



n_TOF al CERN:
misura di sezioni d'urto neutroniche
ad alta accuratezza,
alta risoluzione
ed in un ampio intervallo energetico
per l'astrofisica nucleare
e per le tecnologie nucleari emergenti



la collaborazione nTOF

CERN

Technische Universität Wien

IRMM EC-Joint Research Center, Geel

University of Zagreb

IN2P3 – IPN – Orsay, IN2P3 CEA – Saclay

University of Manchester, University of York

University of Frankfurt

AstroParticle Consortium (Athens, Thessaloniki, Thrace ...)

INFN Bari, Bologna, LNL, Trieste

ENEA – Bologna, Università di Bologna

LIP - Universidade de Coimbra, ITN Lisbona

INR – Dubna, IPPE – Obninsk

CIEMAT - Madrid, IFIC – Valencia, University of Santiago de Compostela, University of Cataluna

University of Basel, Paul Scherrer Institute

University of Notre Dame, LNL, ORNL

33 Istituti

≈ 100 Ricercatori

16 PhD students

Austria

Belgio

Croazia

Francia

Gran Bretagna

Germania

Grecia

Italia

Portogallo

Russia

Spagna

Svizzera

USA

Contratti EC

FP5 n-TOF-ND-ADS

FP6 EUROTRANS

FP7 ANDES



N_TOF ITALIA

Bari

Bologna

LN Legnaro

Trieste

M.Barbagallo,
N.Colonna
C.Carrapico,
M.De Poli
N.Dzysiuk,
F.Gramegna,
C.Massimi,
P.Mastinu,
M.Mastromarco,
M.Meaze,
P.M.Milazzo,
G.Tagliente,
R.Terlizzi,
G.Vannini,
V.Variale,
A.Ventura

15 Ricercatori

11.3 FTE

75% impegno/ricercatore

11.6 k€/FTE (per il 2012)



Motivazioni Scientifiche

Astrofisica nucleare

Nucleosintesi degli elementi più pesanti del Ferro

Tecnologie nucleari emergenti

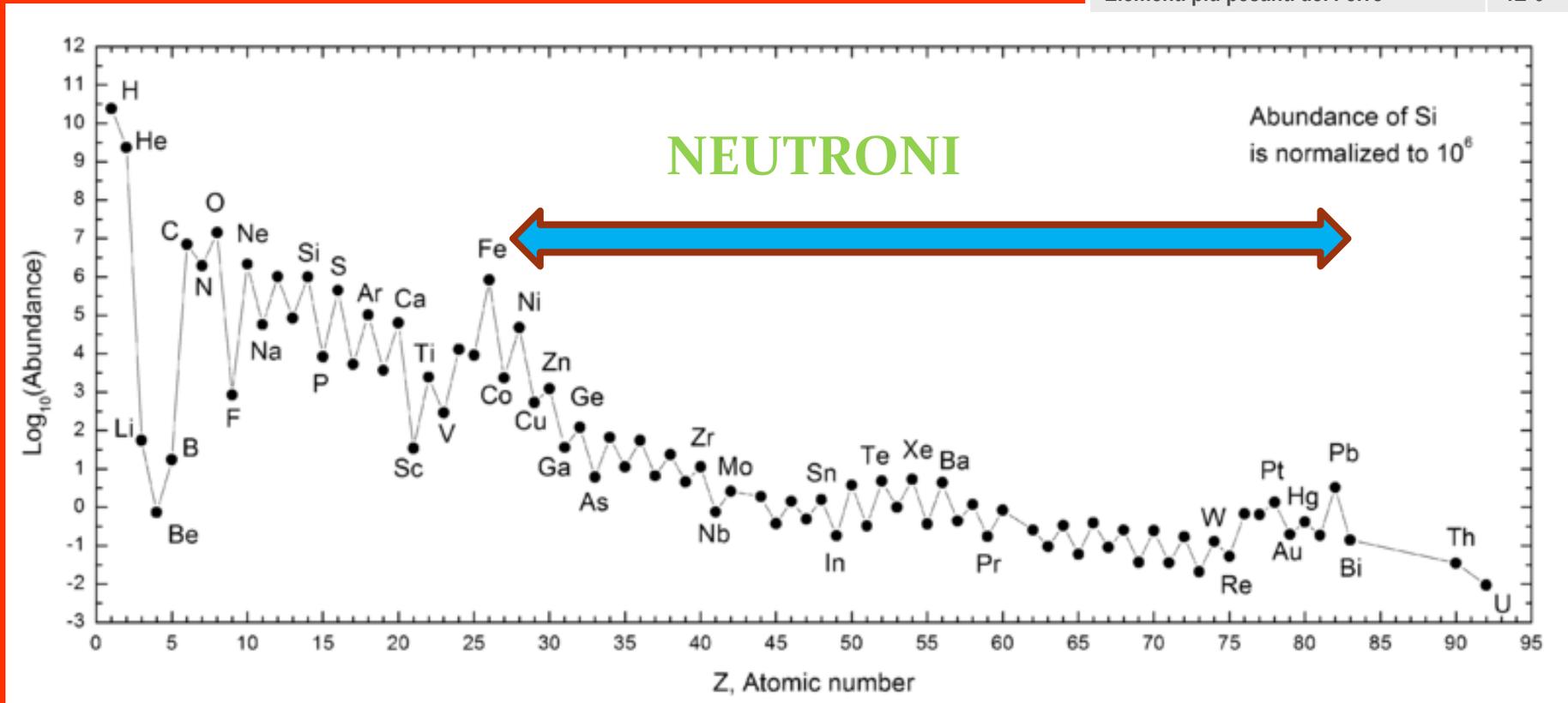
Reattori di IV-Generazione



Astrofisica nucleare

Gli elementi chimici più pesanti del Ferro sono prodotti Quasi esclusivamente da reazioni indotte da neutroni all'interno delle stelle

| Abbondanze relative | |
|--------------------------------|-------|
| H | 0.739 |
| He | 0.249 |
| Li-Fe | 0.012 |
| Elementi più pesanti del Ferro | 4E-6 |



