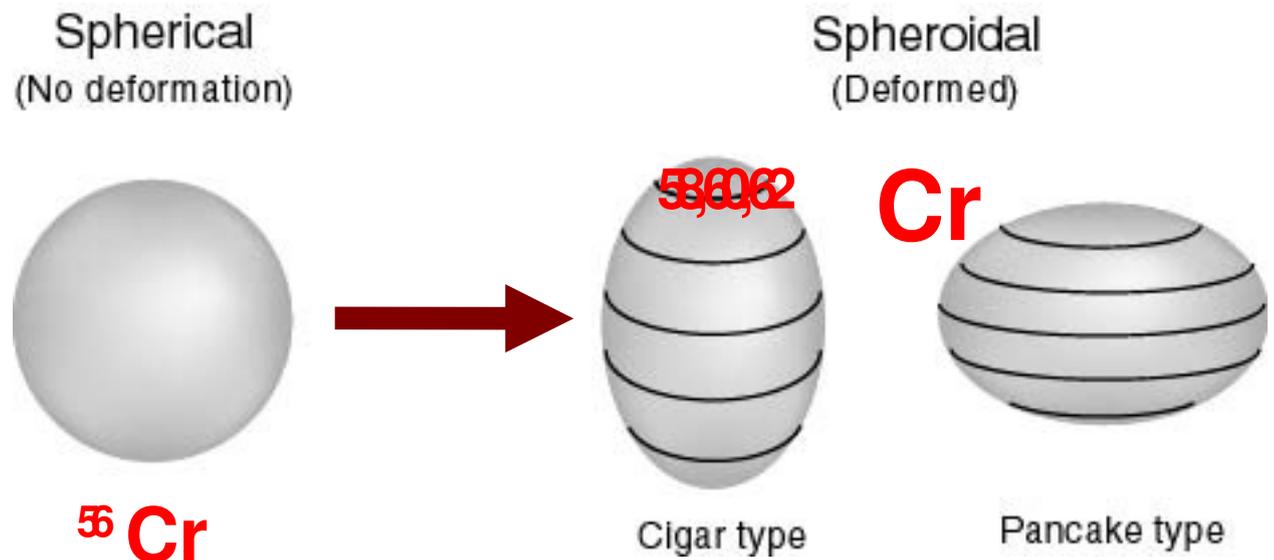


Struttura Nucleare: l'esperimento Gamma

I rapporti di energia sono un'informazione "al primo ordine", una guida per fare una prima selezione dei nuclidi candidati per una certa simmetria.

Sono però gli andamenti dei rapporti delle probabilità di transizione determinanti nel confronto con le previsioni di modello.

Si cerca di seguire la catena isotopica nella regione 'candidata' per passare da nuclei sferici a deformati



Misure di vite medie in Cr n-rich

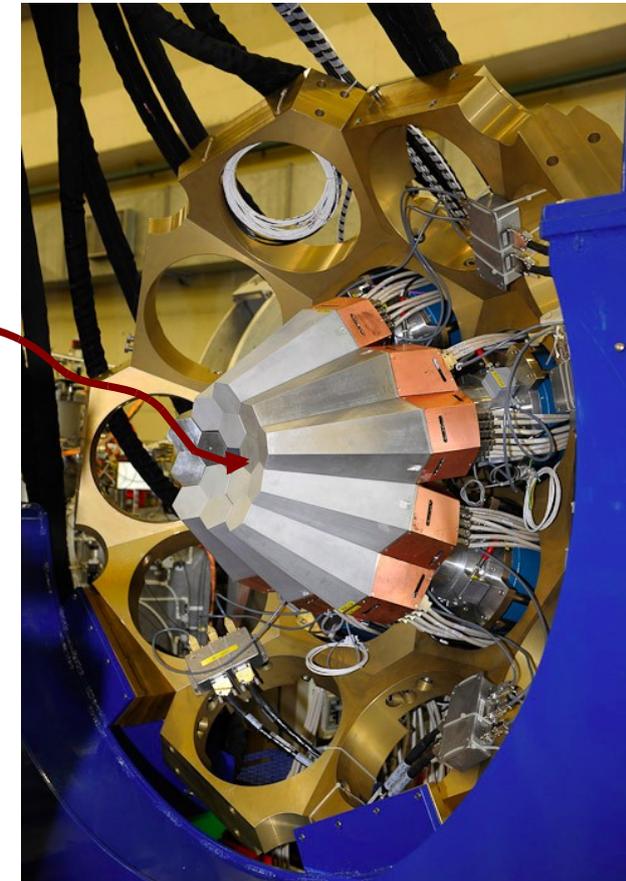
una tecnica indiretta ma efficace: il Doppler shift

Recoil Distance Doppler Shift con uno strumento migliorato per misurare vite medie di nuclei ricchi di neutroni popolati mediante trasferimento di più nucleoni.

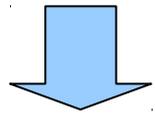
Plunger differenziale: il nucleo di interesse non viene fermato ma attraversa un assorbitore ed è identificato in uno spettrometro (**PRISMA**). I raggi gamma sono misurati con **AGATA**

Ambito di vite medie misurabili: $\tau = 1 - 1000$ ps, confrontabili con il tempo di percorrenza fra bersaglio e assorbitore

AGATA at LNL



Vite medie

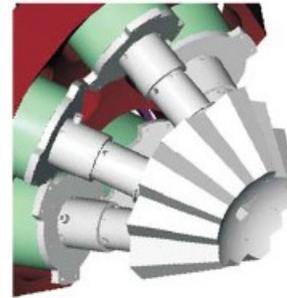
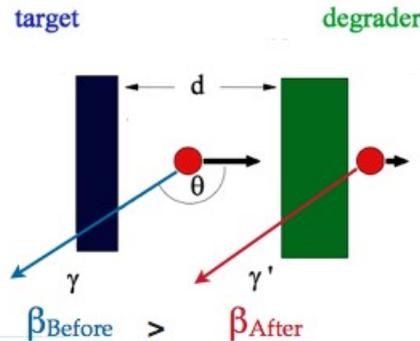


Isotopi n-rich del **Cr**
prodotti con reazioni
di trasferimento

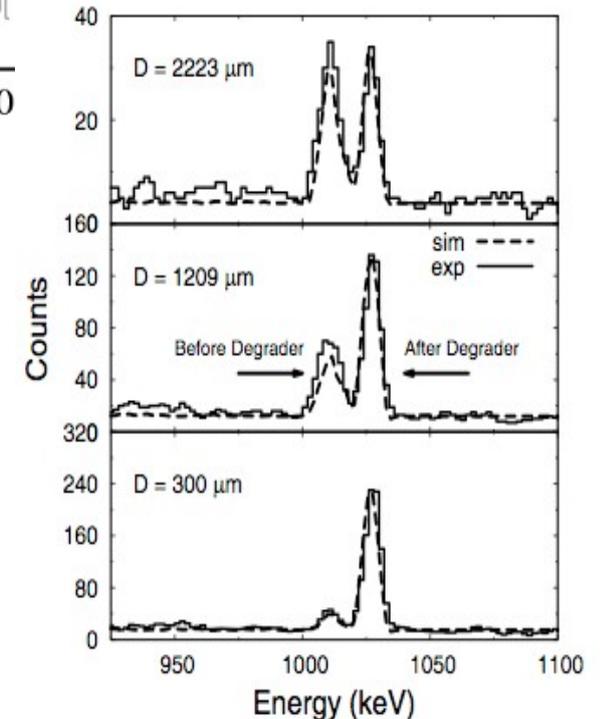
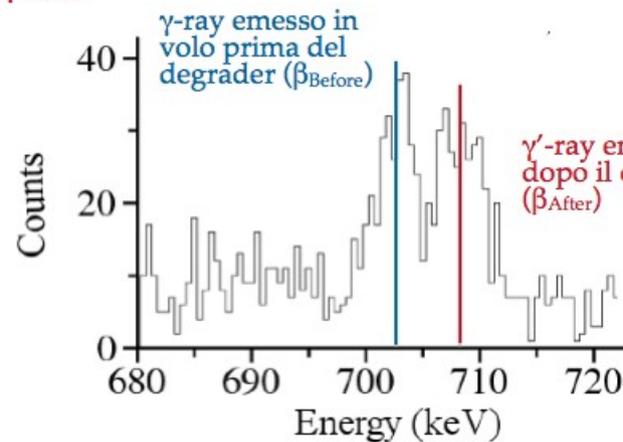
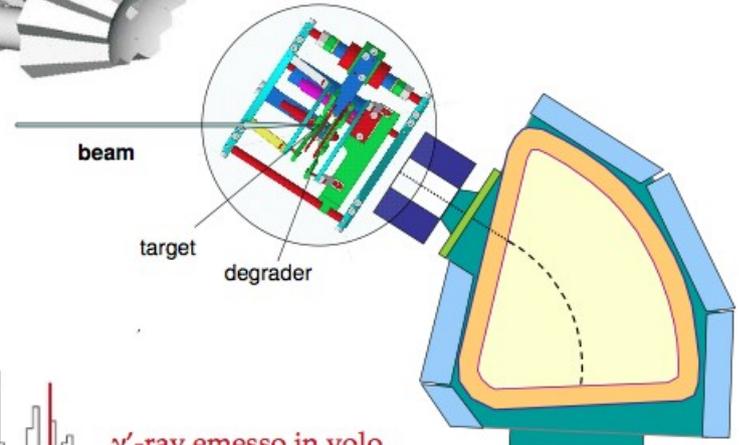
ANALISI IN CORSO

Dalle rese dei picchi in
funzione della distanza si
ricava la vita media

$$\tau = 1 - 1000 \text{ ps}$$

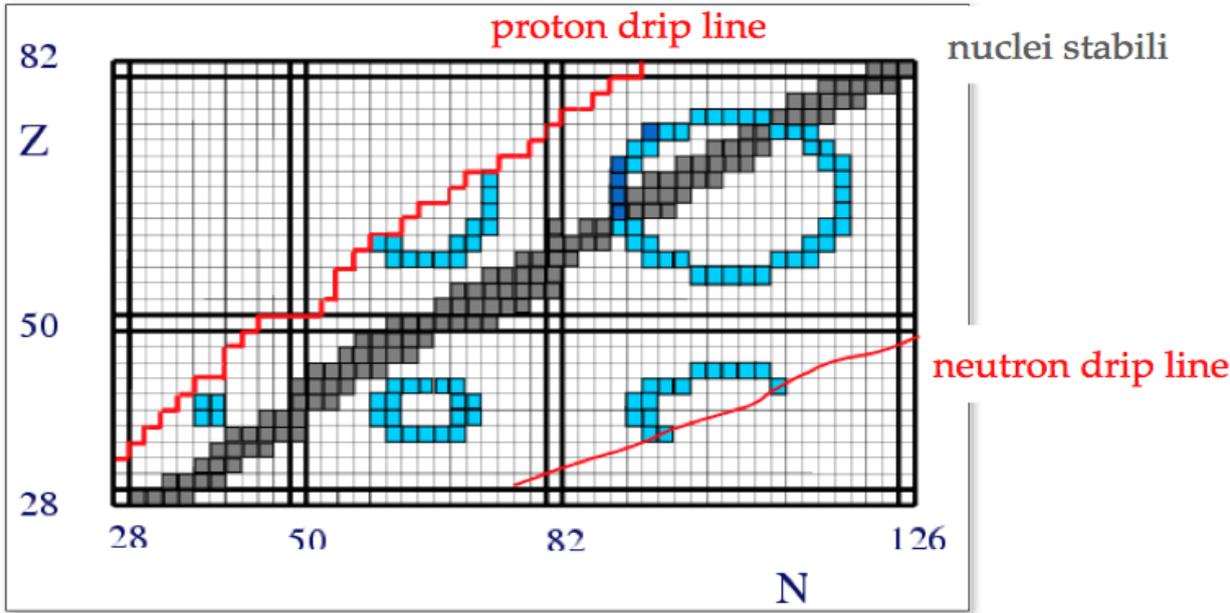


Plunger set-up with the
AGATA-demonstrator
and PRISMA





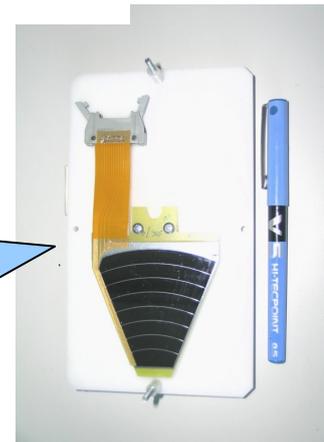
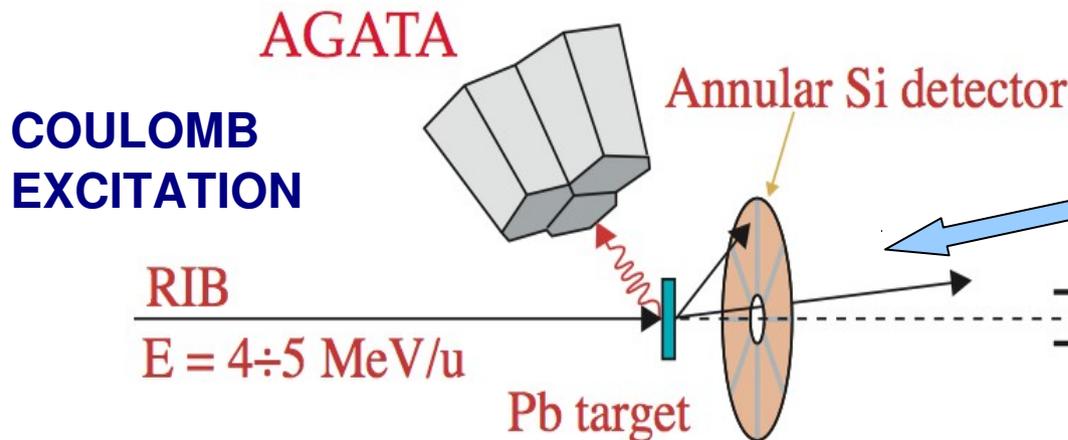
Struttura Nucleare: un futuro esperimento proposto a Firenze



