

Andare al centro della materia studiando il nucleo atomico

Giovanna Benzoni

Ricercatrice INFN sezione di Milano, Via Celoria

giovanna.benzoni@mi.infn.it

Lo **studio della struttura del nucleo** riveste un ruolo importante all'interno dello scenario della ricerca dell'INFN. Questa ricerca, competitiva a livello mondiale, si svolge principalmente presso i **due laboratori nazionali**, a Legnaro (LNL) e Catania (LNS), con investimenti importanti per la realizzazione di nuovi complessi **sistemi di acceleratori e strumentazione**. In questo seminario verranno presentate le attività principali di ricerca di base e le **immediate ricadute** che questi studi hanno in altre discipline, sia di ricerca (astrofisica) che nella società, in ambito medico/ culturale etc.

Tavola Periodica degli Elementi

1 IA																		Nuovo Originale																		18 VIIIA																																																																																																																																																																																																																																																																																															
1 H Idrogeno 1.00794																		2 IIA																		13 IIIA																		14 IVA																		15 VA																		16 VIA																		17 VIIA																		2 He Elio 4.002602																																																																																																																																																																																																					
2 Li Litio 6.941																		4 Be Berillio 9.012182																		5 B Boro 10.811																		6 C Carbonio 12.0107																		7 N Azoto 14.00674																		8 O Ossigeno 15.9994																		9 F Fluoro 18.9984032																		10 Ne Neon 20.1797																																																																																																																																																																																																					
3 Na Sodio 22.989770																		12 Mg Magnesio 24.3050																		3 III B																		4 IV B																		5 V B																		6 VI B																		7 VII B																		8 VIII B																		9 IX B																		10 X B																		11 XI B																		12 XII B																		13 Al Alluminio 26.981538																		14 Si Silicio 28.0855																		15 P Fosforo 30.973761																		16 S Zolfo 32.066																		17 Cl Cloro 35.453																		18 Ar Argon 39.948																	
4 K Potassio 39.0983																		20 Ca Calcio 40.078																		21 Sc Scandio 44.955910																		22 Ti Titanio 47.887																		23 V Vanadio 50.9415																		24 Cr Cromo 51.9961																		25 Mn Manganese 54.938049																		26 Fe Ferro 55.8457																		27 Co Cobalto 58.933200																		28 Ni Nichel 58.6934																		29 Cu Rame 63.546																		30 Zn Zinco 65.409																		31 Ga Gallio 69.723																		32 Ge Germanio 72.64																		33 As Arsenico 74.92160																		34 Se Selenio 78.96																		35 Br Bromo 79.904																		36 Kr Kripton 83.798																	
5 Rb Rubidio 85.4678																		38 Sr Stronzio 87.62																		39 Y Ittrio 88.90585																		40 Zr Zirconio 91.224																		41 Nb Niobio 92.90638																		42 Mo Molibdeno 95.94																		43 Tc Technezio (98)																		44 Ru Rutenio 101.07																		45 Rh Rodio 102.90550																		46 Pd Palladio 106.42																		47 Ag Argento 107.8682																		48 Cd Cadmio 112.411																		49 In Indio 114.818																		50 Sn Stagno 118.710																		51 Sb Antimonio 121.760																		52 Te Tellurio 127.60																		53 I Iodio 126.90447																		54 Xe Xeno 131.293																	
6 Cs Cesio 132.90545																		56 Ba Bario 137.327																		57 to 71																		72 Hf Hafnio 178.49																		73 Ta Tantalio 180.9479																		74 W Tungsteno 183.84																		75 Re Renio 186.207																		76 Os Osmio 190.23																		77 Ir Iridio 192.217																		78 Pt Platino 195.078																		79 Au Oro 196.96655																		80 Hg Mercurio 200.59																		81 Tl Tallio 204.3833																		82 Pb Piombo 207.2																		83 Bi Bismuto 208.98038																		84 Po Polonio (209)																		85 At Astatio (210)																		86 Rn Radon (222)																	
7 Fr Francio (223)																		88 Ra RADIO (226)																		89 to 103																		104 Rf Rutherfordio (261)																		105 Db Dubnio (262)																		106 Sg Seaborgio (266)																		107 Bh Bohrio (264)																		108 Hs Hassio (269)																		109 Mt Meitnerio (268)																		110 Ds Darmstadtio (271)																		111 Rg Roentgenio (272)																		112 Uub Ununbio (285)																		113 Uut Ununtrio (284)																		114 Uuq Ununquadio (289)																		115 Uup Ununpentio (288)																		116 Uuh Ununhexio (292)																		117 Uus Ununseptium																		118 Uuo Ununoctium																	

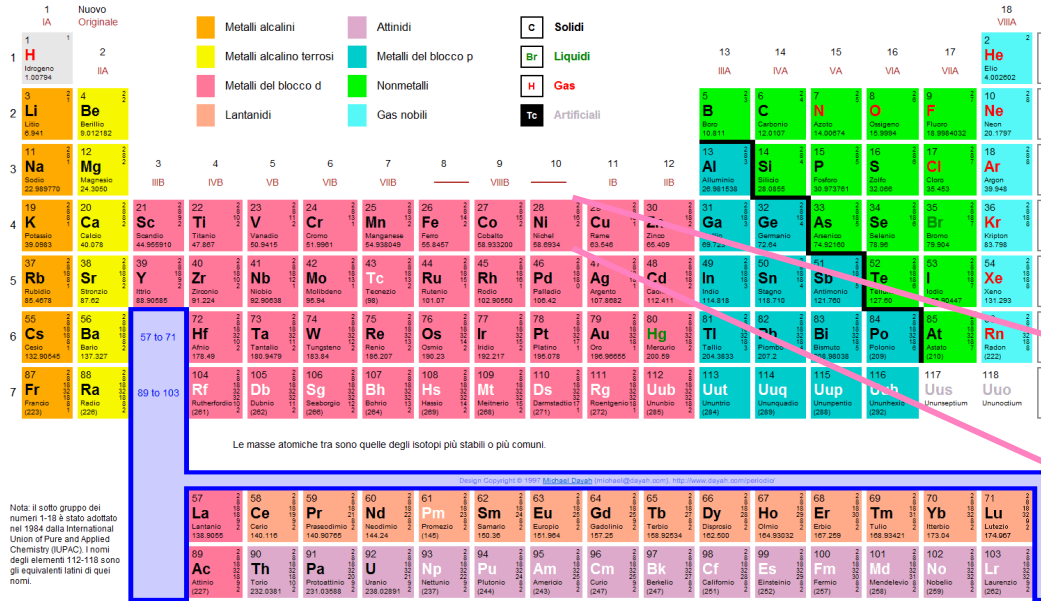
Le masse atomiche tra sono quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com). <http://www.dayah.com/periodic/>

Nota: il sotto gruppo dei numeri 1-18 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli equivalenti latini di quei nomi.

57 La Lantanio 138.9055																		58 Ce Cerio 140.116																		59 Pr Praseodimio 140.90765																		60 Nd Neodimio 144.24																		61 Pm Promezio (145)																		62 Sm Samario 150.36																		63 Eu Europio 151.964																		64 Gd Gadolinio 157.25																		65 Tb Terbio 158.92534																		66 Dy Disprosio 162.500																		67 Ho Olimio 164.93032																		68 Er Erbio 167.259																		69 Tm Tulio 168.93421																		70 Yb Itterbio 173.04																		71 Lu Lutezio 174.967																	
89 Ac Attinio (227)																		90 Th Torio 232.0381																		91 Pa Protoattinio 231.03588																		92 U Uranio 238.02891																		93 Np Nettunio (237)																		94 Pu Plutonio (244)																		95 Am Americio (243)																		96 Cm Curio (247)																		97 Bk Berkelio (247)																		98 Cf Californio (251)																		99 Es Einsteinio (252)																		100 Fm Fermio (257)																		101 Md Mendelevio (258)																		102 No Nobelio (259)																		103 Lr Laurenzio (262)																	