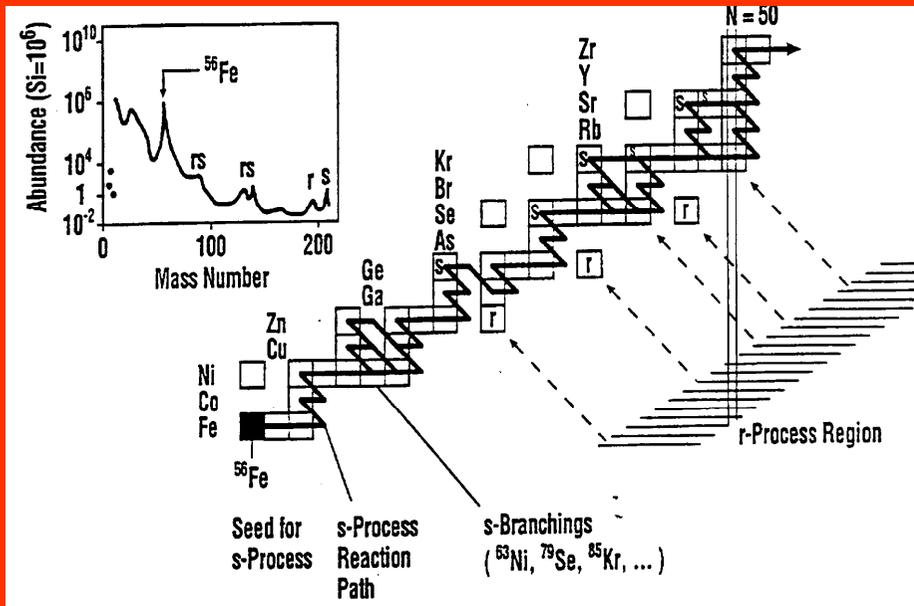


Nucleosintesi stellare

Slow process

$T \approx 10^8 \text{ K} - n_n \approx 10^8 \text{ neutroni/cm}^3$

Tempi di cattura $\approx 1 \text{ anno}$



s-process

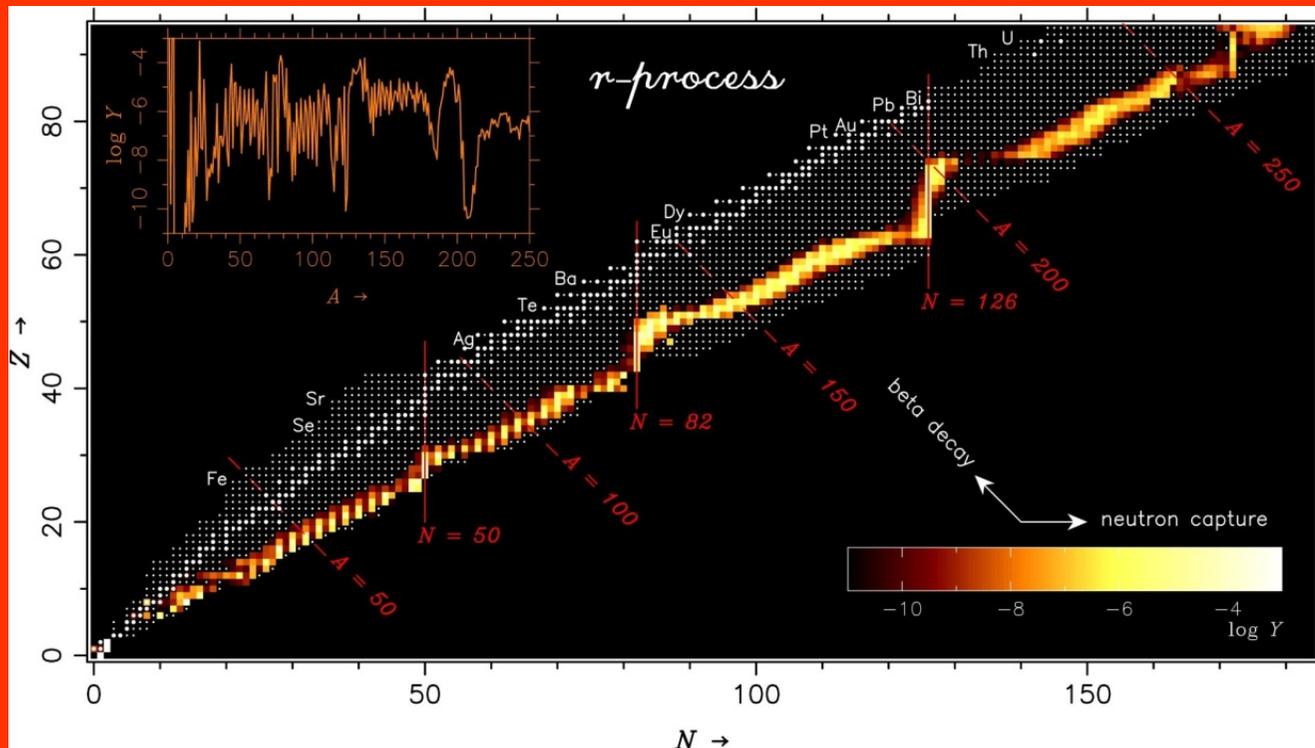
| | | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|--|-------------------------|
| ^{56}Fe 91.72 | ^{57}Fe 2.2 | ^{58}Fe 0.28 | ^{59}Fe 44.503 d | ^{60}Fe $1.5 \cdot 10^6 \text{ a}$ | ^{61}Fe 6 m |
| ^{59}Co 100 | ^{60}Co 5.272 a | ^{61}Co 1.65 h | | | |
| ^{60}Ni 26.223 | ^{61}Ni 1.140 | ^{62}Ni 3.634 | ^{63}Ni 100 a | ^{64}Ni 0.926 | |
| | | | ^{63}Cu 69.17 | ^{64}Cu 12.7 h | |

$\sim 1/2$ by s-process



Nucleosintesi stellare

~ 1/2 by r-process



Eventi di supernova

Emissione di materia post-collisione tra stelle di neutroni

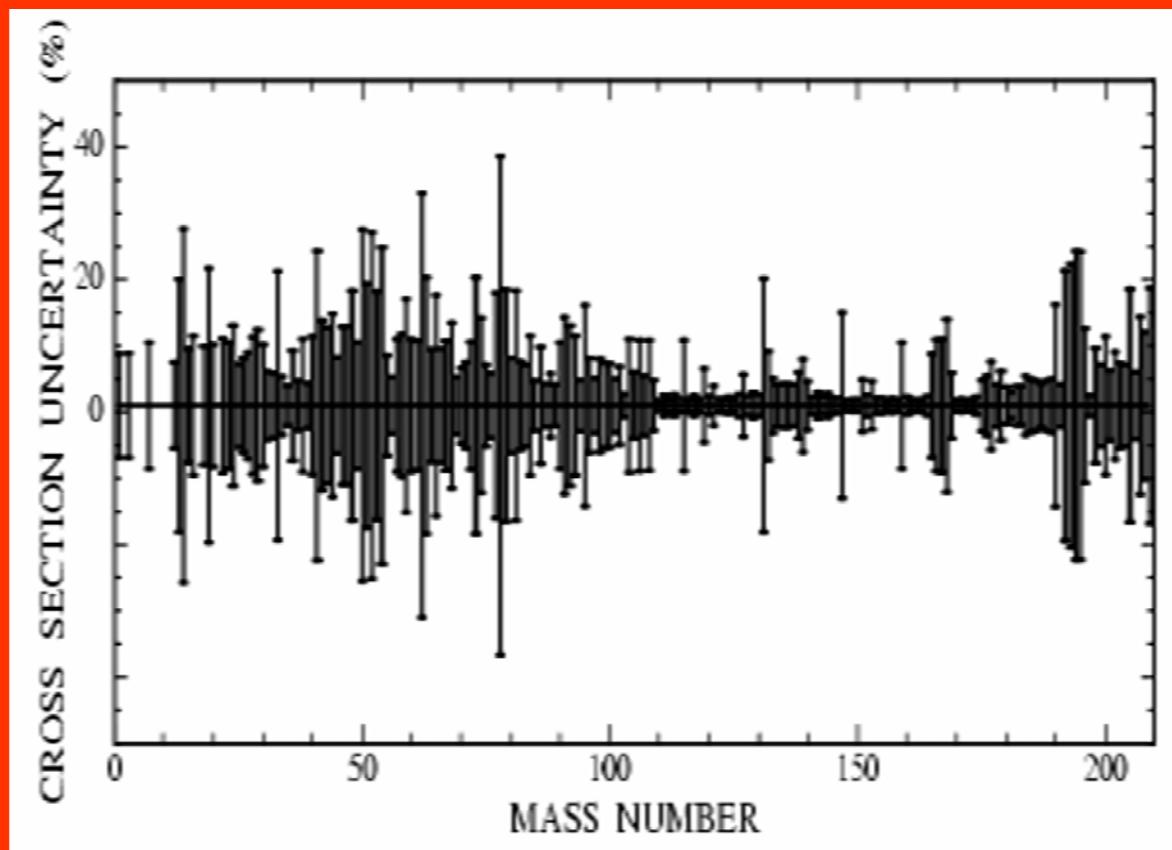
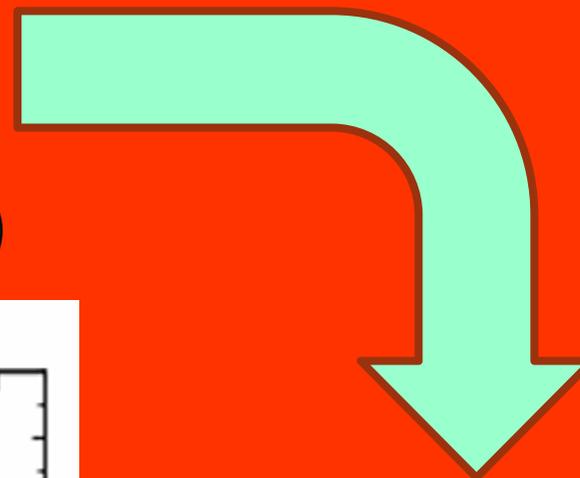


Misure ad alta accuratezza di sezioni d'urto di cattura neutronica su:

Isotopi rari

Isotopi a bassa sezione d'urto

Isotopi radioattivi (*branching points*)