Ricerca di simmetrie in nuclei lontani dalla valle di stabilita'

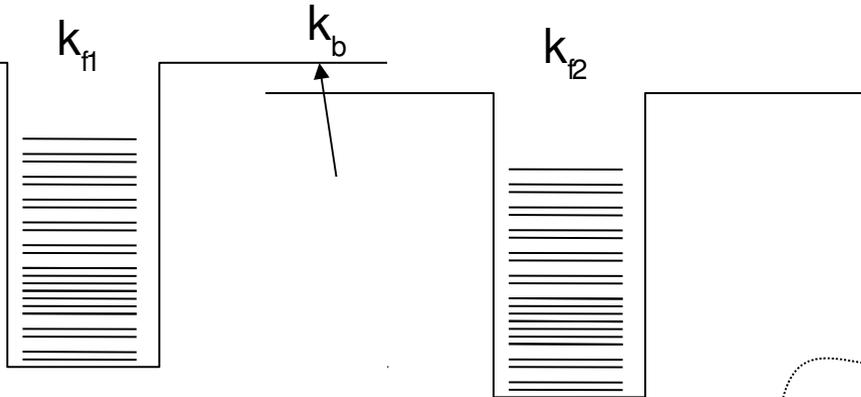
misure **dirette** di **probabilita'** di **transizione con fasci esotici** (metodo COUL-EX)

- Rivelatore al Silicio Segmentato
- Otto settori per coprire tutto l'azimuth e l'angolo polare tra 18 e 60 deg



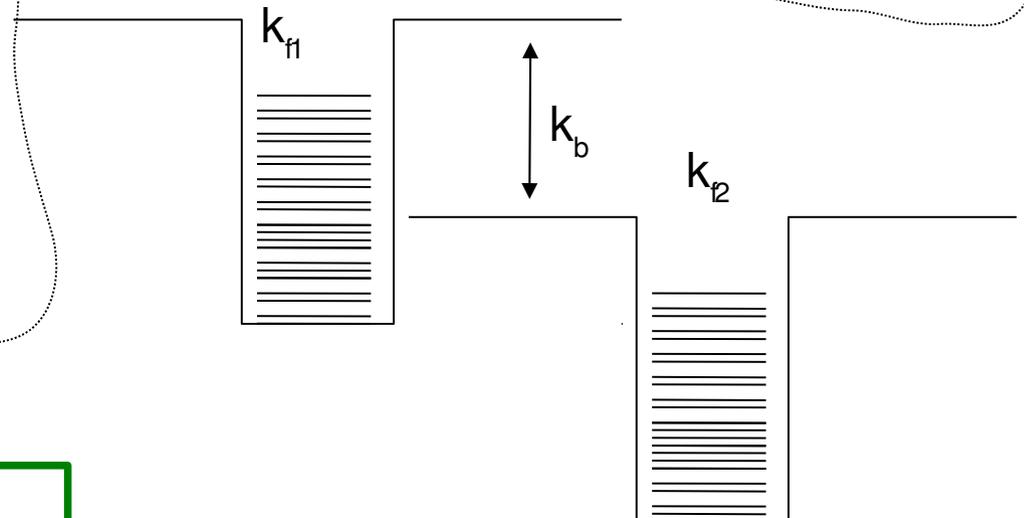
LOI presentata per SPES a LNL2010 e per SPIRAL2 a GANIL2011

Dinamica di reazione ed Energia di Fermi



Modelli basati su scambi di nucleoni liberi che si muovono nel **campo medio** mono o di-nucleare (e dipendente dal tempo)

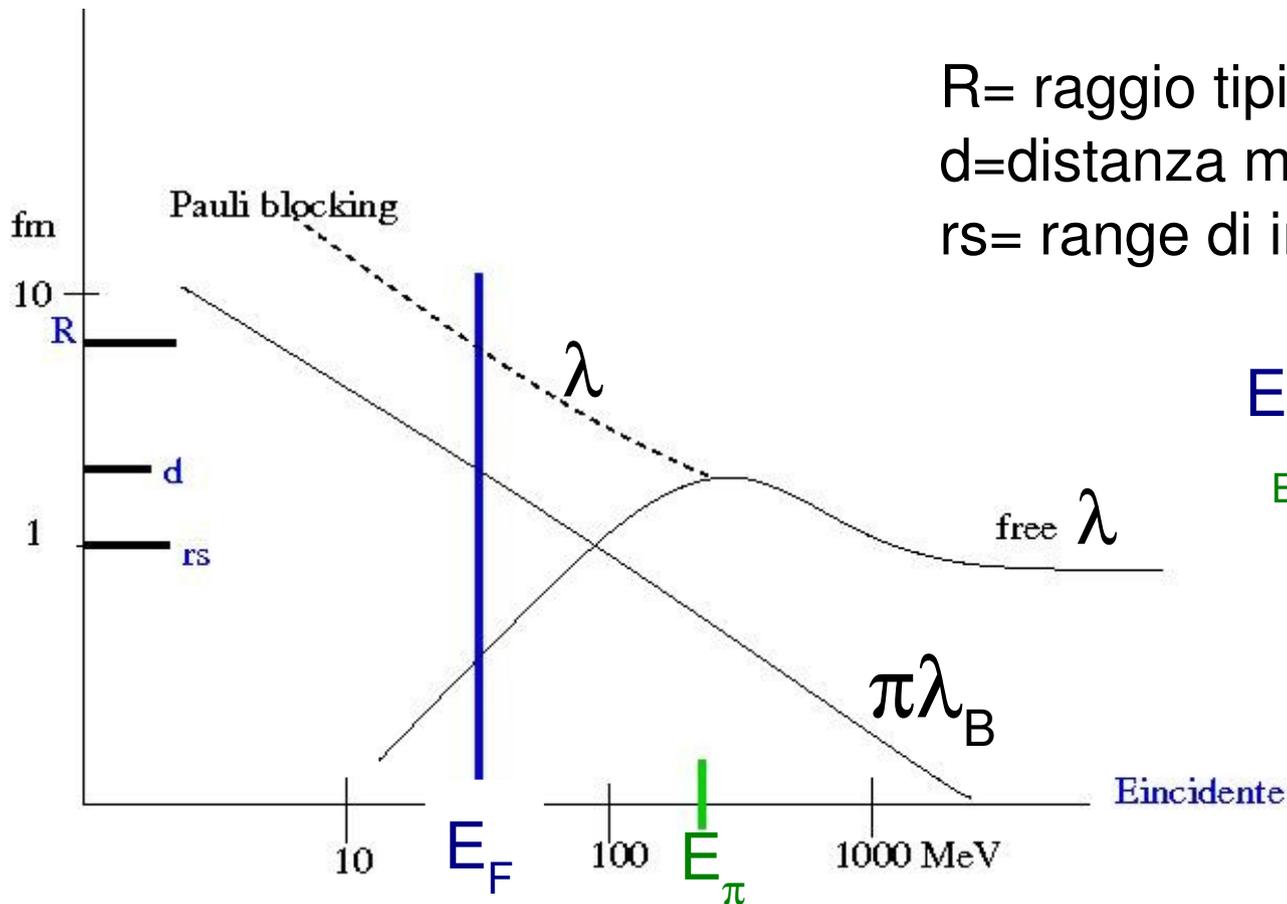
Differenza fra gli impulsi portata dalla **bassa energia** del fascio: solo i fermioni sulla **superficie del mare** possono interagire direttamente.



Modelli di trasporto, con vario grado di quantizzazione, in cui le **interazioni n-n** possono determinare in maniera importante l'evoluzione del sistema

Differenza fra gli impulsi portati dalla **grande energia** del fascio: anche i nucleoni nel **profondo del mare** possono interagire direttamente.

Dinamica di reazione ed Energia di Fermi



R= raggio tipico del nucleo 6-10 fm
 d=distanza media n-n 1.5 fm
 rs= range di interazione n-n 1fm

E_F energia di Fermi

E_π soglia produzione π

Addatato da: Cugnon
 "Heavy Ion Collisions" 1986

La regione tra 10 e 100MeV e' di interesse perche' copre l'ambito posto tra un regime dominato dal campo medio (pochi urti liberi permessi) e le alte energie (siamo nel limite di Boltzmann)

L'energia di simmetria E_{sym}

$$E_B = a_V A - a_S A^{2/3} - a_C \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_A \frac{(A-2Z)^2}{A} + \delta(A, Z)$$

E' essenzialmente il termine a_A (=E_{sym}) e descrive la differenza tra energia di legame per materia nucleare infinita (N=Z) e materia neutronica (Z=0)

At saturation density (and $T = 0$), the symmetry energy is determined by fitting the binding energies of nuclei with LD mass formula:

$$\text{Symmetry energy} = E_{\text{sym}} (N-Z)^2/A$$

with $E_{\text{sym}} \sim 28-32 \text{ MeV}$

La EOS nucleare studiata con reazioni fra ioni

Un approccio (microscopico) semiclassico: Teoria del Trasporto

$$\dot{f} \equiv \frac{\partial}{\partial t} f - \{h[f], f\} = K[f] = \underbrace{\bar{K}[f]}_{\text{Boltzmann}} + \underbrace{\delta K[f]}_{\text{Langevin}}$$

$$h = \frac{p^2}{2m} + U[f]$$

$f=f(\mathbf{p},\mathbf{r},t)$ = funzione di distribuzione a un corpo che evolve nello spazio delle fasi

$U(f)$ = campo medio autoconsistente da cui si ricava la EOS

$K(f)$ = termine di Boltzmann per dare la dinamica media

$\delta K(f)$ = termine di Langevin per dare fluttuazioni

Stochastic Mean Field (SMF)

EOS nucleare



dinamica

$$E/A(\rho, I) = E_s(\rho, 0) + E_{\text{sym}}(\rho) * I^2$$

$$I = (\rho_n - \rho_p) / \rho$$

La EOS nucleare studiata con reazioni fra ioni

Stochastic Mean Field (SMF) \longleftrightarrow

La EOS entra all'interno del potenziale

Schema idrodinamico, con fluidi di n e di p

Correnti di neutroni e di protoni

$$j_n = D_n^0 \nabla \rho + D_n^I \nabla I$$

$$j_p = D_p^0 \nabla \rho + D_p^I \nabla I$$

drift

diffusion

Coefficienti di trasporto $D_{p,n}$

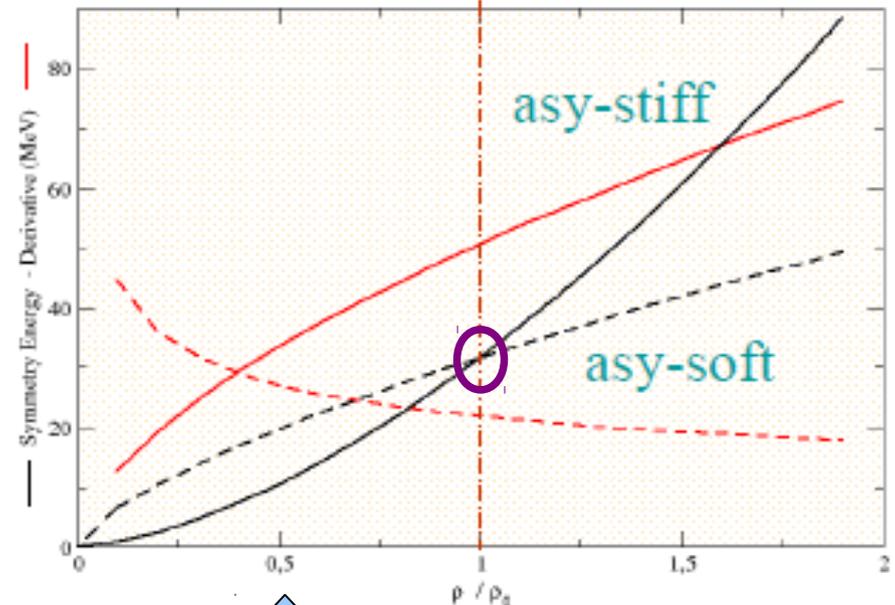
$$j_n - j_p \propto E_{sym}(\rho) \nabla I + \frac{\partial E_{sym}(\rho)}{\partial \rho} I \nabla \rho$$

