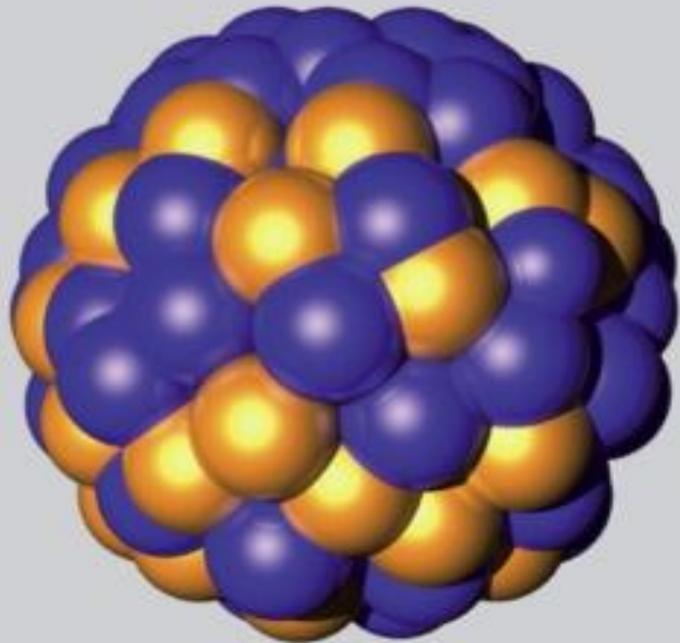


Il percorso di Fisica Nucleare

Dipartimento di Fisica
dell'Università degli Studi di Milano



Angela Bracco
(Docente di Riferimento)

Giugno 2019

Sommario

⊙ **DOMANDE** importanti e attuali della fisica nucleare

⊙ **RICERCA a MILANO** nel contesto internazionale

⊙ **ATTIVITA' e POSSIBILI TESI**

1. Struttura e reazioni nucleari – attività sperimentale

2. Astrofisica nucleare sperimentale

3. Teoria della struttura e delle reazioni nucleari

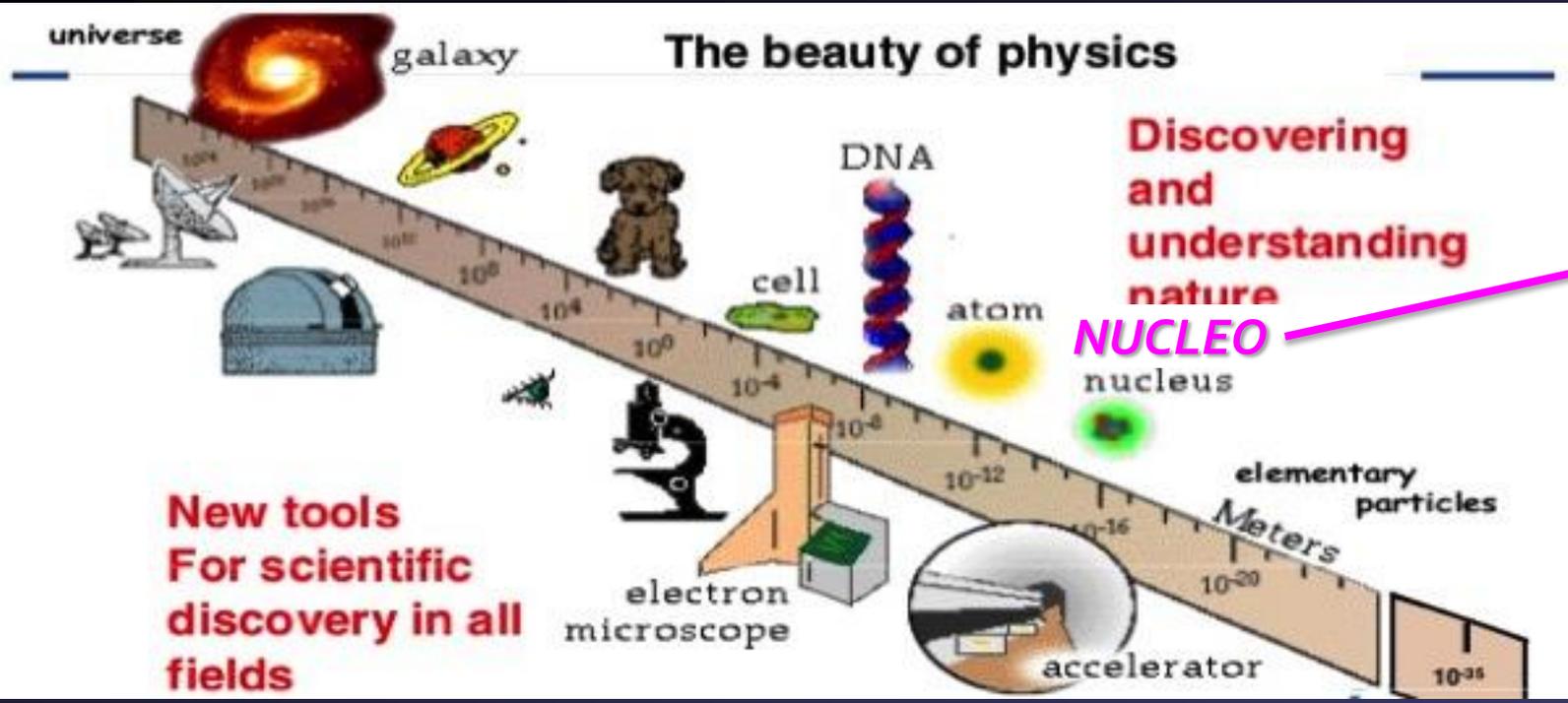
4. Sviluppo di rivelatori per gamma e particelle

5. Fisica Nucleare Applicata alla medicina

⊙ **DOCENTI** coinvolti

⊙ **CORSI** suggeriti

⊙ **SBOCCHI** professionali



Scala di energia
MeV

Scala di lunghezza
fm ($10^{-15}m$)

Nuclei ricchi di informazioni: Tre Delle Quattro Forze Fondamentali sono attive e si manifestano in vari processi !

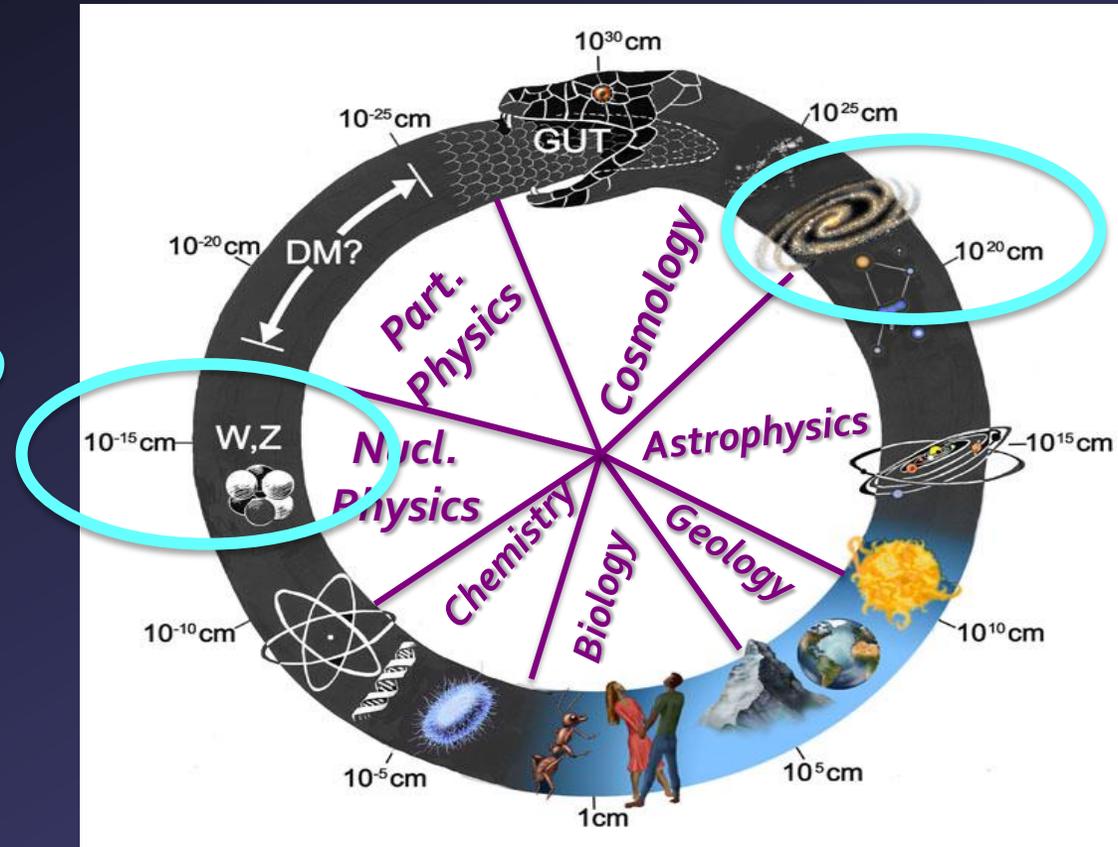
- ⊙ Su questa scala la materia nucleare è caratterizzata da una specifica fenomenologia che va studiata allo stesso tempo con **tecniche sperimentali** e con **sofisticati modelli teorici**
- ⊙ La possibilità di conoscere e controllare le proprietà nucleari: “femtotecnologia”
- ⊙ ... APPLICAZIONI INTERDISCIPLINARI ...

Struttura a Strati della Natura (Snake of Uroboros)

Fisica Nucleare
Astrofisica
Cosmologia

sono strettamente connesse

NUCLEO
1 fm



GALASSIA
1.4 billioni
di anni luce

- ⊙ Le reazioni nucleari determinano la stabilità delle stelle ... a partire dal Nostro Sole
- ⊙ Il destino di una stella (ad esempio se compia un'esplosione di supernova) è determinato dalla fisica nucleare
- ⊙ I nuclei leggeri si sono formati in ambiente cosmologico (durante la vita delle stelle e in processi esplosivi)