Tavola Periodica degli Elementi



Fisica Atomica
Fisica dei Materiali

28
Ni
Nichel

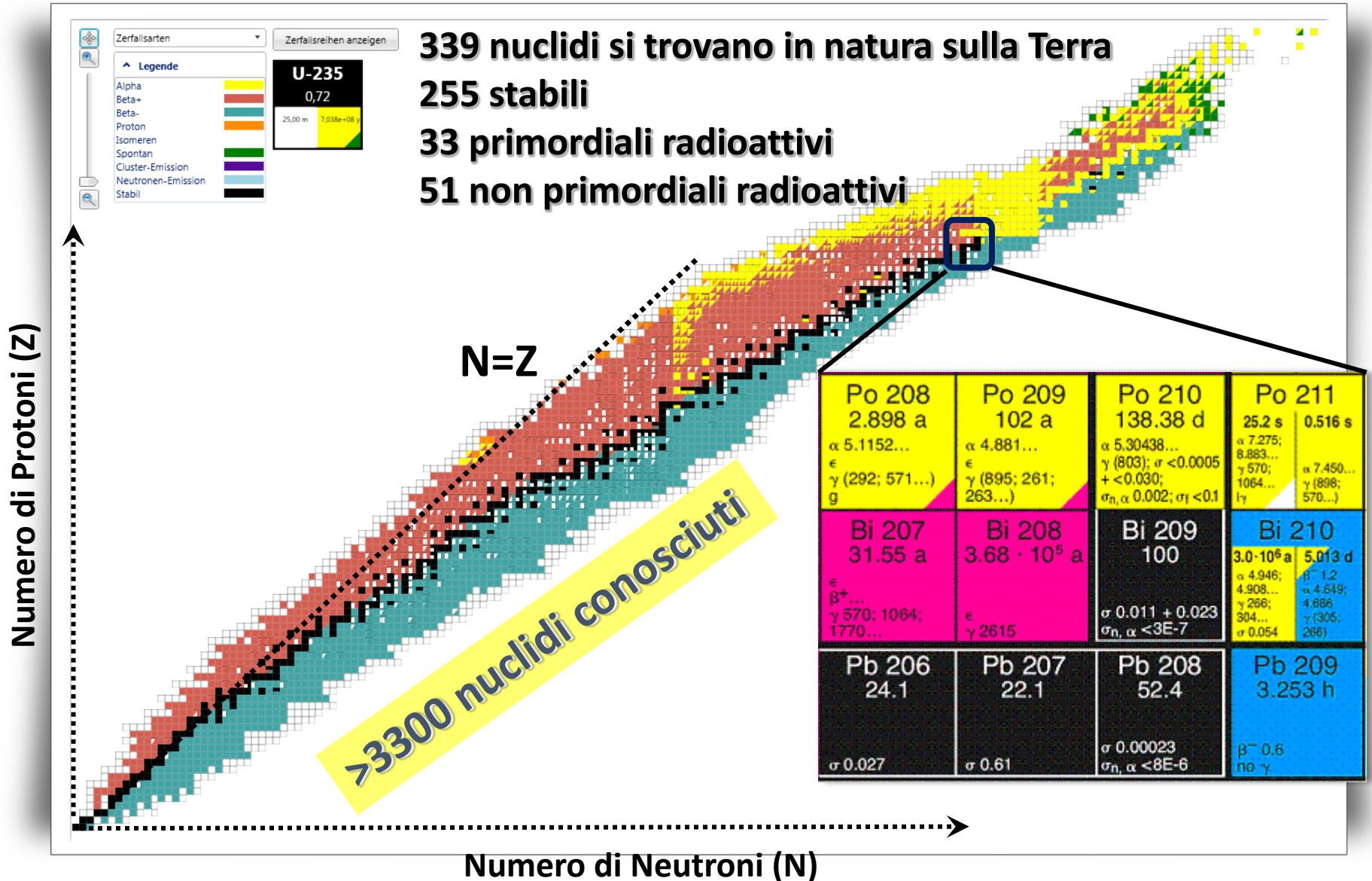
Energia di legame
Massa Atomica



Fisica Nucleare

Isotopo (stesso posto): Medesimo numero di protoni, varia numero di neutroni

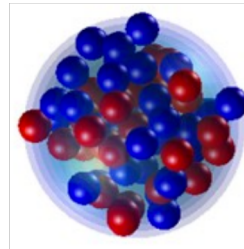
La carta dei nuclei- Carta di Segre'



Nucleo: Sistema Quantistico, Confinato, Molti corpi, 2 componenti (p/n)

Caratterizzato da:

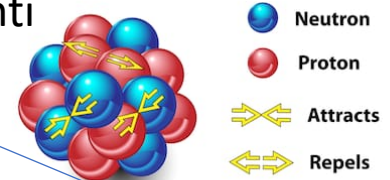
- Massa
- Carica
- Spin
- Parita'
- Volume
- Superficie
- Forma



Sciame di api



- Particelle interagenti



Atomic Nuclei and the Strong Force

Interplay tra Interazione Coulombiana e interazione forte

Interazione forte agisce a livello nucleare (~fm) e sub-nucleare

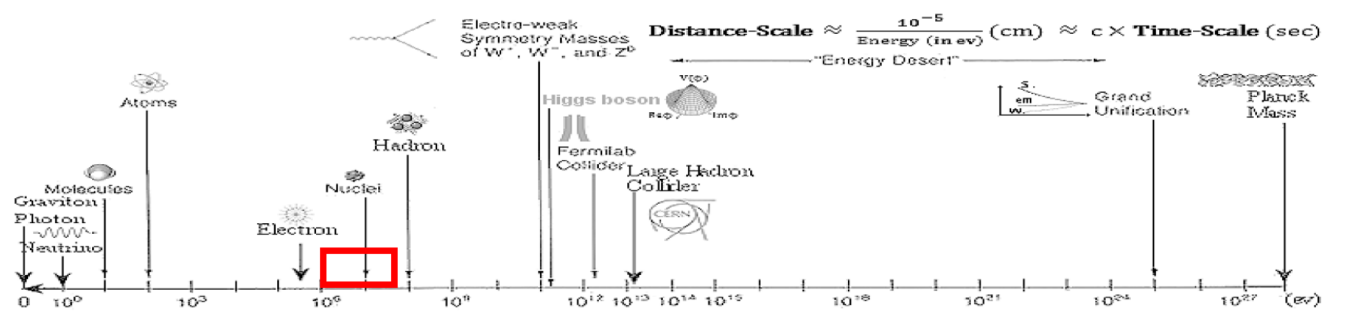
- Tiene legato il nucleo
- Tiene legati i quarks all'interno di protoni/neutroni/adroni

Interazione forte

~ 100 * Int. Coulomb

~ 10³⁹ Int. gravitazionale

Fisica nucleare e particellare, molta varietà in base all'energia in gioco (dal KeV al TeV)

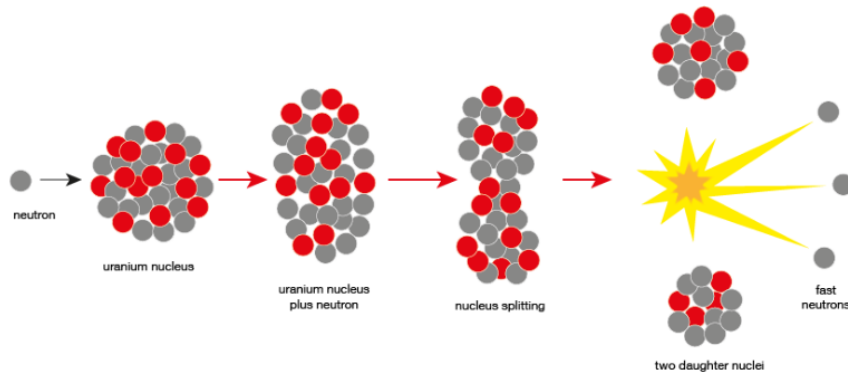
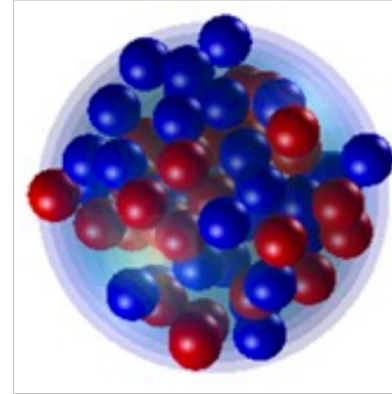


Nucleo: Sistema Quantistico, Confinato, Molti corpi, 2 componenti (p/n)

Cosa vogliamo descrivere:

NUCLEO SISTEMA ISOLATO

- Come sta assieme un nucleo?
- Forma/Dimensione?
- Possibili eccitazioni

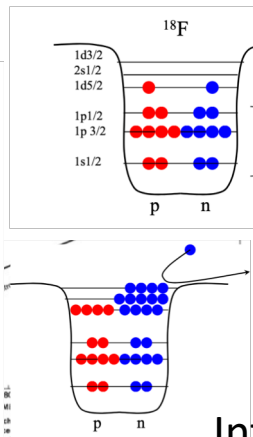
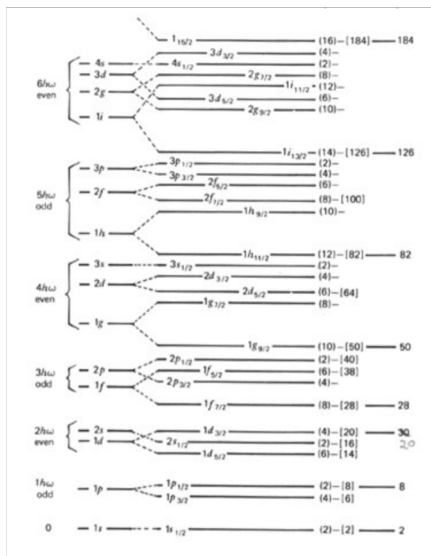


INTERAZIONI TRA NUCLEI (reazioni nucleari)

- Quanti nucleoni intervengono?
- Quanta energia si sprigiona?
- Quale e' il risultato finale?

Cosa vogliamo descrivere: Diversi approcci

- **MACROSCOPICO**: nucleo trattati collettivamente → definizione di forma e moti collettivi come vibrazioni o rotazioni
- **MICROSCOPICO**: studio del comportamento dei singoli elementi → struttura a shell simile a quelle atomica con livelli sia per protoni che per neutroni

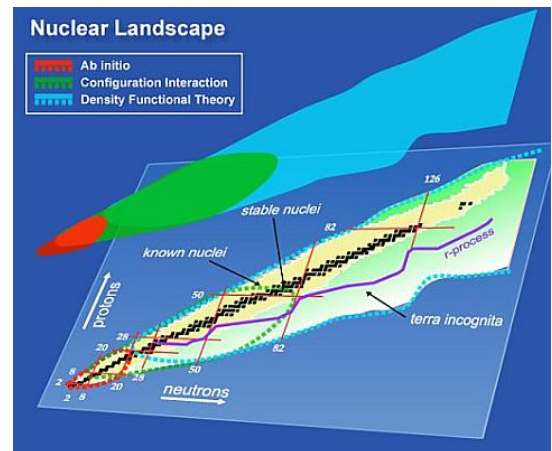
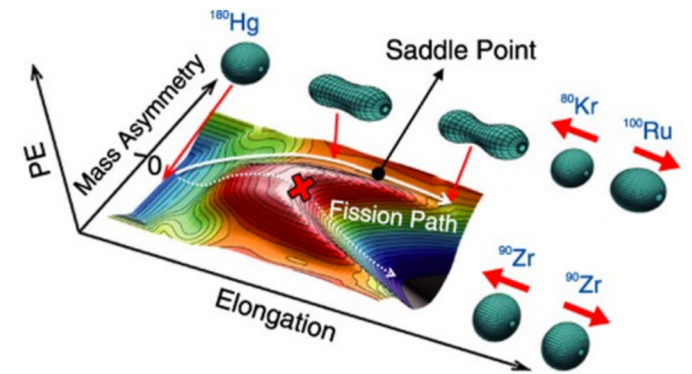


→ **GOAL FINALE**: descrizione microscopica comprensiva e unificata di tutti i nuclei e reazioni nucleari partendo dalla interazione tra i costituenti di base (quarks!!)

