



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 n_TOF

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

FP7 CHANDA



n_TOF ITALIA

Bari

Bologna

LN Legnaro

LN Sud

Trieste

M.Barbagallo,
N.Colonna,
G.Cosentino,
P.Finocchiaro,
C.Massimi,
P.Mastinu,
M.Mastromarco,
P.M.Milazzo,
F.Mingrone,
A.Musumarra,
S.Lo Meo (ENEA)
G.Tagliente,
G.Vannini,
V.Variale,
A.Ventura



Motivazioni Scientifiche

Astrofisica nucleare

Nucleosintesi degli elementi più pesanti del Ferro
Caratterizzazione delle condizioni stellari
Cosmocronologia

Tecnologie nucleari emergenti

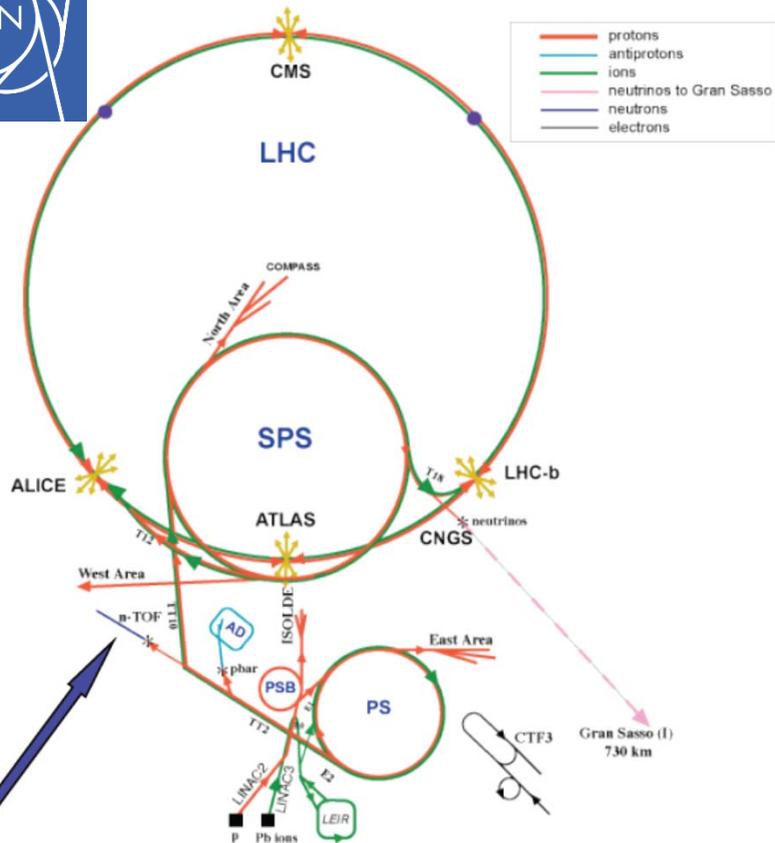
Reattori di IV-Generazione
Smaltimento delle scorie radioattive (trasmutazione)

n_TOF Facility Timeline



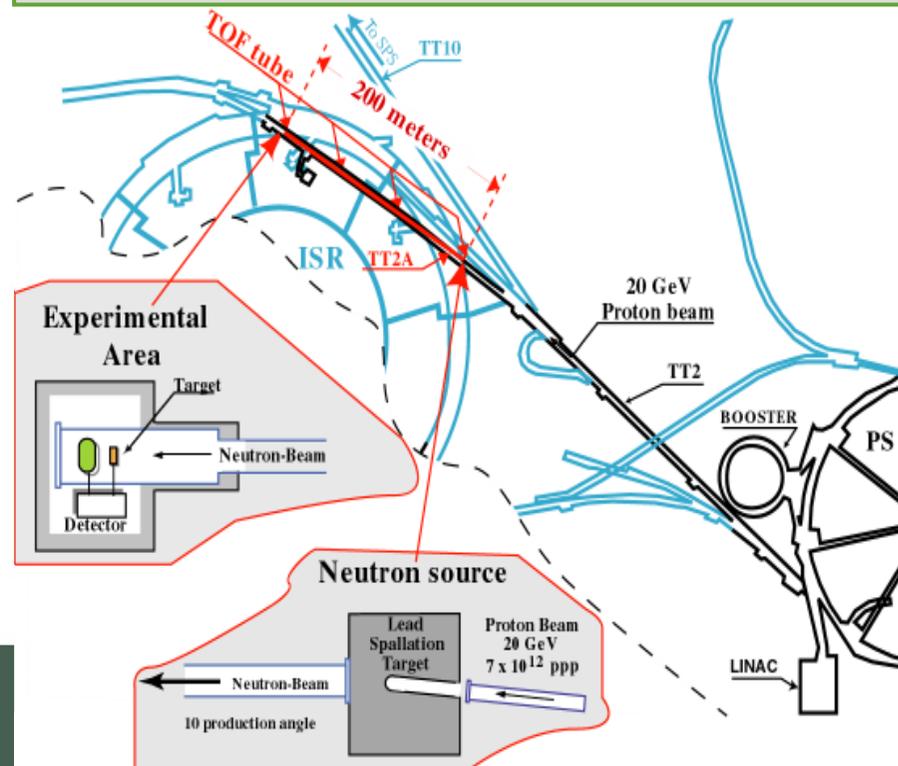


n_TOF @ CERN



n_TOF, time-of-flight facility at CERN

- Spallazione di protoni da 20 GeV/c del PS su blocco di piombo (~300 neutroni/protone)
- Tunnel per Time-of-flight ~200 m di lunghezza (con tubo in vuoto).
- Vari collimatori e schermi + magneti





n_TOF @ EAR-1

Parametri facility

Proton beam momentum	20 GeV/c
Intensity (dedicated mode)	7×10^{12} protons/pulse
Pulse width	6 ns (rms)
n/p	300
Base of flight	185 m
Neutron flux at sample position	10^5 n/cm²/bunch

Neutroni disponibili in un ampio intervallo energetico
($1 \text{ eV} < E_n < 250 \text{ MeV}$)

Misura di sezioni d'urto di cattura fino a 1 MeV

Misura simultanea di sez. d'urto di fissione dall'eV alle centinaia di MeV

Elevato flusso istantaneo

Misura di piccole sezioni d'urto di cattura

Misura di campioni disponibili in modeste quantità

Misura di campioni radioattivi

Risoluzione in energia

Studio accurato delle risonanze

Low neutron sensitivity

Misura accurata di sez. d'urto anche nei casi in cui $\sigma_{el}/\sigma_{capture} \gg 1$

Basso background



Astrofisica Nucleare

Isotope	Reference
$^{24,25,26}\text{Mg}$	PRC 85 (2012) 044615
^{62}Ni	<i>Submitted to PRC</i>
^{63}Ni	PRL 110 (2013) 022501
^{90}Zr	PRC 77 (2008) 035802
^{91}Zr	PRC 78 (2008) 045804
^{92}Zr	PRC 81 (2010) 055801
^{93}Zr	PRC 87 (2013) 014622
^{94}Zr	PRC 84 (2011) 015801
^{96}Zr	PRC 84 (2011) 055802
^{139}La	PRC 75 (2007) 035807
^{151}Sm	PRL 93 (2004) 161103 – PRC 73 (2006) 034604
$^{186,187,188}\text{Os}$	PRC 82 (2010) 015802 – PRC 82 (2010) 015804
^{204}Pb	PRC 75 (2007) 015806
^{206}Pb	PRC 76 (2007) 045805
^{207}Pb	PRC 74 (2006) 055802
^{209}Bi	PRC 74 (2006) 025807



Pubblicazioni



Tecnologia Nucleare

Isotope	Reference
^{nat}Pb	PRC 83 (2011) 044620
^{209}Bi	PRC 83 (2011) 044620
^{232}Th	PRC 73 (2006) 054610 – PRC 85 (2012) 064601
^{233}U	PRC 80 (2009) 044604 – EPJ A 47:2 (2011)
^{236}U	PRC 84 (2011) 044618
^{237}Np	PRC 85 (2012) 044616
^{241}Am	EPJ A 49:2 (2013)
^{243}Am	EPJ A 47:160 (2011)
^{245}Cm	PRC 85 (2012) 034616