Diffusione (valore di E_{sym})

Deriva (derivata della E_{sym})

$$E/A(\rho, I) = E_s(\rho, 0) + E_{sym}(\rho) * I^2$$

$$I = (\rho_n - \rho_p) / \rho$$

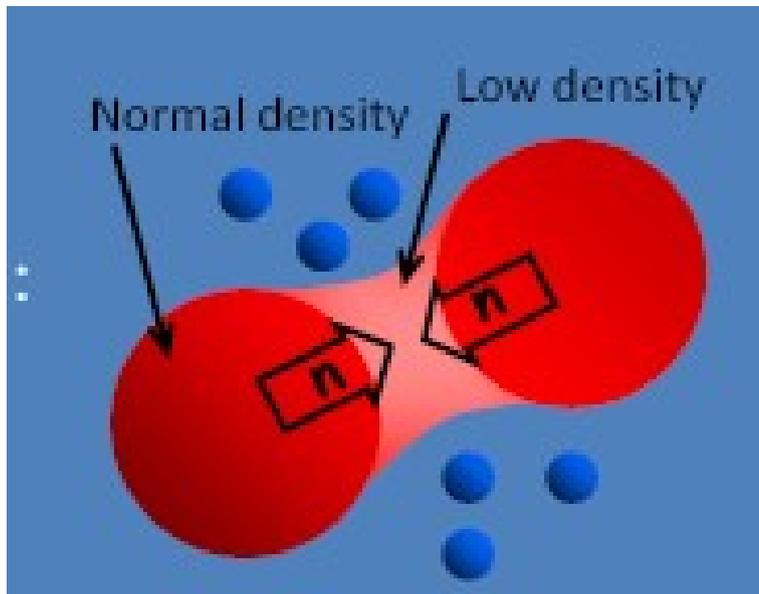


Si confrontano con i dati varie parametrizzazioni di E_{sym}

Reazioni a energie vicine al regime di Fermi : informazioni sulla EOS a densita' basse

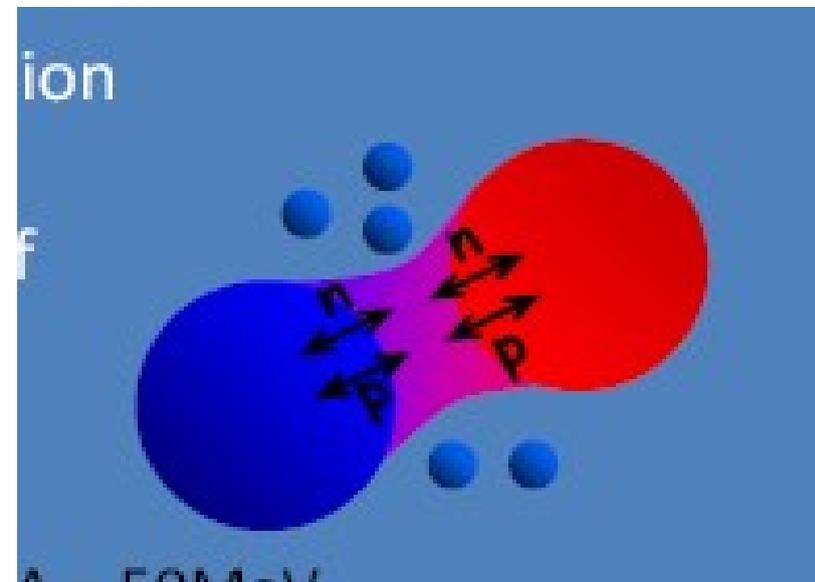
La EOS nucleare studiata con reazioni fra ioni

Due modi di studiare i flussi di neutroni e protoni (e quindi E_{sym}):



Dall' equilibrio di isospin verso possibili differenze

Dalla asimmetria iniziale di isospin verso l'equilibratura



Migrazione di isospin ("chimica" e dinamica del neck)

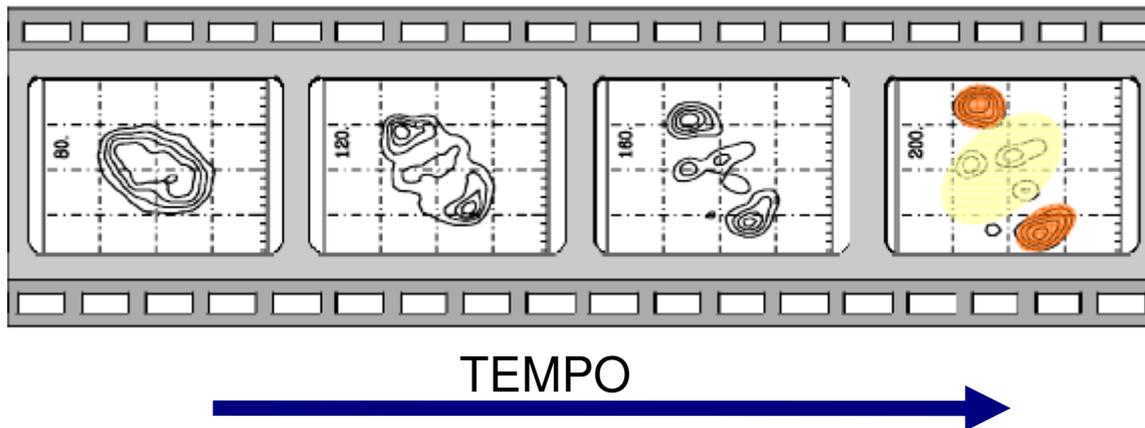
Fenomeni di neck e rotture a tre corpi

- Regione intermedia (neck) per collisioni semi-periferiche fra 15 e 50 A MeV
- Zona di interfaccia a bassa densita' che puo' ben manifestare la dinamica di isospin
- Frammenti emessi dalla regione intermedia, *messaggeri* della dinamica dell'isospin

Isospin, repulsione di Coulomb e momento angolare producono instabilita' di superficie

Paradosso: surplus di neutroni nel neck anche partendo da due sistemi che sono uguali come rapporto n-p (si chiamano iso-simmetrici) e cio' in virtu' degli effetti di gradiente di densita' barionica

M.Colonna 2010



Previsioni

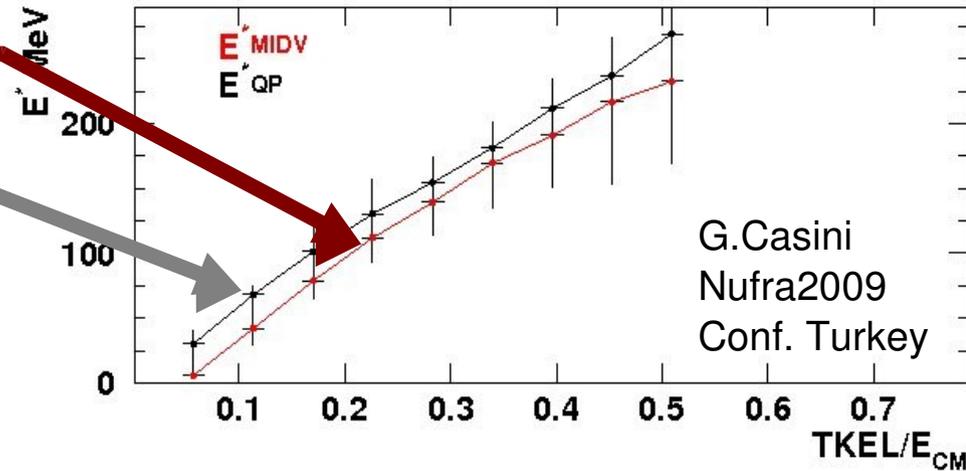
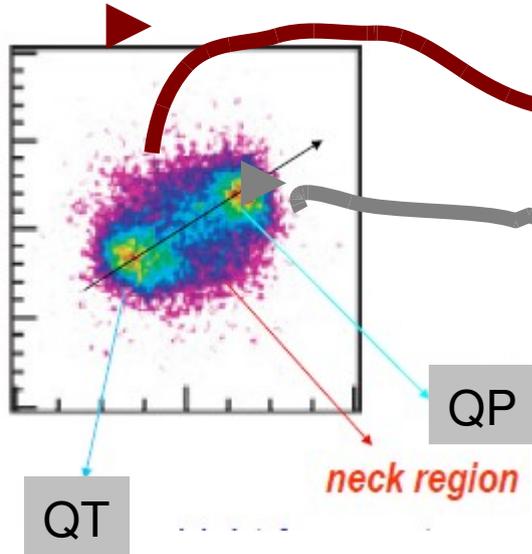
La EOS Asy-stiff produce neck piu' deformato

Il neck, sistema transiente, emette frammenti piu' ricchi di neutroni

Arricchimento di neutroni nel neck?

Il contributo del **gruppo di Firenze**

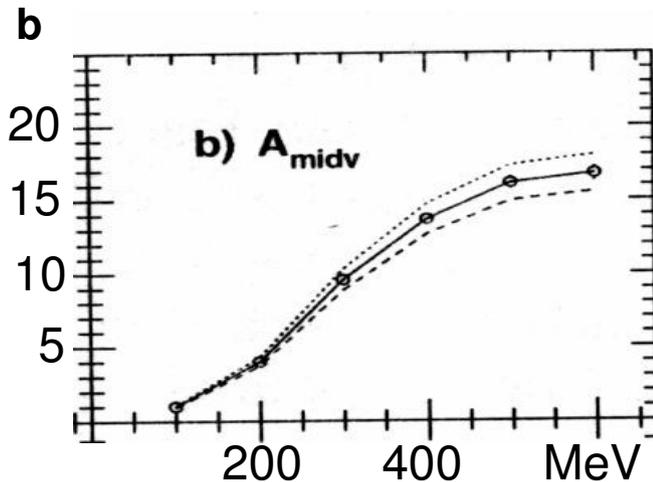
$^{93}\text{Nb} + ^{93}\text{Nb}$ @ 38A MeV



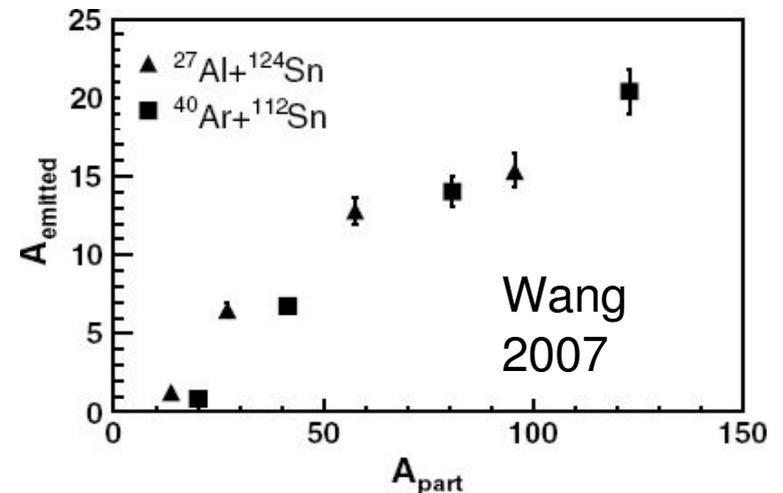
G.Casini
Nufra2009
Conf. Turkey

M.Colonna **SMF** calc.

La regione del neck appare molto 'calda'



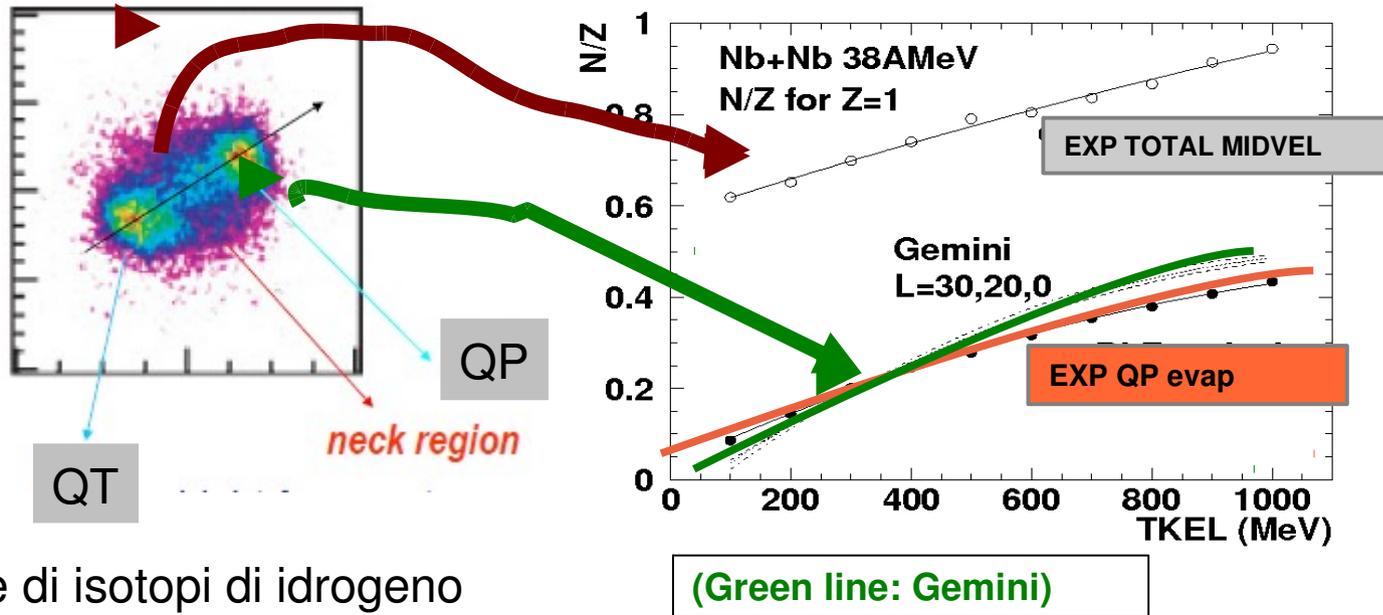
Un sistema di
10-30 nucleoni
fortemente
eccitato



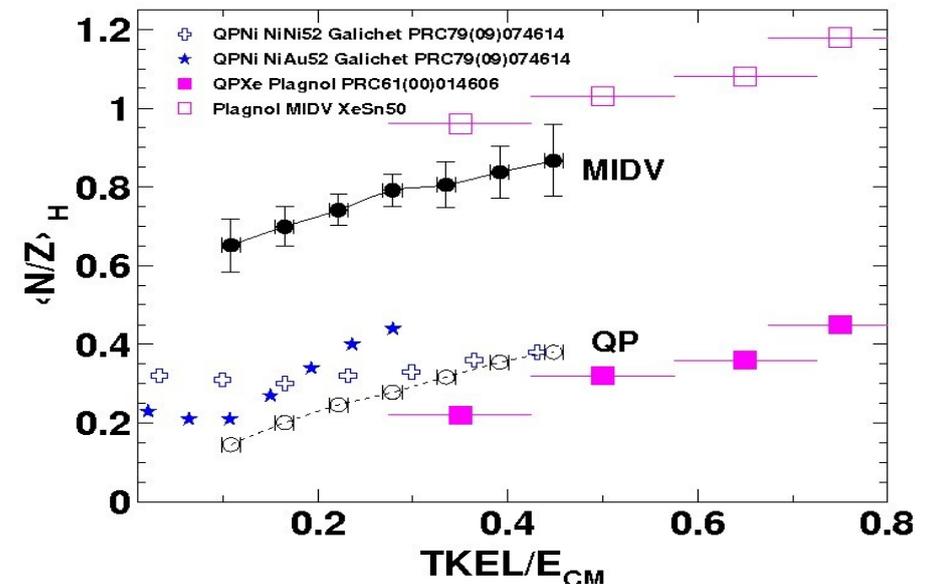
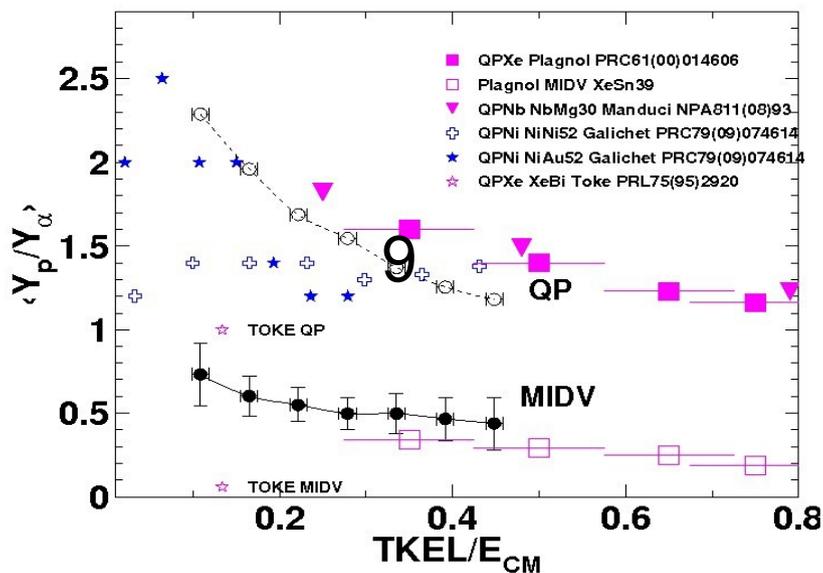
Arricchimento di neutroni nel neck?

G.Casini
Nufra2009 Conf.
Kemer, Turkey

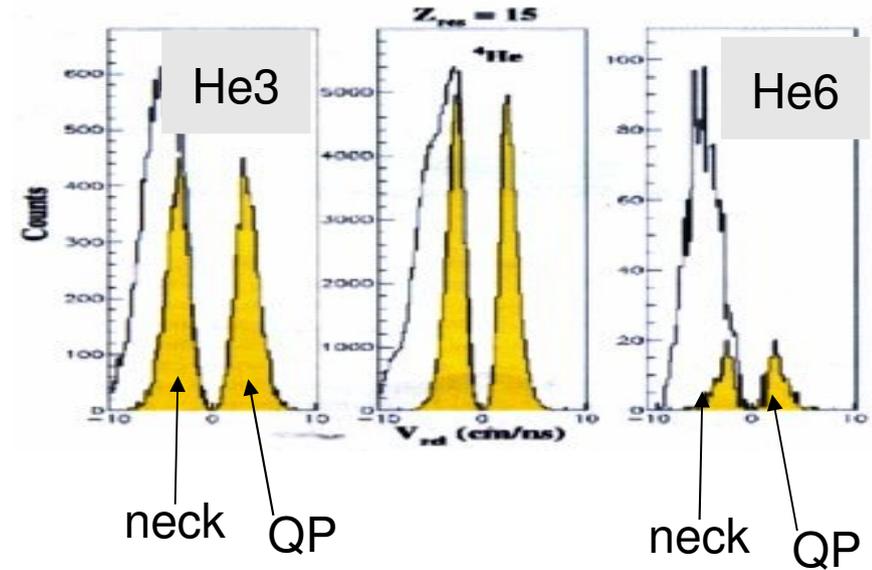
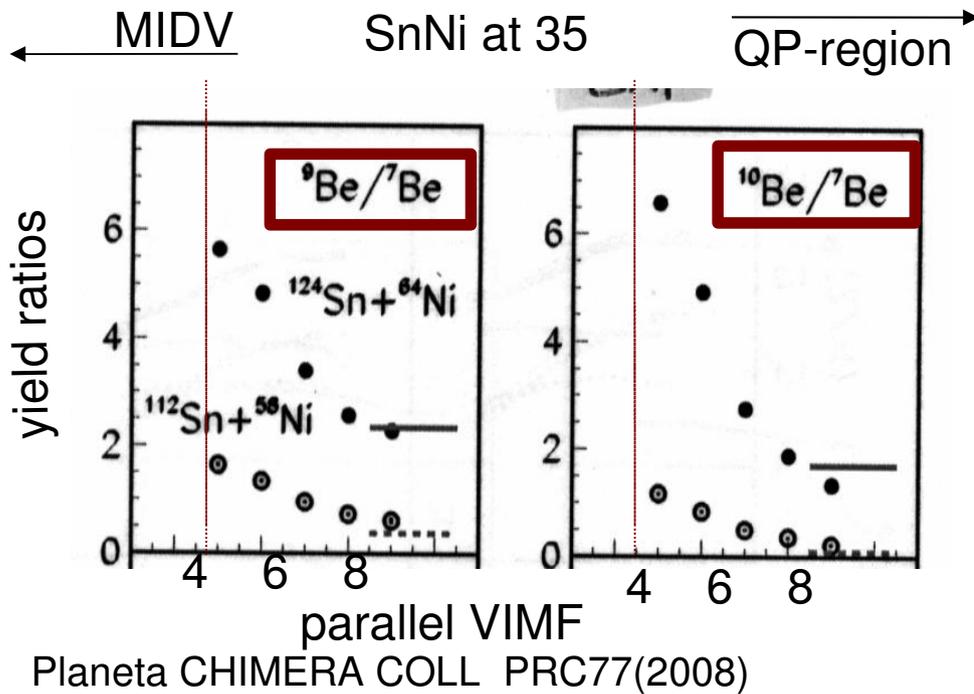
Piantelli PRC74,2006,
Piantelli PRC76,2007
Piantelli PRC78,2008



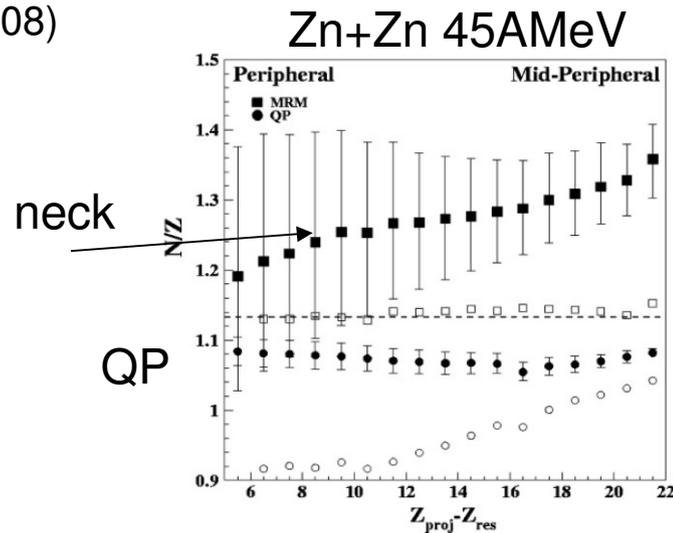
Le rese di isotopi di idrogeno
appaiono



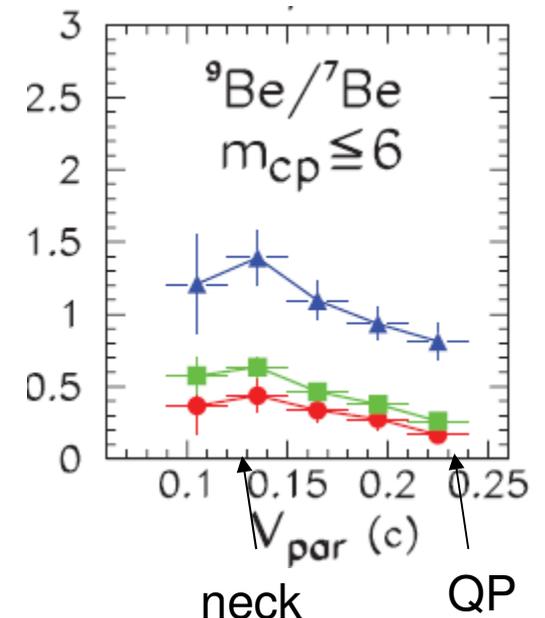
Arricchimento di neutroni nel neck?



**I nostri risultati sono in buona compagnia..
Ma il dibattito e' ancora aperto.
(NEUTRONI liberi???)**



Theriault PRC2006



Lombardo PRC 2010

Composizione del neck: un possibile futuro esperimento

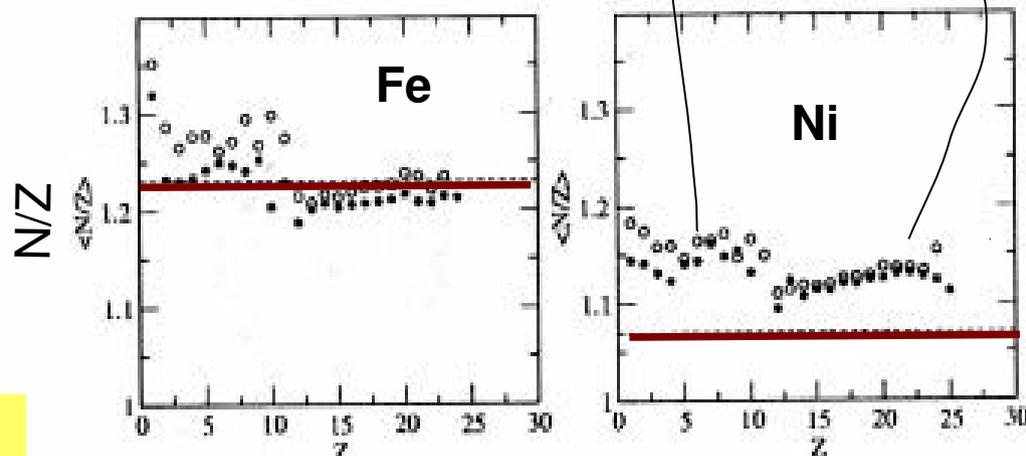
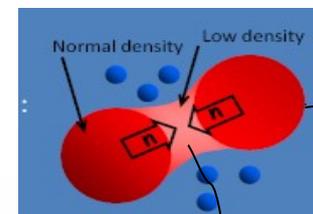
$^{58}\text{Fe} + ^{58}\text{Fe}$, $N/Z=1.23$ vs. **$^{58}\text{Ni} + ^{58}\text{Ni}$, $N/Z=1.07$**
Calcoli SMF fra $b=4-6\text{fm}$ 47A MeV Lioni et al. Phys Lett B625 2005

Per tempi inferiori 100fm/c sono attesi effetti di preequilibrio: EOS asysoft da' piu' emissione di n a causa della maggiore repulsione del campo medio.