Evoluzioni stellari
Abbondanze isotopiche



Nucleosintesi stellare



(alcune) Misure effettuate/in corso d'opera/proposte ad n_TOF

^{90}Zr , ^{209}La → numero magico di neutroni, collo di bottiglia lungo il cammino di nucleosintesi di tipo **s**

Mg → neutron poisons

Fe, **Ni** (varii) → base del processo di nucleosintesi per catture neutroniche

^{63}Ni → primo punto di diramazione lungo il cammino **s**

^{90}Zr , ^{91}Zr , ^{92}Zr , ^{93}Zr , ^{94}Zr , ^{96}Zr → Studio delle componenti *weak* e *main* della nucleosintesi di tipo **s**

Os → Cosmocronologia



Tecnologia nucleare (Gen-IV)

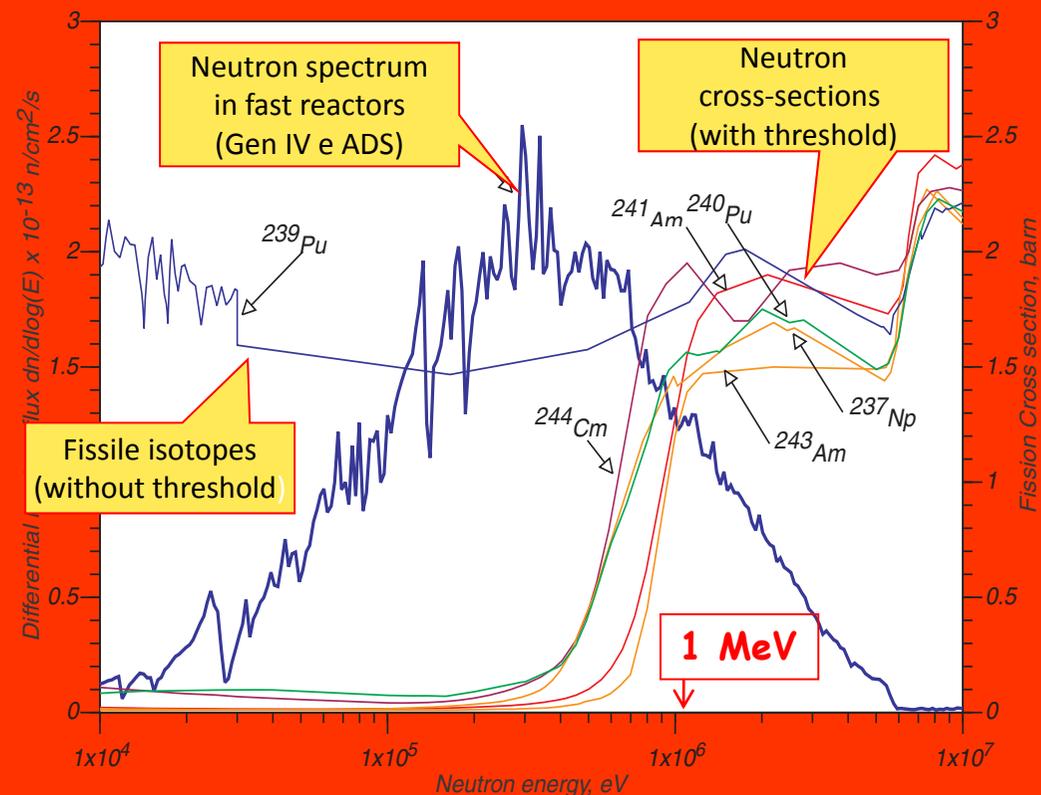
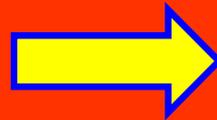
I Reattori nucleari di nuova generazione *devono soddisfare una serie di criteri base:*

Avere una maggiore efficienza di burn-up → decisa riduzione delle scorie

- riutilizzo di parte del combustibile spento,
- produzione di energia bruciando scorie ad alta radiotossicità (**Np, Am, Cm**);

Presentare forme di sicurezza intrinseca;
Non consentire la proliferazione nucleare;
Ridurre tempi e costi di costruzione.

e.g. Fast Breeder Reactors





Tecnologia nucleare

(alcune) Misure effettuate/in corso d'opera/proposte ad n_TOF

n_TOF – Phase 1

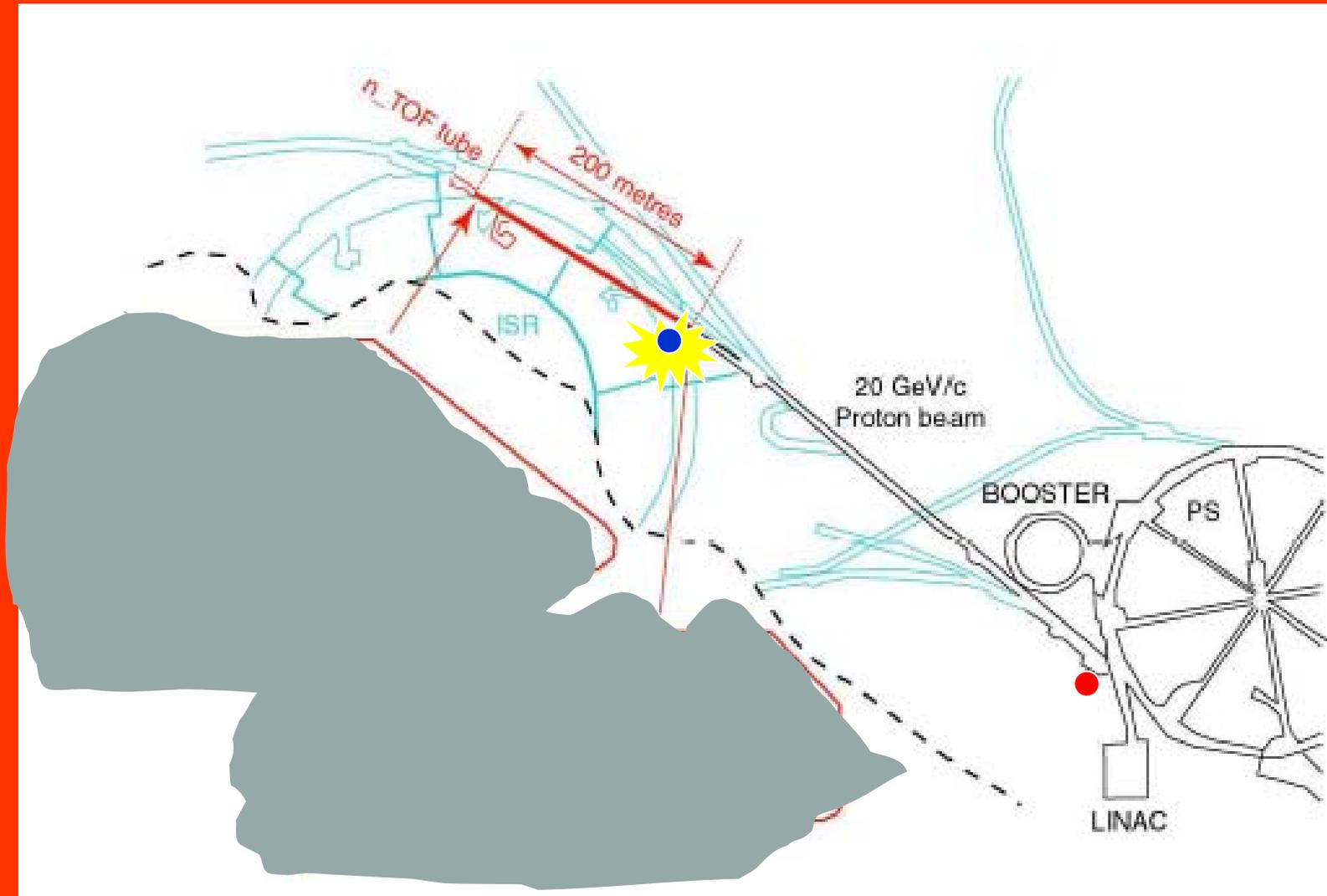
| | |
|--|----------------------|
| ^{235}U , ^{238}U | reference (standard) |
| ^{232}Th | Th/U fuel cycle |
| ^{233}U | Th/U fuel cycle |
| ^{234}U | Th/U fuel cycle |
| ^{236}U | U/Pu fuel cycle |
| ^{237}Np | Gen IV and ADS/ABR |
| $^{241,243}\text{Am}$ | Gen IV and ADS/ABR |
| ^{245}Cm | Gen IV and ADS/ABR |
| ^{209}Bi , $^{\text{nat}}\text{Pb}$ | ADS |

n_TOF – Phase 2

| | |
|-------------------|--------------------|
| ^{240}Pu | Gen IV and ADS/ABR |
| ^{242}Pu | Gen IV and ADS/ABR |
| ^{232}Th | angular anisotropy |
| ^{237}Np | angular anisotropy |