Pubblicazioni



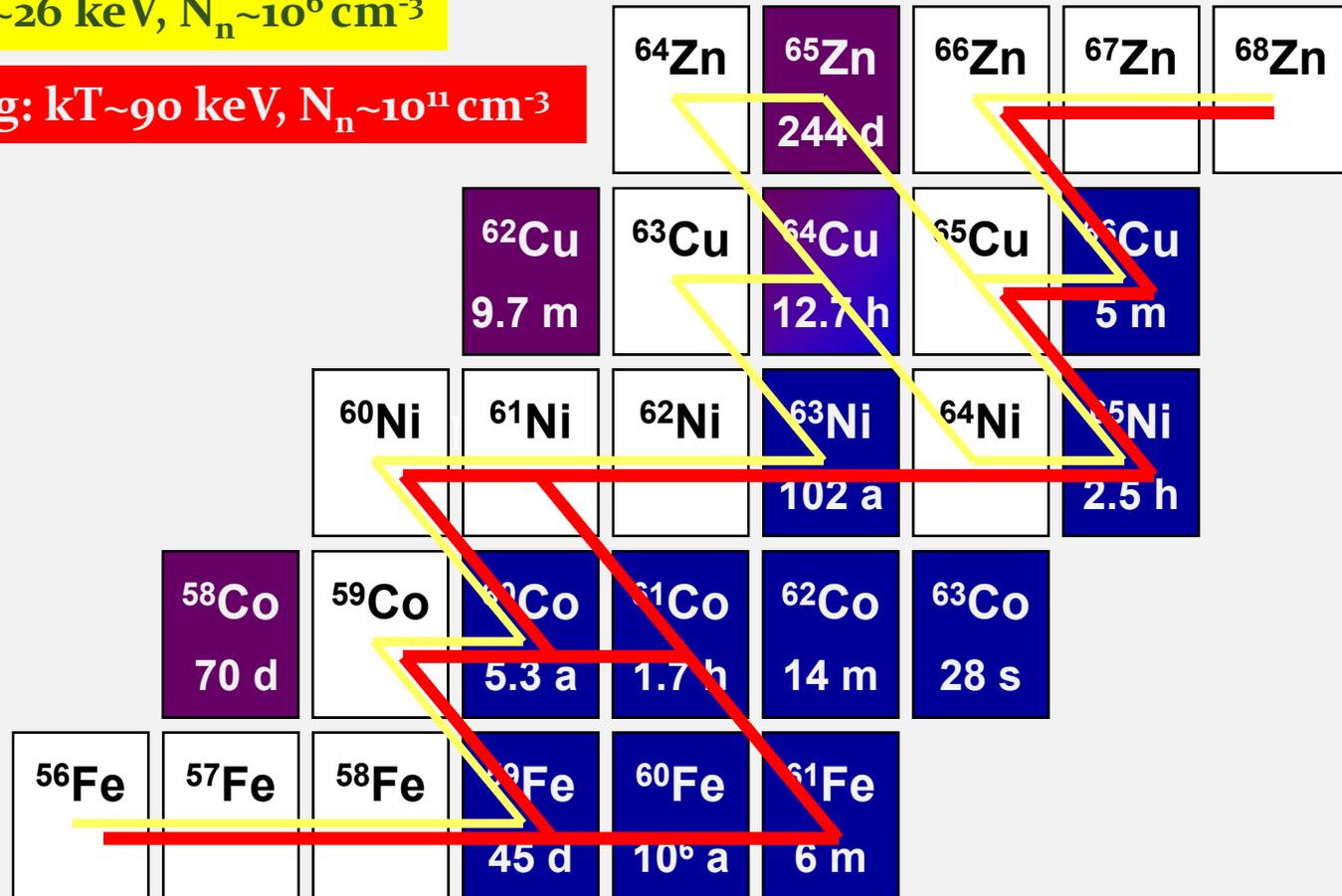
Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

Possibili scenari per la nucleosintesi:

He core burning: $kT \sim 26 \text{ keV}$, $N_n \sim 10^6 \text{ cm}^{-3}$

Carbon shell burning: $kT \sim 90 \text{ keV}$, $N_n \sim 10^{11} \text{ cm}^{-3}$



$^{63}\text{Ni}(n, \gamma)$



Astrofisica nucleare

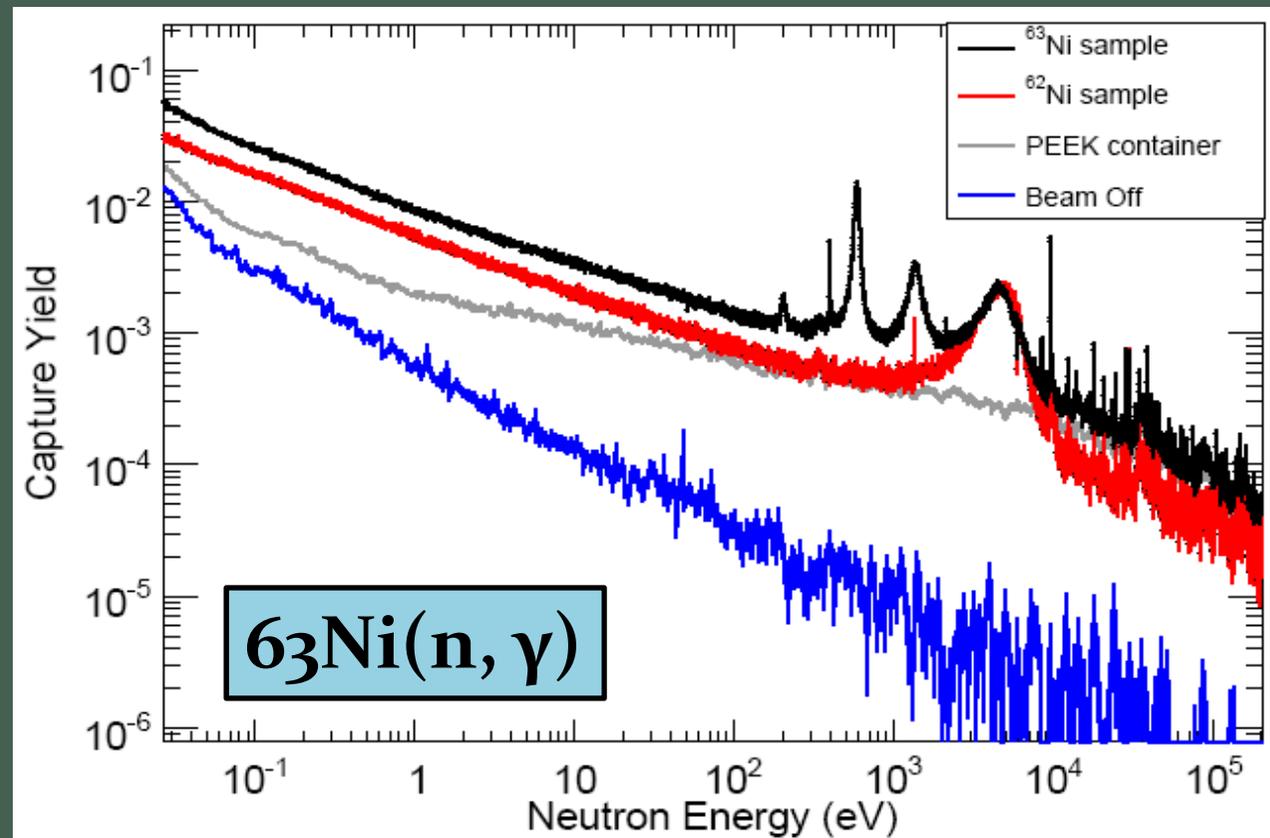
Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

^{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)