^{58}Fe emessi piu' n di p : QP,QT tendono a minore N/Z

^{58}Ni emessi piu' p di n : QP,QT tendono a maggior N/Z

Dunque, c'e' piu' isospin da trasferire al neck (con asystiff il gradiente e' maggiore e la migrazione piu' decisa)



IMF CHARGE

punti aperti = ASY stiff; chiusi: =ASY soft

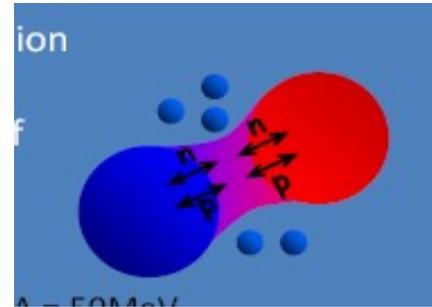
**Esperimento con FAZIA Fase2 Bis
 Anno 2014 (?)**

Trasporto ed equilibrizzazione di isospin (**imbalance ratio**)

L: n-defic. sist. ${}^{\infty} \text{Mo} + {}^{\infty} \text{Mo}$

H: n-rich sist. ${}^{10} \text{Mo} + {}^{10} \text{Mo}$

M : sistema misto e.g. ${}^{10} \text{Mo} + {}^{\infty} \text{Mo}$



LA VIA STOCASTICA

Calcoli di SMF

Phys. Rep. 389 (2004)

Phys.Rep.410(2005)335

B. Tsang et al. PRL 92 (2004)

Prendiamo $I=(N-Z)/A$ o una osservabile $x = f(I)$

$$R_P = \frac{2x_P^M - x_P^{H-H} - x_P^{L-L}}{x_P^{H-H} - x_P^{L-L}}; R_T = \frac{2x_T^M - x_T^{H-H} - x_T^{L-L}}{x_T^{H-H} - x_T^{L-L}}$$

**Frammento
PROIETTILE**

**Frammento
BERSAGLIO**

$R = \pm 1$ trasparenza piena: no equilibrio

$R = 0$ completa equilibrizzazione

$$x^{eq} = \frac{1}{2}(x^H + x^L).$$

$$R_{P,T}^x = \frac{2(x^M - x^{eq})}{(x^H - x^L)}$$

Se:

$$x^M = x^{eq} + (x^H - x^{eq}) e^{-t/\tau}$$

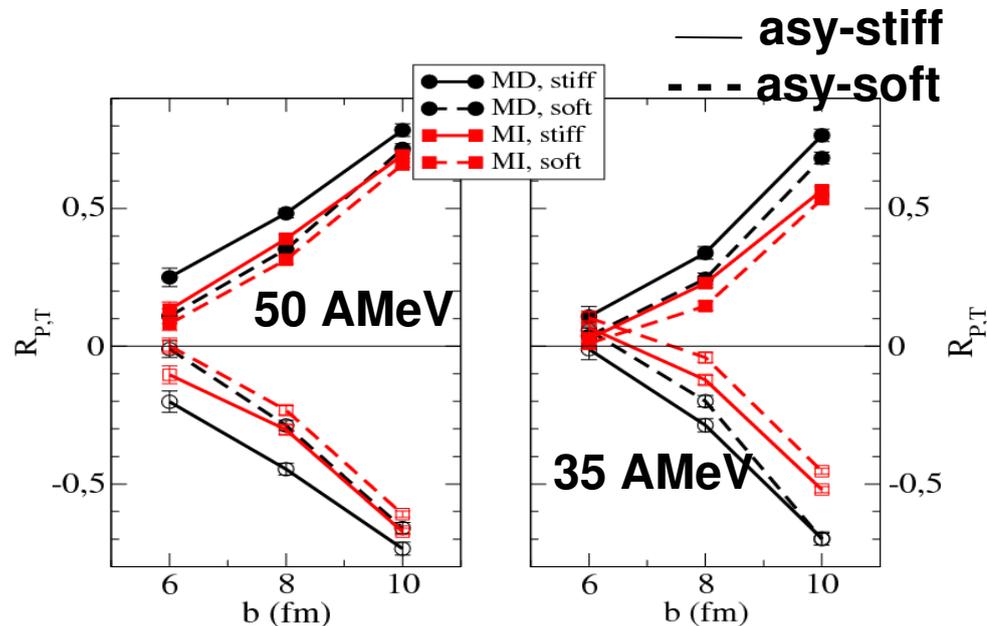
$$R_{P,T}^\beta = \pm e^{-t/\tau}$$

(oscillazione sovrasmorzata)

τ e' legato alla **symmetry energy che agisce da forza di richiamo**

t e' legato al tempo di interazione (contatto) e alla **dinamica dissipativa**

Trasporto ed equilibratura di isospin (**imbalance ratio**)

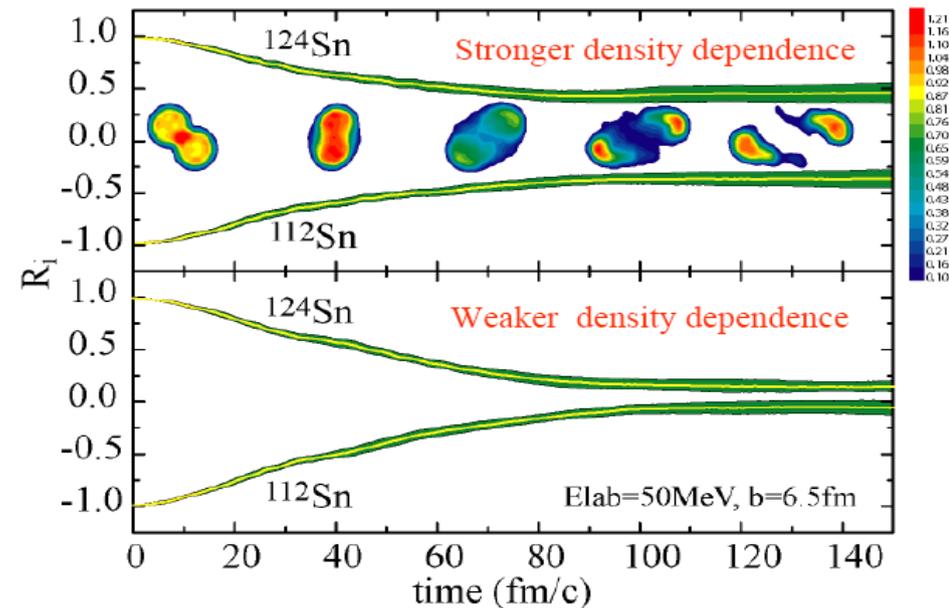


Parametro d'urto

R dipende essenzialmente dalla parte isovettoriale del potenziale nucleare, ovvero dal termine di simmetria

Modelli
 Iso-equilibratura
 piu' rapida per - - - Asy-soft
 (larger E_{sym}) e con int. n-n
 MI (indip. dal momento)
 Raggiunta a energie inferiori
 per via dei tempi di
 interazione maggiori

J.Rizzo et al. NPA806 (2008) 79



Al crescere dell'energia l'interazione e' piu' breve e non c'e' tempo per l'equilibratura

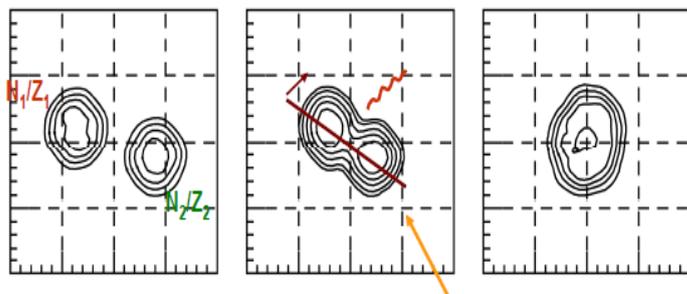
A minori energie con i **fasci esotici** si puo' sbilanciare la asimmetria di carica molto impendendo di nuovo l'equilibratura → **Lettere di intenti per SPES e SPIRAL2, G.C. e R.Lemmon**

Equilibratura di isospin (emissione dipolo dinamico)

LA VIA COLLETTIVA

L'equilibratura di isospin puo' avvenire anche lungo il cammino verso la fusione

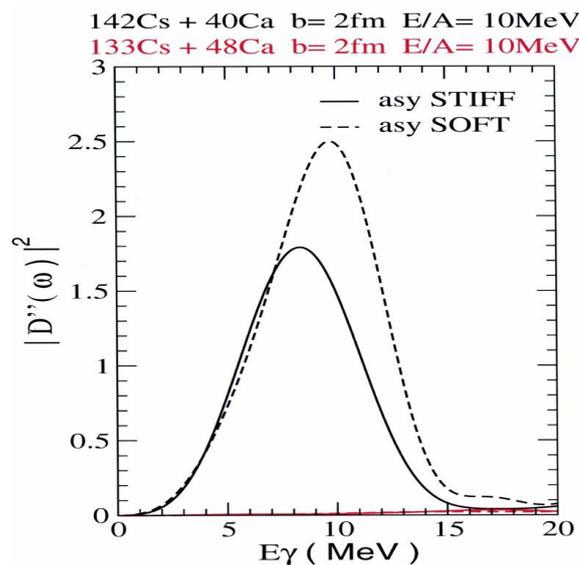
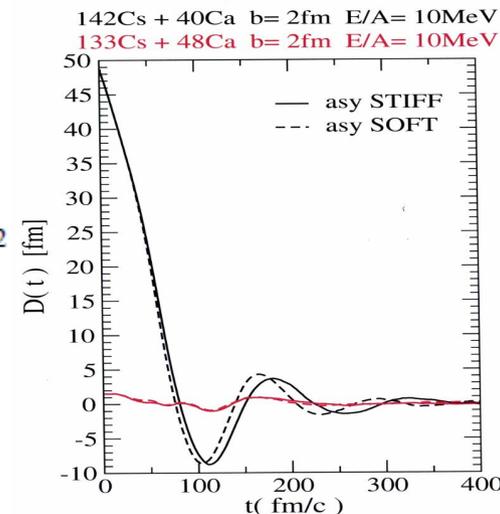
Nuclei con isospin sbilanciato (N/Z diversi)



$$D_0 = \frac{Z_1 Z_2}{A} \left(\frac{N_1}{Z_1} - \frac{N_2}{Z_2} \right) (R_1 + R_2)$$

Initial Dipole

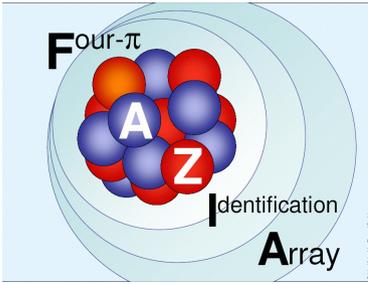
Dipolo iniziale che poi oscilla e si smorza



La resa di questi fotoni dipolari e' calcolabile mediante il formalismo della radiazione di frenamento:

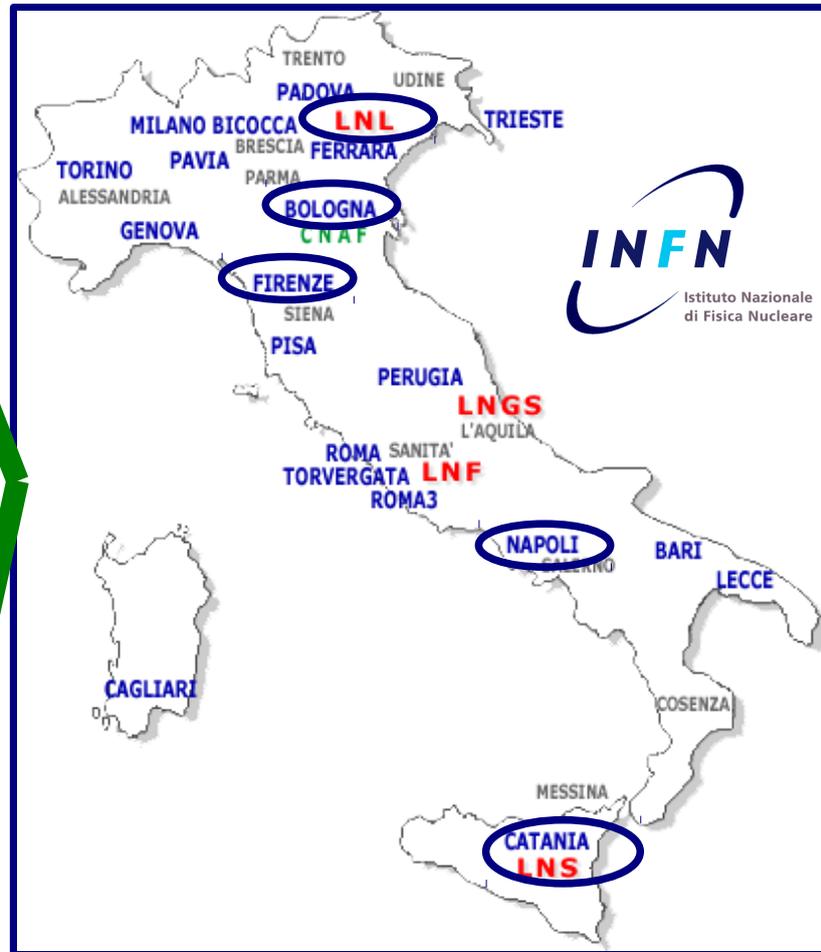
$$\frac{dP}{dE_\gamma} = \frac{2e^2}{3\pi\hbar c^3 E_\gamma} \left(\frac{NZ}{A} \right)^2 |D''(\omega)|^2$$

Caso di fisica molto interessante con i **fasci esotici** dove N/Z puo' essere molto sbilanciato



La collaborazione FAZIA

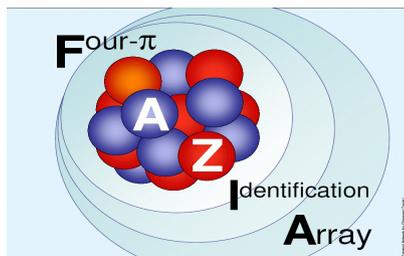
FRANCIA



FASE 1 2006-2010
FASE 2 2011-2015
FASE 3

ROMANIA

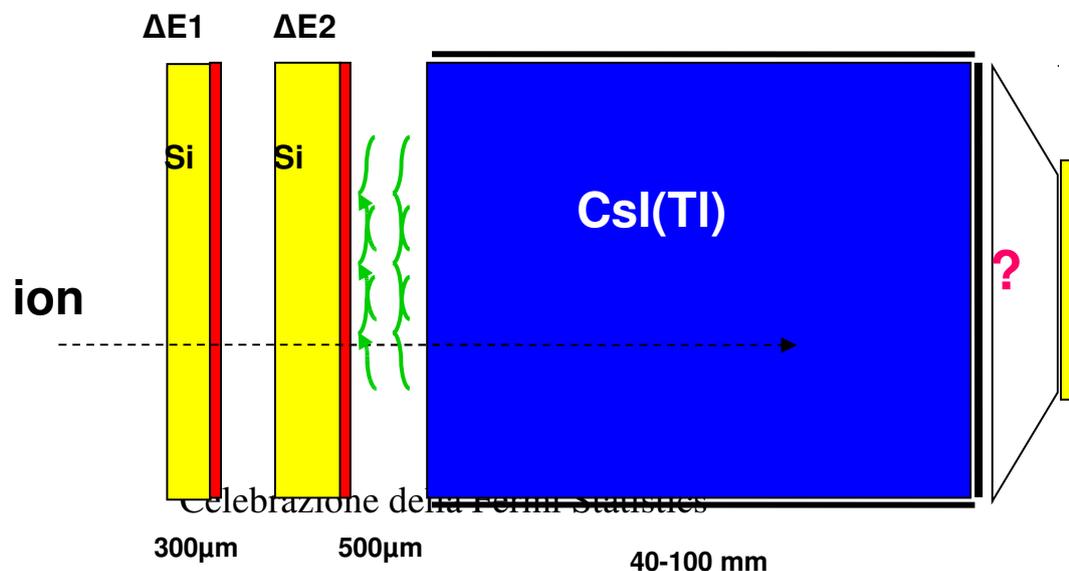
SPAGNA

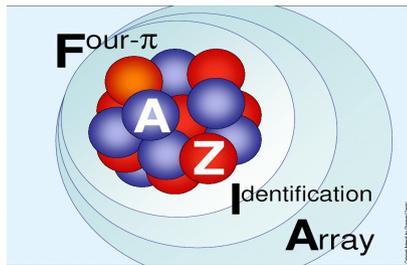


FAZIA, rivelatori ed elettronica

FAZIA studierà la termodinamica e la dinamica nucleare sia con **fasci di ioni stabili che instabili**. Con i primi si potrà lavorare fino a 30-40 A MeV (GANIL e LNS) mentre con i secondi (dal 2015?) si potrà disporre (**SPES, Spiral2**) di energie massime intorno a 8-12 A MeV

Elemento BASE
Di FAZIA





FAZIA: questione di forma

Analisi di forma di impulso PSA

Elettronica di campionamento veloce dei segnali di carica e di corrente dai PREAMP per ricavare il massimo dell'informazione e identificare gli ioni anche quando si fermano nel primo strato

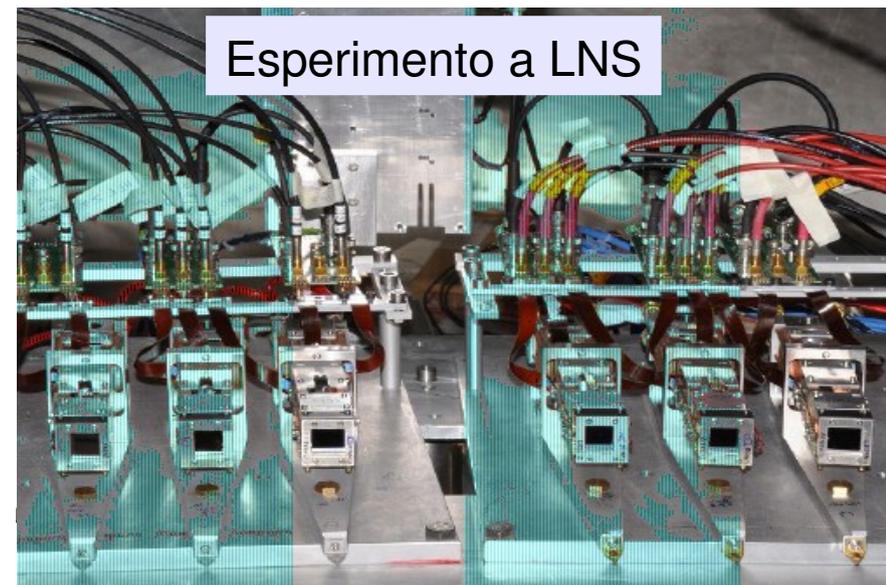
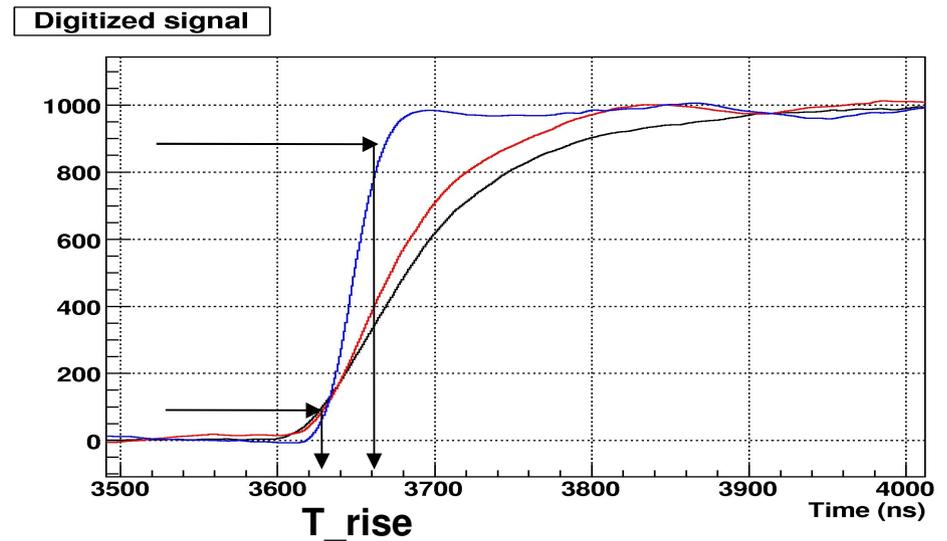
Fra gli argomenti studiati:

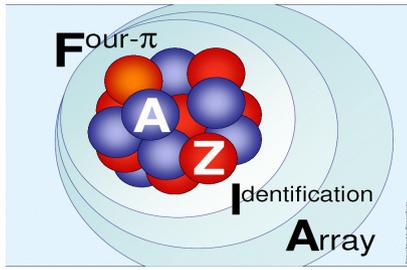
Effetti di **channeling** nei rivelatori al silicio (LNL)

Effetti di **omogeneità** di drogaggio nei rivelatori al silicio (LNS)

Come ottimizzare il **timing** nei rivelatori al silicio (LNS, GANIL, *in corso*)

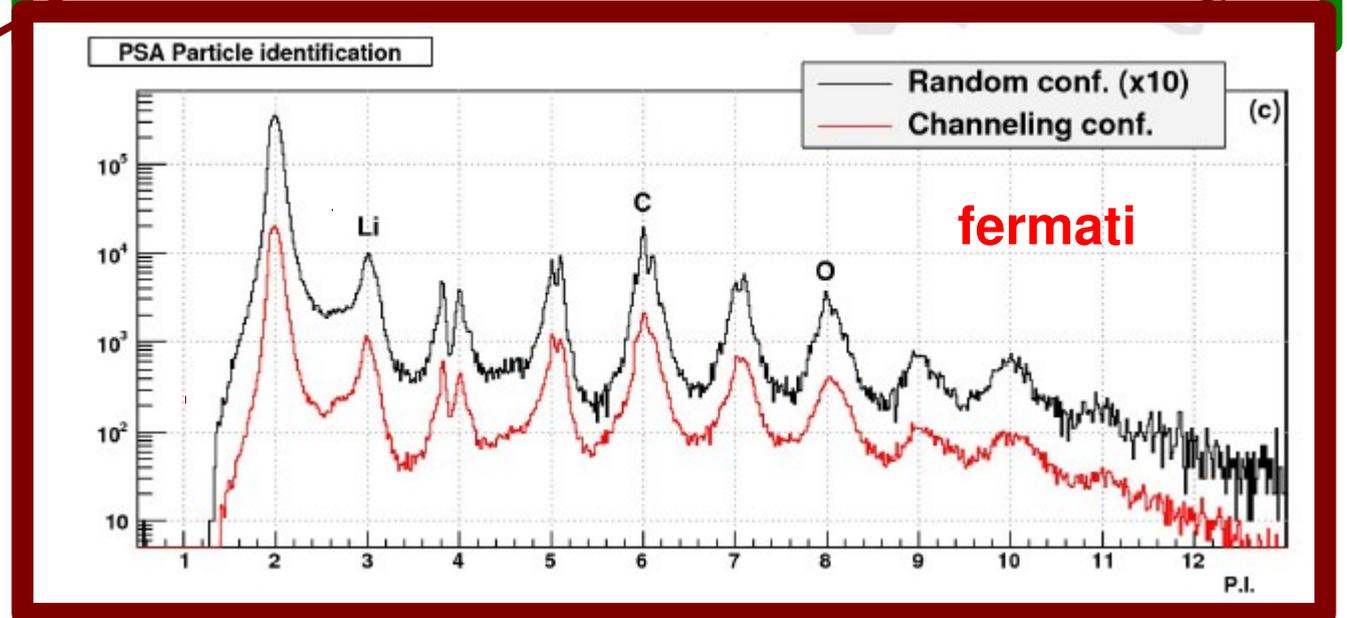
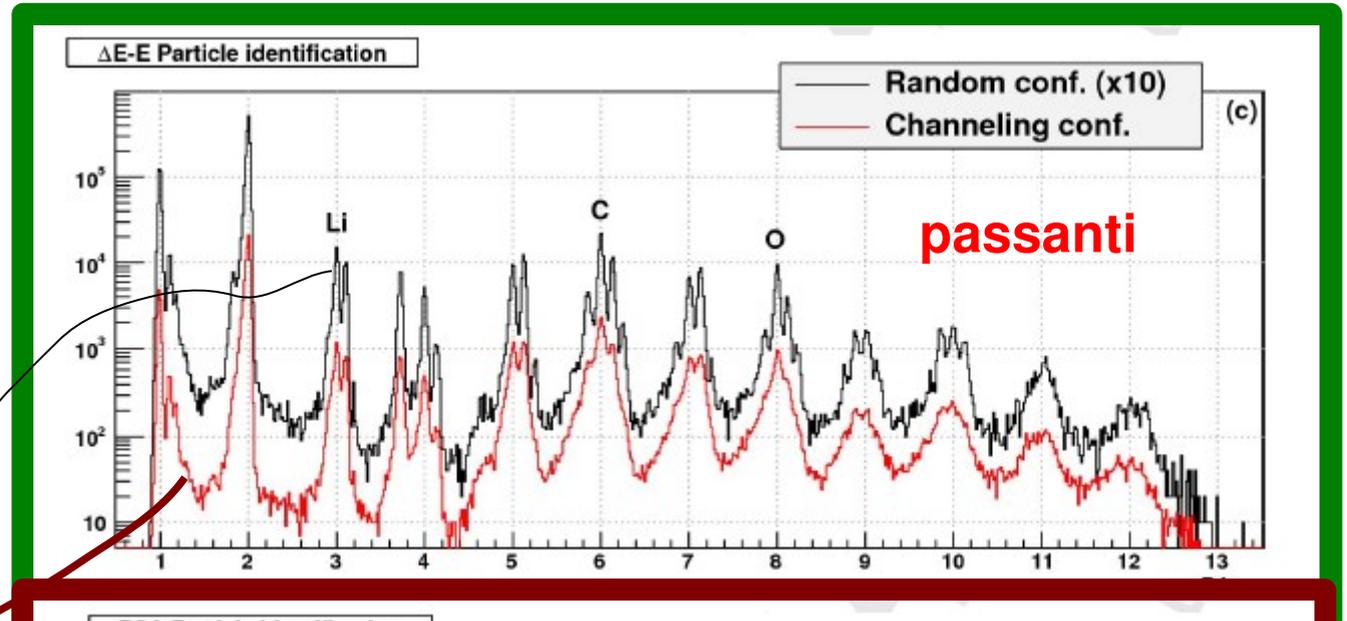
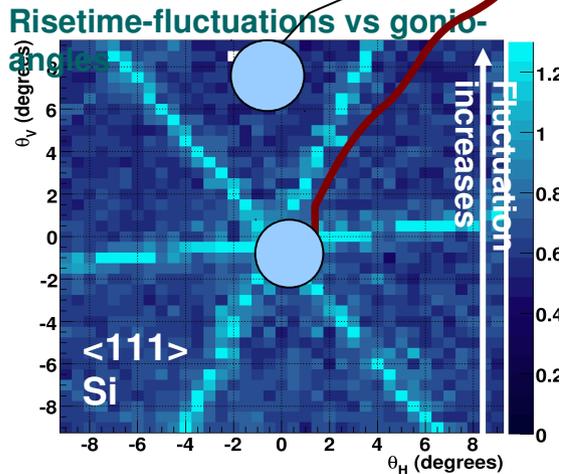
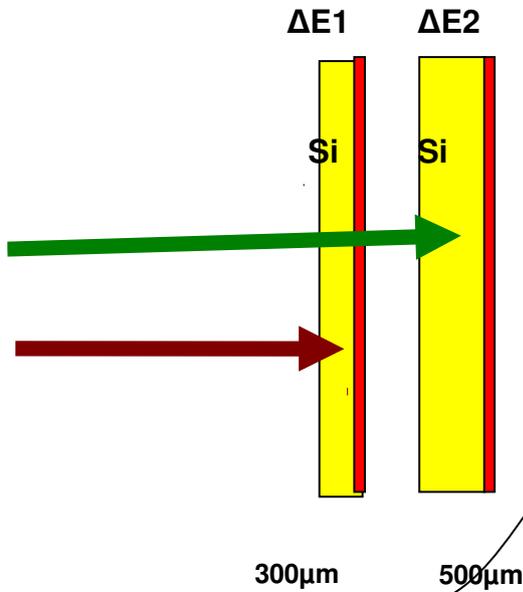
Radiation damage vs. PSA vs. ioni pesanti/leggeri (LNS, *in corso*)