Interazione forte agisce a livello nucleare (~fm) e sub-nucleare

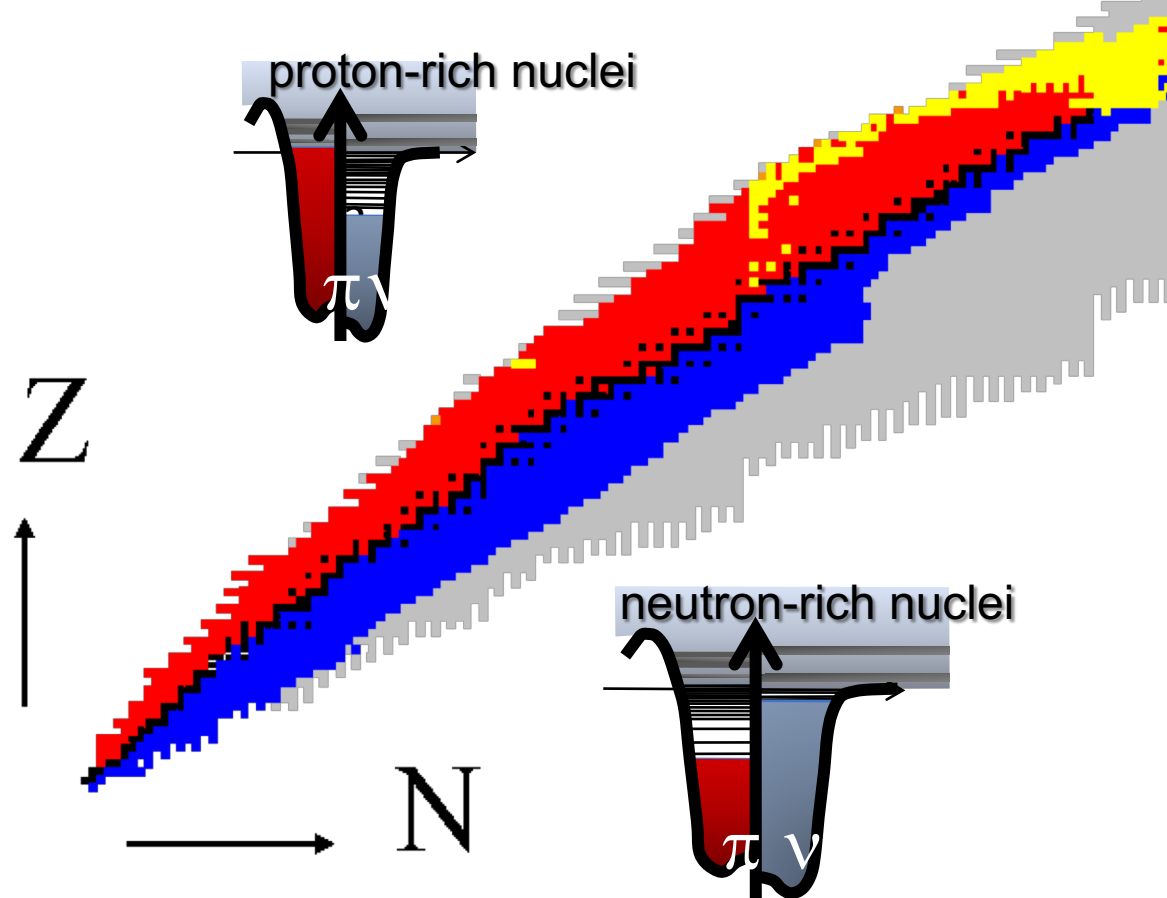
- Tiene legato il nucleo
- Tiene legati i quarks all'interno di protoni/neutroni/adroni
- → conciliazione tra i due livelli

Fission – The Liquid Drop Model

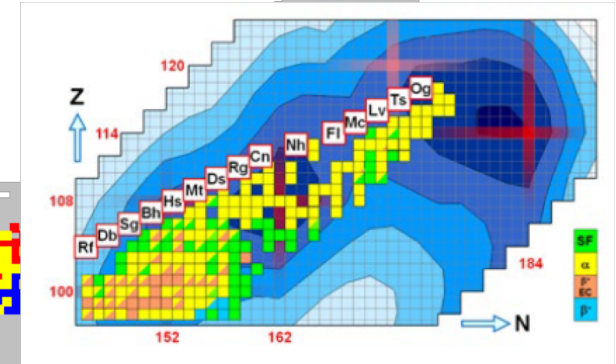


Domande aperte

🤔 Limiti dell'esistenza dei nuclei: quanti neutroni/protoni riesco a legare??



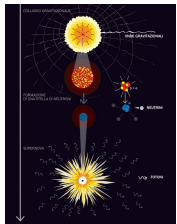
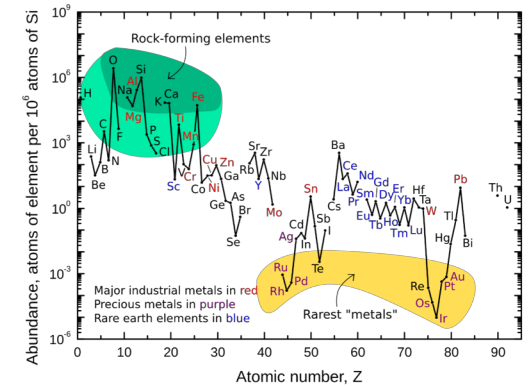
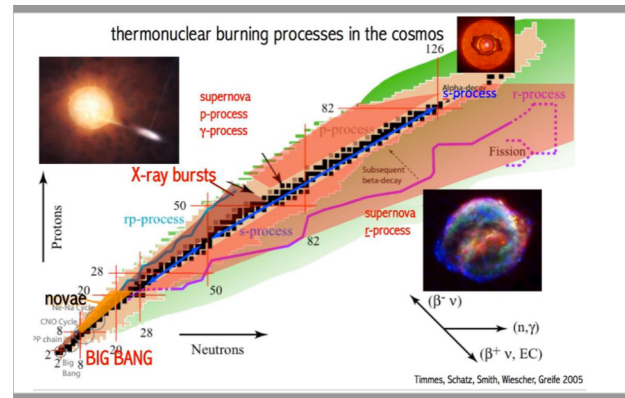
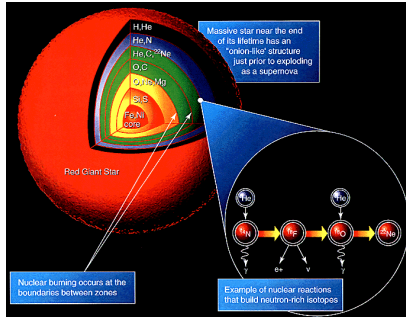
Super-Heavy elements



- Nh, Nihonium Z=113
- Scoperto in Giappone nel 2003
 - Accettato da IUPAC e «battezzato» 2015
- Fl, Flevorium Z=114
- Scoperto in Russia nel 1998
 - Accettato da IUPAC e «battezzato» 2012

Domande aperte

🤔 Nascita dei nuclei nelle stelle: processi di fusione/fissione/decadimenti

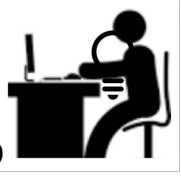


- Solo gli elementi piu' leggeri sono stati prodotti a seguito del Big Bang
- Gli altri elementi sono prodotti all'interno delle stelle (nucleosintesi stellare)
 - ➔ In che condizioni? Temperatura, flussi di particelle?
 - ➔ Quali tipi di stelle o di «eventi» astronomici

Input nucleari per determinazione di processi di nucleosintesi stellari

- Limiti stabilita' materia nucleare
- Tempi di vita dei nuclei
- Modalita' di decadimento
- Tipi di reazioni coinvolte
- Probabilita' di cattura/emissione di particelle (neutroni o protoni)

Cosa fa un fisico nucleare (sperimentale)???



- ~ 6 mesi
- Fase I:
Progettazione
- 🤔 individuazione di una problematica
 - 🤔 selezione del nucleo in cui meglio studiare il fenomeno
 - 🤔 ricerca della migliore reazione per studiare il nucleo:
 - 🤔 Energia di fascio
 - 🤔 tipo di fascio/bersaglio
 - 🤔 strumentazione per studiare il problema
 - 🤔 Simulazioni

- 🤔 Coinvolgimento collaboratori (20-50 persone)
- 🤔 Richiesta di «tempo di fascio» al laboratorio