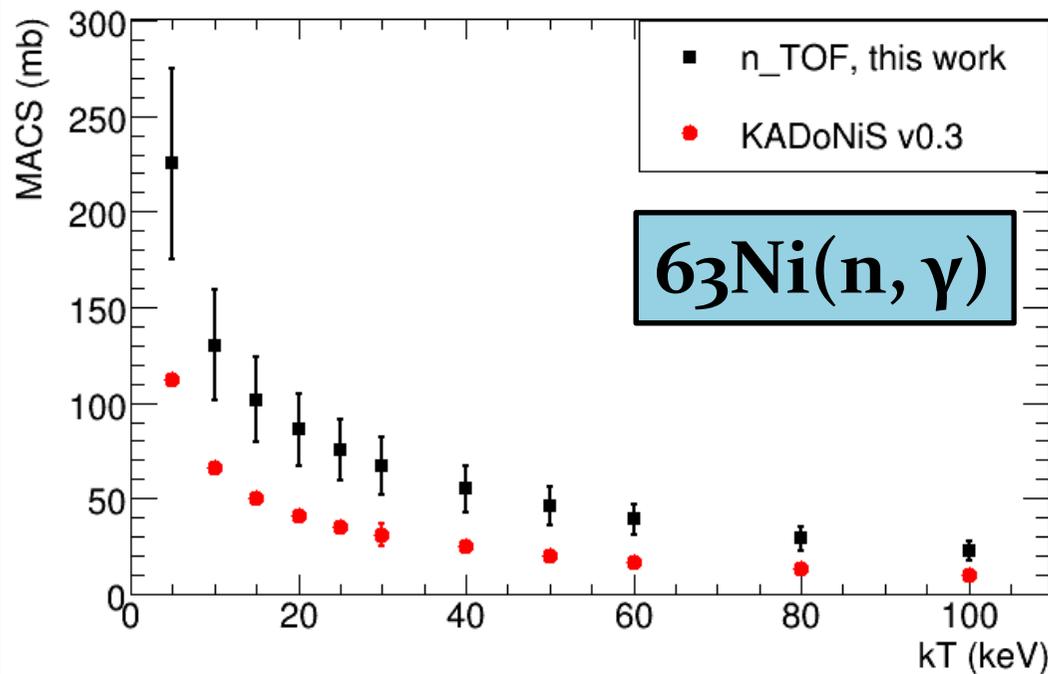


Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

Identificate e caratterizzate 12 risonanze

E_r (eV)	A_γ (meV)	E_r	A_γ (meV)
397.96 ± 0.04	5.7 ± 0.4	9776 ± 3	100 ± 10
$587.25 \pm 0.09^*$	340 ± 20	13984 ± 3	131 ± 45
$1366 \pm 1^*$	810 ± 40	17127 ± 4	108 ± 59
8634 ± 2	45 ± 9	19561 ± 6	130 ± 20
8981 ± 3	50 ± 10	32330 ± 10	500 ± 200
9154 ± 4	43 ± 9	54750 ± 30	700 ± 200



C.Lederer, C.Massimi, et al.
PRL 110 (2013) 022501

(Ex Milestone 1/2012)

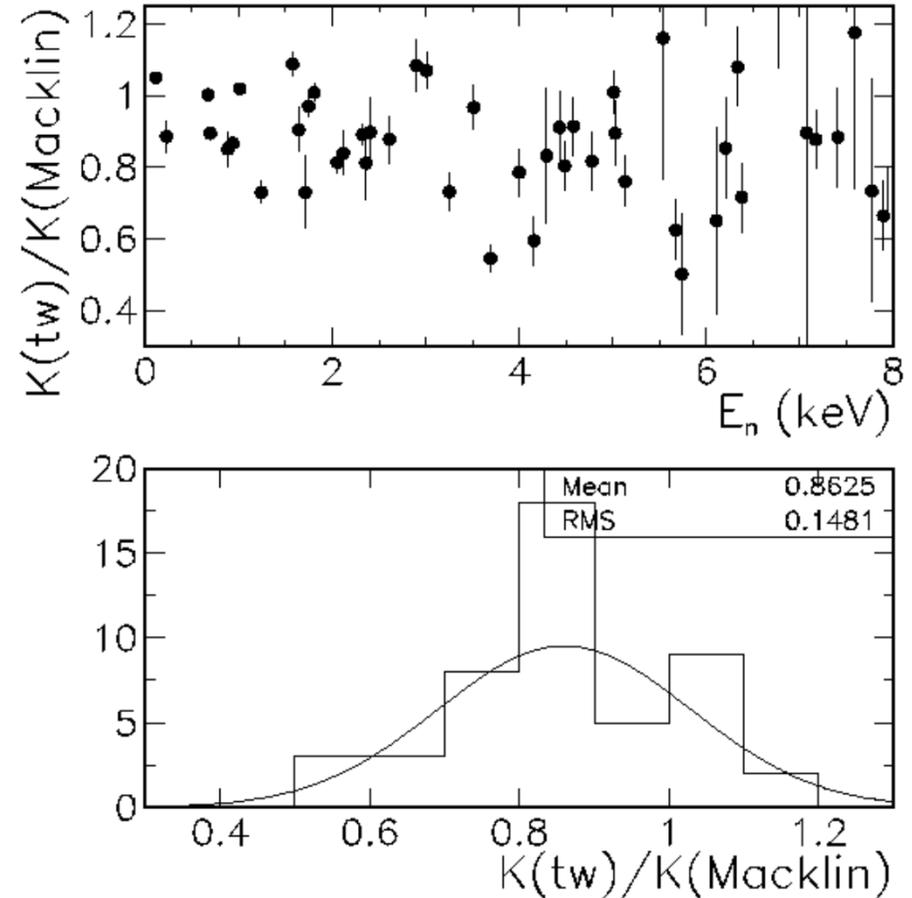
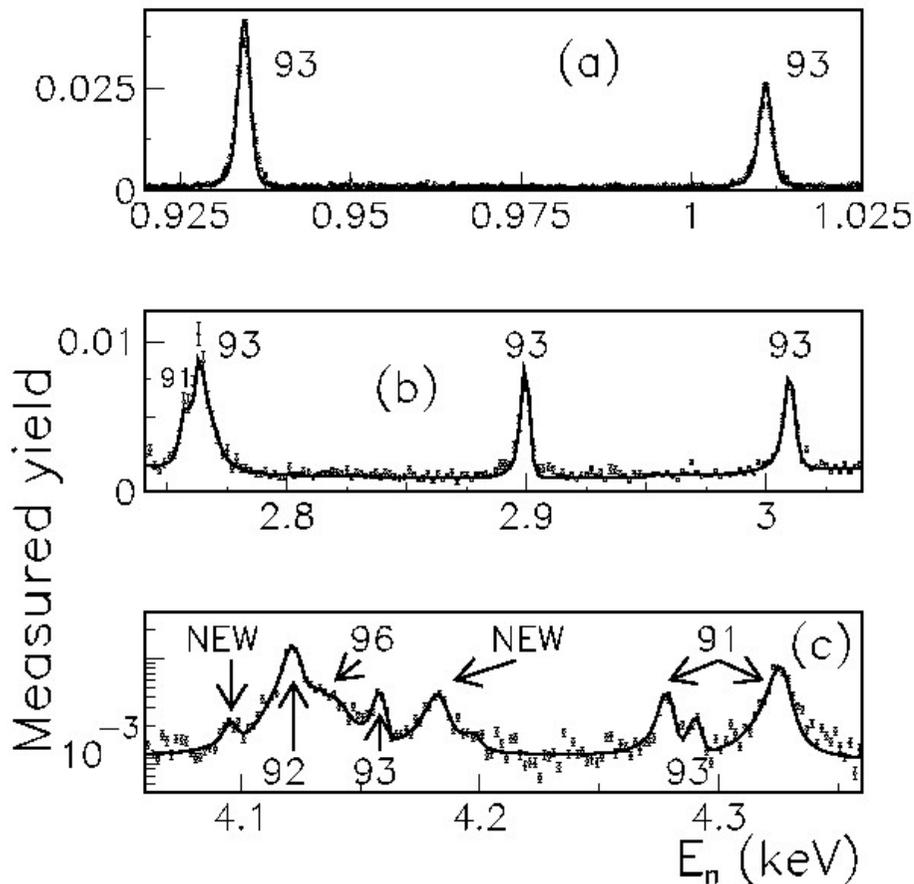


Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

Misura n_{TOF} - Phase 1

$^{93}\text{Zr}(n, \gamma)$

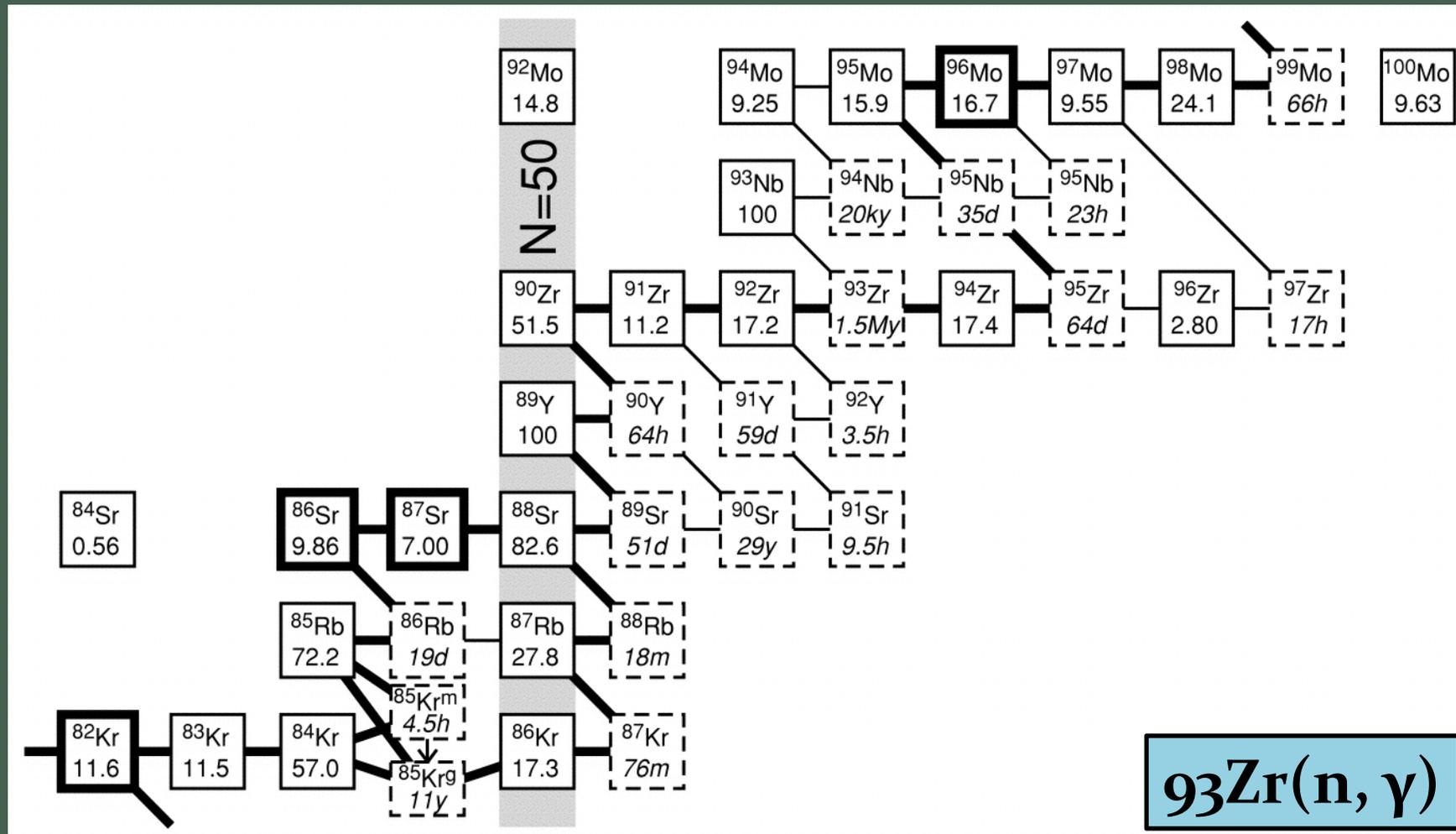


G.Tagliente, P.M.Milazzo, et al. PRC 87 (2013) 014622



Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

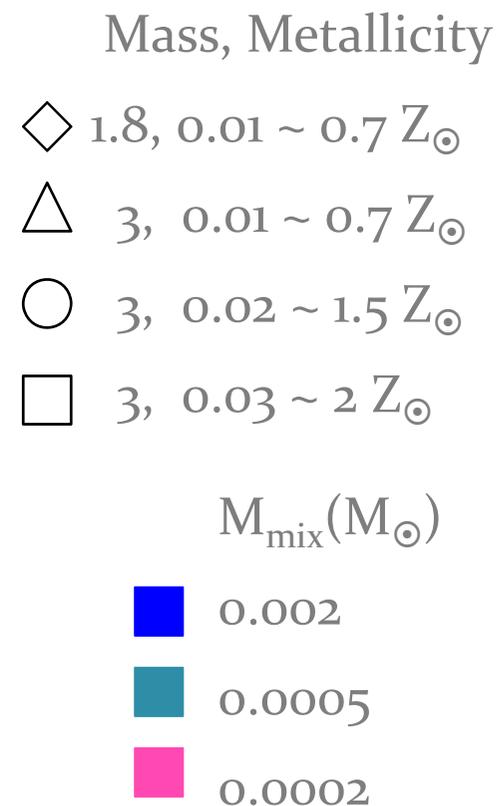
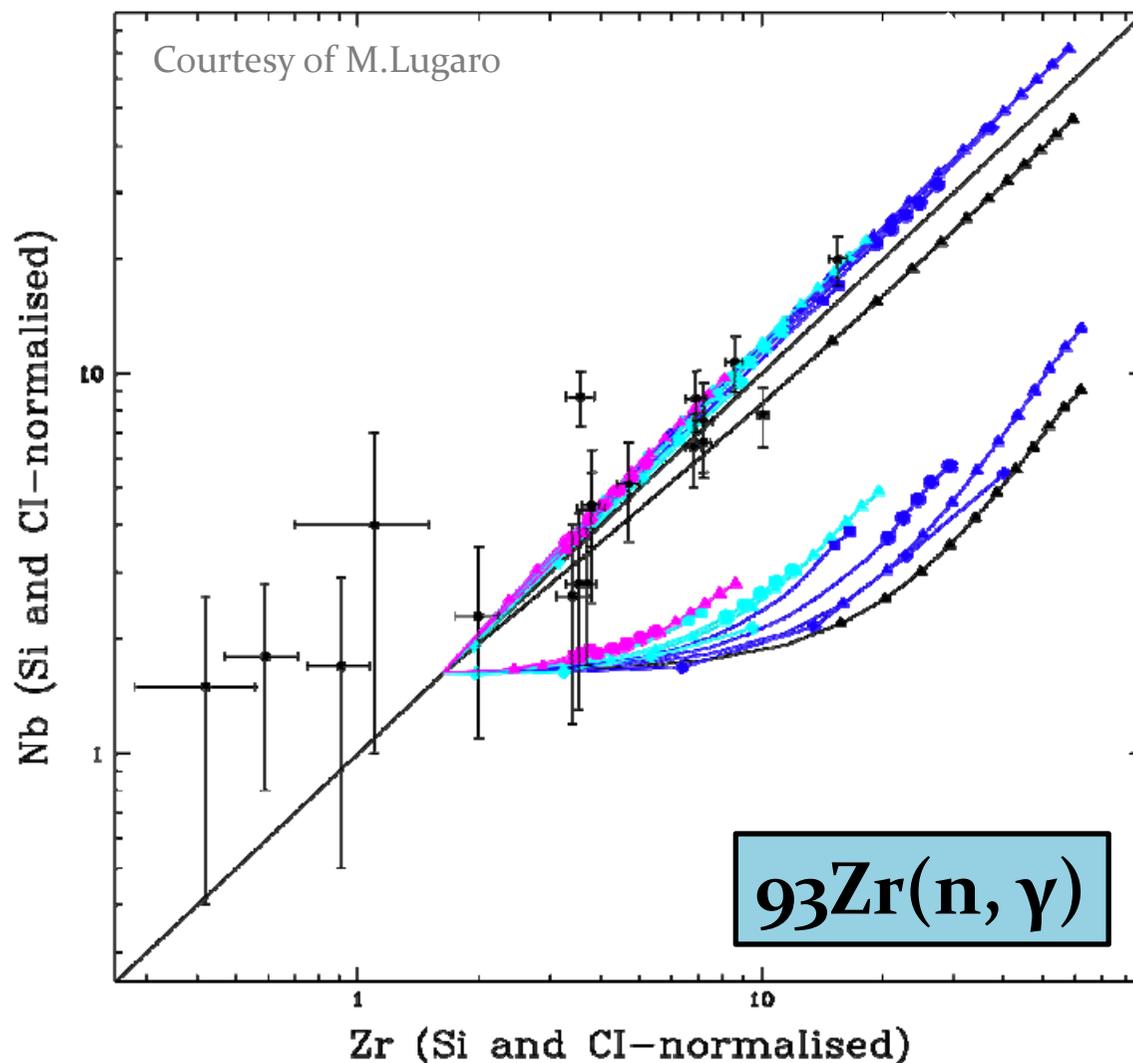