La facility n_TOF @ CERN

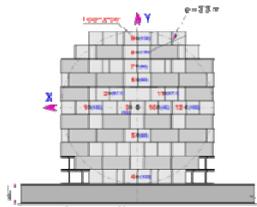




n_TOF, parametri della facility

| | |
|---|----------------------------------|
| proton beam momentum | 20 GeV/c |
| intensity (dedicated mode) | 7×10^{12} protons/pulse |
| repetition frequency | 1 pulse/2.4s |
| pulse width | 6 ns (rms) |
| n/p | 300 |
| cooling & moderation material | H ₂ O |
| moderator thickness in the exit face | 5 cm |
| neutron beam dimension in EAR-1 (capture mode) | 2 cm (FWHM) |

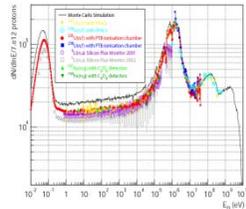
n_TOF Facility Timeline



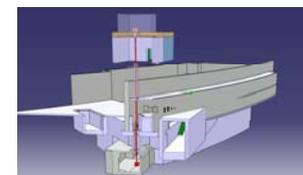
1995-1997
TARC
experiment

May 1998
Feasibility
CERN/LHC/98-02+Add

2000
Commissioning

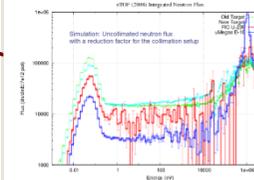


2008
New Target
construction



2011
EAR2
design

May 2009
Commissioning



1996

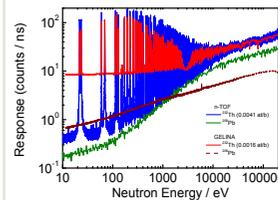
2010

1999
Construction
started

Aug 1998
Proposal
submitted



1997
Concept
by C.Rubbia
CERN/ET/Int.
Note 97-19

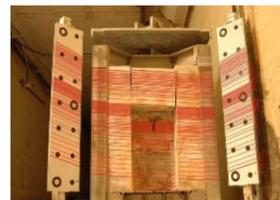


Phase I
Isotopes
Capture: 25
Fission: 11

2001-2004
Doc: 150

2004-2007
Problem
Investigation

2009
Phase II



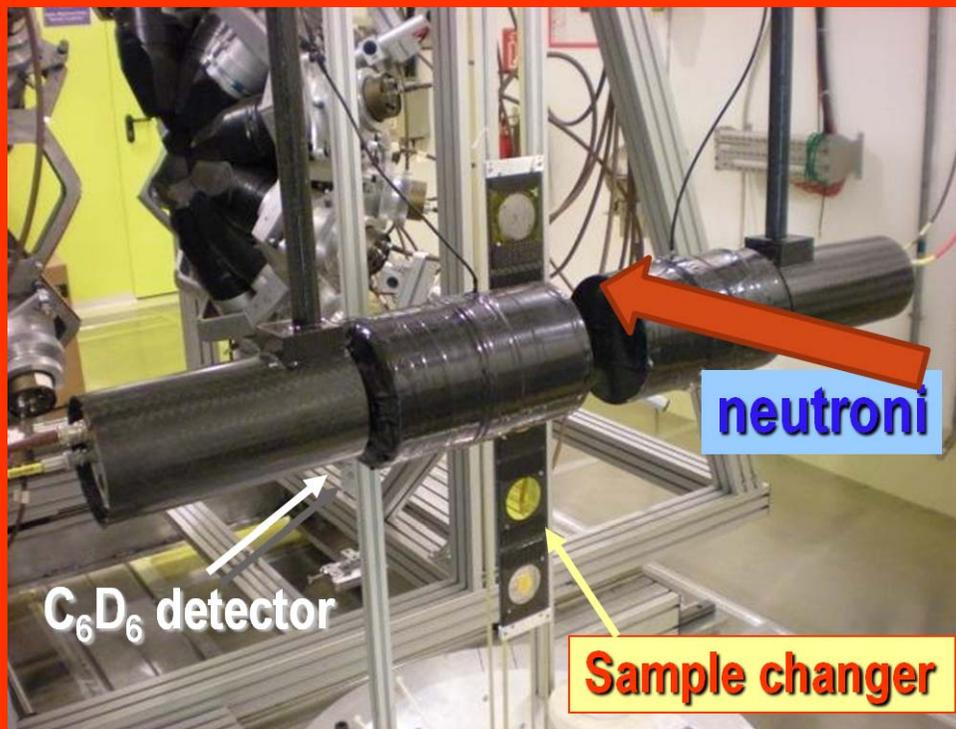
2010
Upgrades:
Borated-H₂O
Second Line
Class-A



Set-up di cattura

Scintillatori liquidi

- per misure a bassa neutron sensitivity



Total Absorption Calorimeter

- geometria 4 π
- 40 cristalli BaF₂ (segmentazione)
- Buona risoluzione in energia
- discriminazione di eventi spuri e background
- Utilizzato soprattutto per cattura su attinidi

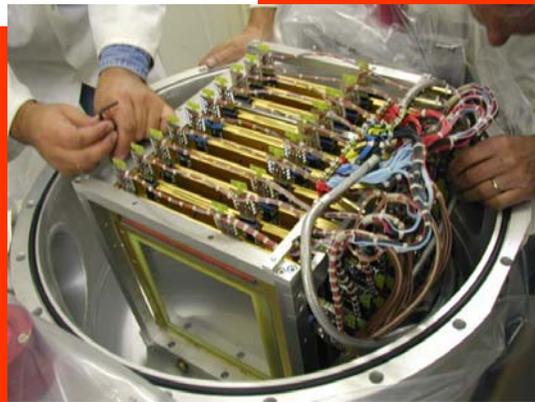
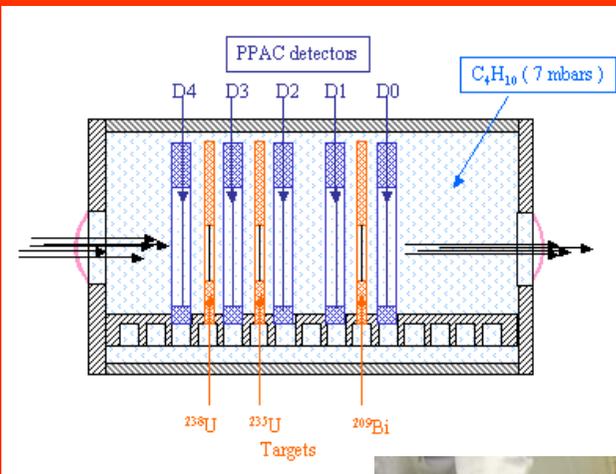