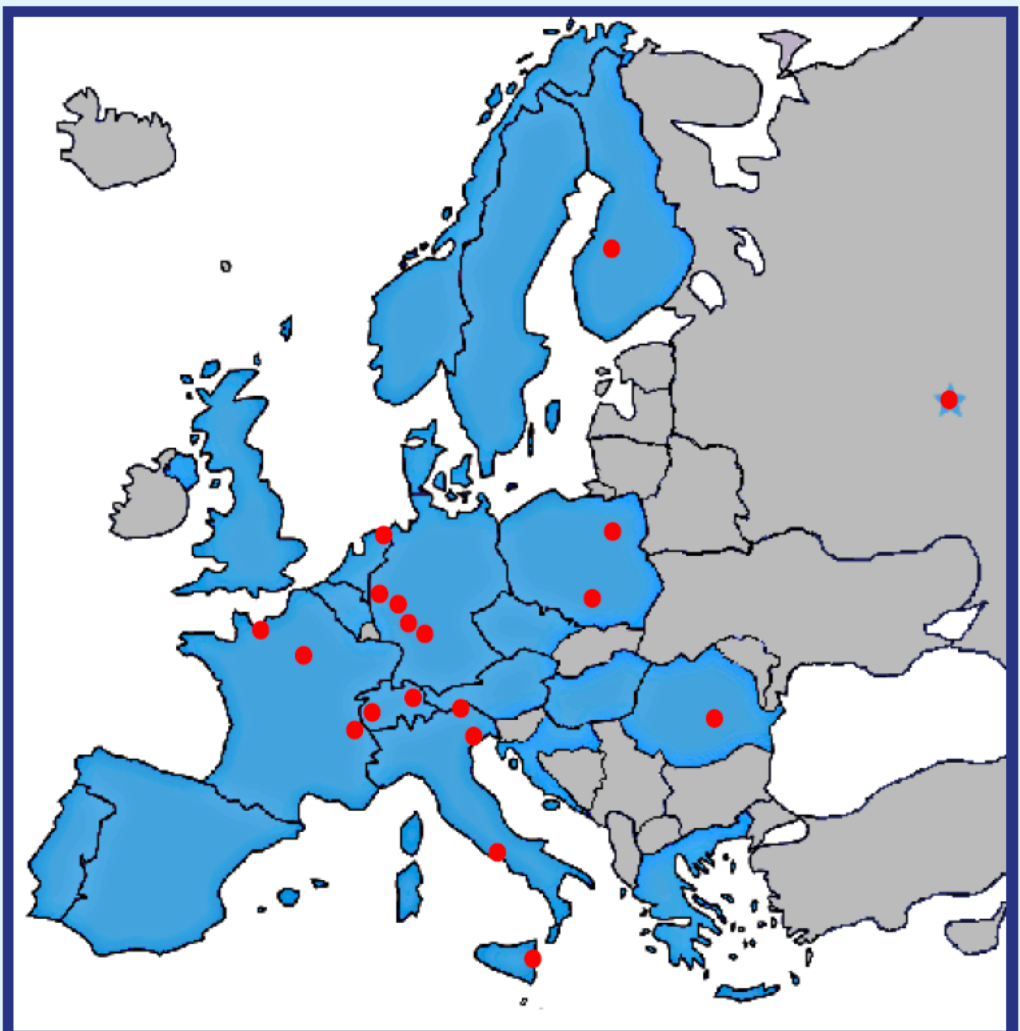
- ~ 2-3 mesi
- Fase II:
Realizzazione
- 😊 Preparazione dell'esperimento:
 - 😊 Meccanica
 - 😊 Rivelatori
 - 😊 Sistema di lettura dei segnali (elettronica)
 - 😊 Sistema di interpretazione dei segnali (DAQ)
 - 😊 Presa dati (h24 ~ 10 gg)



- ~ 1-3 anni
- Fase III:
Interpretazione
- 🧐 Analisi dati
 - 🧐 Conferma/confutazione → progettazione nuovo exp
 - 🧐 confronto con teorici per interpretazione
 - 🧐 scrittura articoli/presentazione dei risultati a conferenze
 - 🎉 pubblicazione articolo!!

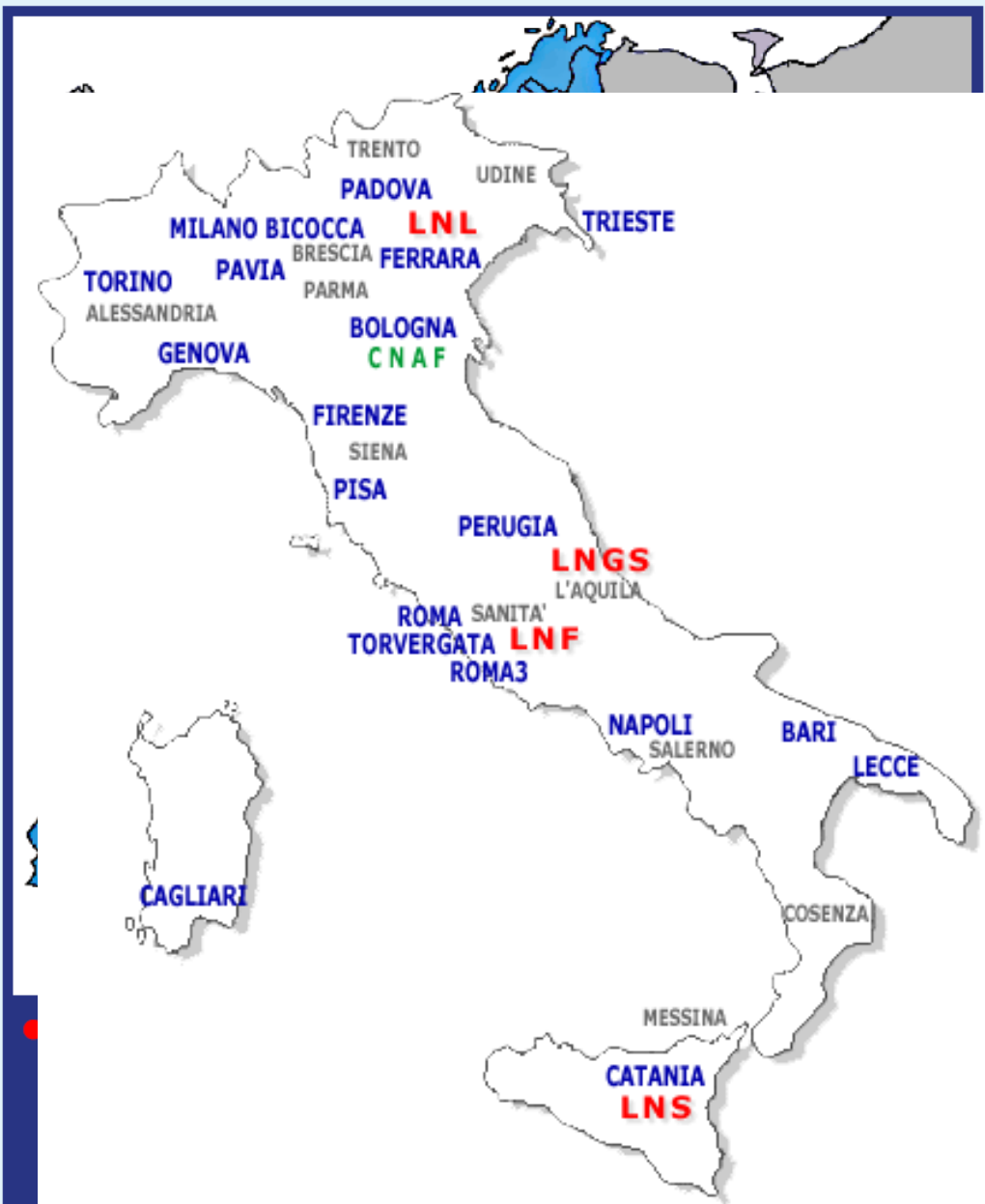
Laboratori di fisica nucleare





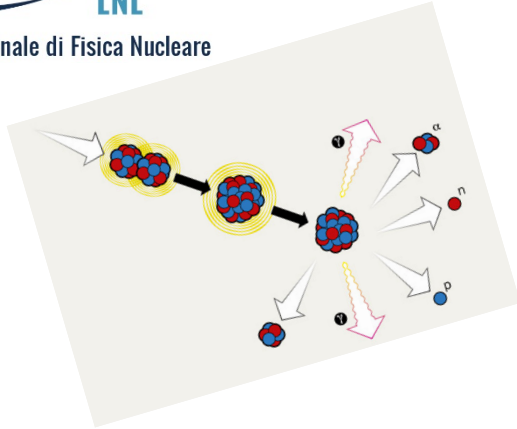
- From North to South:
- JYFL** (Jyväskylä, Finland), **JINR** (Dubna, Russia),
- KVI-CART** (Groningen, The Netherlands), **HIL** (Warsaw, Poland),
- GANIL** (Caen, France), **COSY** (Jülich, Germany), **ELSA** (Bonn, Germany),
- MAMI** (Mainz, Germany), **GSI** (Darmstadt, Germany), **ALTO** (Orsay, France),
- CCB** (IFJ, PAN Kraków, Poland), **ILL** (Grenoble, France),
- CERN** (Genève, Switzerland), **PSI** (Villingen, Switzerland),
- ECT*** (Trento, Italy), **LNL-INFN** (Legnaro, Italy), **IFIN-HH** (Bucharest, Romania),
- LNF-INFN** (Frascati, Italy), **LNS-INFN** (Catania, Italy)



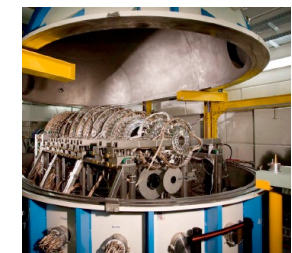
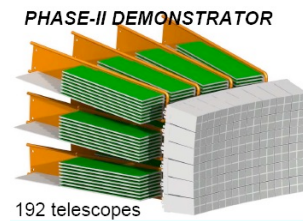
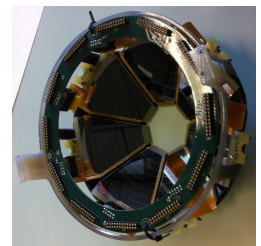
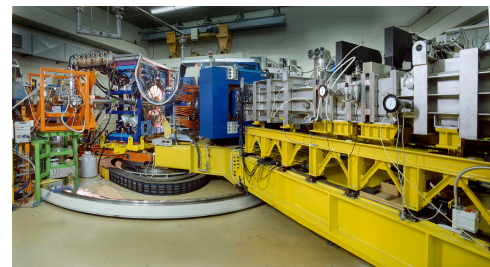
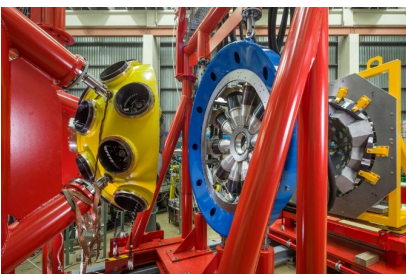
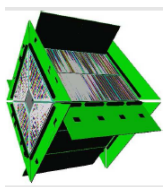


CERN (Geneve, Switzerland), PSI (Villingen, Switzerland),
 ECT* (Trento, Italy), LNL-INFN (Legnaro, Italy), IFIN-HH (Bucharest, Romania),
 LNF-INFN (Frascati, Italy), LNS-INFN (Catania, Italy)

La presenza dell'INFN sul territorio



**3 laboratori nazionali (LNS-LNL-LNGS)
Sviluppo e utilizzo di acceleratori e rivelatori
per misure di fisica nucleare**



Applicazioni Ricadute

PREMESSA : applicazioni si rivolgono a possibile utilizzo di tecniche specificatamente nucleari in ambiti diversi, non strettamente dello sviluppo tecnologico necessario per la realizzazione della ricerca di base

Tipiche applicazioni di TECNICHE NUCLEARI:

✓ ENERGIA:

- CENTRALI NUCLEARI, progettazione e controllo
- STOCCAGGIO RIFIUTI RADIOATTIVI

✓ **AMBITO MEDICO**

- **DIAGNOSI: TAC/PET/SPET.**
- **CURA: ADROTERAPIA/PROTONTERAPIA**

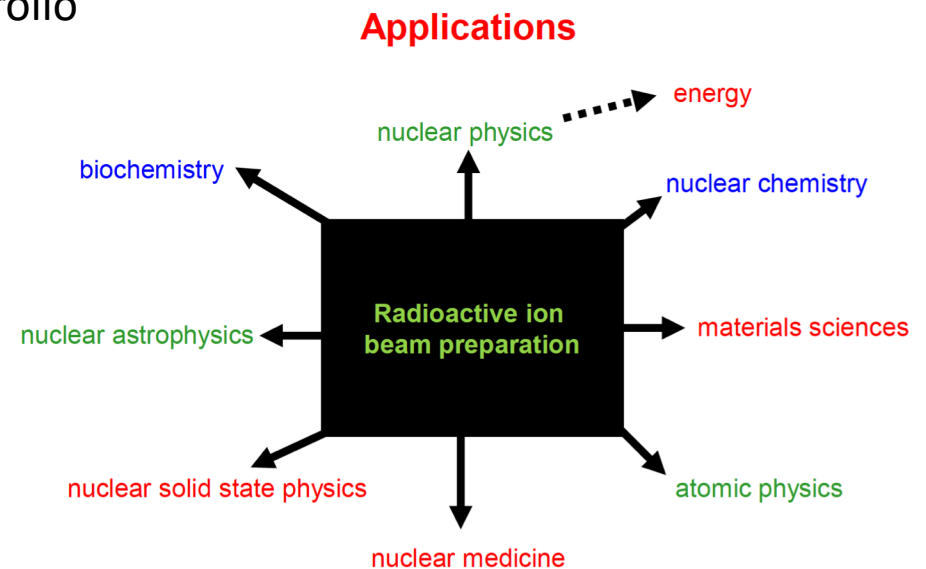
✓ **CONTROLLO TERRITORIO:**

- **MAPPATURA RADIOATTIVITA' AMBIENTALE**

✓ **BENI CULTURALI:**

- **DATAZIONI DI REPERTI**
- **ANALISI DI REPERTI**

✓ **SUPPORTO A INDAGINI POLIZIA**



«In Fadil tracce di metalli pesanti» Gli esami sul sangue della modella

Milano, il procuratore: alta presenza di cadmio e antimonio. L'attesa dell'autopsia

«Un esame prelievo...
Il procuratore...
La modella...
Gli esami...
L'attesa dell'autopsia...»



La sciolta

Cadmio e antimonio

A cosa servono, dove si usano

Tossicità ed effetti sulla salute

«Sono stati trovati...
Il procuratore...
La modella...
Gli esami...
L'attesa dell'autopsia...»



L'intervista

di Antonio Costanzo

«L'amicizia con il vicino di casa
«Era un'anima tormentata,
mi parlò di un risarcimento»»

Ca osari Una squadra di scienziati per svelare il mistero

«Un'indagine...
La squadra...
Il mistero...
Gli scienziati...
Per svelare...»

Cadmio e antimonio

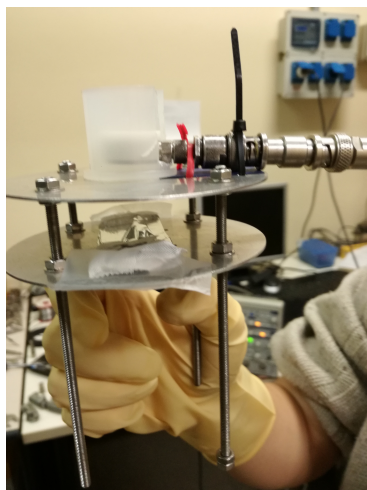
A cosa servono, dove si usano

Tossicità ed effetti sulla salute

«Sono stati trovati...
Il procuratore...
La modella...
Gli esami...
L'attesa dell'autopsia...»

«L'amicizia con il vicino di casa
«Era un'anima tormentata,
mi parlò di un risarcimento»»

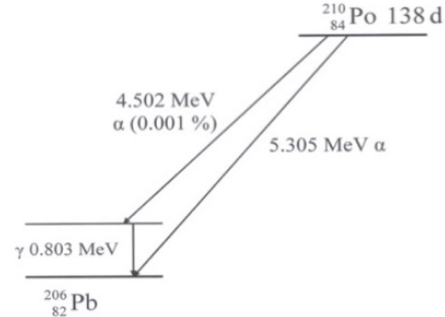
«Un'indagine...
La squadra...
Il mistero...
Gli scienziati...
Per svelare...»



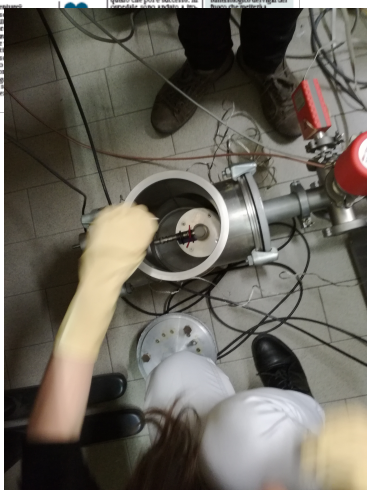
«Un'indagine...
La squadra...
Il mistero...
Gli scienziati...
Per svelare...»

Ipotesi: avvelenamento da ²¹⁰Po Posso eseguire autopsia senza rischi?

Richiesta di valutazione di campioni biologici per stabilire presenza del radioisotopo



- Necessita' di rivelare decadimento alpha
- Range alpha di 5 MeV in acqua ~30-50 μm
- Trattamento dello scarico delle pompe di vuoto → preservamento campione/inquinamento ambiente
- Misure di attivita' molto basse: dose letale di ²¹⁰Pb <1 μg → corretta determinazione del «fondo» (misure senza campione/ misure con campione di controllo)



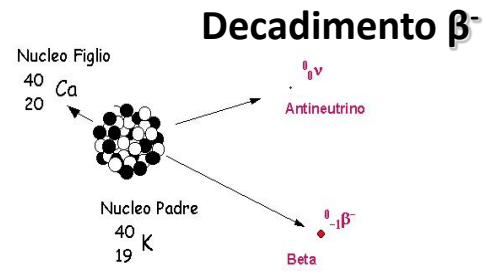
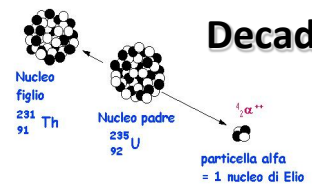
RADIOATTIVITA' AMBIENTALE: viviamo circondati da radiazioni

- E' l'emissione spontanea di energia e/o particelle da parte di un nucleo instabile il quale cerca di raggiungere uno stato energetico più basso
- Gli elementi perdono energia tramite tre diversi tipi di decadimenti (α , β , γ)
- Tutti e tre seguono la legge di decadimento:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$



339 nuclidi si trovano in natura sulla Terra
255 stabili
33 primordiali radioattivi
51 non primordiali radioattivi



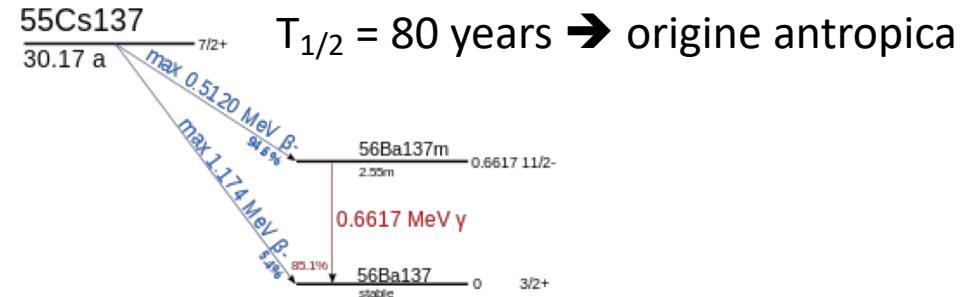
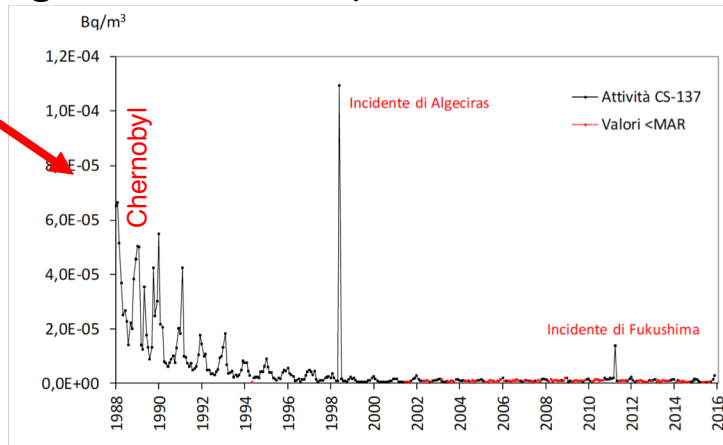
		40K	41K	42K
	STABLE	1.248E+9 Y	STABLE	12.36 Y
%	03.2581%	0.0117%	6.7302%	0.0117%
		β^- : 89.28%		β^- : 100.00%
		ϵ : 10.72%		
	38Ar	39Ar	40Ar	41Ar
	STABLE	269 Y	STABLE	109.27 Y
%	0.0629%		99.6035%	0.0005%
		β^- : 100.00%		β^- : 100.00%
	37Cl	38Cl	39Cl	40Cl
Y	STABLE	37.24 M	56.2 M	1.32 Y

Nel corpo di un adulto che pesa 70 kg, per esempio, vi sono circa 140 grammi di potassio e quindi circa 17 milligrammi di potassio radioattivo