L'isotopo ^{93}Nb è l'unico Nb stabile,
la sua abbondanza dipende strettamente da $^{93}\text{Zr}(n, \gamma)$



Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013



Abbondanza di Zr e Nb
nelle polveri interstellari



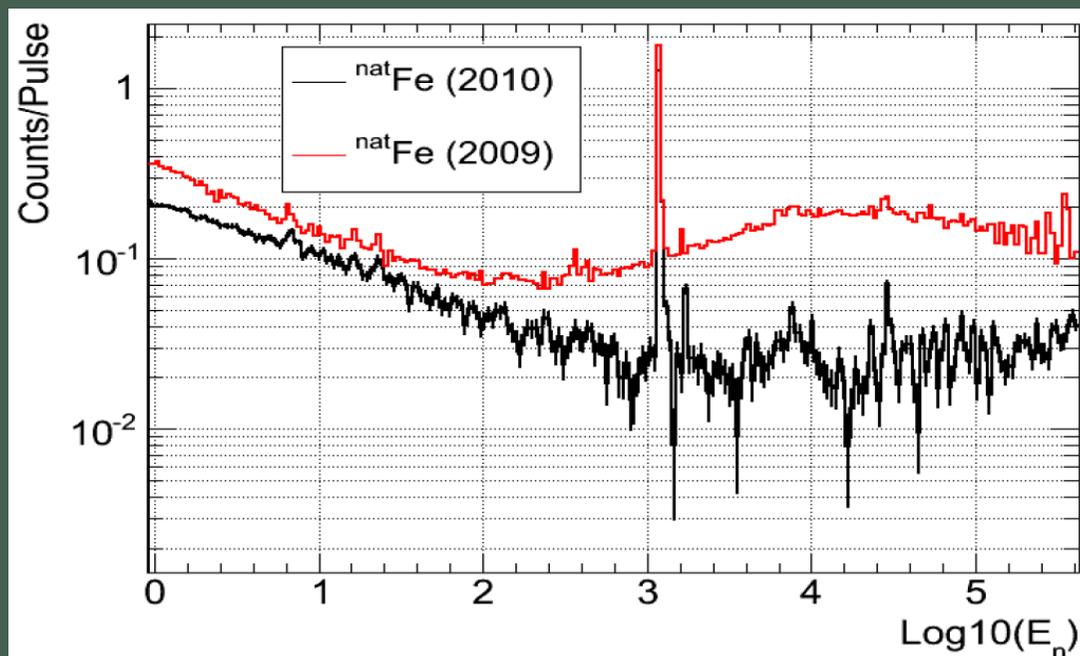
Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

Misura n_TOF – Phase 2

$^{93}\text{Zr}(n, \gamma)$

2010 nuovo moderatore (acqua borata: $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_3\text{BO}_3$): **background ridotto**



2011 sala sperimentale di classe A: **migliore gestione dei bersagli radioattivi**



Analisi delle risonanze estesa da 8 a 20 keV



Astrofisica nucleare

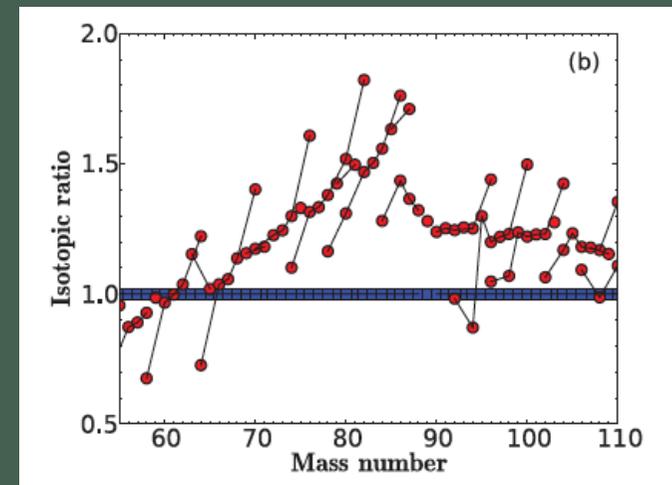
Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

$^{25}\text{Mg}(n, \gamma)$, $^{25}\text{Mg}(n, \text{tot})$

- $^{25,26}\text{Mg}$ sono i più importanti **neutron poisons**
(la cattura di neutroni su questi isotopi è in competizione con ^{56}Fe , base del processo di nucleosintesi degli elementi pesanti)
- $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$ è la più importante **sorgente di neutroni**
nelle Giganti Rosse
(il tasso di reazione è scarsamente definito, a causa della poco accurata conoscenza degli stati del ^{26}Mg . Si può dedurre informazione su J^π).

Rapporto tra le distribuzioni delle abbondanze isotopiche prima (Kadonis database) e dopo n_TOF

C.Massimi, et al. PRC 85 (2012) 044615





Astrofisica nucleare

Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

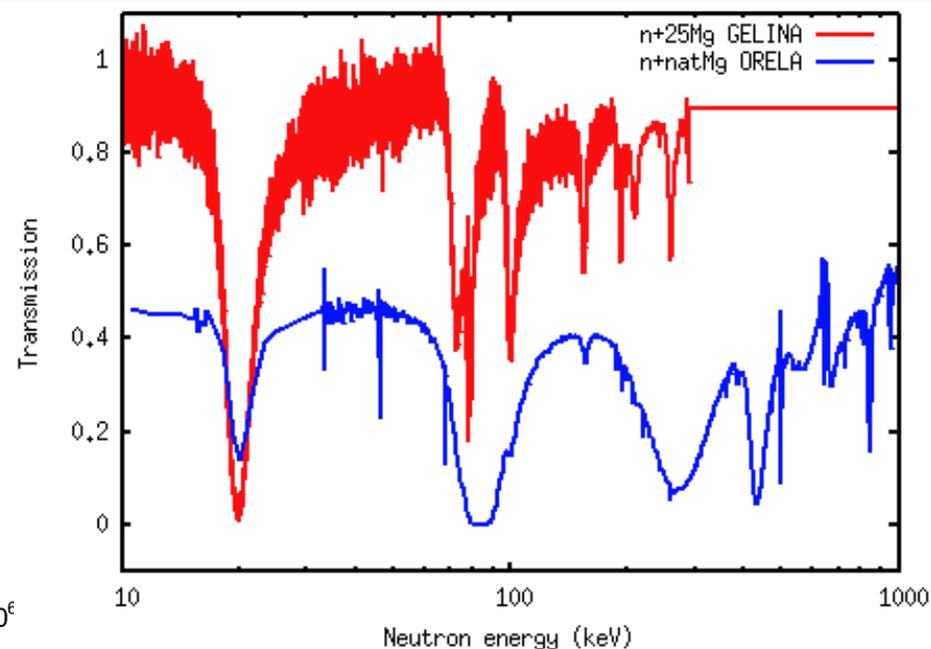
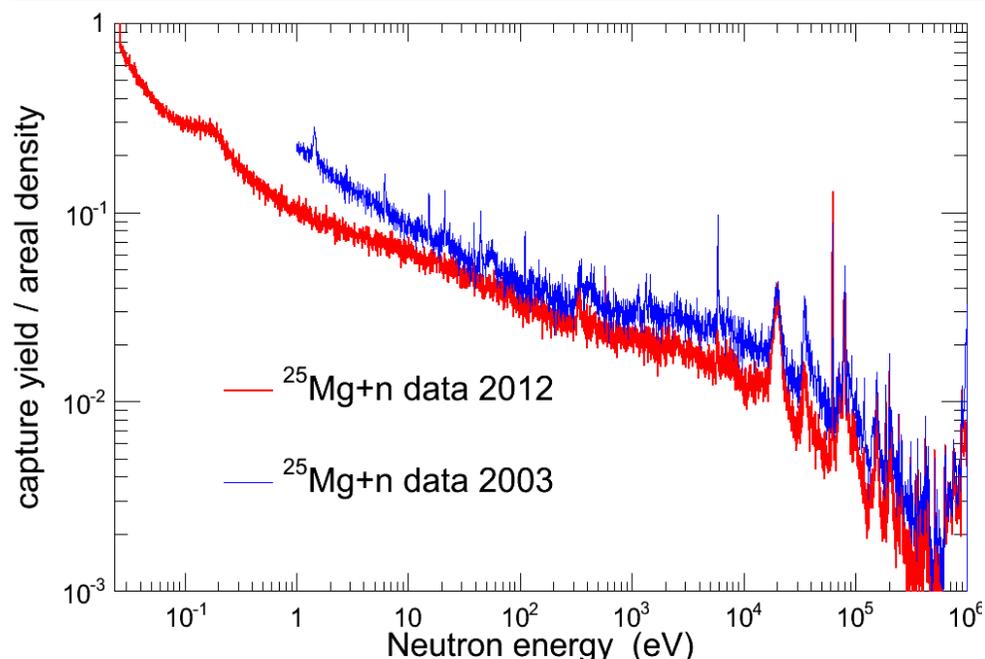
$^{25}\text{Mg}(n, \gamma)$, $^{25}\text{Mg}(n, \text{tot})$