Set-up di fissione

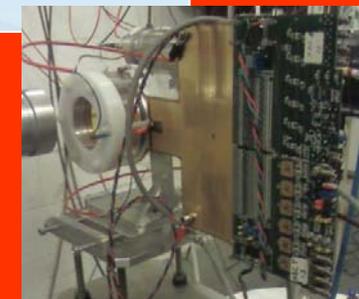
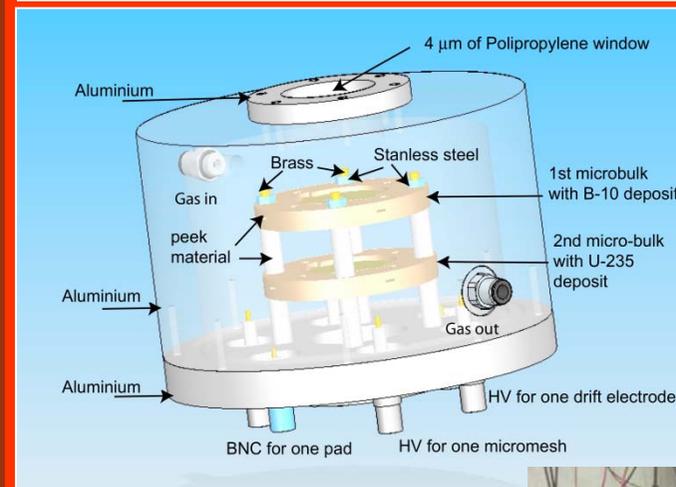
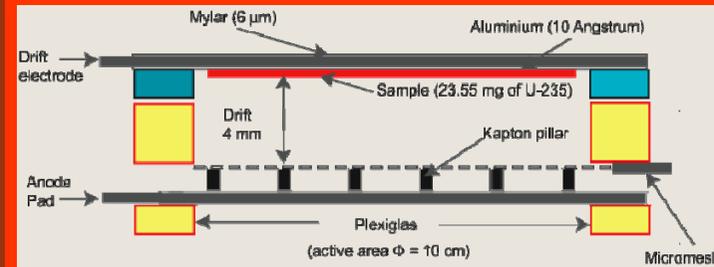
Parallel Plate Avalanche Counters

- Frammenti di fissione rivelati in coincidenza
- Ottima discriminazione delle α emesse
- Poco sensibile ai γ



MicroMegas

- Alto guadagno, basso rumore
- Campioni di misura in parallelo.
- Utilizzabile anche per misure (n, α)





Campagna di misura 2011 (1.6×10^{19} protoni)

Nucleosintesi stellare

Il ruolo della cattura su isotopi stabili del Fe/Ni: ^{57}Fe , ^{58}Ni (C_6D_6)

Primo punto di diramazione del processo s: $^{63}\text{Ni}_{n,\gamma}$ (C_6D_6)

Tecnologie Nucleari

U cycle: $^{235}\text{U}_{n,\gamma/\text{f}}$ (TAC+MGAS), $^{237}\text{Np}_{n,\text{f}}$ (PPAC), $^{238}\text{U}_{n,\gamma}$ (TAC), $^{241}\text{Am}_{n,\gamma}$ (C_6D_6 , TAC),

Thorium cycle: $^{232}\text{Th}_{n,\text{f}}$ (PPAC), $^{236}\text{U}_{n,\gamma}$ (C_6D_6 , TAC)

Fisica Nucleare di base

Distribuzione angolare dei frammenti di fissione da ^{232}Th , ^{235}U , ^{237}Np and ^{238}U (PPAC)

Applicazioni di medicina nucleare

The $^{33}\text{S}(n,\alpha)$ reaction for enhancing BNCT for cancer



Attività 19/09/2011 → 19/03/2012
Proposal approvati

Neutron capture cross section of ^{93}Zr

G.Tagliente, P.M.Milazzo, M. Barbagallo, E.Berthoumiex, N.Colonna, C.Guerrero, F.Käppeler, C. Lederer, C.Massimi, M. Mastromarco, A. Mengoni

INTC-P-310

Neutron capture cross section of ^{25}Mg and its astrophysical implications

C. Massimi, E. Berthoumieux, N. Colonna, F. Gunsing, F. Kappeler, P. Koehler, P.M. Milazzo, F. Mingrone, P. Schillebeeckx, G. Vannini

INTC-P-320



*Richiesta di sblocco s.j. 5 kEu Consumo/Bologna
Per noleggio bersaglio ^{25}Mg*



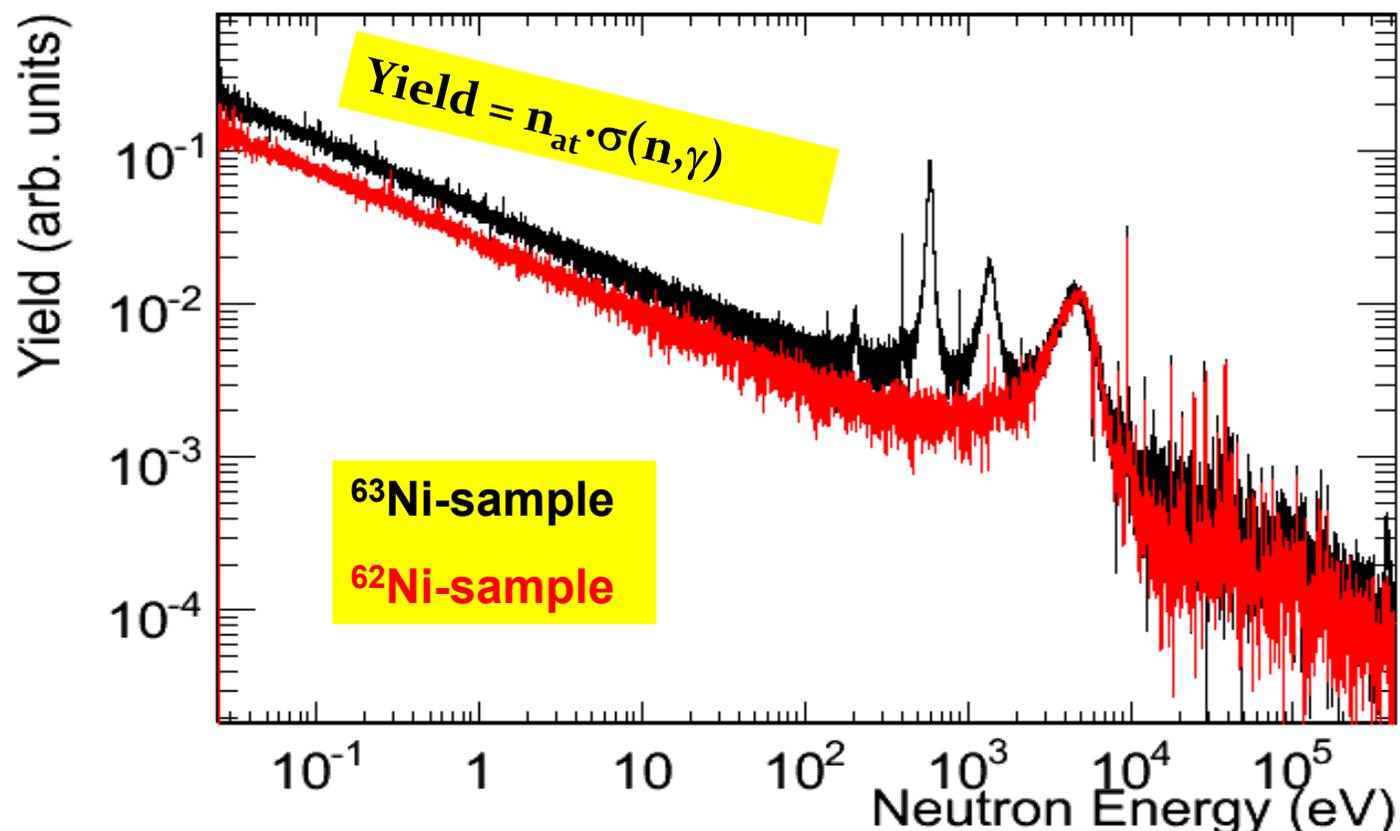
Milestone 1/2012

^{63}Ni non presente in natura

(campione di misura prodotto in un reattore, vita media 100 anni)