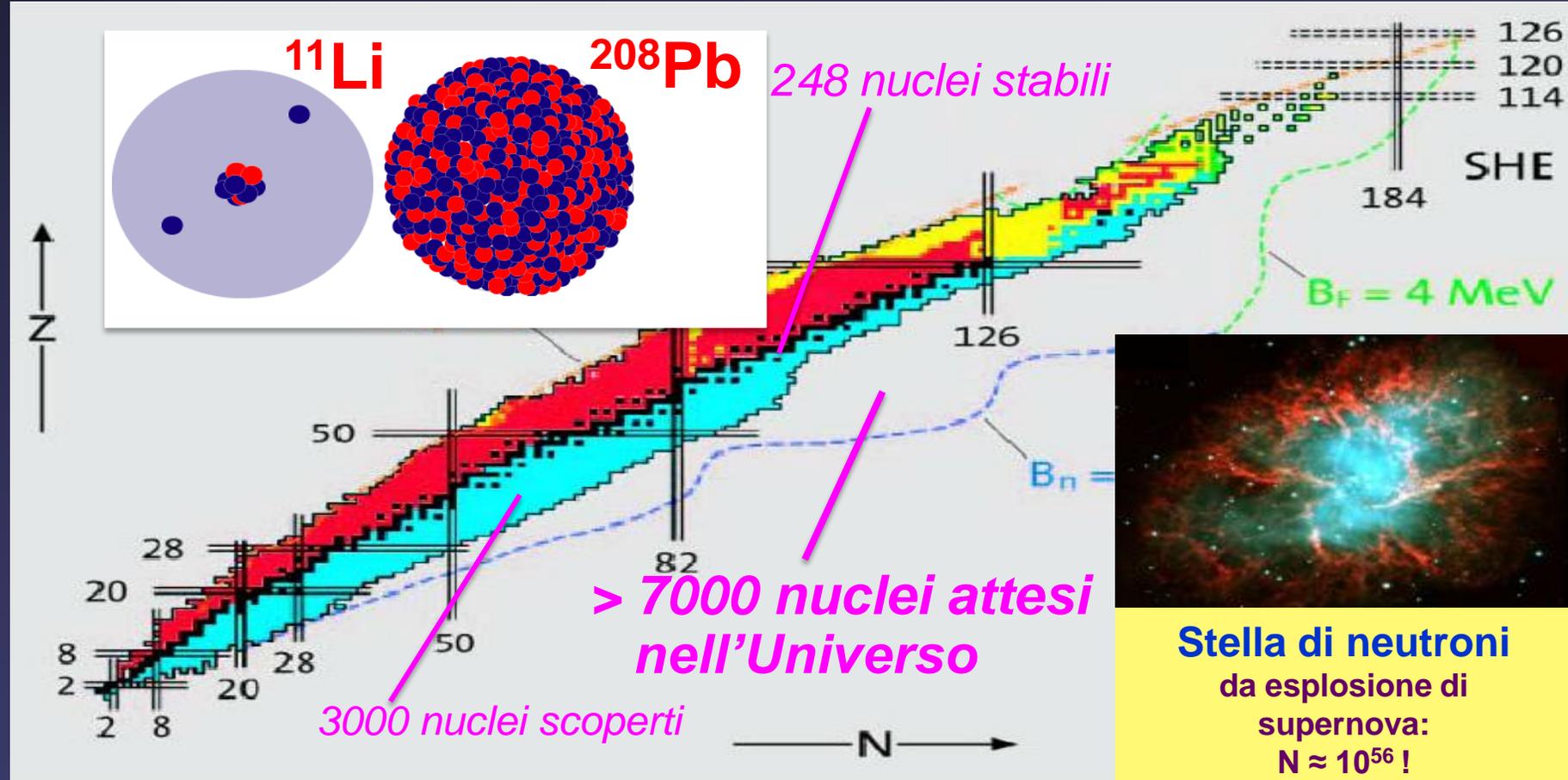
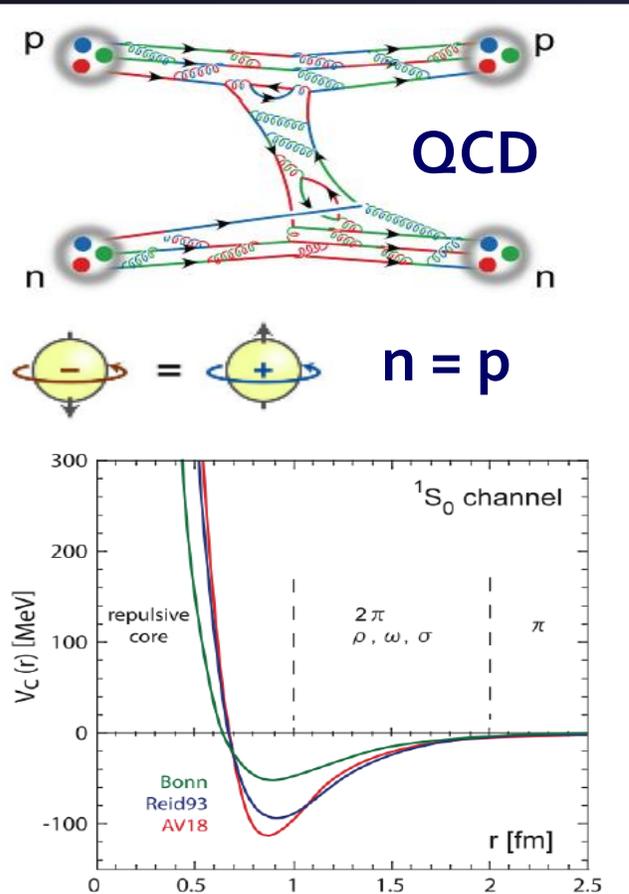
La Ricerca in Fisica Nucleare

Ruota attorno ad un problema
fondamentale:

COME NASCONO ...

... forme nucleari, spettri di eccitazione complessi,
reazioni con sezioni d'urto molto diverse

a partire dai gradi di libertà nucleonici
e dalle loro interazioni ?



Stella di neutroni
da esplosione di
supernova:
 $N \approx 10^{56}$!

Un PUZZLE di domande fondamentali ... Alcuni esempi

⊙ Come si sono formati gli elementi dal Ferro all'Uranio ?

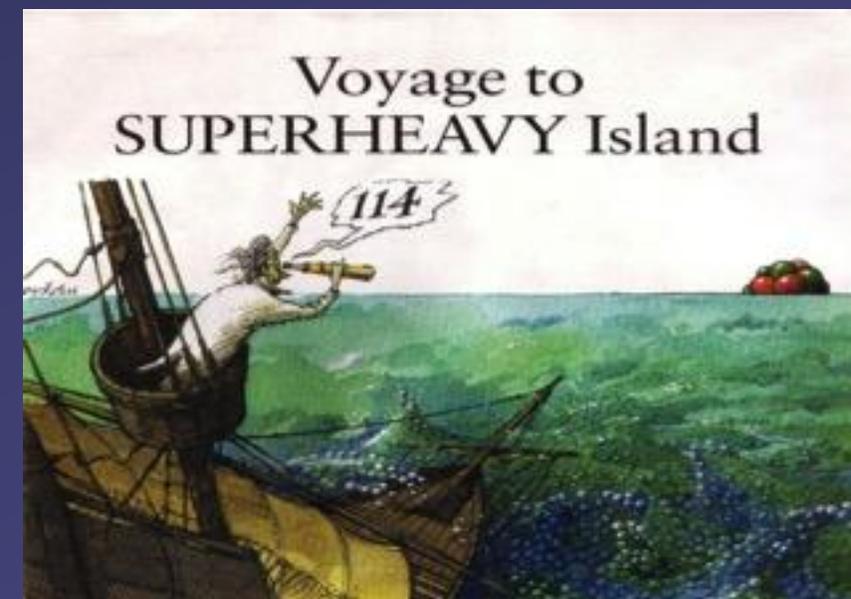
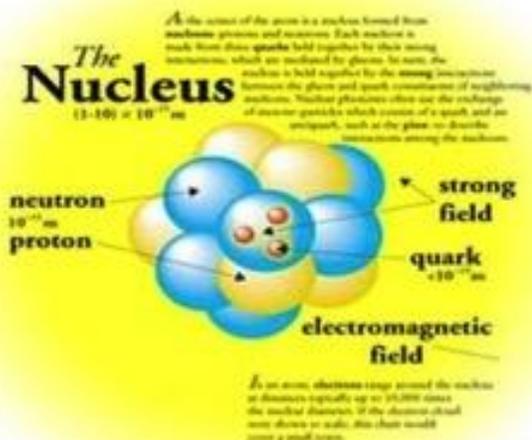
Una delle “*top unanswered questions*” della fisica ...

⊙ Quali elementi restano ancora da scoprire ?

Una gara verso i “*superpesanti*” – (il più pesante è $Z=118 \dots {}^{294}\text{Og}$ – Ogenassio, del 2016)

⊙ Come determinare accuratamente l'INTERAZIONE tra nucleoni e le simmetrie?

⊙ Come sfruttare le proprietà nucleari per il beneficio dell'umanità ?



Laboratori e Centri di Ricerca

Teoria

Institute of
Nuclear Physics
SEATTLE (USA)

Teoria

ECT*
European Center
TRENTO (ITALY)

TRIUMF ★



MSU ★
Argonne ★



GANIL
GSI
ISOLDE-CERN
Orsay
Grenoble
LAB Frascati
LAB Sud
LAB Legnaro
Gran Sasso



RIKEN ★ ★

NETWORK INTERNAZIONALE per Attività SPERIMENTALE e TEORICA

Altri Laboratori di Dimensione Minore

Anche



➤ **Formazione**

➤ **Utilizzo da parte dell'industria per Studio di materiali**

➤ **Preparazione strumentazione e Misure test**

➤ **Adroterapia e produzioni isotopi**

Formazione in questo settore che segua e contribuisca al progresso è indispensabile

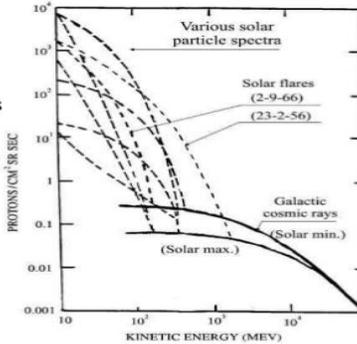


Space radiation

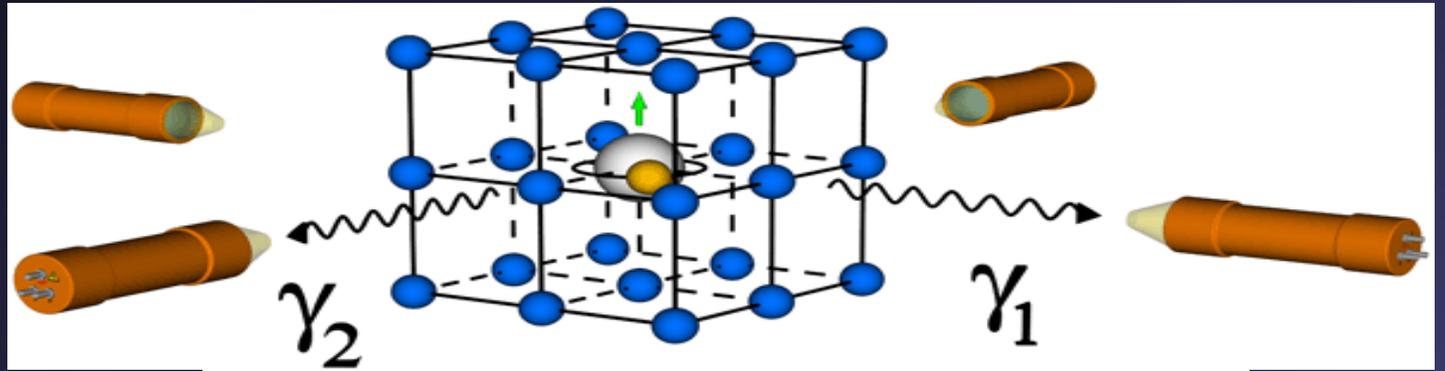
Nature of Space Radiation

(outside the Earth's radiation belts)

- Solar Radiation
 - Flares
 - Coronal Mass Ejections
- Galactic Cosmic Radiation



Solar and cosmic proton energy spectra [Spillantini, et al., 2000]

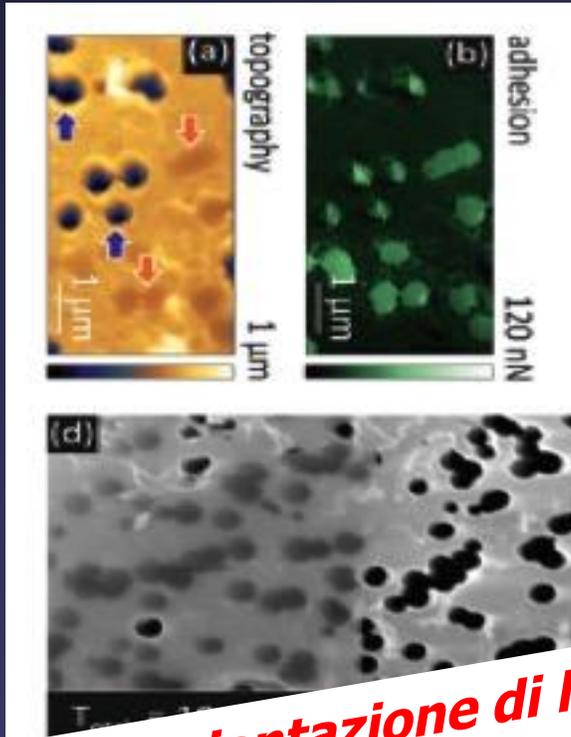


Decadimenti di nuclei instabili impiantati

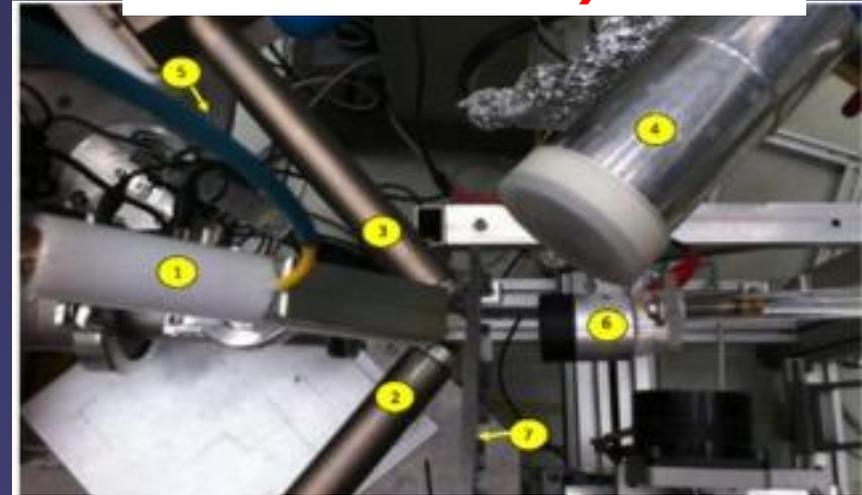
Enviromental applications and security



Applicazioni per arte



Impiantazione di heavy ions – fasci prodotti per la fisica nucleare



Tecnologie per monitoraggio dei cambiamenti ambientali e per la sicurezza

La Ricerca in Fisica Nucleare a Milano

1. Struttura e reazioni nucleari
ATTIVITA' SPERIMENTALE
Esperimenti di Ricerca di Base

2. Astrofisica Nucleare
ATTIVITA' SPERIMENTALE
Esperimenti di Ricerca di Base

3. TEORIA
**della Struttura Nucleare e
delle Reazioni**

**4. Sviluppo di Rivelatori
per gamma e particelle**
4.1 *Per Sperimentazione
in Laboratori di Ricerca*
4.2 *Per Sviluppi Tecnologici*