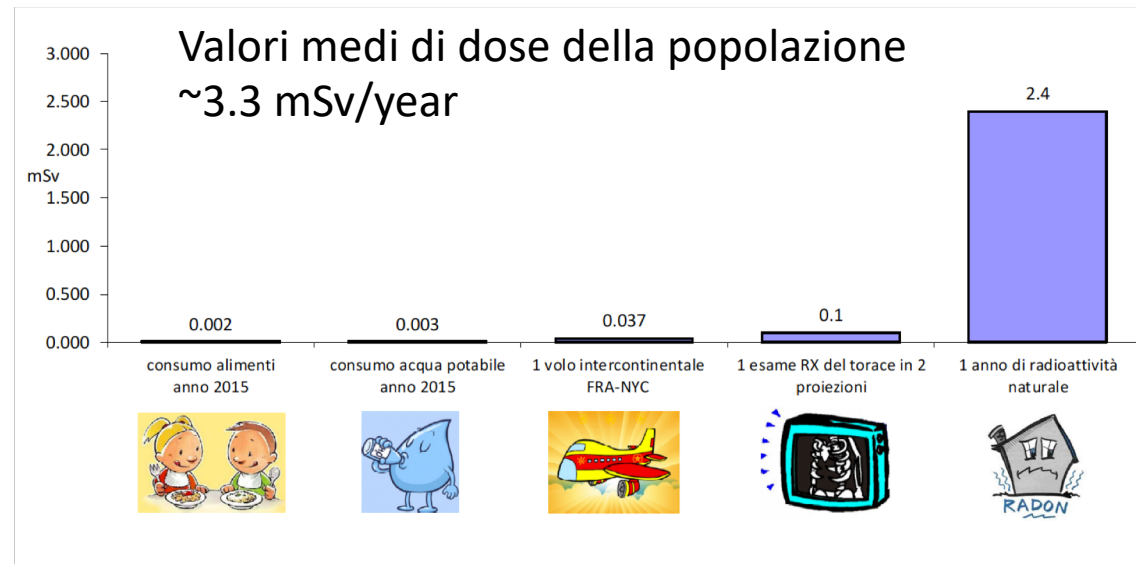
Esempi di misure campione (Fonte ARPA Lombardia)

Misure volte a stabilire concentrazione di ^{137}Cs in

- Alimenti (vegetale e animale)
- **Aria**
- **Acqua**



- **sostanze radioattive naturali:** stabilire concentrazione per controllare esposizione della popolazione;
- **sostanze radioattive artificiali:** valutazione dello stato dell'ambiente e all'individuazione di eventuali situazioni di contaminazione di origine antropica dovute ad eventi incidentali



Problema RADON

- Il radon è un **gas radioattivo** di origine naturale, inodore, incolore e insapore;
- Il radon si trova principalmente nei **locali a diretto contatto con il suolo**, come cantine, scantinati, taverne, garage, perché il terreno è la fonte principale in cui questo gas abita.
- Come gas disciolto viene veicolato anche a grandi distanze dal luogo di formazione: può essere presente nelle falde acquifere.
- Oltre al suolo e alle rocce in cui sono presenti i suoi precursori (uranio e radio), ci sono anche altre vie di trasmissione del radon: pavimentazioni e pareti a contatto con il suolo e non adeguatamente isolate da fratture e fessure, tubature e canalizzazioni non ben sigillate (che andrebbero quindi sempre ben controllate se si vive in una zona più a rischio)
- Il Radon viene generato continuamente da alcune rocce della crosta terrestre ed in modo particolare da lave, tufi, pozzolane, alcuni graniti, ecc.

INFO: <https://web.infn.it/RadioLab/index.php>



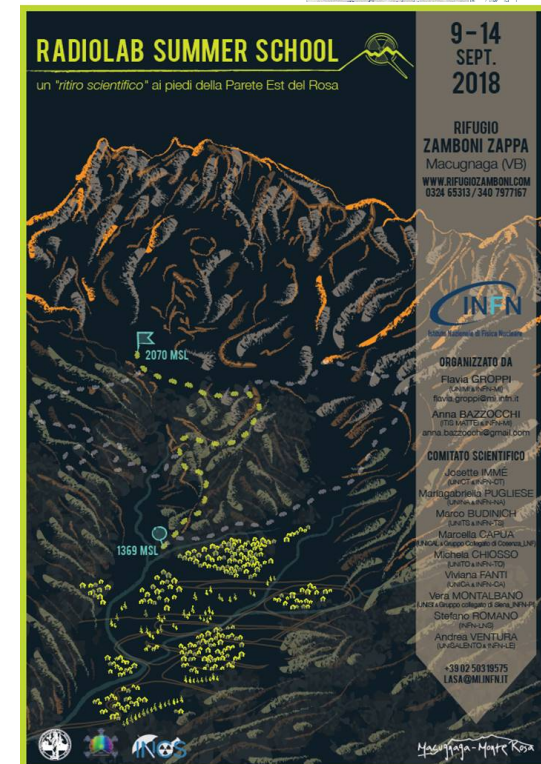
INFN RADON DAY
7 NOVEMBRE 2018

Laboratorio Acceleratori e Superconduttività Applicata – L.A.S.A.
DIPARTIMENTO DI FISICA e INFN, Sezione di Milano

evento presso
ITIS "E. Mattei", San Donato Milanese – classi 4A e 5B Liceo
IIS "Curie-Sraffa", Milano – classi 3B e 4B Liceo

9.00 Apertura dei lavori
9.30 Studenti che hanno partecipato al progetto RadioLab:
La radioattività naturale e il "caso Radon"
11.30 Collegamento Skype da entrambe le scuole con le altre sezioni INFN
12.00 Ragazzi che hanno partecipato alla Summer School:
Un'esperienza davvero significativa: la "RadioLab Summer School 2018"
13.00 Distribuzione dei questionari di valutazione e conclusione

RADIOLAB UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO
DIPARTIMENTO DI FISICA



RADIOLAB SUMMER SCHOOL
un "ritiro scientifico" ai piedi della Parete Est del Rosa

9-14 SEPT. 2018

RIFUGIO
ZAMBONI ZAPPA
Macugnaga (VB)
WWW.RIFUGIOZAMBONI.COM
0324 65313 / 340 797767

INFN
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

ORGANIZZATO DA
Flavia GROPPH
flavia.gropph@inafn.it
Anna RAZZOCCHI
anna.razzocchi@gmail.com

COMITATO SCIENTIFICO
Giordano IKME
Giordano IKME
Mariagabriella PUGLIESE
mariagabriella.pugliese@inafn.it
Mirco BUDINICH
mirco.budinich@inafn.it
Marcella CARLA
marcella.carla@inafn.it
Nicola Gioglio (Coordinatore di Corsi) INFN
Michela CHIOSSO
michela.chiosso@inafn.it
Viviana FANTI
viviana.fanti@inafn.it
Vera MONTALBANO
vera.montalbano@inafn.it
Stefano ROMANO
stefano.romano@inafn.it
Andrea VENTURA
andrea.ventura@inafn.it

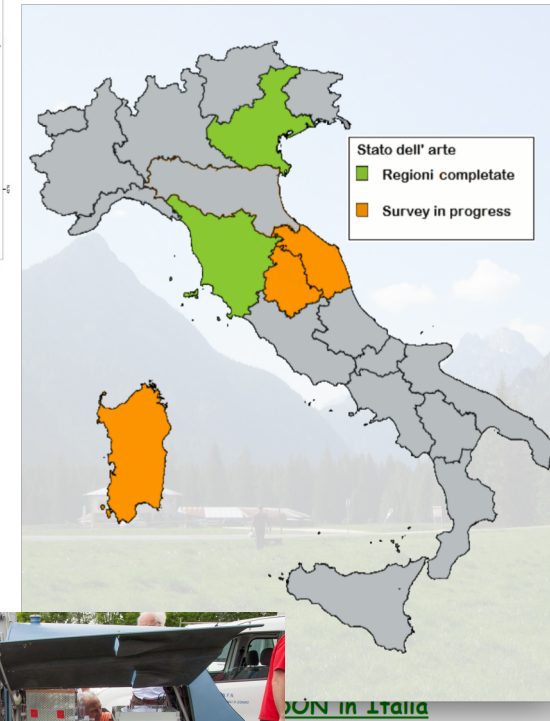
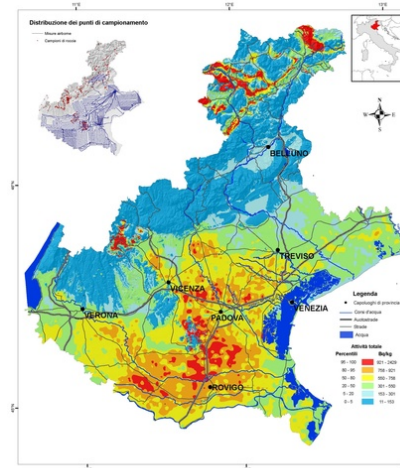
+39 02 503 19575
L.A.S.A. @ INFN.IT

Macugnaga - Monte Rosa

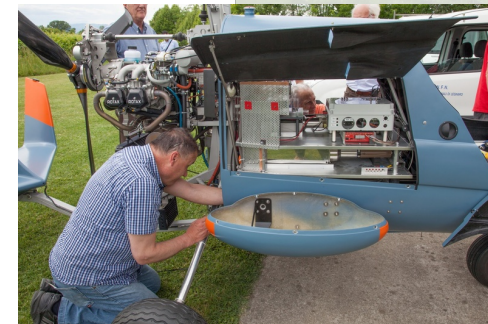
mappatura radioattivit  ambientale ITALRAD



L'obiettivo principale del progetto ITALRAD (ITALian Radioactivity Project)   quello di realizzare la carta della radioattivit  naturale del territorio italiano attraverso misure di spettroscopia gamma. Il contenuto di radioisotopi naturali (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) nelle rocce e nei suoli italiani   investigato mediante misure in laboratorio, in-situ ed airborne.