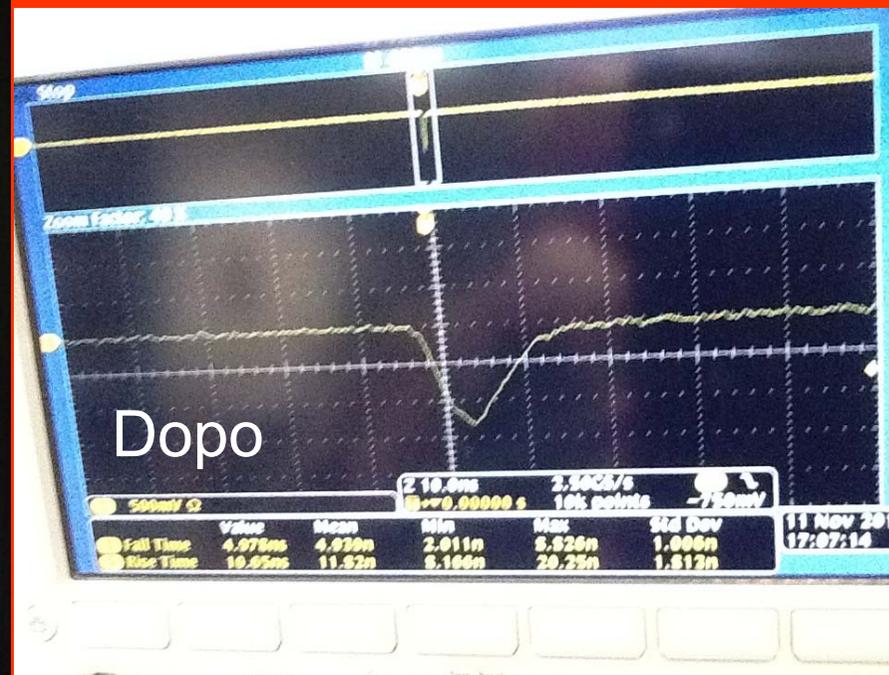
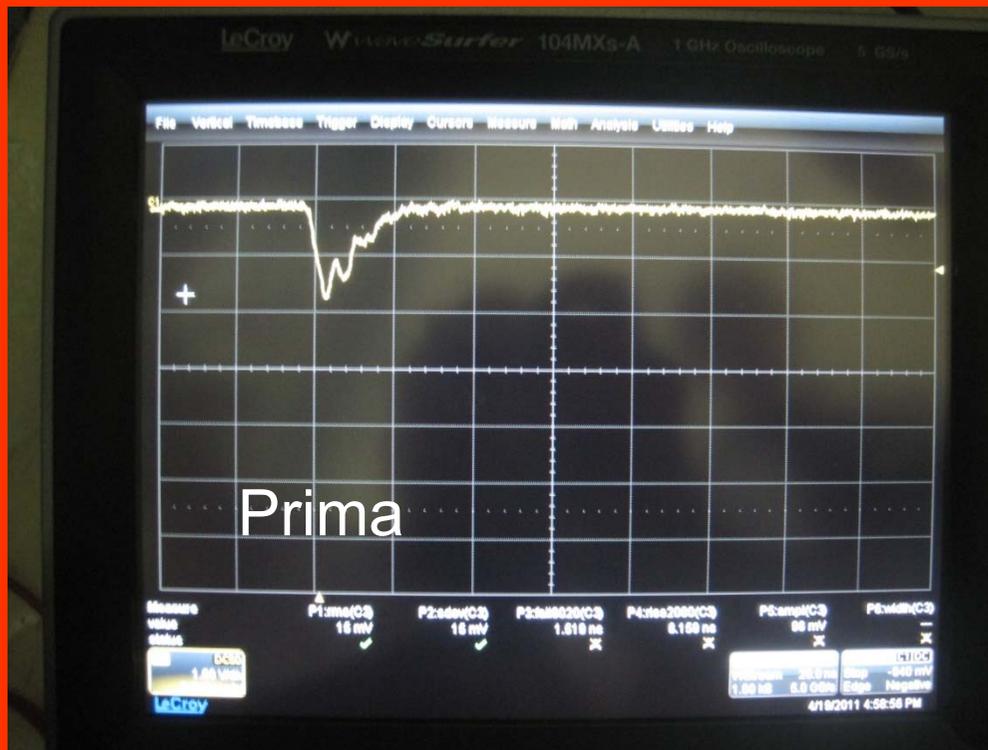
Prima misura assoluta della sezione d'urto di cattura $^{63}\text{Ni}(n,\gamma)$

(primo punto di diramazione lungo il cammino s)





Attività 19/09/2011 → 19/03/2012 Nuovi scintillatori liquidi – Test definitivi



Migliorando l'efficienza di raccolta della luce il segnale di uscita viene letto molto meglio dalle routine di ricostruzione



La collaborazione ha deciso la realizzazione di 4 rivelatori per la campagna di misura 2012



Pubblicazioni 19/09/2011 → 19/03/2012

Measurement of the $^{236}\text{U}(n, f)$ cross section from 170 meV to 2 MeV at the CERN n TOF facility

R. Sarmiento, M. Calviani, J. Praena, N. Colonna, F. Belloni, I. F. Goncalves, P. Vaz, et al.

PRC 84 044618 (2011)

$^{96}\text{Zr}(n, \gamma)$ measurement at the n TOF facility at CERN

G. Tagliente, P. M. Milazzo, K. Fujii et al.

PRC 84 055802 (2011)

Neutron measurements for advanced nuclear systems: The n_TOF project at CERN

N. Colonna et al.

NIM B 269 3251 (2011)

Measurement of the neutron-induced fission cross-section of ^{243}Am relative to ^{235}U from 0.5 to 20 MeV

F. Belloni, M. Calviani, N. Colonna, P. Mastinu, P.M. Milazzo et al.

EPJ A 47:160 (2011)

The neutron-induced fission cross-section of ^{245}Cm : new results from n_TOF

M. Calviani, M.H. Meaze, N. Colonna, J. Praena, et al.

Accettato per la pubblicazione su PRC (2012)

Simultaneous measurement of neutron-induced capture and fission reactions at CERN

C. Guerrero et al.

Accettato per la pubblicazione su EPJ A



Programma sperimentale 2012

| Isotope(reaction) | Detector | Responsible | 10 ¹⁸ prot. | |
|--------------------------------|-----------|---|------------------------------|-----------|
| ²³⁸ U(n,γ) | C6D6 | F. Gunsing (CEA) / D Cano-Ott (CIEMAT) | 3.0 | Dedicated |
| ⁹³ Zr(n, γ) | C6D6 | G. Tagliente / P. Milazzo (INFN) | 3.0 | Dedicated |
| ⁸⁸ Sr Spins | TAC | F. Gunsing (CEA) / F. Becvar (U. Prague) | 2.0 | Dedicated |
| ²³⁵ U(n, γ)/(n,f) | TAC+MGAS | C. Guerrero (CERN) / E. Berthoumieux (CEA) / D. Cano-Ott (CIEMAT) | 3.0 | Dedicated |
| ⁵⁹ Ni(n,α) | CVD diam. | C. Weiss (TUW)/ C. Guerrero (CERN) | 1.0 | Dedicated |
| ^{240,242} Pu(n,f) | MGAS | E. Berthoumieux (CEA)/ M. Calviani (CERN) / A. Tsinganis (NTUA) | - | Parallel |
| ^{234,236} U(n,f) DDE | PPAC | C. Paradela (U. Santiago) / L. Tassan-Got (IN2P3) | 3.0 | Dedicated |
| ³³ S(n,α) | MGAS | J. Praena (U. Sevilla) / C. Guerrero (CERN) | - | Parallel |
| ²⁵ Mg(n, γ) | C6D6 | C. Massimi (INFN) | 2.0 | Dedicated |
| ⁸⁷ Sr(n, γ) | C6D6 | F. Gunsing (CEA) / F. Becvar (U. Prague) | 2.0 | Dedicated |
| ²⁶ Al(n,chnp) Tests | DSSD | C. Lederer (U. Vienna) / P. Woods (U. Edinburgh) | - | Parallel |
| TOTAL | | | 1.9 · 10¹⁹ | |