5. Applicazioni alla Medicina
ATTIVITA' SPERIMENTALE
Per Adroterapia – cura dei tumori

Docenti Coinvolti

1

◎ Struttura e reazioni nucleari – attività sperimentale

A. Bracco, S. Leoni et al.

4

◎ Sviluppo di rivelatori

F. Camera et. al

*A. Bracco, F. Camera, F. Crespi, S. Leoni, S. Bottoni , A. Pullia, S. Riboldi
e INFN: G. Benzoni, B. Million, O. Wieland, S. Brambilla, C. Boiano*

http://diana11.mi.infn.it/specgamma_site/HTML//

2

◎ Astrofisica nucleare sperimentale

A. Guglielmetti et al.

<https://sites.google.com/site/aleguglielmetti/>

3

◎ Teoria della struttura e delle reazioni nucleari

G. Colò and X. Roca Maza

e INFN: E. Vigezzi

<http://www.mi.infn.it/~colo/>

<http://www.mi.infn.it/~jroca>

5

◎ Fisica Nucleare applicata alla medicina

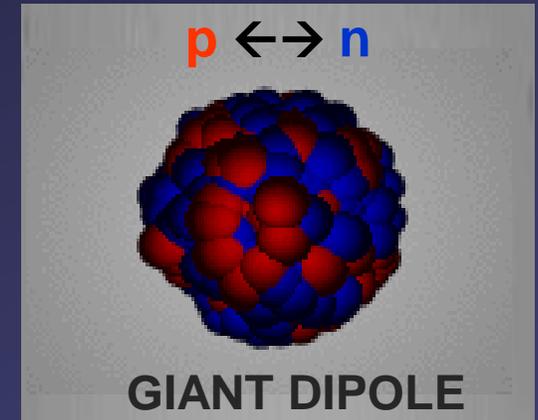
G. Battistoni (INFN)

1 - STRUTTURA E REAZIONI NUCLEARI

(A. Bracco, F. Camera, F. Crespi et al.)

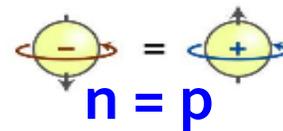
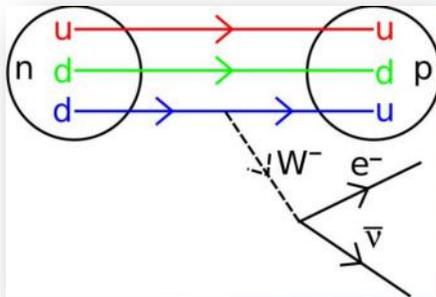
STUDIO delle RISONANZE NUCLEARI

- ⊙ Reazioni tra ioni pesanti (anche ad energie relativistiche)
- ⊙ Misura di radiazione **gamma** di alta energia (5-20 MeV)
Rivelatori a scintillazione e Ge
(apparati di ultima generazione tecnologica)



OLTRE la Struttura del Nucleo:
MESCOLAMENTO numero quantico di ISOSPIN

Superallowed Fermi: CKM Matrix

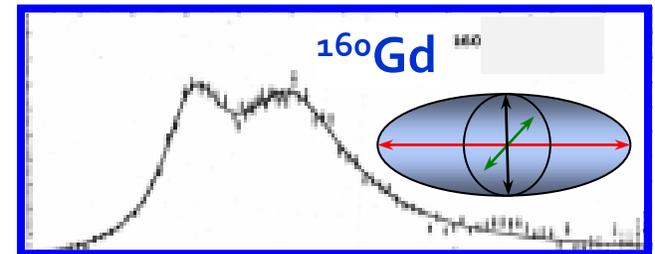
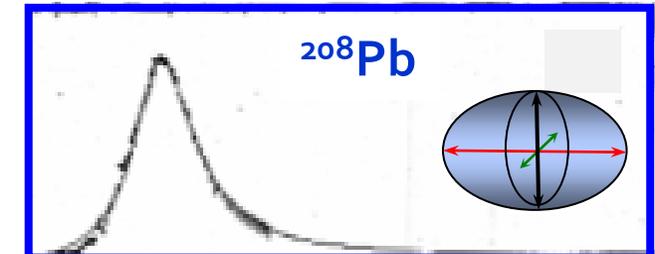


$$Ft \equiv ft(1 + \delta_R)(1 - \delta_C)$$

$$\delta_C = 4(I + 1) \frac{V_1}{41\xi A^{2/3}} \alpha^2$$

PHD Thesis - Premio Villi 2016

Informazioni su FORMA NUCLEARE
anche in condizioni ESTREME (Fissione)



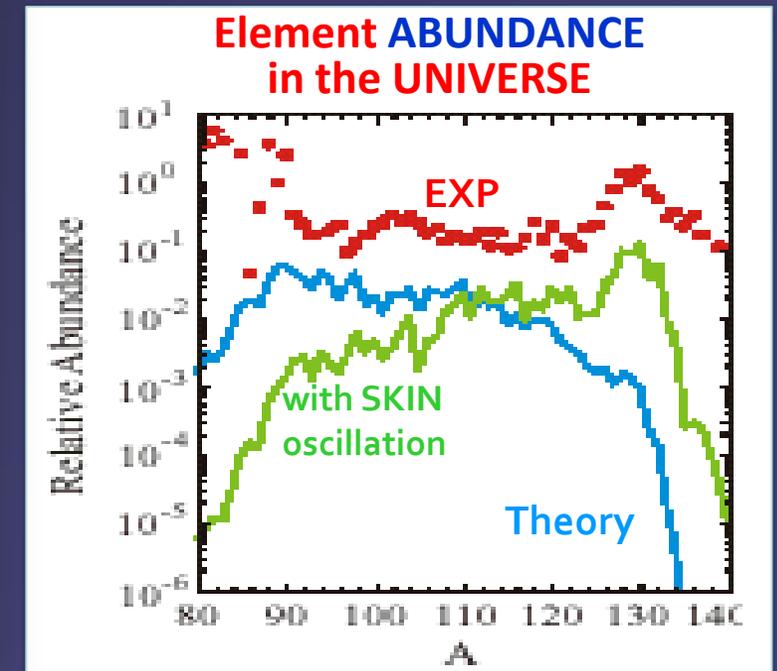
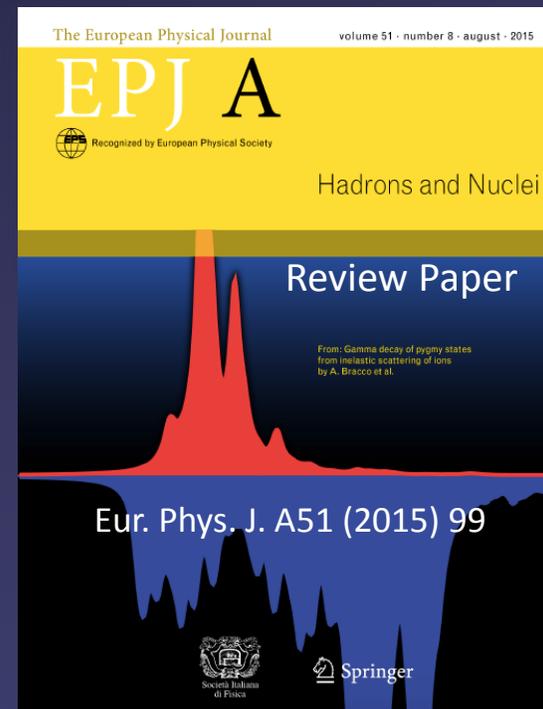
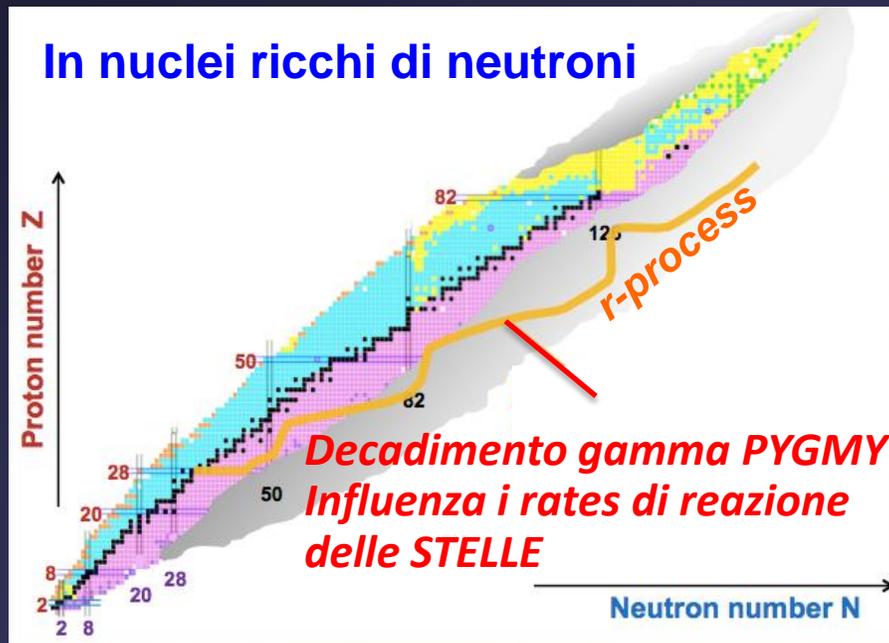
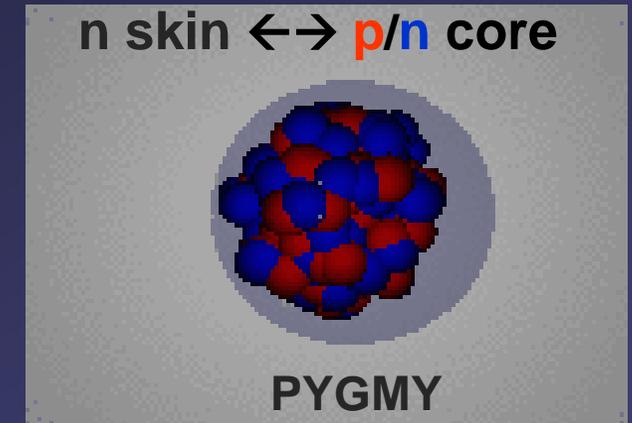
E_γ

1 - STRUTTURA E REAZIONI NUCLEARI

Attività' Sperimentale (A. Bracco, F. Camera, F. Crespi et al.)

STUDIO delle RISONANZE NUCLEARI

- ⊙ Reazioni tra ioni pesanti (anche ad energie relativistiche)
- ⊙ Misura di radiazione **gamma** di alta energia (5-20 MeV)
Rivelatori a scintillazione e Ge
(apparati di ultima generazione tecnologica)



1 - STRUTTURA E REAZIONI NUCLEARI

Attività Sperimentale (S. Leoni et al.)

STUDIO delle EVOLUZIONE della Struttura a SHELL lontano dalla stabilità

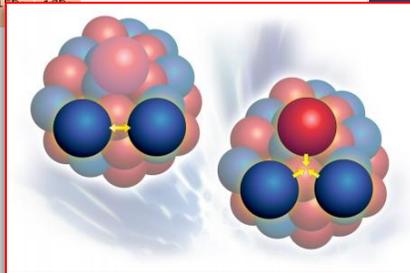
- ⊙ Reazioni tra ioni pesanti, fissione, decadimento beta
- ⊙ Misura di radiazione **gamma** di bassa-media energia ($< 8 \text{ MeV}$) e di **particelle cariche**
Rivelatori a Ge, a Si, a scintillazione e spettrometri

Nuclei di O, C e Ne ricchi di neutroni
Struttura Nucleare alla dripline



Comprensione della natura
della FORZA NUCLEARE

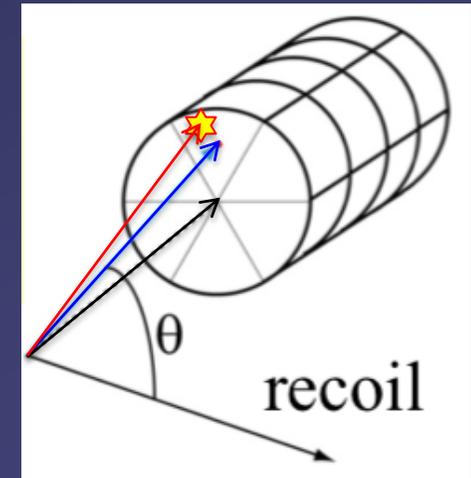
Interazione a
DUE o TRE corpi
calcoli *ab-initio*



Possibile solo con AGATA !!



più sofisticato apparato al mondo per la radiazione gamma



precisione millimetrica
punto di interazione

1 - STRUTTURA E REAZIONI NUCLEARI

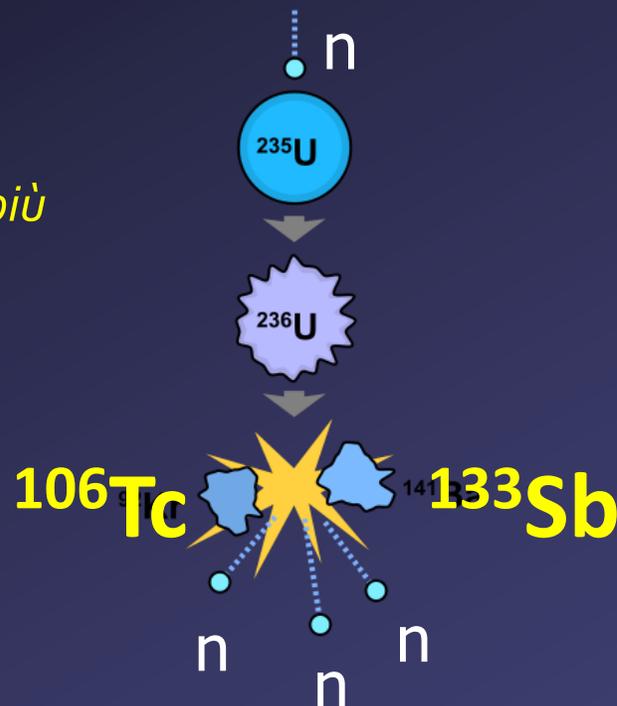
Attività Sperimentale (S. Leoni et al.)

STUDIO delle EVOLUZIONE della Struttura a SHELL lontano dalla stabilità

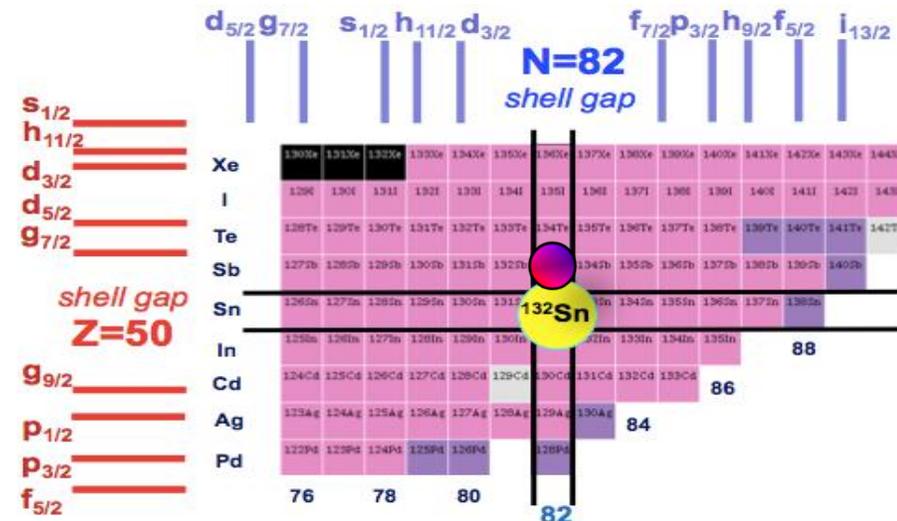
- ⊙ Reazioni tra ioni pesanti, fissione, decadimento beta
- ⊙ Misura di radiazione **gamma** di bassa-media energia ($< 8 \text{ MeV}$) e di **particelle cariche**
Rivelatori a Ge, a Si, a scintillazione e spettrometri

FISSIONE

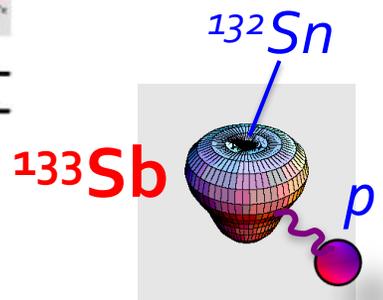
Indotta dal fascio più
Intenso di neutroni
al mondo
(ILL – Grenoble)



Robustezza Chiusure di SHELL lontano dalla Stabilità, Nuovi Numeri Magici



Accoppiamenti
alle vibrazioni



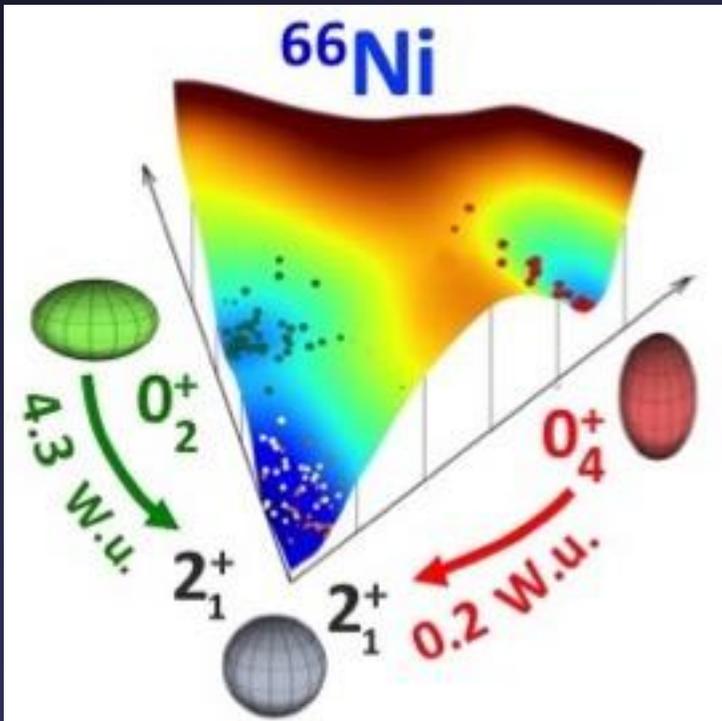
HIGHLIGHT 2016 del Laboratorio ILL
PLB 768 (2016) 273

1 - STRUTTURA E REAZIONI NUCLEARI

Attività' Sperimentale (S. Leoni et al.)

STUDIO delle EVOLUZIONE della Struttura a SHELL lontano dalla stabilità

- ⊙ Reazioni tra ioni pesanti, fissione, decadimento beta
- ⊙ Misura di radiazione **gamma** di bassa-media energia ($< 8 \text{ MeV}$) e di **particelle cariche**
Rivelatori a Ge, a Si, a scintillazione e spettrometri



COESISTENZA di FORME

ISOMERI di FORMA – unico caso dopo attinidi scoperti 50 anni fa!

QUANTUM PHASE TRANSITION

Interpretazione basata su calcoli **MONTE CARLO SHELL MODEL**

una sfida computazionale !!!

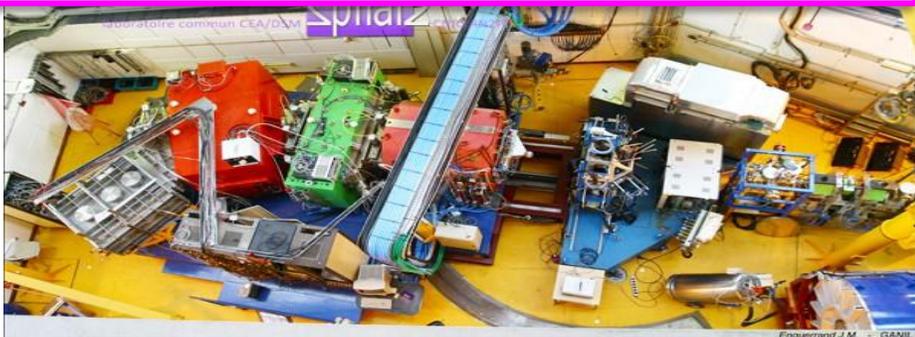
K Super Computer (Tokyo Group) con 10^6 core processors

Laboratori per Struttura Nucleare



Legnaro – Padova - INFN

*Progetto di riferimento
In Europa per fasci esotici*



GANIL – SPIRAL2 (Normandia)

*Progetto di riferimento
In Europa per fasci stabili
ad alta intensità*



ILL - Grenoble

*Laboratorio di ricerca con il più intenso
Fascio di Neutroni al mondo*

Attività INTERDISCIPLINARE
*Fisica Nucleare - Struttura della Materia
- Ottica e Applicazioni Mediche*

Ma anche
RCNP (OSAKA)
GSI (Germania)
Argonne (USA)
...



RIKEN (Tokyo)

*Laboratorio con i più intensi
Fasci esotici al mondo*



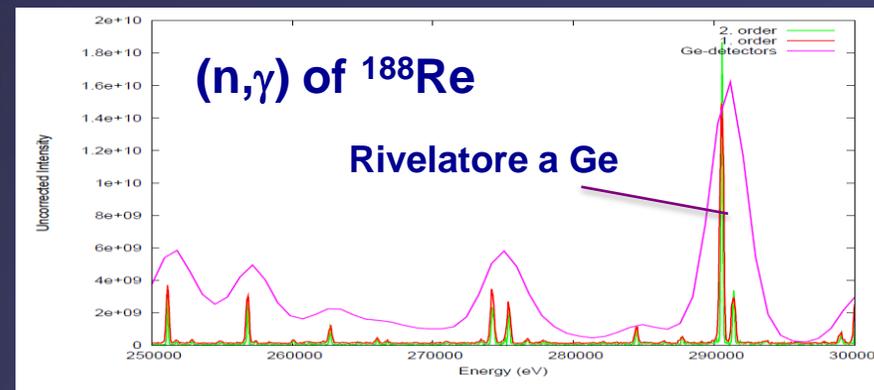
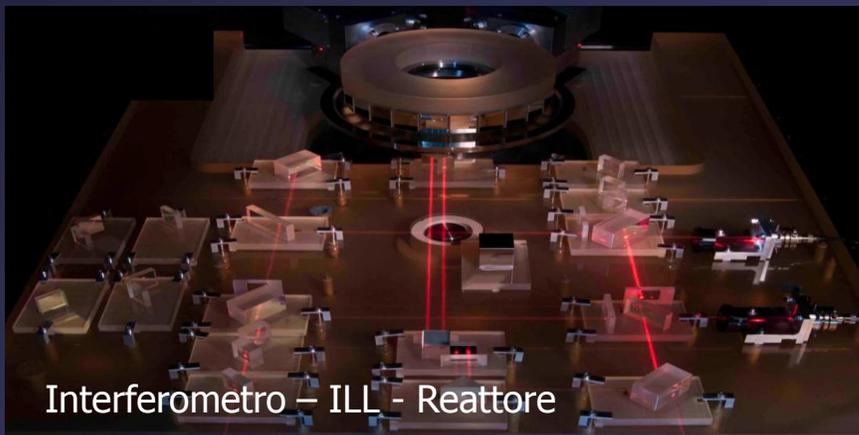
ISOLDE - CERN
*Primo Laboratorio
al mondo
Con Fasci Esotici*

Strumentazione per Struttura Nucleare

CONFIGURAZIONE BASE: Apparati a Multirivelatori di Germanio e Scintillatori
ALLO STATO DELL'ARTE



Scintillatori LaBr_3
di grosso volume
(appartenenti a Milano)



World Record
In spettroscopia γ ad alta risoluzione:

- *Test Meccanica quantistica
 $E=mc^2$, precisione 0.00004%*
- *Tecniche di Imaging ad altissima
risoluzione*
- *Test dei Modelli Nucleari*

Tesi triennali e magistrali

1. Partecipazione a prese dati sperimentali nei diversi laboratori internazionali
2. Analisi dei dati raccolti
3. Interpretazione teorica basata su modelli fenomenologici e/o simulazioni, ...
4. Caratterizzazione/sviluppo di Rivelatori

SETUP della misura → Pre Screening dei dati → Analisi dati → Interpretazione Teorica ...