Nuova misura

- $^{25}\text{Mg}(n, \gamma)$; non esistono dati in letteratura per misure con bersaglio metallico
- $^{25}\text{Mg}(n, \text{tot})$ non esistono dati in letteratura

@n_TOF

@GELINA



Risultati presentati a ND2013 e INPC 2013

Roma, 18 giugno 2013 Commissione Scientifica Nazionale Linea 3 paolo.milazzo@ts.infn.it



Tecnologia nucleare

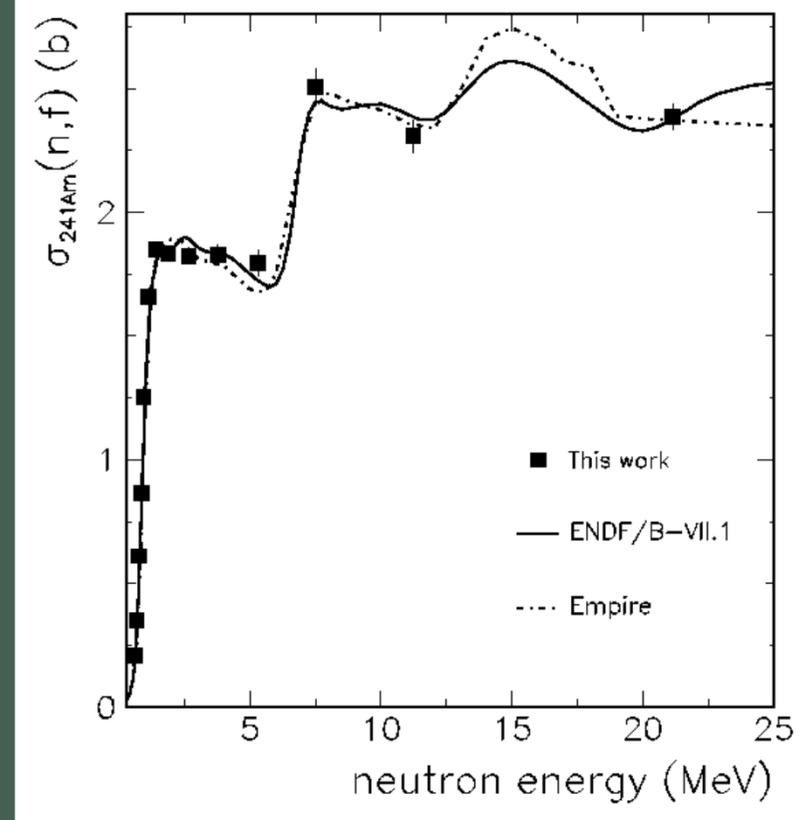
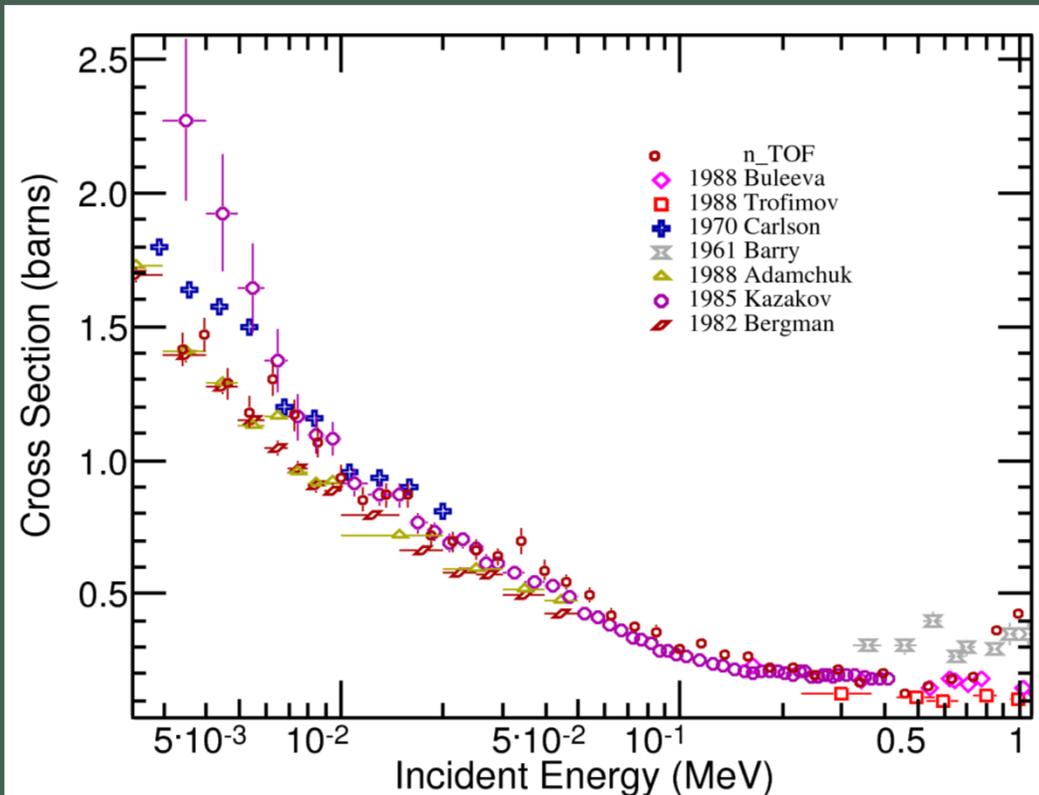
Risultati recenti: Misure 2012, Analisi 2012-13, Pubblicazioni 2013

$^{236}\text{U}(n, \gamma)$

$^{241}\text{Am}(n, f)$

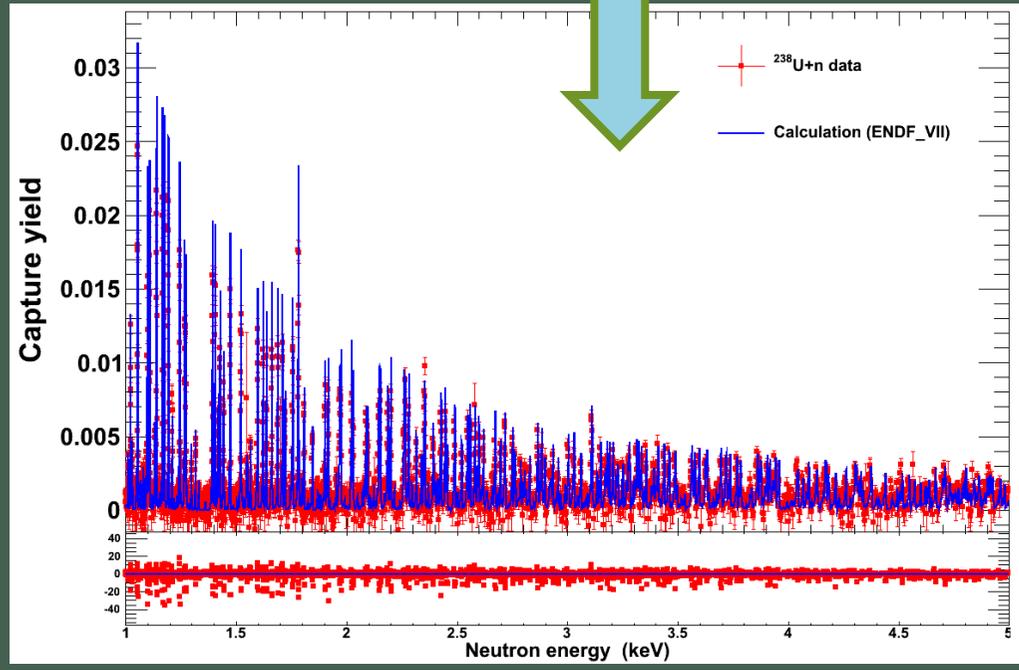
Gen-IV; F.Belloni et al. EPJ A49:2 (2013)