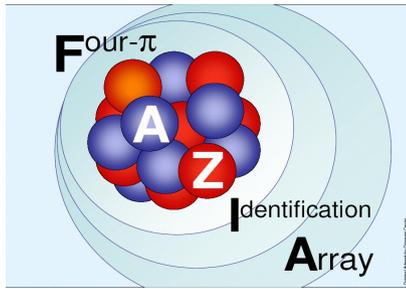




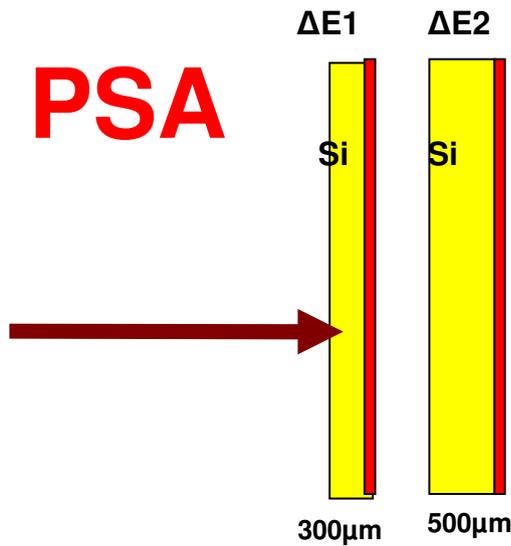
FAZIA: channeling in Si

L.Bardelli et al inviato a NIM 2011

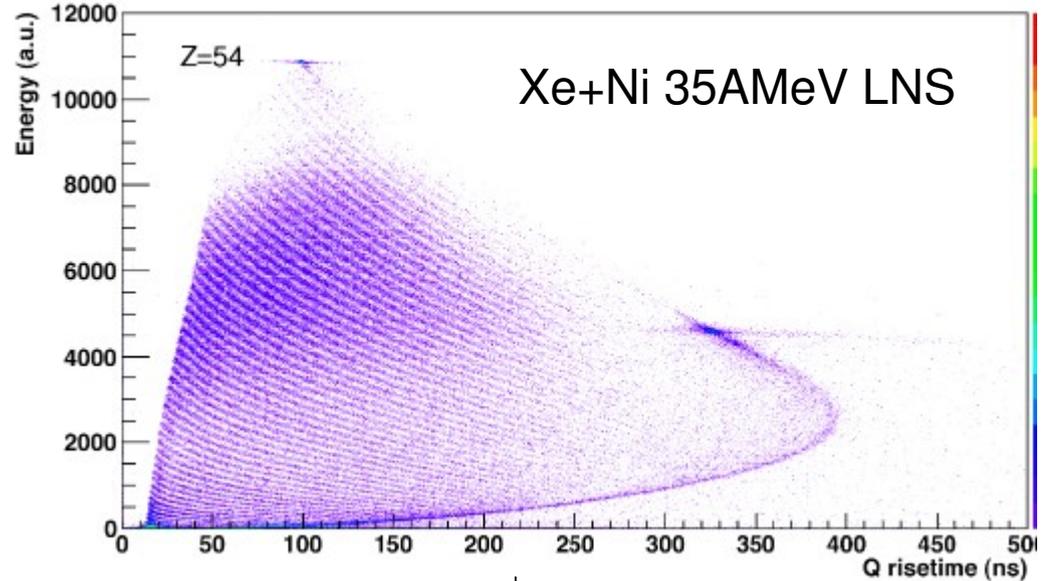




FAZIA: Silici di qualita'

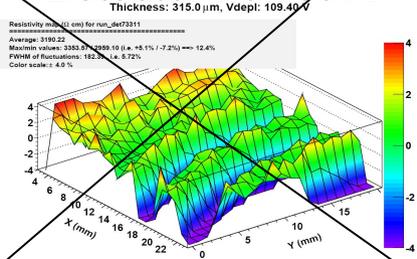


S. Carboni et al da inviare a NIM 2011

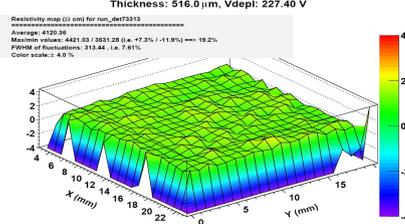


Selezione dei chip migliori quanto a uniformita' di drogaggio

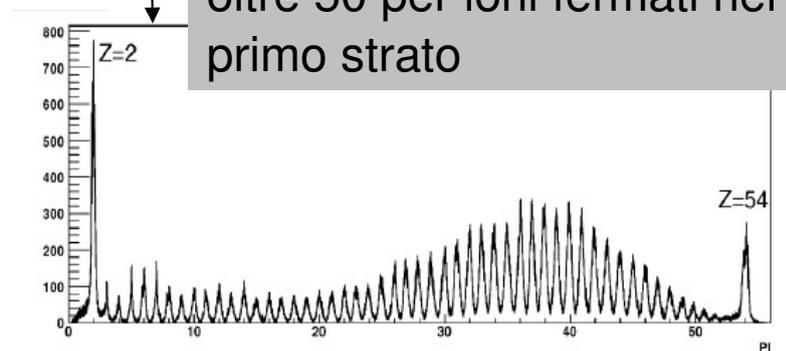
Detector no.73311



Detector no.73313

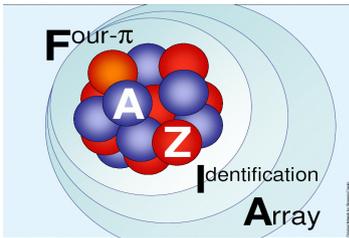


Identificazione in Z fino a oltre 50 per ioni fermati nel primo strato



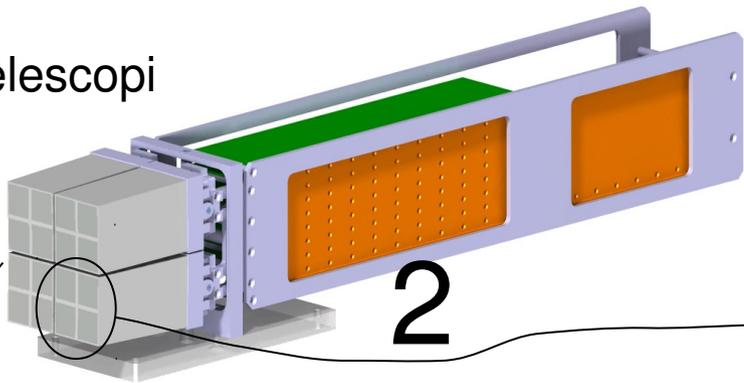
23 marzo 2011

L. Bardelli et al NIM A 602 (2009)



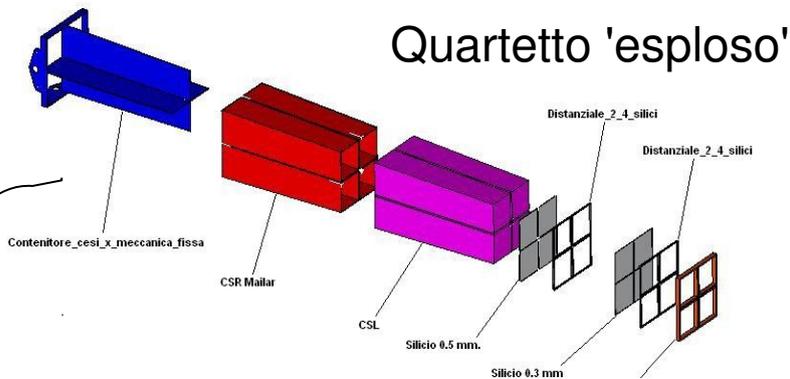
programma 2011-2015

16 telescopi

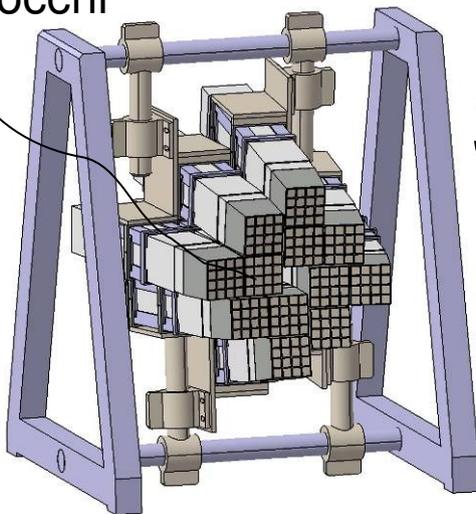


1 blocco

1



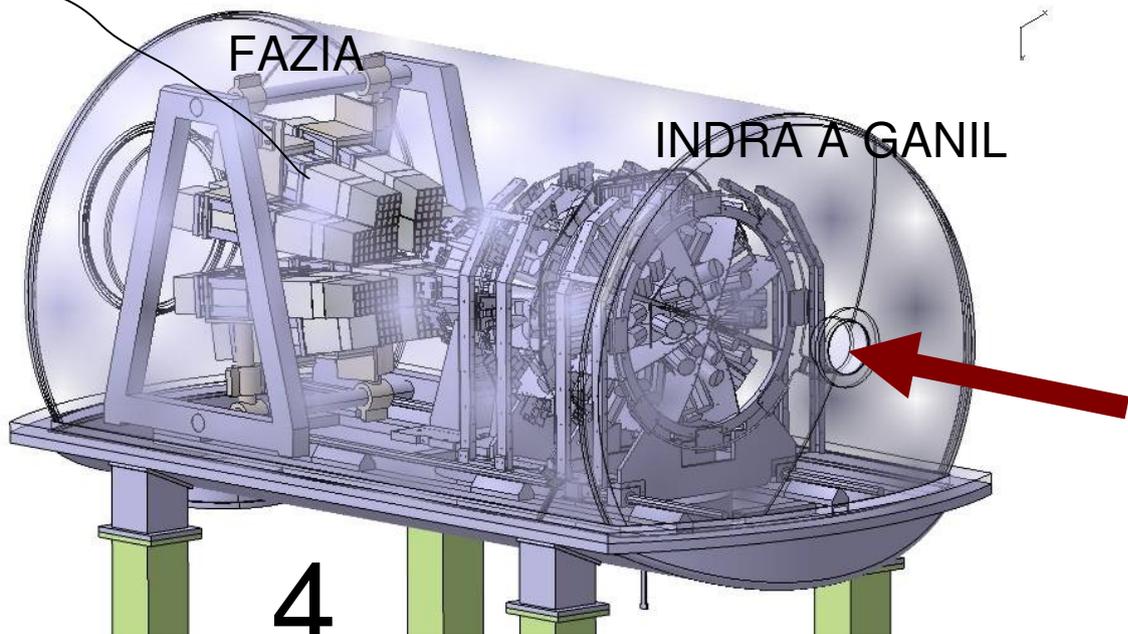
12 blocchi



3

FAZIA

INDRA A GANIL



4

Dimostratore da 192 telescopi + meccanica + FEE + trigger + ...