◎ **Collaborazioni Principali:**

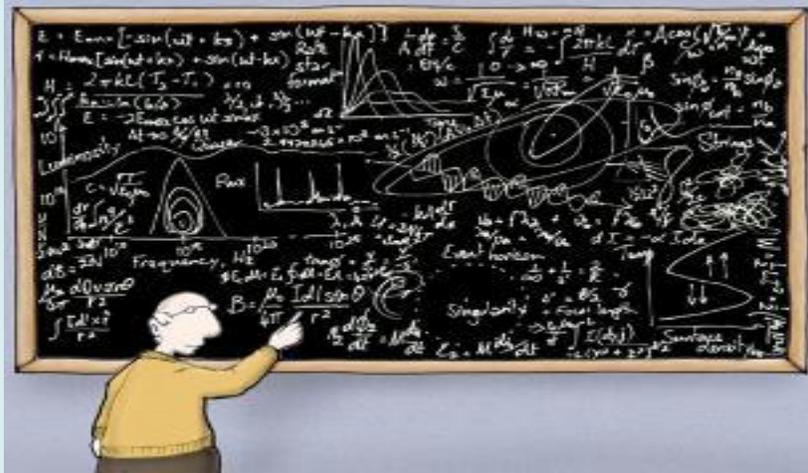
Legnaro (Padova), EFJ Cracovia (Polonia), GANIL (Francia), GSI (Germania), Grenoble (Francia), CERN (ISOLDE), Argonne (Chicago), RIKEN (Tokyo) and RCNP (Osaka)...

Possibilità di collaborazione/visite in tesi triennali/magistrali e PhD presso tutti i laboratori di ricerca coinvolti nelle attività descritte

◎ **Pagina web del gruppo:** http://diana11.mi.infn.it/specgamma_site/HTML//

2 – ASTROFISICA NUCLEARE

Attività' Sperimentale – (Alessandra Guglielmetti et al..)



ASTROFISICA

Modelli di evoluzione stellare &
Nucleosintesi Primordiale

FISICA NUCLEARE

Misura di sezioni d'urto di reazioni nucleari di interesse
astrofisico



LUNA *Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics*
<https://luna.lngs.infn.it/>

La probabilità (sezione d'urto) delle **reazioni di fusione** nucleare alle energie di interesse astrofisico è **molto piccola** a causa della barriera Coulombiana: nelle Stelle il numero di reazioni per unità di tempo è elevato a causa dell'enorme numero di nuclei interagenti.

In laboratorio però il rate è molto piccolo

1 evento / mese $< R < 1$ evento/giorno

E' necessario minimizzare il rumore di fondo: misure effettuate in un laboratorio «underground»



I LABORATORI NAZIONALI DEL GRAN SASSO

sono un

luogo unico al mondo!

Fortissima riduzione del fondo cosmico

Acceleratore LUNA
400 kV

LUNA Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics
<https://luna.lngs.infn.it/>

Negli ultimi 25 anni LUNA ha misurato alcune **reazioni chiave** del ciclo di combustione dell'Idrogeno e della nucleosintesi primordiale di interesse per l'astrofisica (modelli stellari) e la cosmologia-

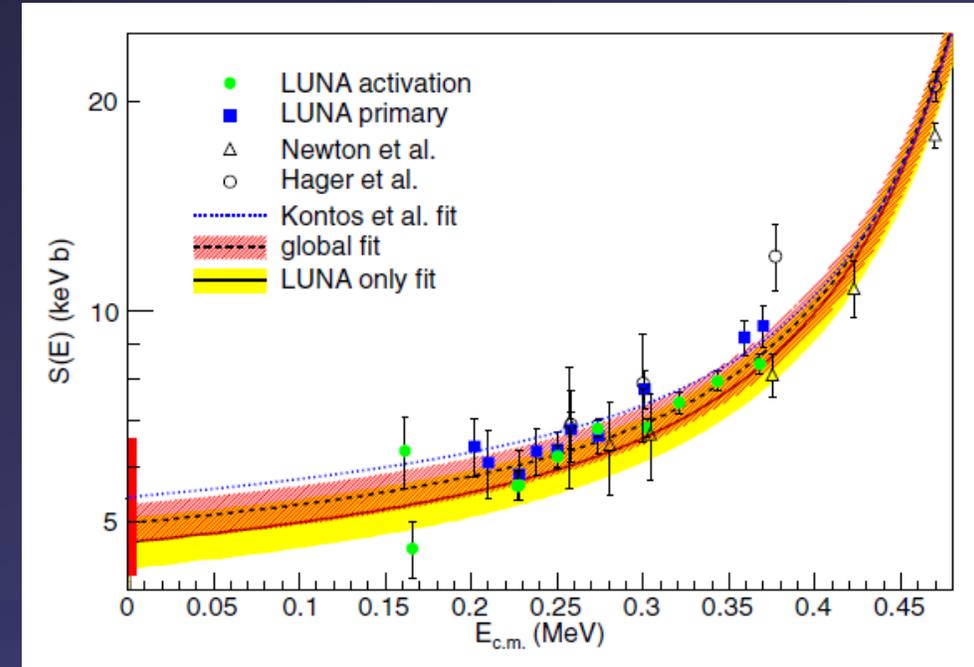
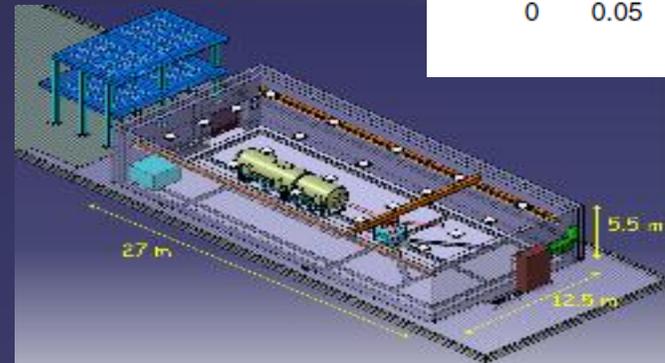
in figura dati per la combustione dell'idrogeno esplosiva (stelle evolute)

Tesi a Milano:

Triennali: analisi dati, studi di fattibilità

Magistrali: sperimentali da svolgere in parte presso i LNGS

E' in fase di installazione LUNA-MV, un nuovo acceleratore da 3.5 MV atto a studiare le reazioni di fusione coinvolte nella combustione dell'Elio e del Carbonio

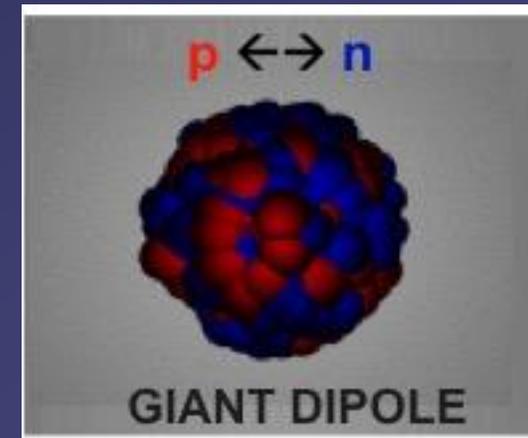
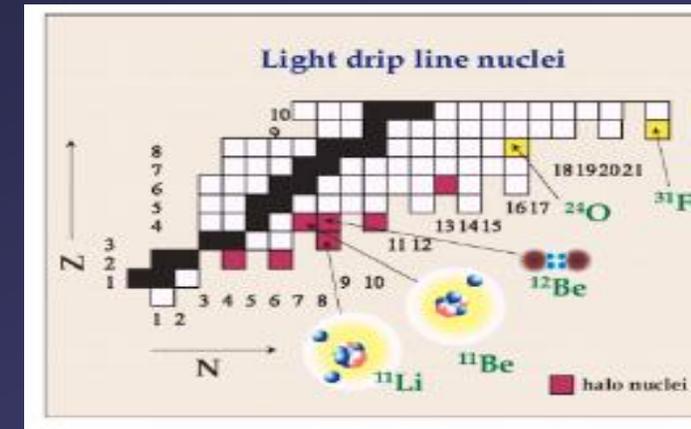


LUNA Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics
<https://luna.lngs.infn.it/>

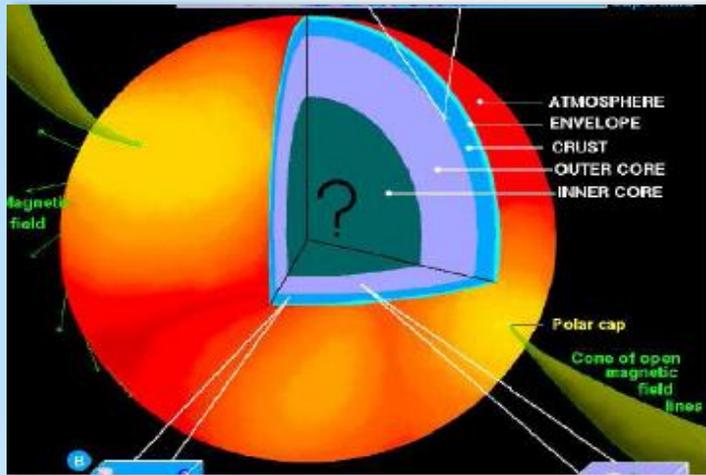
3 – TEORIA della Struttura Nucleare e delle Reazioni

(G. Colò, X. Roca Maza et al.)

1. Quali nuclei esistono come sistemi legati, e quali sono le peculiarità dei **sistemi debolmente legati** ?
2. Studio delle **vibrazioni nucleari** (monopolo, dipolo, quadrupolo). Connessione con l'equazione di stato della materia nucleare.
3. Reazioni con adroni ed elettroni (anche in relazione al punto precedente, ovvero: come si **eccitano** le **vibrazioni** di interesse ?).
4. Teoria di campo nucleare: **accoppiamento** delle particelle con le vibrazioni. Problemi teorici: teorie efficaci, rinormalizzazione.
5. Decadimenti **elettromagnetici** (γ) e **deboli** ($\beta\dots$).

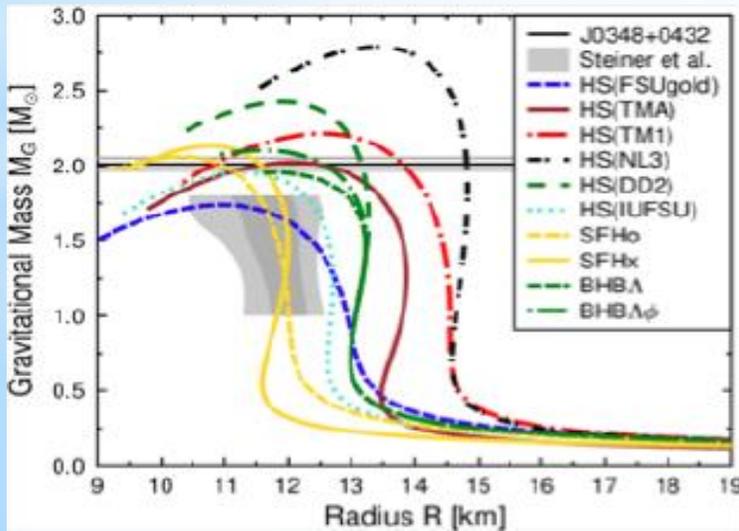


Applicazioni astrofisiche: stelle di neutroni



⊙ La stabilità delle stelle di neutroni, la loro **massa totale** ($\approx 1.4-2 M_{\text{sole}}$) e il loro **raggio** ($\approx 1-10$ km) vengono dal bilancio tra **attrazione gravitazionale** e **forze nucleari**.

⊙ *Input* di fisica nucleare sono importanti per capire la struttura di questi oggetti. Esempio: energia di simmetria.



Questi sistemi permettono di studiare la materia nucleare a densità che vanno da zero a 3-4 volte la densità tipica dei nuclei ordinari.

Esplosione di supernova:

il gruppo è interessato a simulare alcuni processi di interesse (catture elettroniche, libero cammino medio di neutrini) e, più in generale, a modellizzare tutti i processi di interazione debole.



TEORIA - TESI

◎ **Tesi triennali, magistrali e di dottorato.** Esempi:

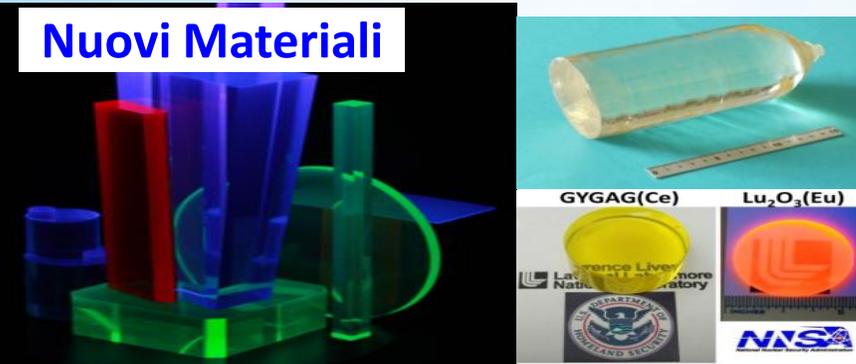
1. Sviluppo di interazioni efficaci nucleone-nucleone
2. Teorie di campo nucleari. Applicazioni a modelli risolubili e a casi realistici (moti collettivi nucleari, transizioni con scambio di carica)
3. Struttura della crosta interna delle stelle di neutroni e *starquakes* (...)

◎ **Collaborazioni:** IPN Orsay e Lione (Francia), U. Barcellona (Spagna), U. Zagabria (Croazia), Univ. York (UK), ELI-NP (Bucharest), Michigan State University (USA), Peking University (Cina), RIKEN (Giappone)

– possibilità di collaborazione/visite in tesi magistrali e PhD

4. Attività di R&D – Rivelatori ed Elettronica per scintillatori (Franco Camera et al.,)

Nuovi Materiali



Misure Neutroni

Alternativa migliore a ^3He

Discriminazione gamma/neutroni

Futuri apparati basati su nuovi materiali

Primo Array a base di $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ a grande volume

I più grandi cristalli mai prodotti

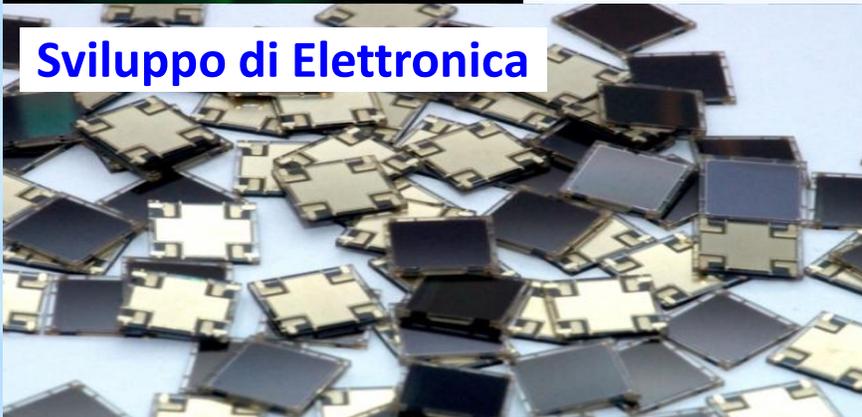


Esperimenti ad Oslo, Debrecen, LNL (Italia), GSI (Germania), RIKEN (Giappone)

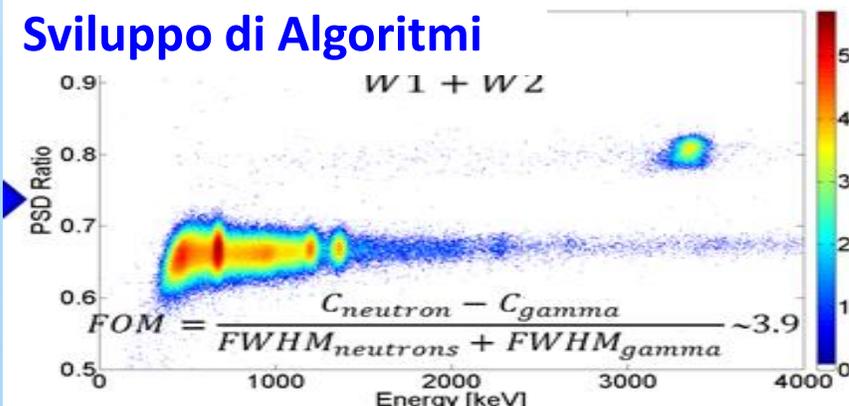
Array in costruzione:

PARIS (Fr-Po),
ELI-GANT (Ru),
OSCAR (No).

Sviluppo di Elettronica



Sviluppo di Algoritmi



Nuove Tecnologie

Ricerca di base

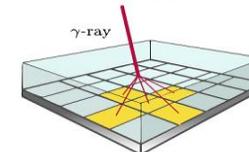
Applicazioni

Applicazioni

IMAGING gamma

Identificazione direzione di arrivo di raggio γ di media-alta energia

- Applicazioni mediche
- Doppler effect ...

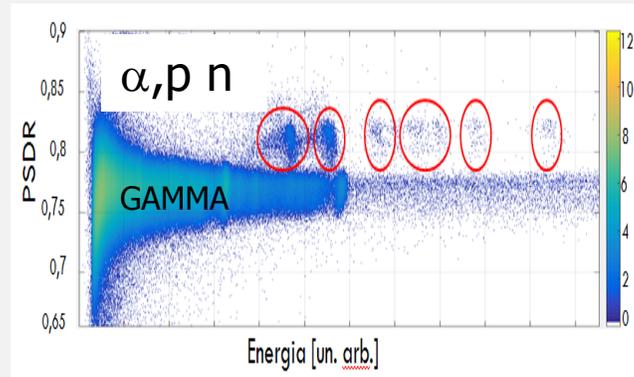


4. Attività di R&D – Rivelatori ed Elettronica per Scintillatori (Franco Camera et al.,)

a) Attività di Laboratorio (in sede/LASA/LNS)

Misure prestazioni GROSSO CLYC 3"x3"

Risoluzione energia e tempo/identificazione gamma-neutroni



Misure prestazioni NUOVO CLLBC 1"x1"

Scintillatore poco noto

Primo esemplare in arrivo, acquistato da gruppo di Milano

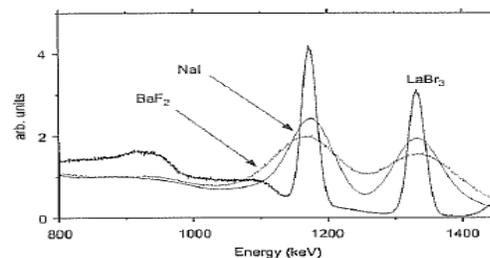
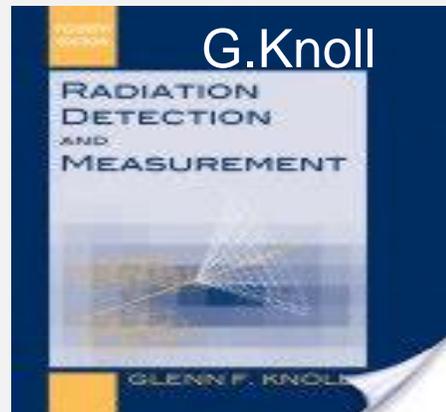


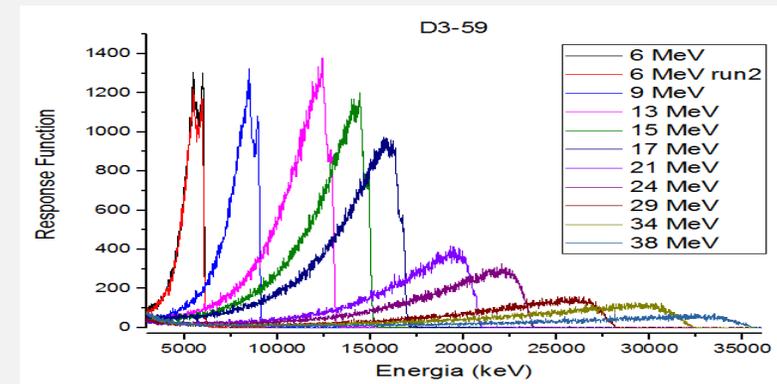
Figure 8.14 Comparison of the ^{60}Co pulse height spectrum measured with 1-inch \times 1-inch LaBr_3 , NaI , and BaF_2 (From Nicolini et al.²¹⁵).

b) Prese Dati/Analisi Dati

Esperimenti sotto fascio con grossi LaBr3 3.5"x8"

Gamma monocromatici 6-38 MeV (NewSubaru, Giappone)

Efficienza/Linearità, ...



c) Analisi Forma Segnale Elettronico

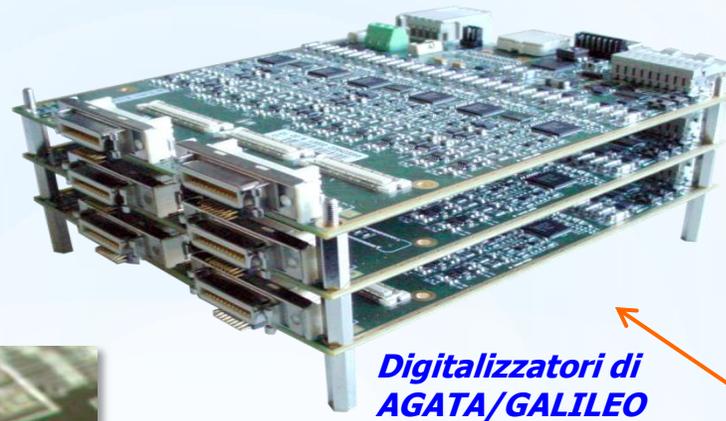
Correzioni di Pile Up in scintillatori MEDI LaBr3 3"x3"

Progettazione nuove misure/simulazioni

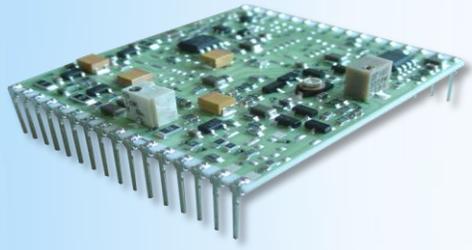
(collaborazioni con ELI-NP ...)