- 👍 Conoscenza dettagliata spettri di diseccitazione nuclei radioattivi
- 👍 Conoscenza catene di decadimento radioattivo
- 👍 Sviluppo e controllo di rivelatori gamma/beta/alpha
- 👍 interpretazione dei risultati

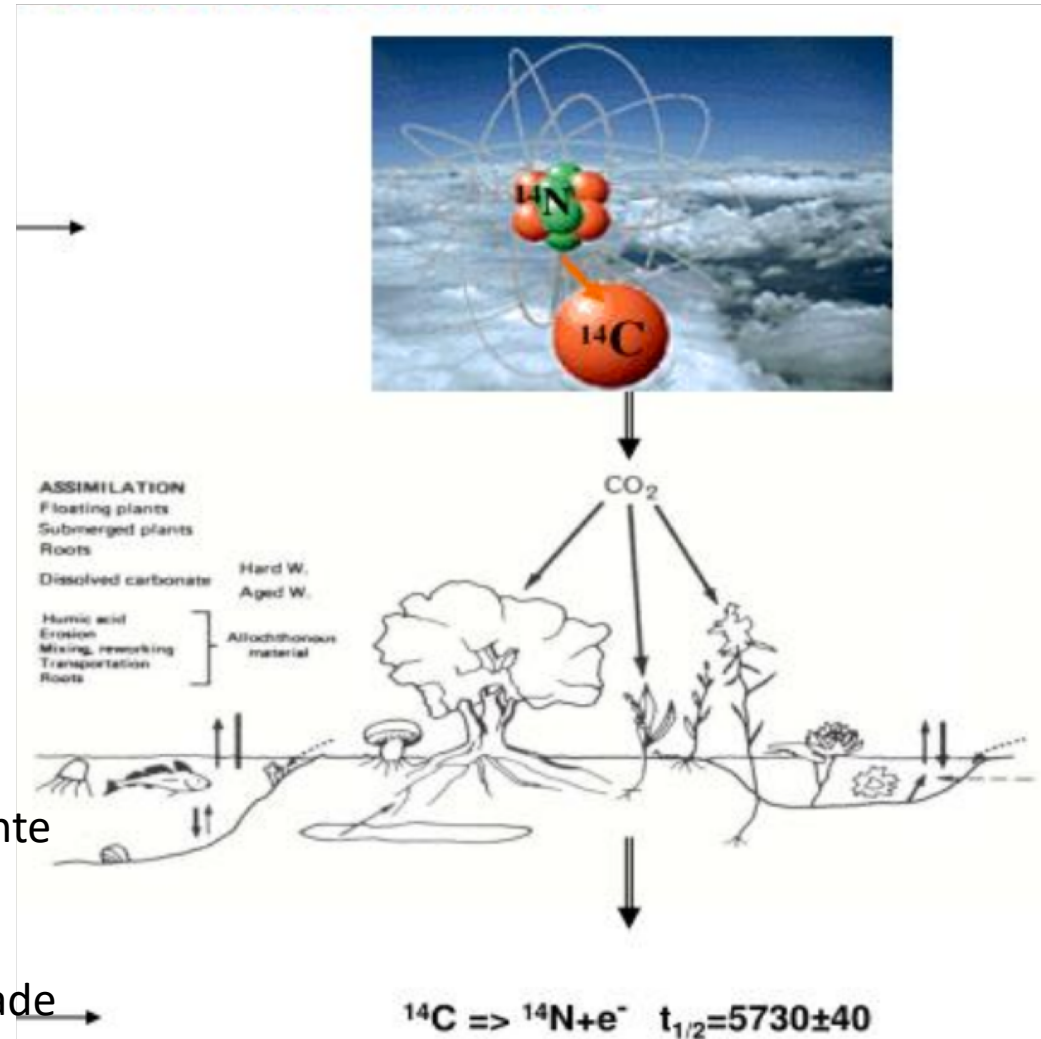


Radioattività naturale: DATAZIONE CON ^{14}C –RADIOMETRIA-

MS	^{13}N 9.965 M	^{14}N STABLE 99.63	^{15}N STABLE 0.364%	^{16}N 7.13 S
00%	ϵ : 100.00%			β^- : 100.00% β^- - α : 1.2E-3%
M	^{12}C STABLE 98.93%	^{13}C STABLE 1.07%	^{14}C 5700 Y	^{15}C 2.449 S
00%			β^- : 100.00%	β^- : 100.00%
LE	^{11}B STABLE 80.1%	^{12}B 20.20 MS	^{13}B 17.33 MS	^{14}B 12.36 MS

- Formazione di ^{14}C in atmosfera attraverso la reazione

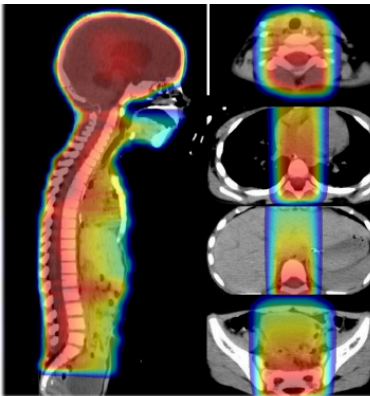
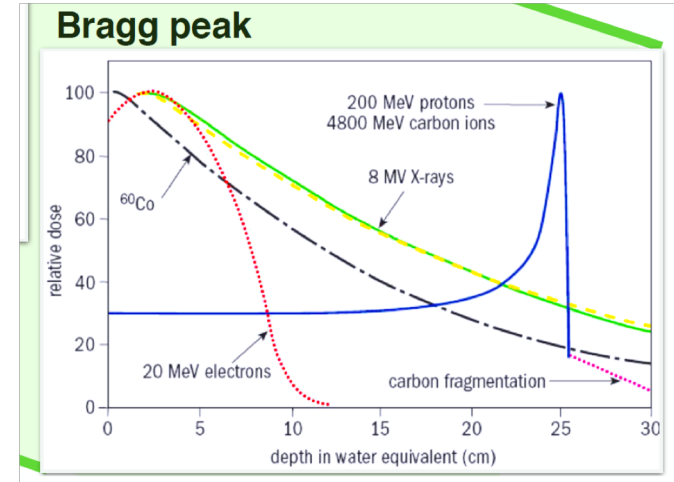
$$^{14}\text{N} + n \rightarrow ^{14}\text{C} + p$$
- Assimilazione di ^{14}C sottoforma di $^{14}\text{CO}_2$
- $R(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})$ rimane pressocché costante durante la vita \rightarrow equilibrio
- Alla morte non si ha più assimilazione
- $R(^{14}\text{C}/^{12}\text{C})$ tende a diminuire perché ^{14}C decade



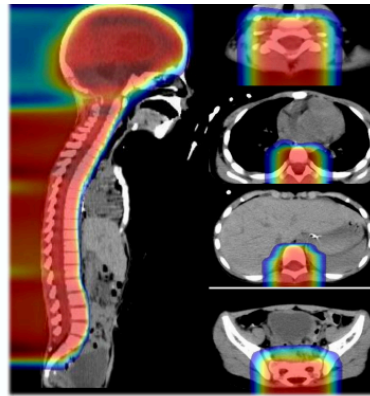
ADROTERAPIA: CURA DEI TUMORI BASATA SU UTILIZZO DI ADRONI (PROTONI O ^{12}C)

Goals:

- Terapia efficace in tumori non attaccabili con altri metodi (chirurgia/chemioterapia)
- Ridotti effetti collaterali
- Buon follow-up (
- Bassa dose (quantita' di radiazioni)
- **ATTACCO DIRETTO SOLO ALLA MASSA TUMORALE**



x-Ray therapy



Protontherapy

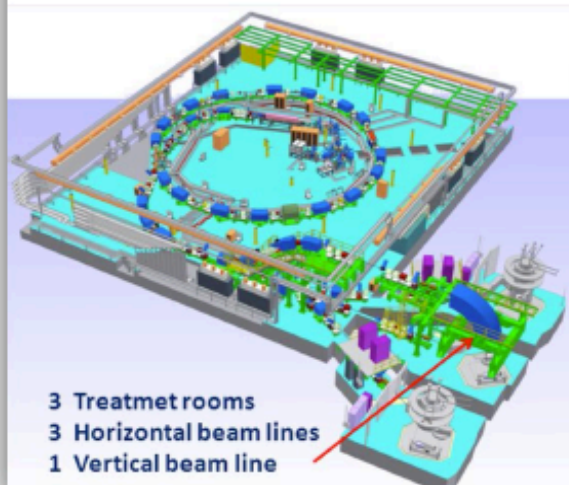
Mirabell RA et al.
Potential reduction of the incidence of radiation-induced second cancers by using proton beams in the treatment of pediatric tumor,
Int. Jour. Rad. Onc. Phys. 2002, 54 (3) 824

- 👍 Conoscenza tecnica di accelerazione ioni pesanti
- 👍 Controllo del trasporto e diagnostica del fascio
- 👍 Conoscenza della interazione dei nuclei con la materia
- 👍 Conoscenza delle reazioni secondarie
- 👍 Calcolo preciso dose
- 👍 Sviluppo di rivelatori efficienti
- 👍 Tecniche di imaging

Hadrontherapy facility in Italy

13

CNAO (Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica) @ Pavia



- Treatments with protons started in september 2011
- Treatments with carbon ions started in november 2012

p E : [60, 250] MeV

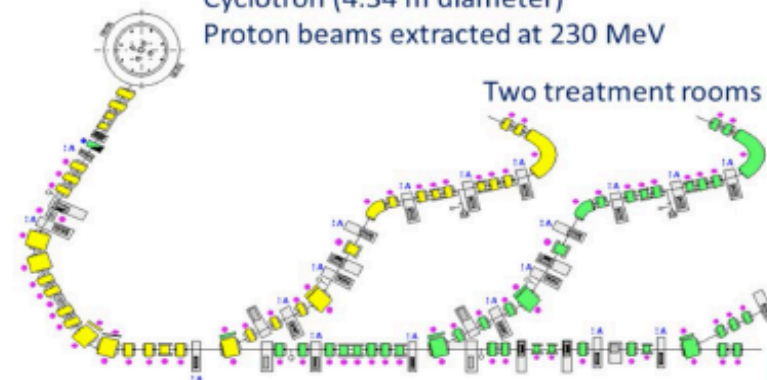
C⁶⁺ E : [120, 400] MeV/u

Synchrotron
(26 m diameter)