Ciclo Th/U; M.Barbagallo (PhD Thesis)

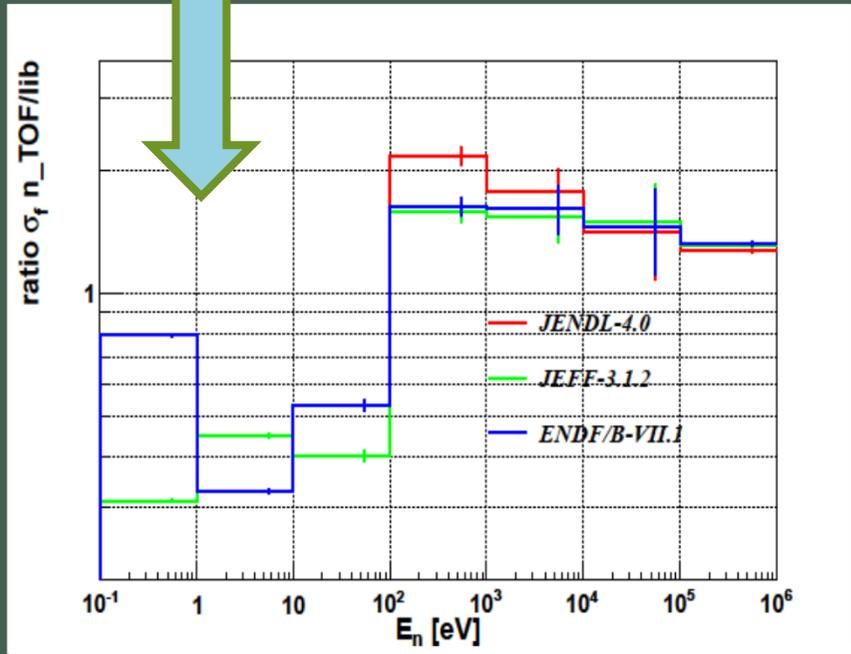




$^{238}\text{U}(n, \gamma)$

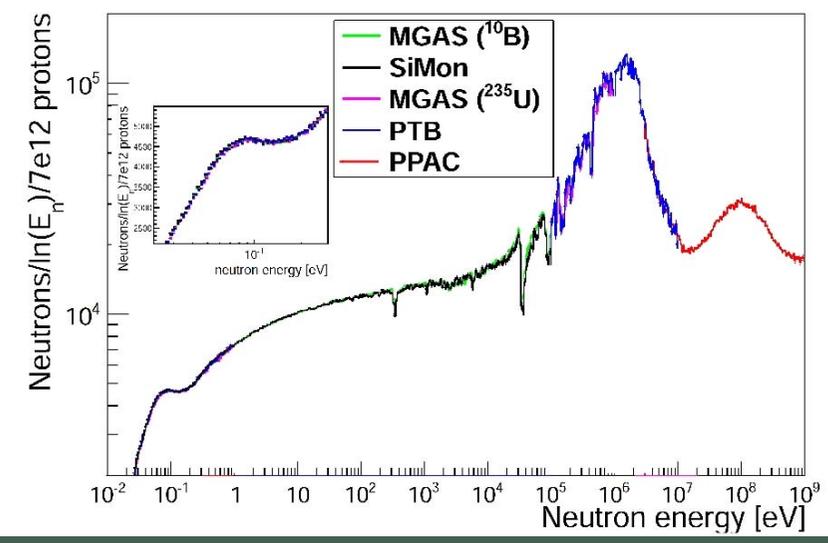


$^{241}\text{Am}(n, f)$



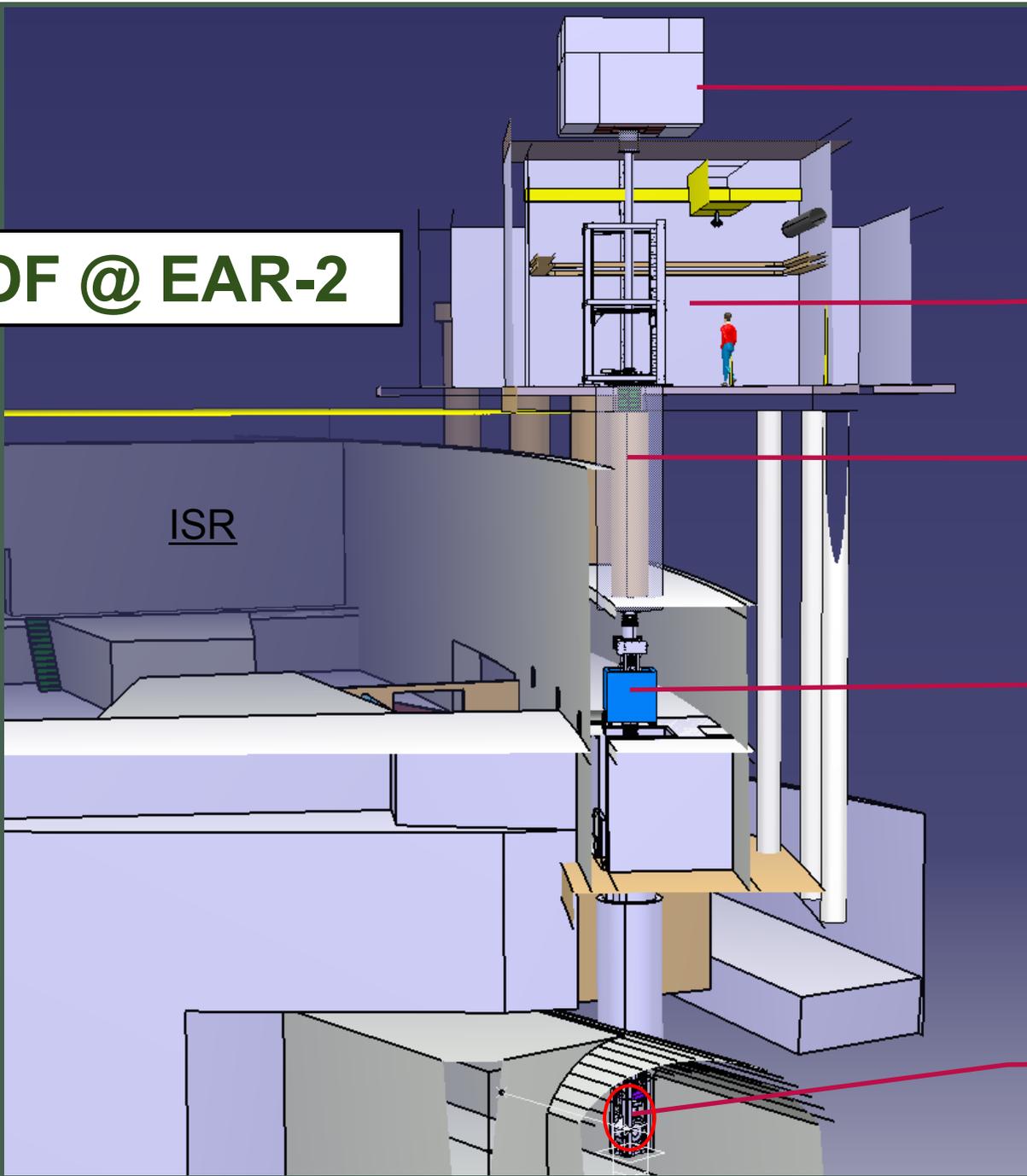
NEA High Priority Request List

$^{235}\text{U}(n, f)$ FLUSSO





n_TOF @ EAR-2



Neutron beam dump

EAR2 bunker
19 m from Target

Collimator

Permanent magnet

Spallation Target

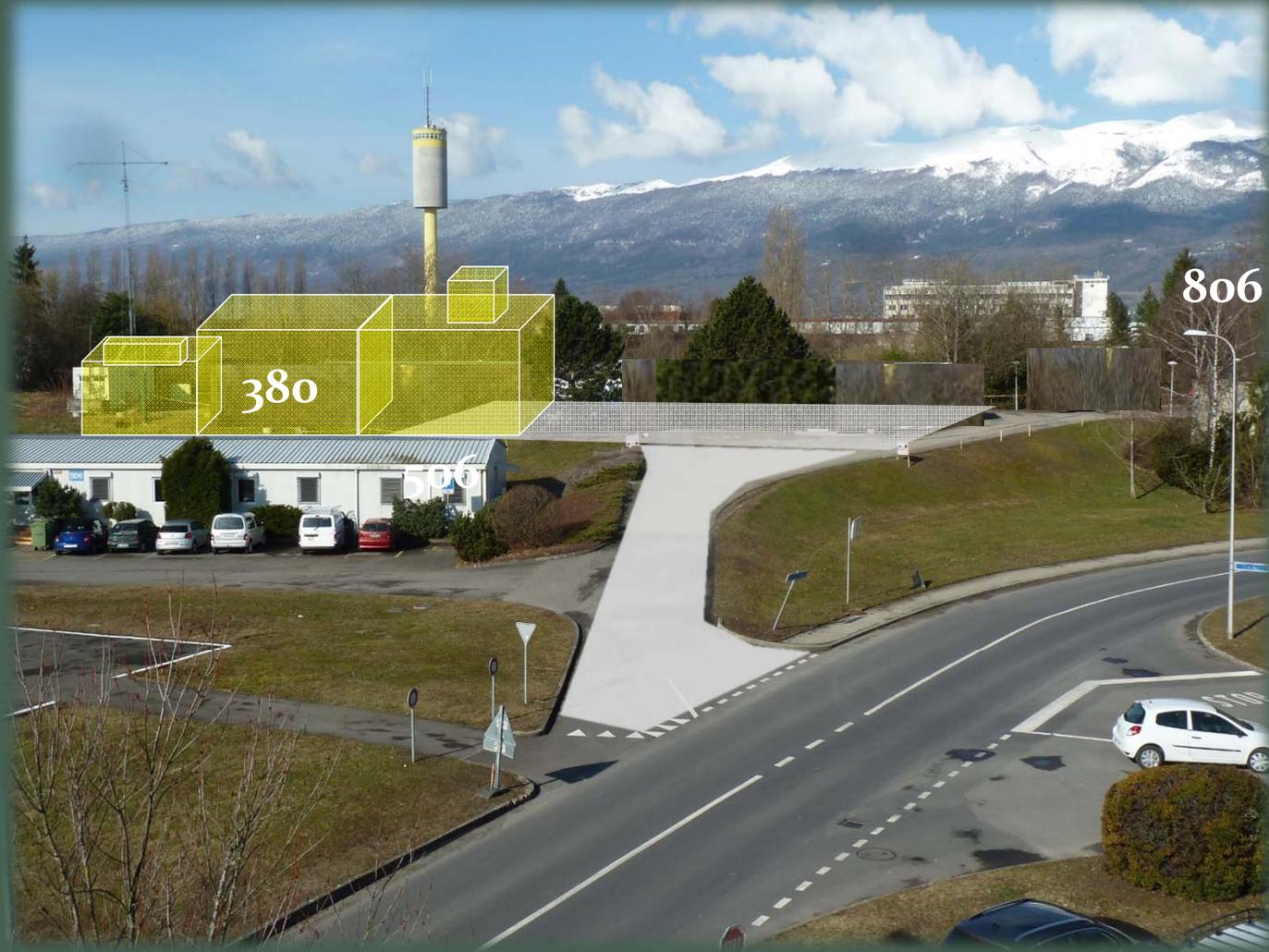


n_TOF @ EAR-2

Con una base di volo di **19 m**, il numero di neutroni al punto misura risulta in media aumentato di un fattore **25** rispetto alla sala sperimentale EAR-1.