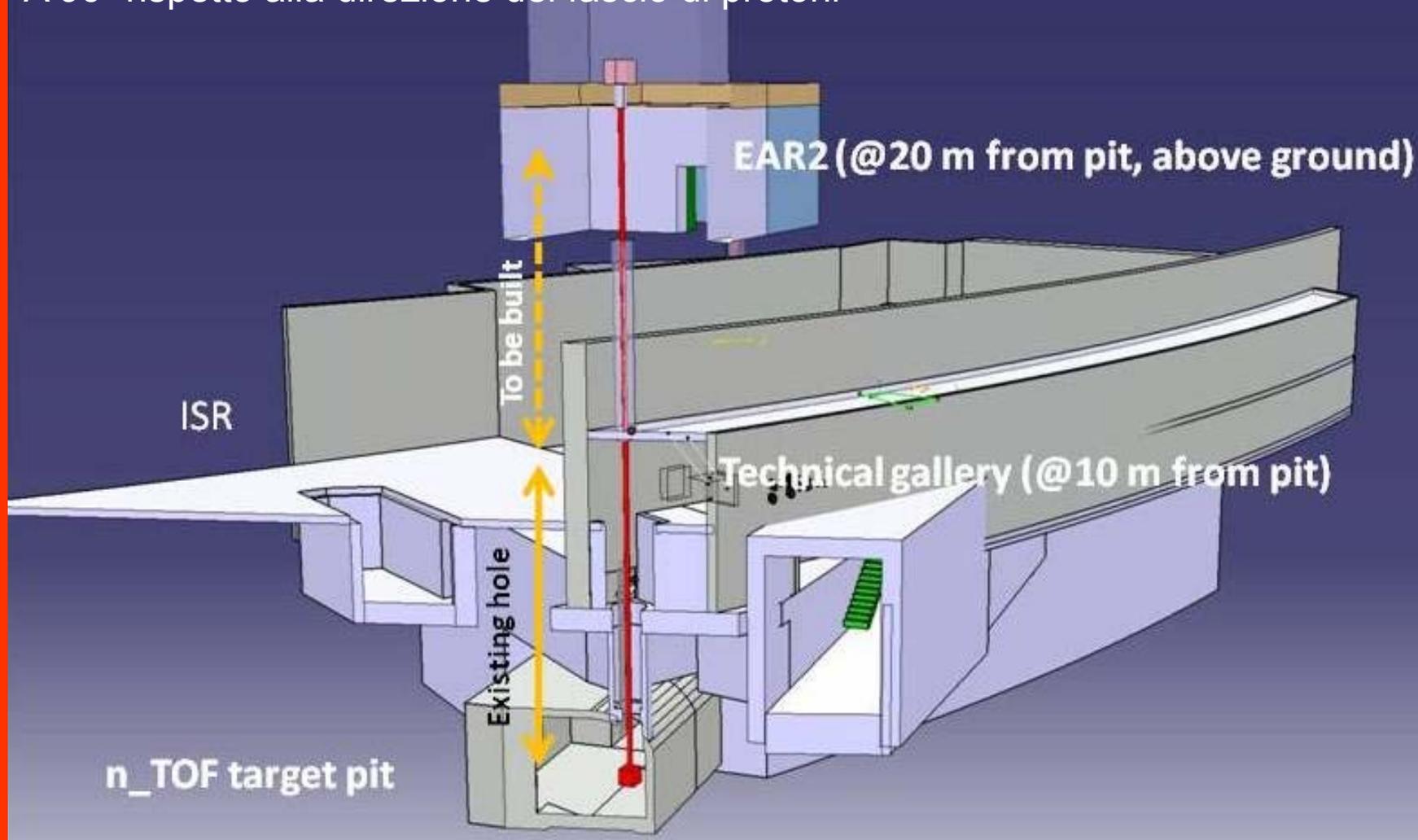
Milestones

| 2011 | Entro | Attualmente al |
|---|--------------|-----------------------|
| Analisi dati sezioni d'urto di cattura ^{62}Ni e invio del relativo articolo alla rivista per la pubblicazione | 30/06 | 100 % |
| Completamento misure di cattura su ^{241}Am subordinato alla corrente integrata di fascio | 31/12 | 100 % |
| Invio dell'articolo relativo alle misure di fissione su ^{245}Cm e ^{243}Am alla rivista per la pubblicazione | 31/12 | 100 % |
| 2012 | Entro | Attualmente al |
| Completamento analisi dati del ^{63}Ni | 31/03 | 100 % |
| Misura delle sezioni d'urto di fissione su ^{240}Pu e ^{242}Pu subordinata alla corrente integrata di fascio | 30/11 | 0 % |
| Sottomissione per la pubblicazione dell'articolo relativo ai dati di fissione ^{241}Am | 31/12 | 50 % |



Seconda sala sperimentale (EAR-2)

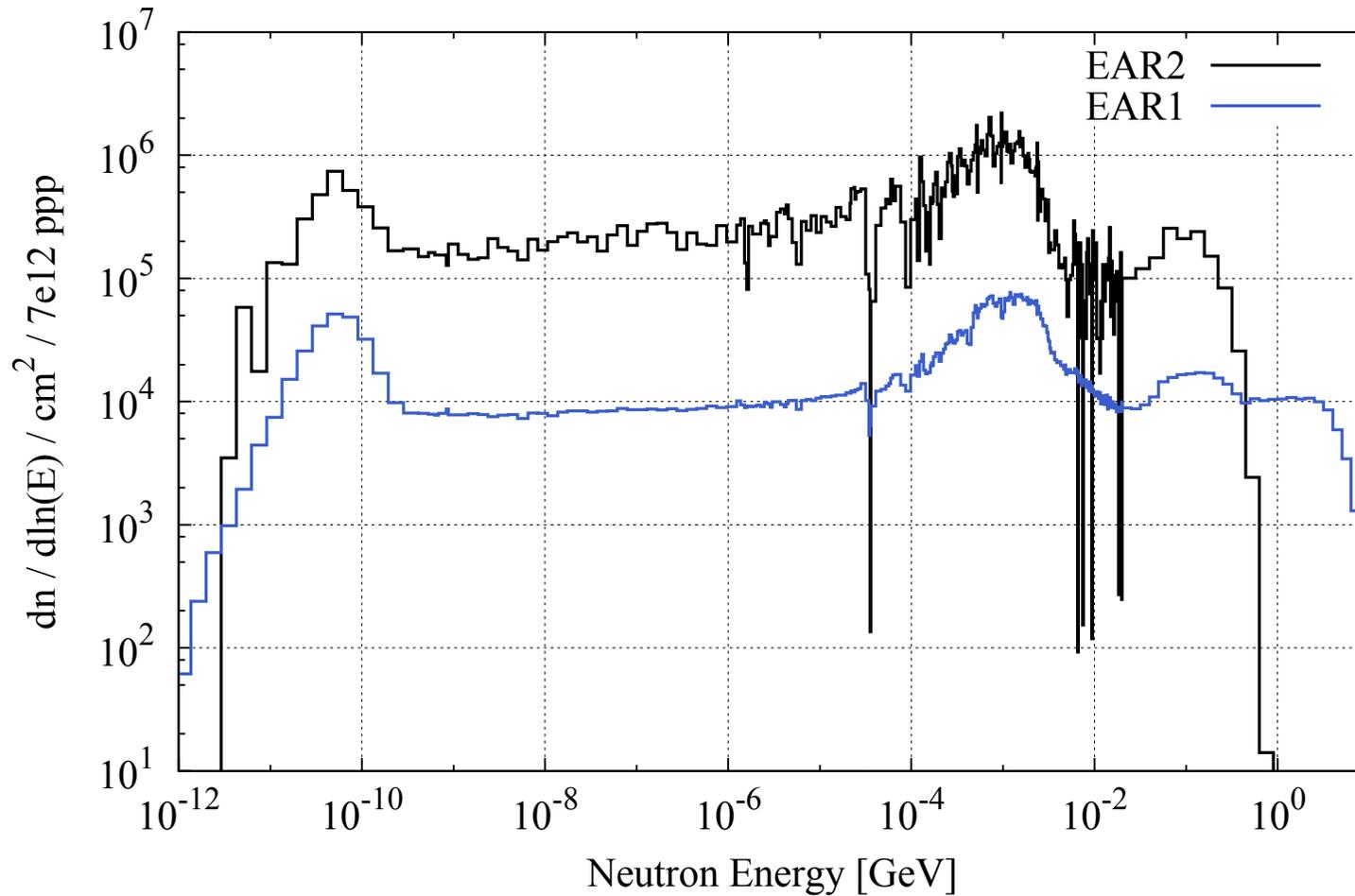
A 90° rispetto alla direzione del fascio di protoni





Guadagno di un fattore 25 nel flusso neutronico

Comparison of the Neutron Fluence in EAR1 and EAR2



Reference for EAR1 : FLUKA Simulations with fission collimator (d = 8 cm)



Seconda sala sperimentale (EAR-2)- Vantaggi:

- ✓ Il numero di neutroni al punto misura risulta in media aumentato di un fattore **25** rispetto alla sala sperimentale EAR-1
- ✓ Misure di reazioni indotte da neutroni possono essere portate a termine anche su campioni di misura disponibili in **piccole masse** (< 1 mg). Questa possibilità è di primaria importanza per ridurre l'attività di campioni instabili e nel caso in cui il materiale di interesse sia estremamente raro. Limitazioni nelle masse disponibili di alcuni campioni di misura giocano attualmente un ruolo cruciale sia nel campo della astrofisica, che nel campo delle tecnologie nucleari. Per alcuni isotopi queste misure rappresenterebbero una prima assoluta.
- ✓ Si possono eseguire misure su isotopi con **sezioni d'urto molto basse**, che fungono da colli di bottiglia lungo il flusso di reazione del processo s. Un rapporto segnale/rumore ottimizzato è un prerequisito essenziale per questo tipo di esperimenti.
- ✓ Le misure possono essere completate su scale di **tempi più brevi** e con migliore accuratezza.
- ✓ Si possono condurre misure su **bersagli estremamente sottili** permettendo di raccogliere informazioni su reazioni (n, particelle cariche), mai misurate fino ad oggi (ad es. $^{25}\text{Mg}(n, \alpha)$ e della reazione $^7\text{Be}(n, \alpha)$ di interesse della nucleosintesi).
- ✓ Misure di sezioni d'urto indotte da neutroni ad alte energie ($E_n > 10-100$ MeV) attualmente non fattibili nella prima sala sperimentale, diverrebbero possibili grazie ad una forte riduzione del γ -flash..



Possibili candidati per nuove misure:

Campioni disponibili in piccole masse

^{79}Se , ^{90}Sr , ^{107}Pd , ^{135}Cs , ^{147}Pm , ^{163}Ho , ^{171}Tm , ^{182}Hf , ^{204}Tl

Basse sezioni d'urto

^{86}Kr , ^{88}Sr , ^{138}Ba , ^{140}Ce , ^{208}Pb ; isotopes of C, O, Ne, Mg

Misure su scale di tempi `accettabili`

^{64}Zn , ^{70}Ge , ^{76}Ge , $^{80,82}\text{Kr}$, $^{86,87}\text{Sr}$, $^{95,96}\text{Mo}$, ^{104}Pd , $^{164,166}\text{Er}$, ^{198}Hg

Campioni radioattivi a breve vita media

Fissione: ^{238}Pu (87.7 y), ^{241}Pu (14.1 y), ^{244}Cm (18.1 y),
 $^{242\text{m}}\text{Am}$ (141y), ^{243}Cm (29.1y)

Cattura: ^{242}Am (141 y), ^{243}Cm (29.1 y), ^{231}Pa (32400 y)



Possibili proposte di misura:

Astrofisica nucleare

Measurement of the $^{25}\text{Mg}(n,\alpha)^{22}\text{Ne}$ cross section

Neutron capture measurement of the s-process branching point ^{79}Se

Destruction of the cosmic γ -ray emitter ^{26}Al by neutron induced reactions

Measurement of $^7\text{Be}(n,p)^7\text{Li}$ and $^7\text{Be}(n,\alpha)^4\text{He}$ cross sections, for the cosmological Li problem.

Tecnologie nucleari

Cross sections and prompt γ -ray emission of fissile Pu isotopes

The role of ^{238}Pu and ^{244}Cm in the management of nuclear waste: simultaneous measurements of their capture and fission cross sections

Measurements of (n,xn) reaction cross sections for heavy target nuclei

Fission cross section of the $^{230}\text{Th}(n,f)$ reaction

First measurement of the capture (and fission) cross sections of the fissile ^{245}Cm

Cross section and angular distribution of fragments from neutron-induced fission of ^{232}U

Studi di dosimetria e danneggiamento da radiazione



| n_TOF Estimated Budget | | INDICO |
|--------------------------------------|--------|--------|
| | Group | [KCHF] |
| Dismantling barrack 559 | GS-SE | 100 |
| CE new building n_TOF | GS-SE | 1,300 |
| Ventilation | EN-CV | 540 |
| Electric services | EN-EL | 120 |
| Elec. general services | | 80 |
| UPS | | 40 |
| Access, alarms & fire detection | GS-ASE | 200 |
| Access, interlock system | | 120 |
| Fire detection, alarms | | 80 |
| Handling equipment | EN-HE | 100 |
| Crane | | 70 |
| Monorail modification | | 30 |
| Radioprotection, monitoring | DGS-RP | 100 |
| Beam line | EN-MEF | 340 |
| New target concrete tap | | 70 |
| New shaft collimation, shielding | | 50 |
| Dump | | 50 |
| Vacuum chambers, pump, control | | 70 |
| Shielded door entrance | | 50 |
| Gas supply facility | | 20 |
| Detector support facility (vertical) | | 30 |
| Permanent Magnet | TE-MSC | 110 |
| Total [KCHF] | | 2,910 |
| Contingency | | 10% |
| Total [KCHF] | | 3,201 |

Stima dei costi

≈2.6 M€



Scala temporale di realizzazione

| n_TOF EAR2 general planning | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|------|---|---|---|---|---|---|---|---|--|--|--|
| | 2012 | | | | | | | | | | | | 2013 | | | | | | | | | | | | 2014 | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | |
| EAR2 approval | | | | ★ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Detailed studies | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Request for quotes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dismantling building 559 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Civil engineering | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Services installation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Beam line installation | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Commisioning | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| EAR2 ready for physics | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



Piano sperimentale 2013-2015

2013 (shut down CERN)

Analisi dati campagna di misura 2012

Misure complementari a GELINA (^{25}Mg , ^{62}Ni ,...)

Manutenzione rivelatori EAR-1

Preparazione rivelatori per EAR-2

Nuove proposte di misura per EAR-1 ed EAR-2

2014

Commissioning EAR-2

Ripresa misure a pieno regime in EAR-1

2015

Analisi dati misure 2013; nuove misure EAR-1 + EAR-2

Linea 4

ASTROFISICA NUCLEARE E RICERCHE INTERDISCIPLINARI

N-Tof : shut-down CERN 2013-14, allestimento 2ª sala sperimentale (a carico CERN) → Acquisto rivelatori, strutture di sostegno e alimentazione

Parallelamente, manutenzione rivelatori già presenti nella 1ª sala

Il 75% circa del Consumo, Apparati e Inventario previsti, ovvero 135 k€ circa, andranno in Sviluppo & Upgrade, i restanti 45 k€ in mantenimento

| | 2013 k€ | 2014 k€ | 2015 k€ |
|-------|------------|------------|------------|
| M.I. | 70 | 50 | 50 |
| M.E. | 100 | 160 | 160 |
| Cons. | 50 | 35 | 35 |
| Inv. | 10 | 5 | 5 |
| App. | 20 | 10 | 10 |
| TOT | 250 | 260 | 260 |

Le cifre sono in linea col Piano Finanziario presentato nel 2011

Un nuovo piano triennale o quadriennale, più dettagliato, sarà presentato a giugno 2012



Possibili risorse finanziarie aggiuntive

PRIN 2010-11

**L'ORIGINE DEGLI ELEMENTI :
LA PROSPETTIVA DELLE STELLE DI MASSA
PICCOLA ED INTERMEDIA
(Ct, Bo, Mi, Na, Pg, INAF)**

Sinergy GRANT

Insieme a CEA, CIEMAT, CERN,... per EAR-2



Conclusioni

La facility n_TOF (EAR-1) è unica al mondo per quanto riguarda il flusso neutronico istantaneo al punto misura e il basso background;

Lavora con successo da 11 anni
(nonostante 4 anni di blocco per problemi con il bersaglio di spallazione).

Presenta una elevata produttività scientifica
[50 campioni misurati, 52 articoli su rivista con referee (29 a primo nome INFN), >200 documenti]

L'apertura della seconda sala sperimentale (EAR-2) porterà un sostanziale miglioramento delle potenzialità sperimentali e aprirà nuove possibilità per l'astrofisica, le tecnologie nucleari, applicazioni mediche, dosimetria, permettendo di portare a termine misure non accessibili fino al giorno d'oggi.

L'INFN gioca un ruolo di leadership