Electronica per Rivelatori a Ge e Silicio

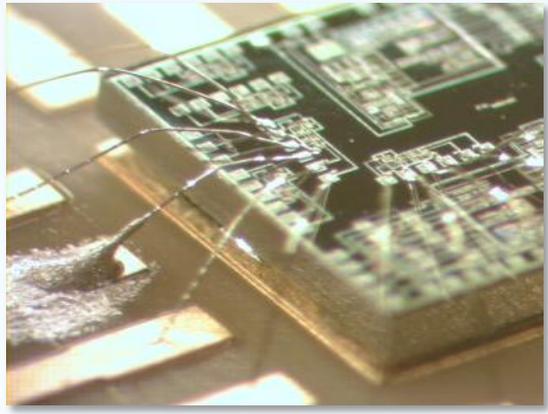
(Prof. A. Pullia et al.,)



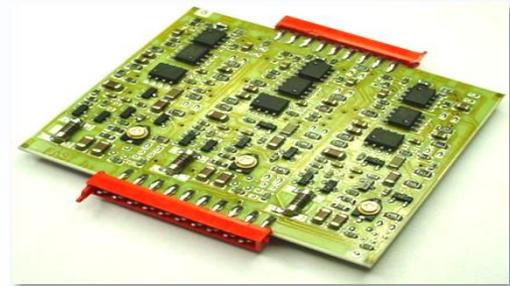
Digitalizzatori di AGATA/GALILEO



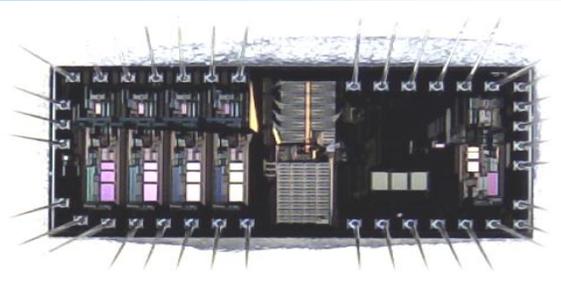
Preamplificator e di GALILEO



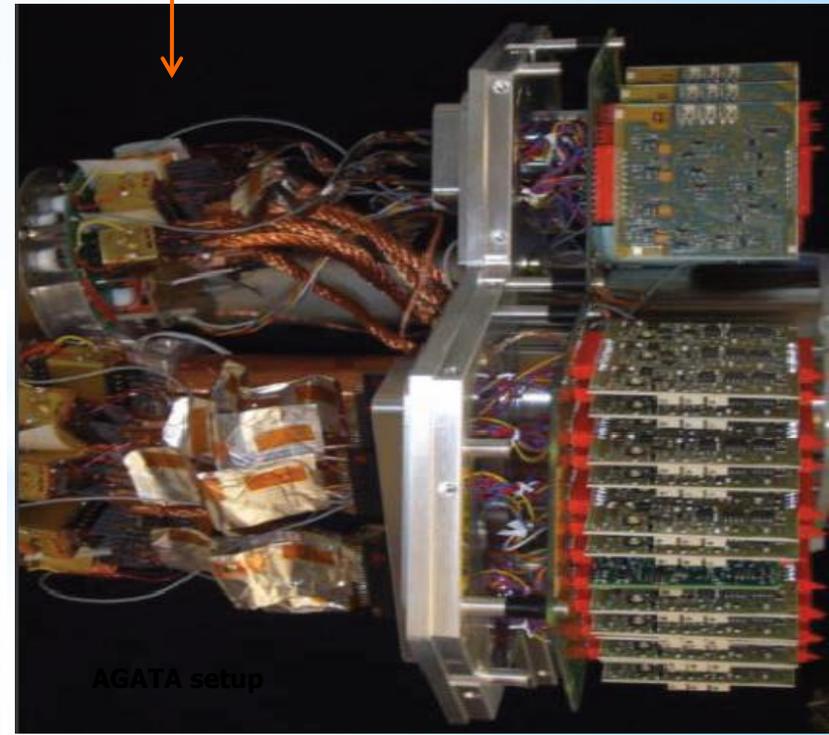
Chip criogenici per germani



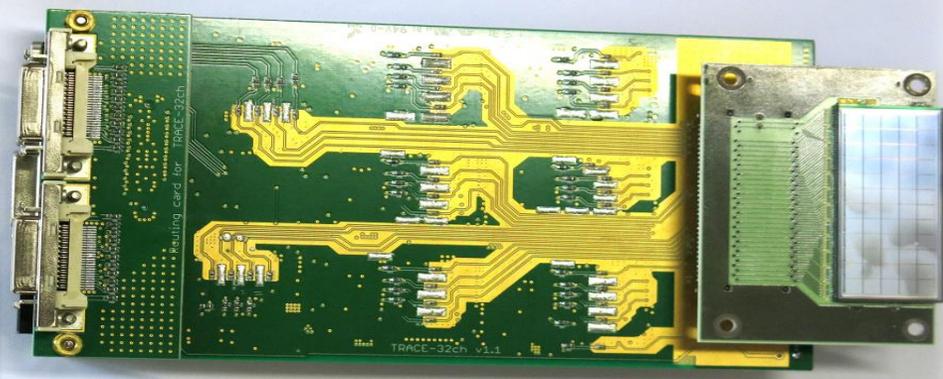
Preamplificatore triplo di AGATA



Preamplificatore multicanale integrato di TRACE



AGATA setup

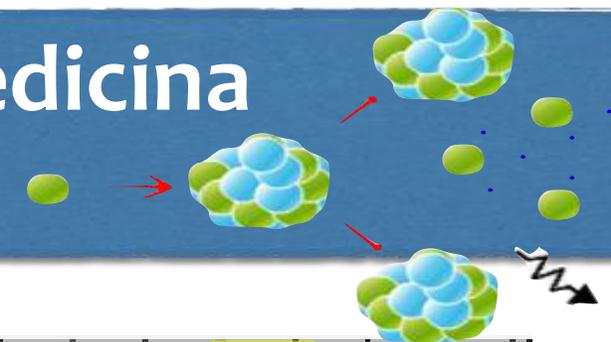
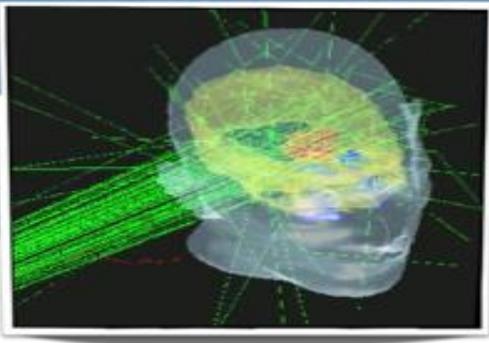


Front-end di TRACE

Attività INGEGNERISTICA al servizio della ricerca di base

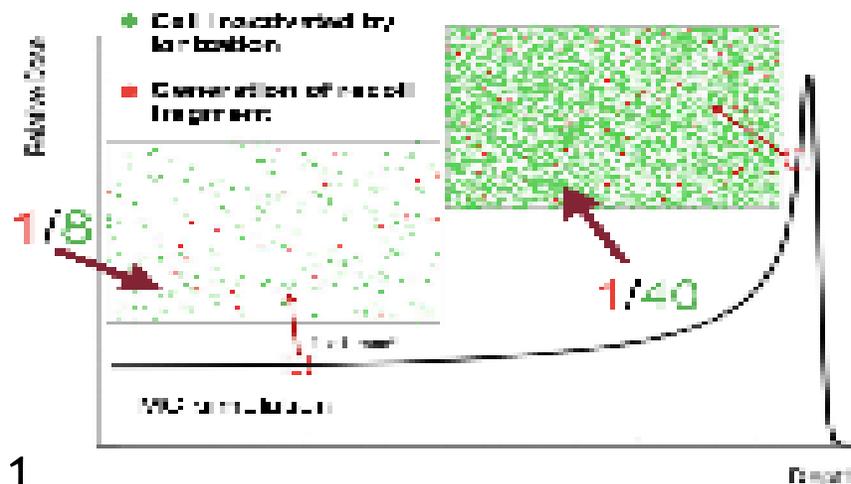
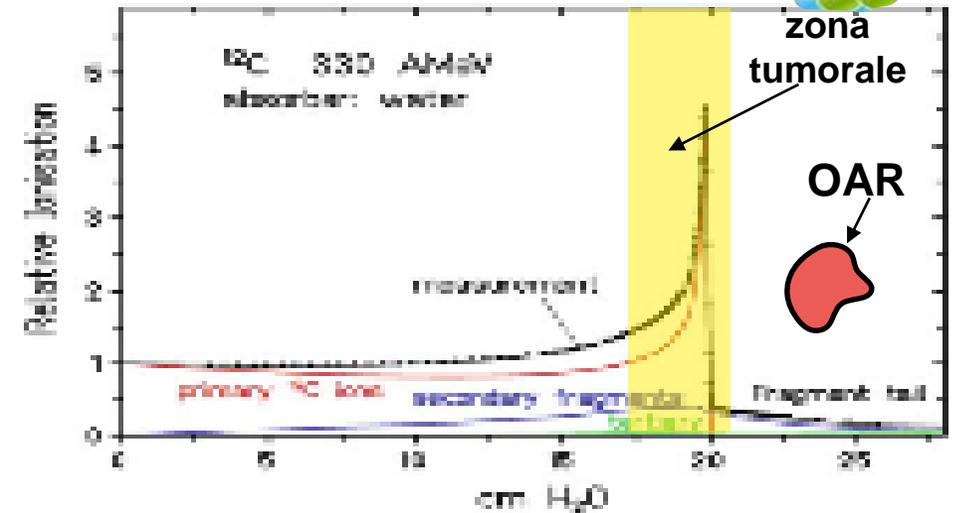
Fisica Nucleare applicata alla medicina

(Giuseppe Battistoni et al.,)

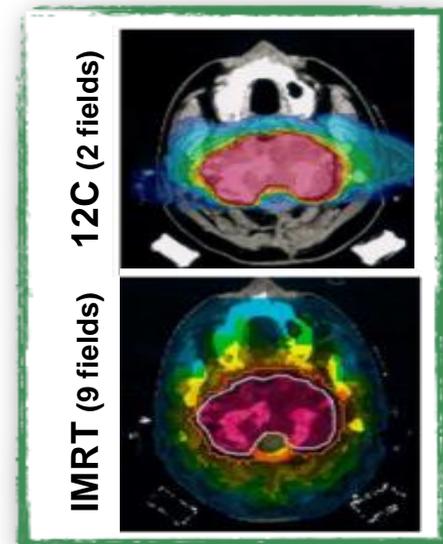


Il caso dell'Adroterapia

1) Trattamento dei tumori con **fasci di ioni** (^{12}C , ^{16}O ...) → contributo della **frammentazione del proiettile**: dose oltre il "picco di Bragg" → **Attenzione agli organi rischio!**

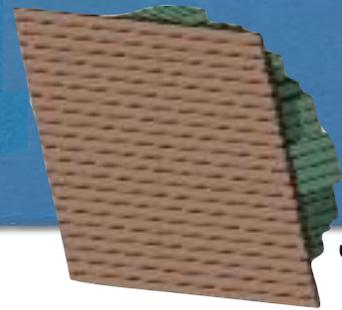
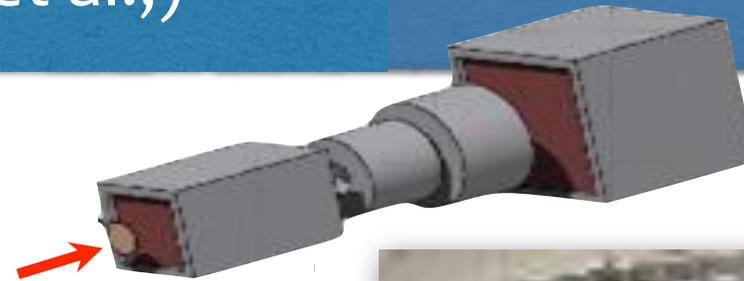


2) Trattamenti con **fasci di protoni** → contributo della **frammentazione del bersaglio**: dose prima del "picco di Bragg". **Attenzione ai tessuti sani!**



L'esperimento FOOT (Fragmentation Of Target)

(Giuseppe Battistoni et al.,)



Misura delle **sezioni d'urto di frammentazione nucleare**

p N → X (cinematica inversa)

N N → X (cinematica diretta)

alle energie dei trattamenti adroterapici (100 - 350 MeV/u)



Attività di ricerca

- ★ Sviluppo dell'**algoritmo di ricostruzione** delle tracce in una camera a deriva a gas (C++, root, GenFit, GARFIELD...)
- ★ Sviluppo dell'**hardware e dell'elettronica** di lettura di una camera a deriva
- ★ **Simulazioni** per lo studio e ottimizzazione dei rivelatori (FLUKA)
- ★ **Test su fascio** (Trento, CNAO, HIT) e **analisi dati**

Sbocchi Occupazionali

Settore accademico e industriale

🎯 Per il settore accademico, tra le varie possibilità ci sono quelle presso:

- Università e centri e laboratori di ricerca
(Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ed i suoi laboratori);
- laboratori esteri (Europa, Stati Uniti, Giappone).