- 3 Treatment rooms
- 3 Horizontal beam lines
- 1 Vertical beam line

ATreP (Agenzia Provinciale per la Protonterapia) @ Trento

Cyclotron (4.34 m diameter)
Proton beams extracted at 230 MeV



Inaugurated in July 2013, after commissioning it's starting the clinical activity

CATANA (Centro di Adroterapia e Applicazioni Nucleari Avanzate) @ LNS (Laboratori Nazionali del Sud) - Catania



CATANA treatment room

DIAGNOSI: PRODUZIONE DI RADIO-TRACCIANTI/RADIO-FARMACI

^{99m}Tc: ideal for SPECT and gamma cameras

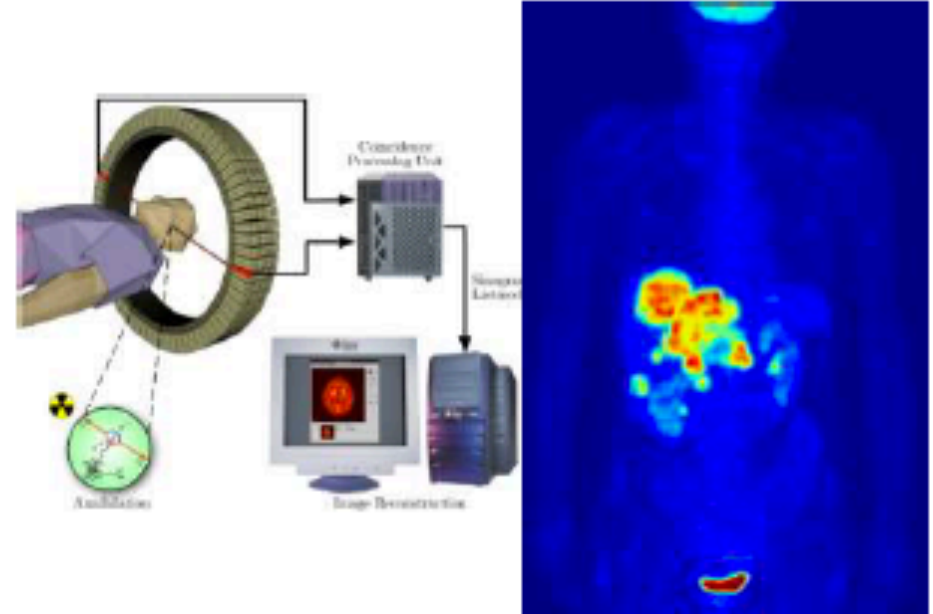
Ru 98 1.87 $\alpha < 8$	Ru 99 12.76 $\alpha 4$	Ru 100 12.60 $\alpha 5.8$	Ru 101 17.06 $\alpha 5$	Ru 102 31.55 $\alpha 1.2$
Tc 97 92.2 d $4.0 \cdot 10^6$ a $t_{1/2}(97)$ σ^+	Tc 98 $4.2 \cdot 10^6$ a $\beta^- 0.4$ $\gamma 745; 852$ $\sigma 0.9 + ?$	Tc 99 6.0 h $21 \cdot 10^6$ a $\beta^- 141$ $\gamma 141$ $\sigma 0.3$ $\beta^- 113$ $\gamma 113$ $\sigma 0.2$	Tc 100 15.8 s $\beta^- 3.4$ ϵ $\gamma 540; 591$	Tc 101 14.2 m $\beta^- 1.3$ $\gamma 307; 545$
Mo 96 16.68 $\alpha 0.5$	Mo 97 9.56 $\alpha 2.5$ $\sigma_n, \alpha 4E-7$	Mo 98 24.19 $\alpha 0.14$	Mo 99 66.0 h $\beta^- 1.2$ $\gamma 740; 182; 778$ m; g	Mo 100 9.67 $1.15 \cdot 10^{19}$ a $2\beta^-$ $\sigma 0.19$

- IT with 89% 140.5 keV gamma ray, $T_{1/2} = 6$ h
- decays to quasi-stable daughter
- ^{99m}Tc fed in 88% of β^- decays of ⁹⁹Mo, $T_{1/2} = 66$ h
- produces nearly carrier-free product

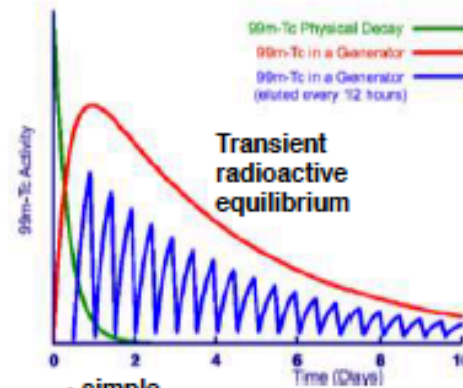
PET isotopes

Radio-nuclide	Half-life (h)	Intensity β^+ (%)	E mean (MeV)	Range (mm)
C-11	0.34	99.8	0.39	1.3
N-13	0.17	99.8	0.49	1.8
O-15	0.03	99.9	0.74	3.2
F-18	1.83	96.7	0.25	0.7
Ga-68	1.13	89.1	0.83	3.8
Rb-82	0.02	95.4	3.38	20

Positron Emission Tomography



⁹⁹Mo/^{99m}Tc generator



- simple
- reliable
- portable
- self-shielded



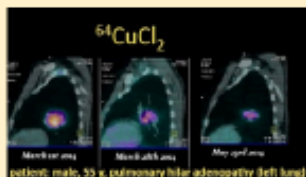
- ❑ **LARAMED**: use of cyclotron for production of standard and new radioisotopes by proton induced reactions
- ❑ **ISOLPHARM**: use of ISOL technique to produce radioisotopes with very high specific activity (5-6 order of magnitude more than standard)

LARAMED

Production of radionuclides for medicine using the **SPES cyclotron** (production&research)

Joint Research lab of INFN, CNR, Universities and external companies:

- Cross Section measurements through target activation
- High power targets tests
- Radio-isotope/radio-pharmaceutical Production test facility (^{99m}Tc , ^{64}Cu , ^{67}Cu , ^{82}Sr , ...)



Production laboratory in Joint Venture with external companies:

Selected isotopes of medical interest

Sr-82/Rb-82 generator

T1/2: 25.6 d EC 100% / 1.3 min photons
511keV, 776keV

Facility under construction



STATUS:

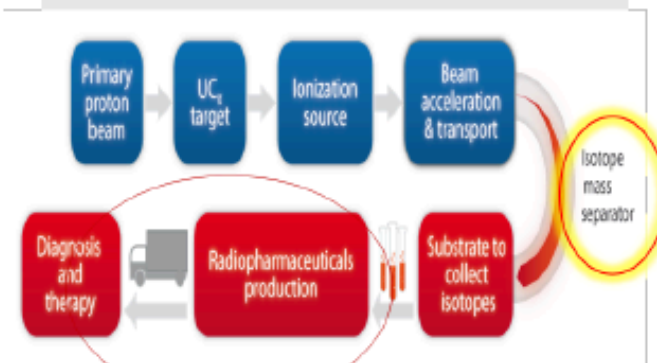
- Building and infrastructures under development
- Design of radiochemistry labs
- Design of beam line and target management
- Contract with company for radioisotopes production to be finalized

ARRONAX (Nantes) – SPES collaboration:
Isotopes and high-Power target developments

A.Duatti

ISOLPHARM*

Use of **ISOL technique** for Direct isotope on-line separation : very high specific activity (10^{4-5} than standard)



Radiopharmaceutical	Targeted organs	Half-life	Specific Activity (GBq/mg)	
			SPES production	Neutron capture reaction
$^{89}\text{Sr-SrCl}_2$	Bone	50.5 d	≥ 597	$\geq 0,004$

After 2 days of irradiation: $4.1\text{E}+15$ atoms of ^{89}Sr = 18 mCi (patient dose: 4 mCi every 6 months).

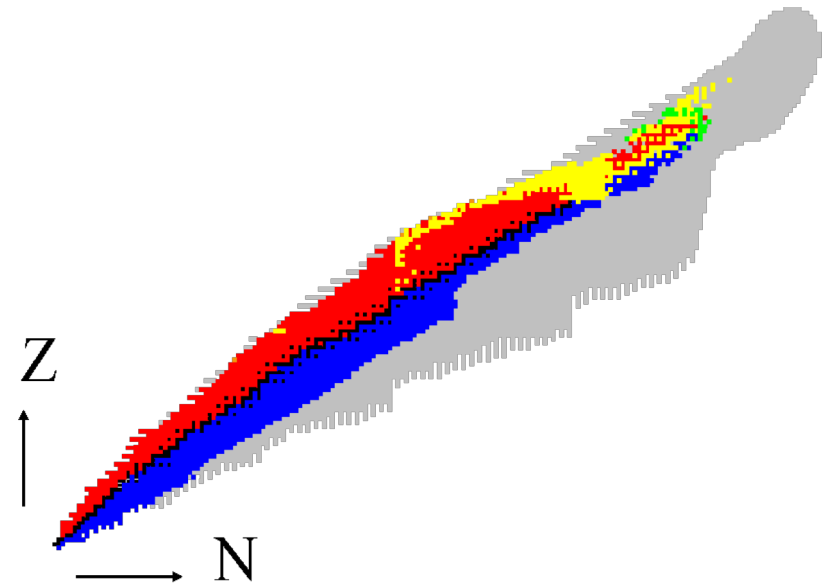
* INFN Patent

Collaboration with Pd_University (Pharmacy) and hospitals for preliminary test

A.Andrighetto

Studi di Fisica Nucleare

- Ricerca di frontiera
- Alta complessita' del sistema nucleo
- Ruolo di leadership di Italia, INFN
- Applicazione in numerosi ambiti
 - Ricadute su altre branche fisica
 - Astronomia/fisica dei materiale
 - Applicazioni per sicurezza popolazione
 - Applicazioni mediche



...future scoperte e applicazioni ancora da definire..