Labec



Il regno della **ION BEAM ANALYSIS (IBA)**

Ovvero particelle nucleari accelerate per studiare la composizione atomica (la chimica dei materiali a livello atomico, non molecolare)

Campi di applicazione

Ambiente

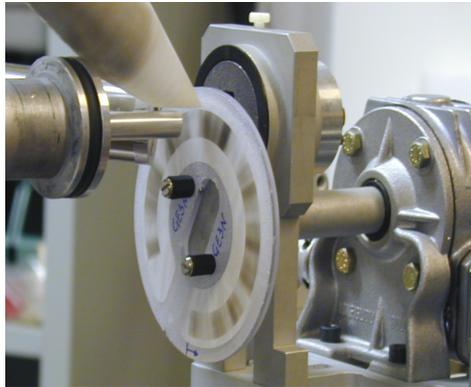
**Beni culturali
Geologia**

Il regno della **Accelerator Mass Spectrometry (AMS)**

Ovvero radiodatazione con Carbonio e non solo ...

IBA al Labec

- **STUDIO DI AEROSOL IN TOSCANA (pm2.5, pm10.....)**
- **Impatto sulla salute**
- **Modifiche e relazione con l'atmosfera**



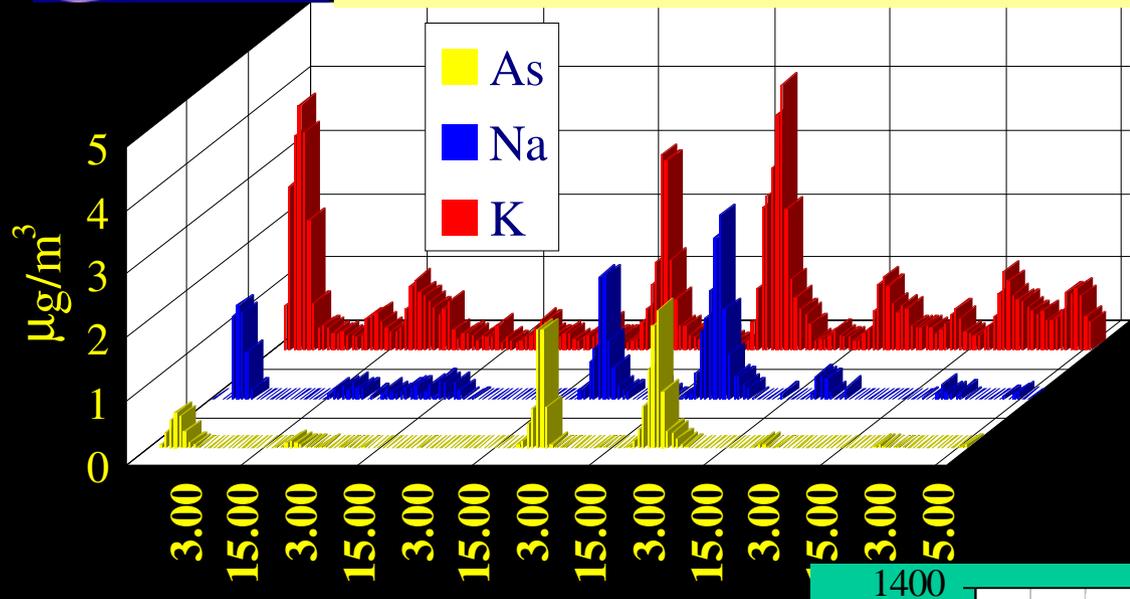
Da idrogeno a piombo tutti gli elementi possono essere rivelati simultaneamente con analisi IBA (PIXE, PIGE e ERDA)

Misura della concentrazione e composizione in funzione dei parametri: dimensione del particolato, tempo di raccolta e della posizione di raccolta

Campionamenti lunghi con accumuli 'notevoli' sui filtri, ~10-300 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$

PATOS: e' la prima campagna estesa di misura e caratterizzazione di aerosol in Toscana

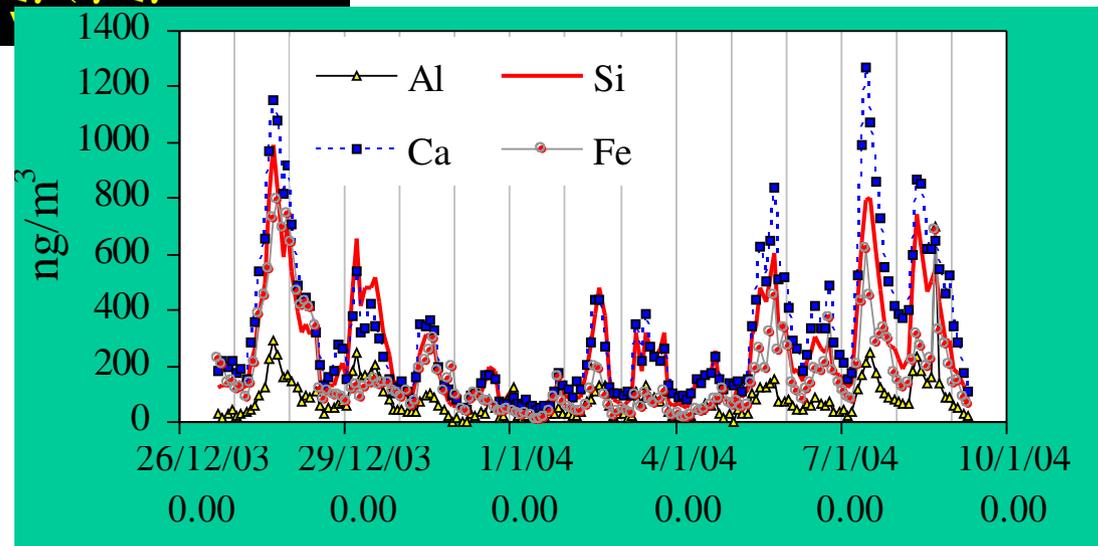
IBA al Labec



ESP. PATOS

*emissioni di industrie a
 Montelupo Fiorentino:
 produzione di vetri
 artistici*

***Passeggio di turisti
 nella corte di
 Michelozzo (Palazzo
 Vecchio, Florence)***

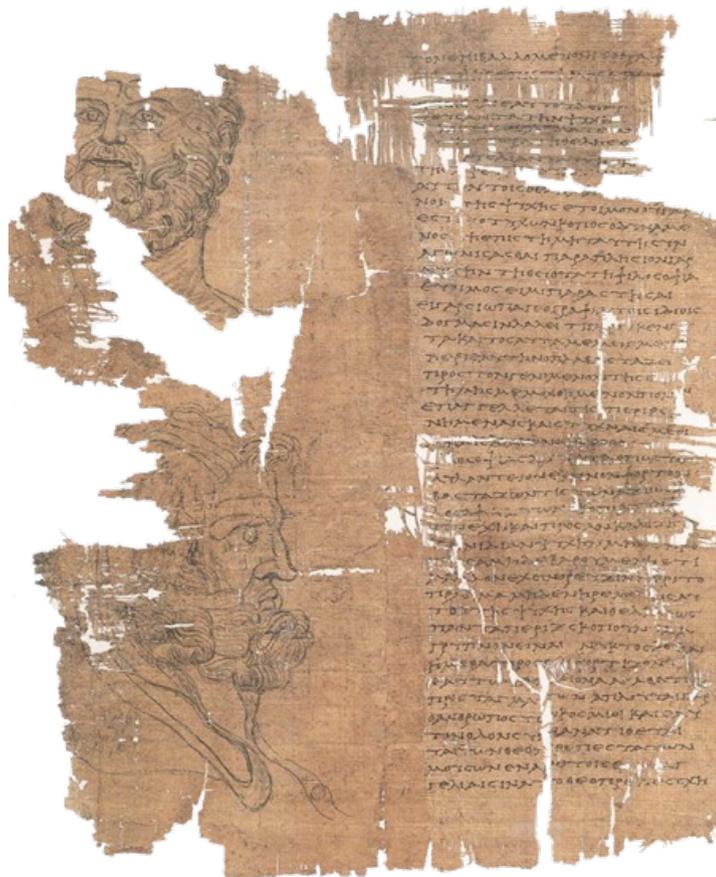


Misure con buona risoluzione temporale (oraria)

AMS al Labec

• RADIODATAZIONE CON CARBONIO

$$t = \tau \ln \left(\frac{{}^{14}R_0}{{}^{14}R(t)} \right)$$



Un esempio:

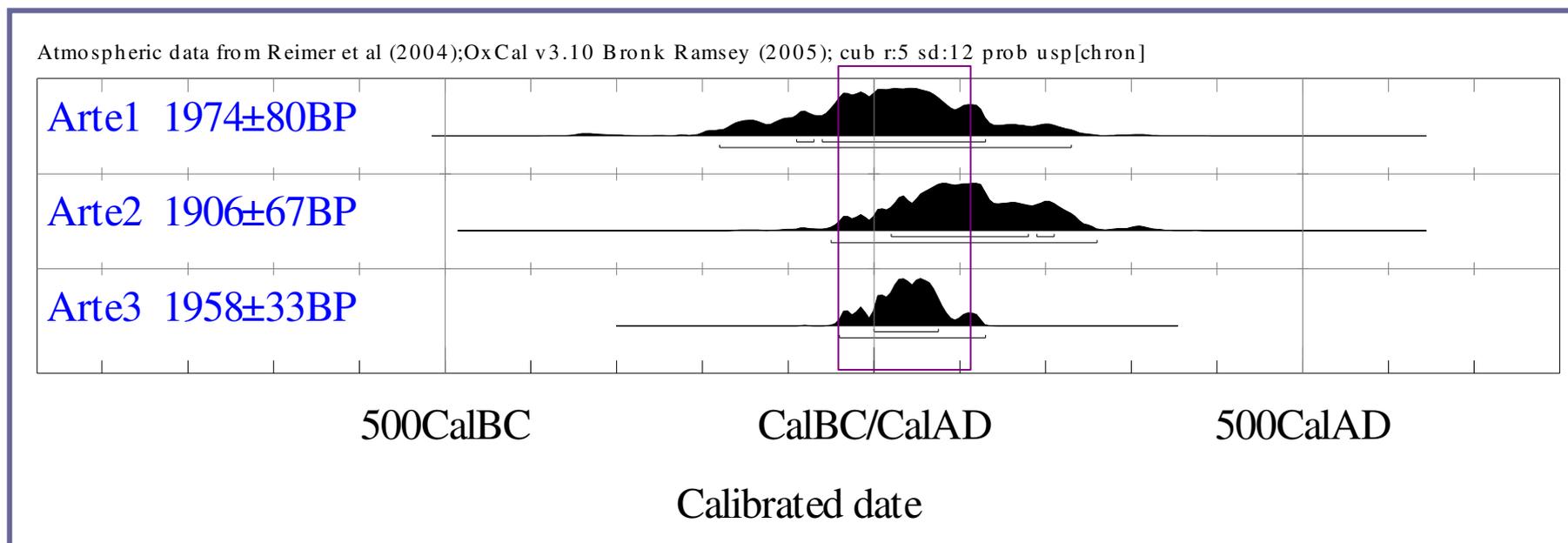
Papiro di Artemidoro (Efeso, I sec aC)
Museo Egizio di Torino

E' un falso ottocentesco?

Sono stati prelevati tre
campioni dai bordi esterni del
rotolo (m ~ 5 mg).

AMS al Labec

RADIODATAZIONE PAPIRO ARTEMIDORO



- Il supporto è datato ad un periodo fra il **40 aC e il 130 dC** compatibile con l'attribuzione originale del papiro;
- risultato in accordo a misura indipendente fatta a Caserta



Labec: programmi

ION BEAM ANALYSIS per AEROSOL

collaborazioni internazionali Antartide, Artide: studi paleoclimatici

Accelerator Mass Spectrometry per AEROSOL

Tracciamento e sorgenti del Carbonio (recente o antico) nel particolato (con annessi sviluppi per la preparazione dei campioni, il trasporto del fascio, il collegamento con altri laboratori internazionali)

Tracciamento e sorgenti di Iodio (ciclo dell'energia nucleare civile)

ION BEAM MATERIAL MODIFICATIONS (IBMM)

Modifica delle proprietà strutturali di campioni solidi con scansioni di microfascio (e.g. Guide di luce in diamante mediante grafitizzazione)

Continuare a navigare nel mare di Fermi

Il lavoro di E.Fermi sulla statistica delle particelle a spin semintero e' ad oggi fecondo di stimoli nel campo della fisica nucleare, sia come base interpretativa del complesso sistema che e' il nucleo atomico sia come base per il funzionamento dei rivelatori, potenti strumenti di navigazione in questo mare...