🎯 Per quanto riguarda il settore aziendale, le possibilità sono:

- industrie e aziende nel campo dell'elettronica e dei rivelatori;
- aziende informatiche e meccaniche;
- aziende per la costruzione di strumentazione per la fisica sanitaria.

**Va sottolineato il fatto che essere inseriti durante il lavoro di tesi
in collaborazioni internazionali
fornisce una particolare professionalità
ben riconosciuta nel mondo del lavoro moderno.**

Corsi Suggestiti

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGI A	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGI A
Elettrodinamica Classica (obbligatorio)	b	Laboratorio di spettroscopia gamma	b
Fisica Nucleare	b	Corso a scelta tra: a) Radioattività b) Cosmologia	b
Corso affine integrativo	c	Corso affine e integrativo	c
Corso a scelta tra: a) Metodi Matematici della Fisica: equazioni differenziali 1 b) Teoria dei sistemi a molti corpi 1	b	Corso affine e integrativo	c
Corso a scelta tra: a) Interazione e Rivelazione della Radiazione Nucleare b) Astrofisica Nucleare Relativistica 1	b	Corso affine e integrativo	c
TOTALE CFU	30	TOTALE CFU	30

Tipologie Attività Formative (TAF):

b Caratterizzanti

c Affini e integrative

(d) A scelta tra tutti quelli dell'Ateneo

PRIMO SEMESTRE	TIPOLOGI A	SECONDO SEMESTRE	TIPOLOGI A
Corso a scelta libera	d	Tesi di laurea	36 CFU
Corso a scelta libera	d	Abilità informatiche e telematiche (3 cfu) B2 di inglese (3 cfu) e tirocinio da 6 cfu	12 CFU
TOTALE CFU	12	TOTALE CFU	48

Rewriting Nuclear Physics textbooks
30 years with Radioactive Ion Beam Physics

Pisa (Italy), July 20th – 24th, 2015



Rewriting Nuclear Physics textbooks
July 24th – 28th, 2017 Pisa

SCUOLA Indirizzata a Studenti Triennali e Magistrali

Partecipazione
finanziata da UNIMI e INFN



Rewriting Nuclear Physics Textbooks: one more step forward

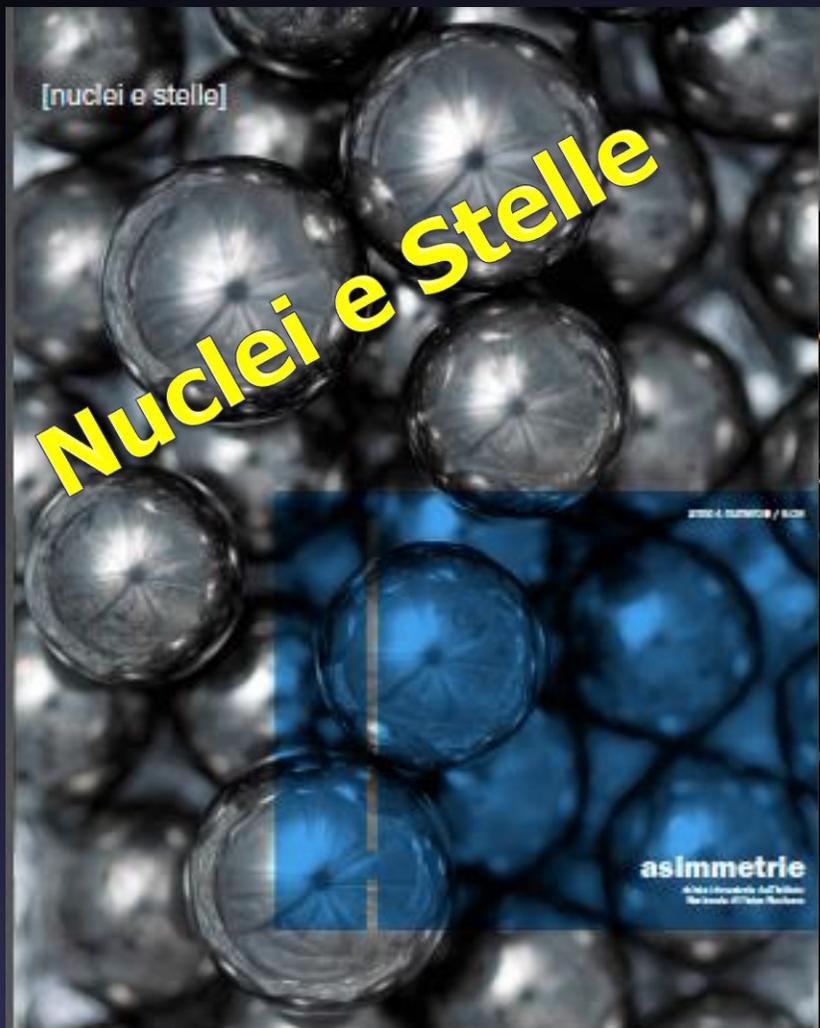
22-26 July 2019

Polo Didattico Fibonacci

Europe/Rome timezone

<https://agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=12522>

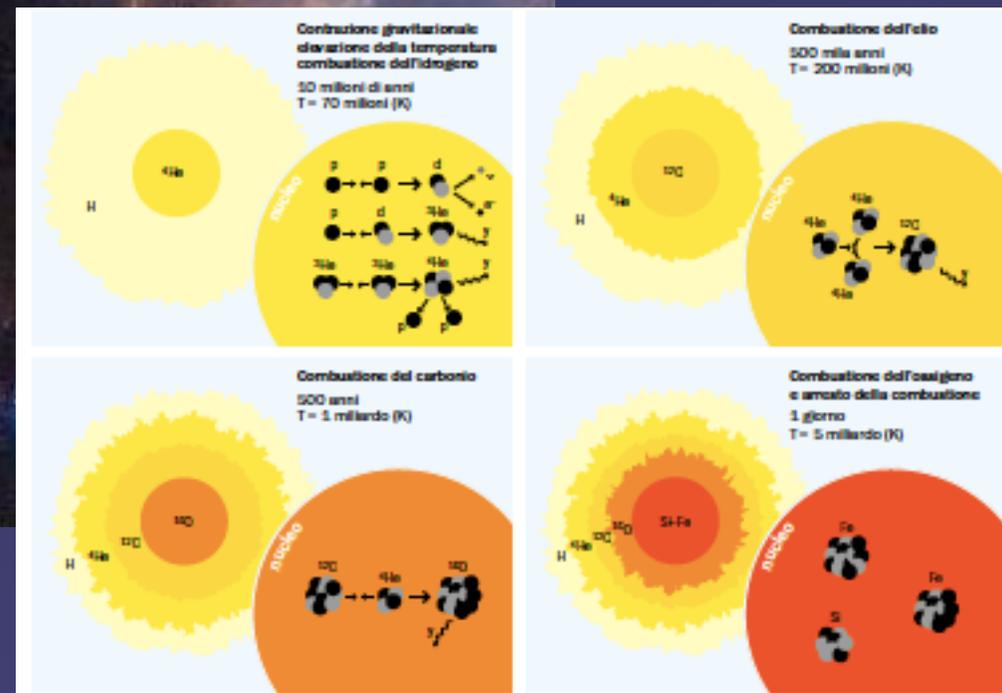
....tra gli articoli di tipo divulgativo



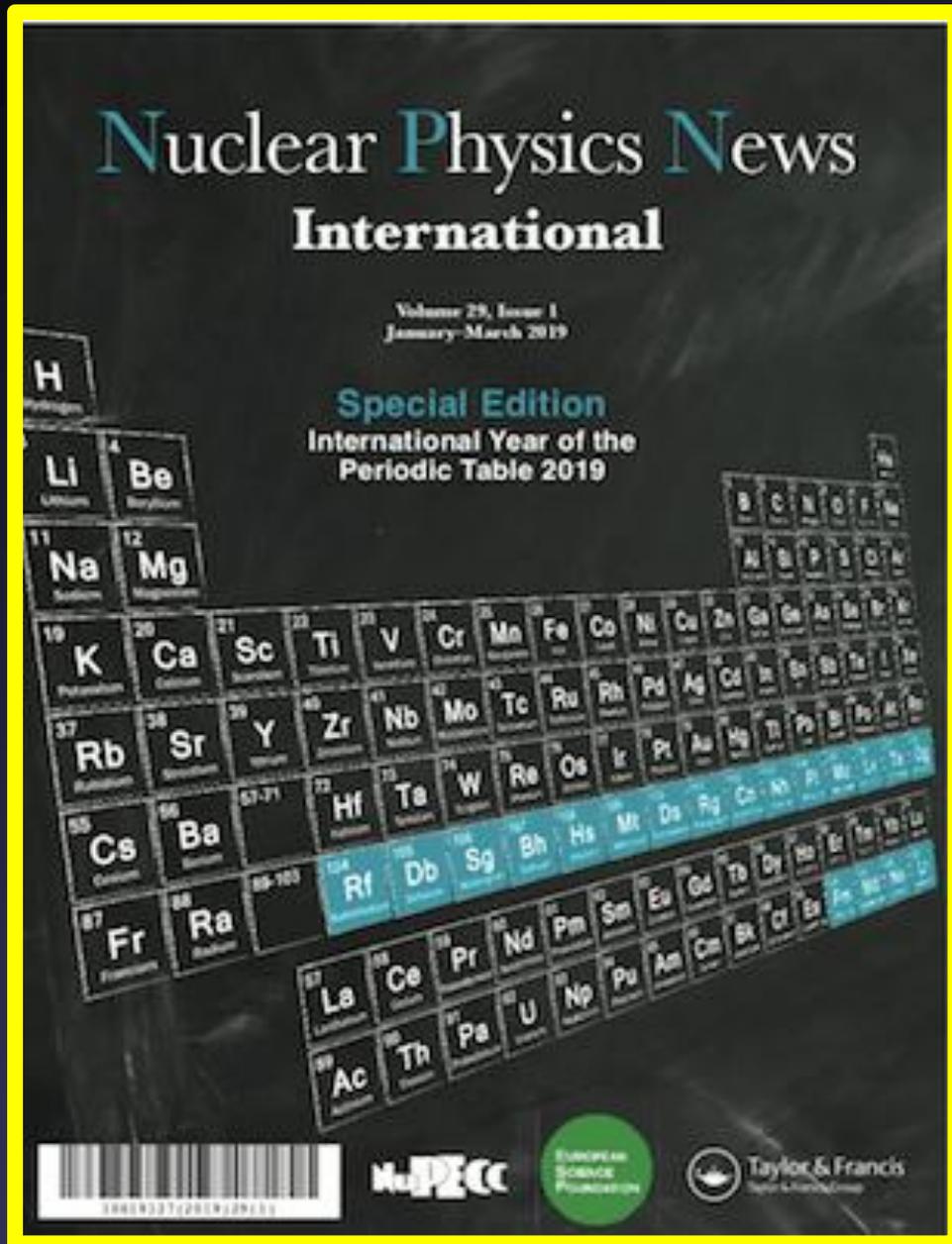
Alchimie celesti

Vita, morte e miracoli delle stelle.

© Margherita Hack



<https://www.asimmetrie.it/tags/tag/90>



UNESCO event

International year of
the periodic table 2019

La fisica nucleare contribuisce con:

- formazione in laboratorio di elementi superpesanti
- formazione di nuovi isotopi

**** Grazie per l'attenzione ****

Angela Bracco: Angela.Bracco@unimi.it

Franco Camera: Franco.Camera@unimi.it

Silvia Leoni: Silvia.Leoni@unimi.it

Gianluca Colò: Gianluca.Colo@unimi.it

Alessandra Guglielmetti: Alessandra.Guglielmetti@unimi.it

Fabio Crespi: Fabio.Crespi@unimi.it

Xavier Roca Maza: Xavier.RocaMaza@unimi.it

Giovanna Benzoni: Giovanna.Benzoni@mi.infn.it

Oliver Wieland: Oliver.Wieland@mi.infn.it

Benedicte Million: Benedicte.Million@mi.infn.it

Enrico Vigezzi: Enrico.Vigezzi@mi.infn.it

Alberto Pullia: Alberto.Pullia@mi.infn.it

Giuseppe Battistoni: Giuseppe.Battistoni@mi.infn.it

+ post doctoral fellows