- ✓ Misure su campioni di misura disponibili in **piccole masse** (< 1 mg)
- ✓ Si possono eseguire misure su isotopi con **sezioni d'urto molto basse**
- ✓ 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 ($E_n > 10\text{-}100$ MeV) attualmente non fattibili in EAR-1, diverrebbero possibili grazie ad una forte riduzione del γ -flash..





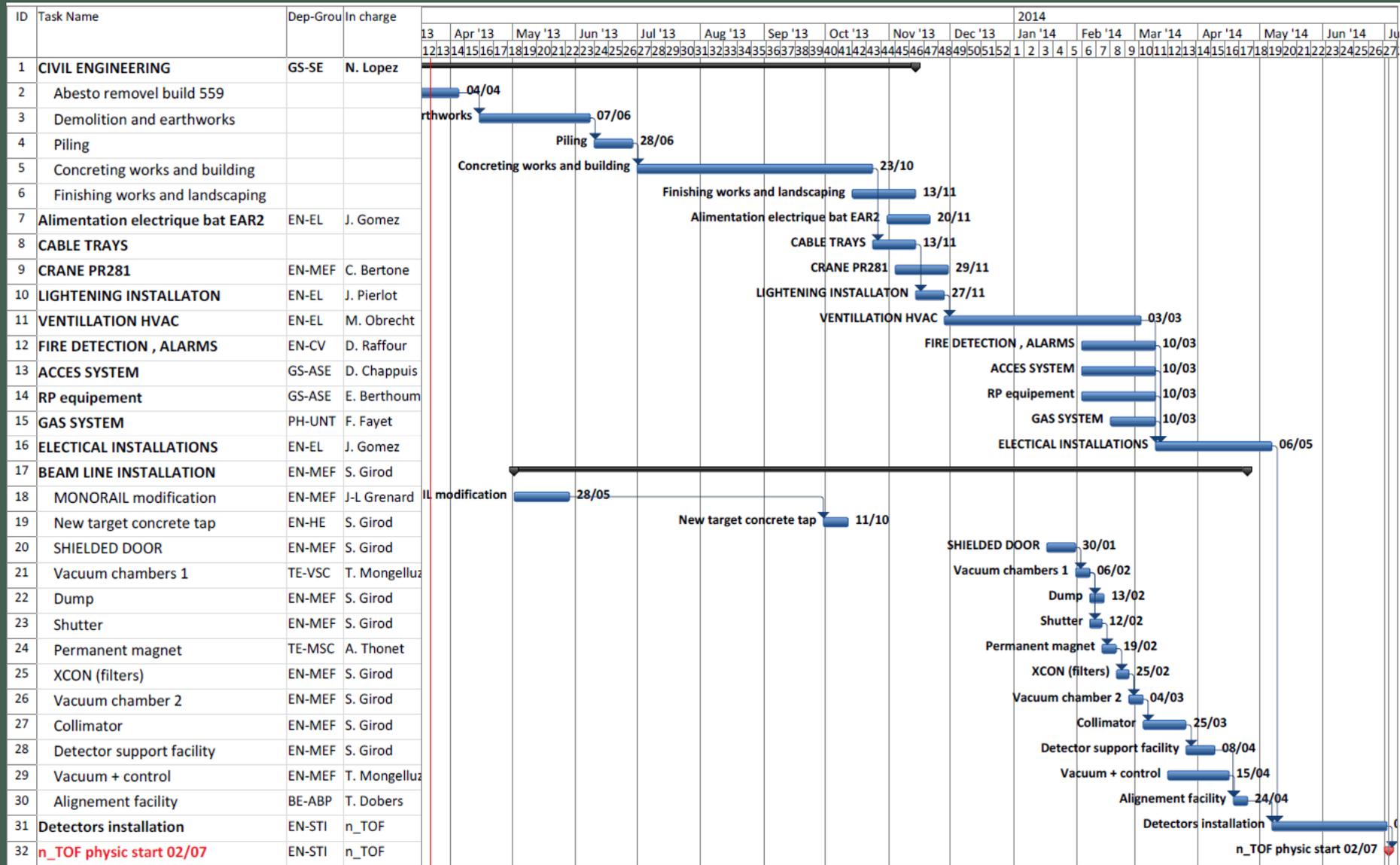
I lavori hanno avuto inizio il 23 maggio

<http://cds.cern.ch/record/1550732>





General Planning EAR-2





L'INFN ha contribuito all'allestimento di **EAR-1** con:

