

INFN_E / ARCO_FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests



Laboratorio Energia Nucleare Applicata
Università degli Studi di Pavia

Michele PRATA

INFN – Sezione di Pavia - Consiglio di Sezione

15 luglio 2014

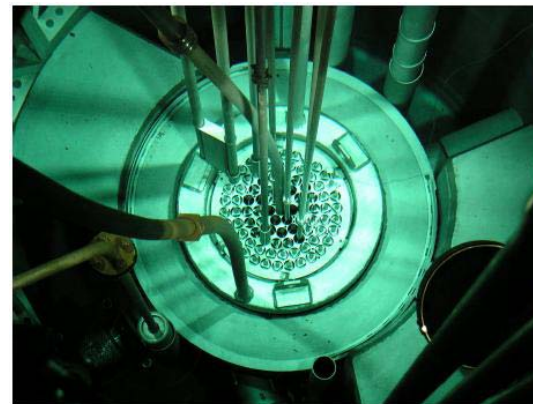
Esperimento ARCO (CSN5 2011÷2013)

E' stato un esperimento finanziato dalla CSN5 per:

Sviluppo di metodologie di analisi flessibili per la determinazione dei parametri di criticità dei noccioli di reattori nucleari e di complessi nucleari sottocritici, della distribuzione dei flussi neutronici e dell'evoluzione temporale della composizione del combustibile nucleare (cinetica dei veleni, produzione degli attinidi e bruciamento).

Reattore sperimentale utilizzato per i test:

TRIGA Mark II della General Atomics installato presso il LENA dell'Università di Pavia



Gruppi di ricerca coinvolti:

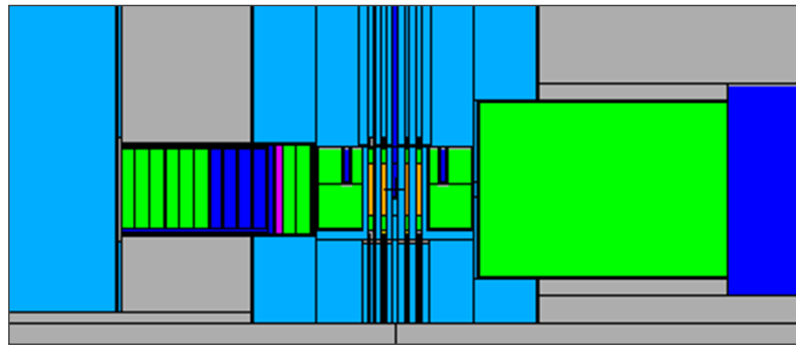
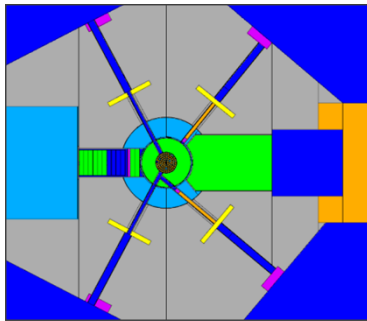
Sezione di Pavia → LENA

Sezione di Milano Bicocca → Dipartimento di Fisica Bicocca + Politecnico di Milano

Attività svolte da ARCO

Ricostruzione al simulatore delle condizioni di criticità:

- Reattore freddo e pulito in condizioni di prima carica
- Mappa di temperatura a funzionamento nominale
- Reattore in condizioni operative di piena potenza
- Sviluppo di modelli multifisici per analisi dinamiche del reattore



Misure sperimentali sul TRIGA per validazione modello al simulatore:

- Nuovo DAQ installato sul reattore per migliorare l'acquisizione dati
- Mappatura del campo neutronico tramite attivazione di targhette specifiche
- Mappatura del campo di temperature del fluido termovettore interno al nocciolo

D. Alloni, A. Borio di Tigliole, A. Cammi, D. Chiesa, M. Clemenza, G. Magrotti, L. Pattavina, S. Pozzi, M. Prata, E. Previtali, A. Salvini, A. Sartori, M. Sisti

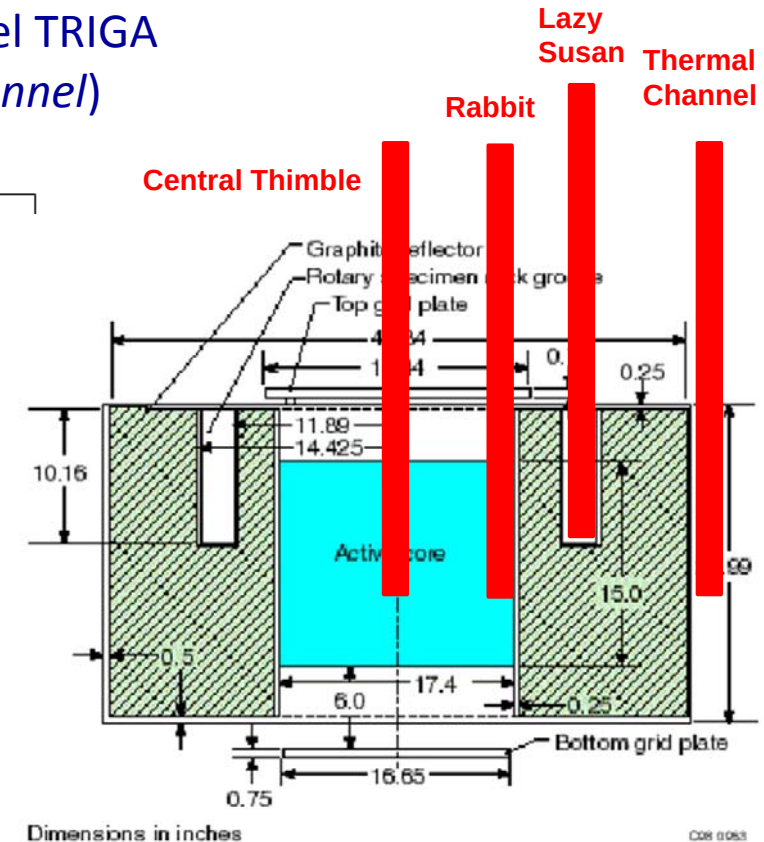
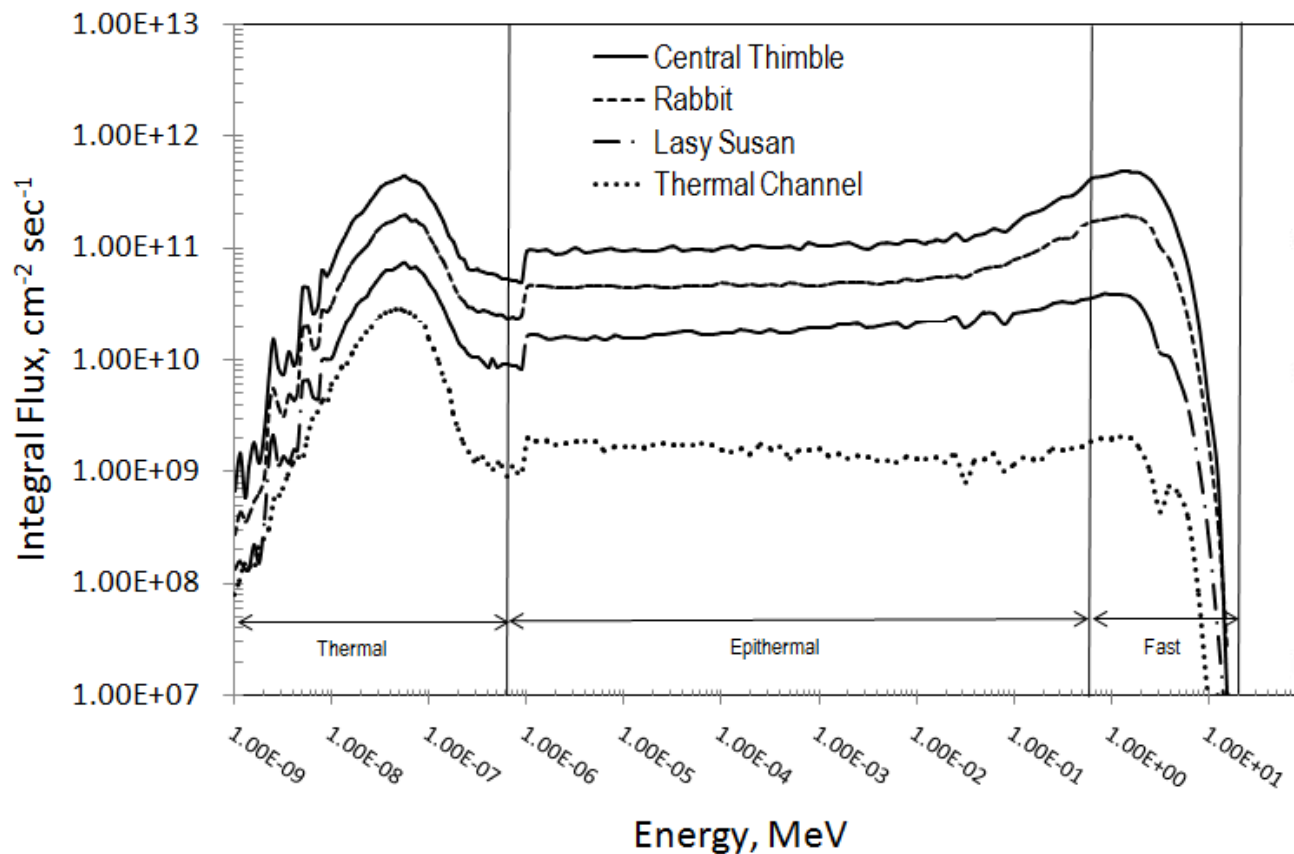
"Final characterization of the first critical configuration for the TRIGA Mark II reactor of the University of Pavia using the Monte Carlo code MCNP"

Progress in Nuclear Energy Volume **74**, (2014), Pages 129–135

Attività svolte da ARCO

Sviluppo metodi e modelli statistici per l'analisi dei flussi neutronici:

- Mappature del flusso neutronico termico e veloce del TRIGA
- Analisi di nuovi canali di irraggiamento (*Thermal Channel*)



A. Borio di Tigliole, A. Cammi, D. Chiesa, M. Clemenza, S. Manera, M. Nastasi, L. Pattavina, R. Ponciroli, S. Pozzi, M. Prata, E. Previtali, A. Salvini, M. Sisti

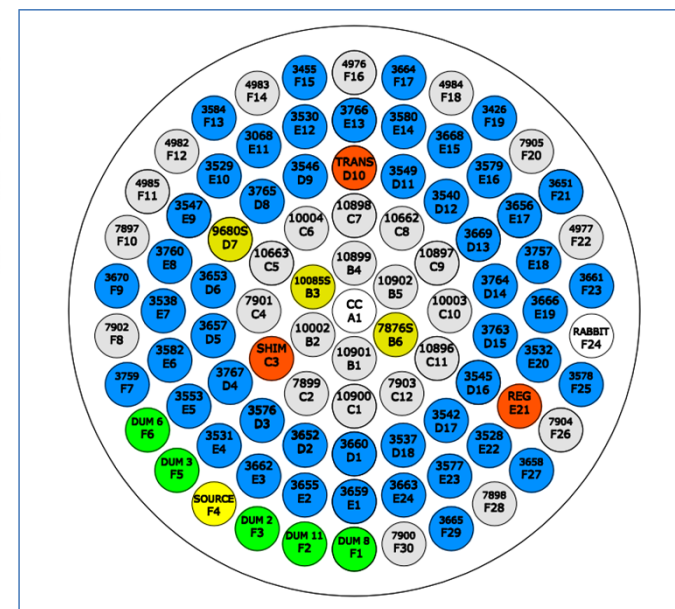
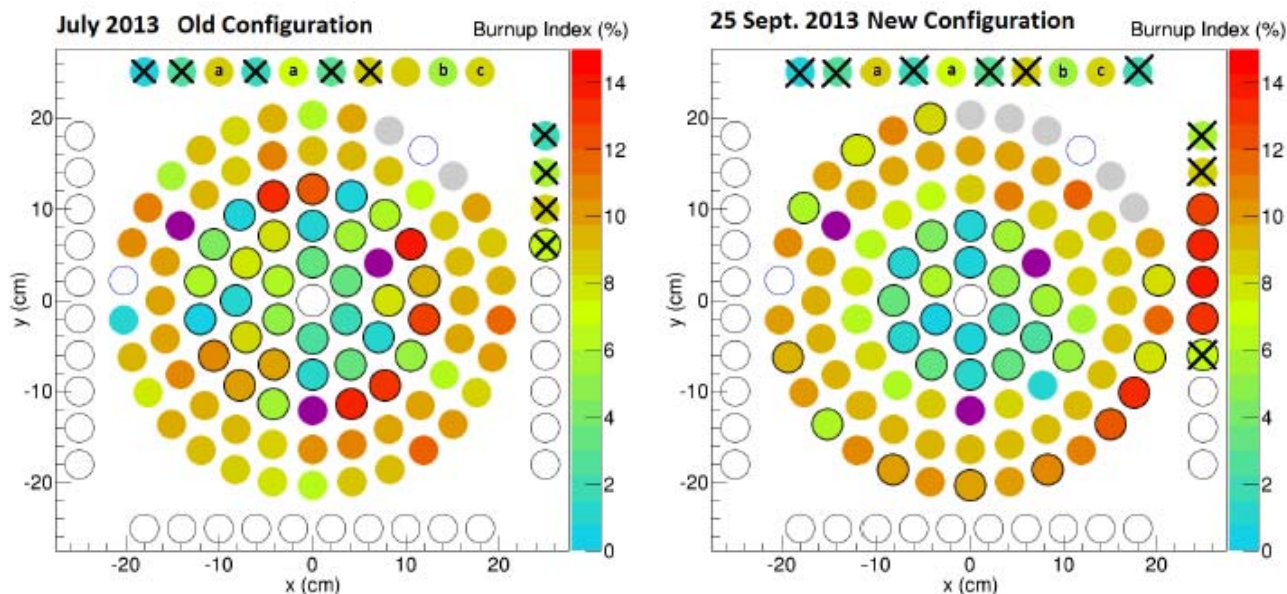
"TRIGA reactor absolute neutron flux measurement using activated isotopes"

Progress in Nuclear Energy Volume **70**, (2014), Pages 249–255

Attività svolte da ARCO

Ricostruzione del burn-up del combustibile nel reattore TRIGA Mark II del LENA:

- Ricostruzione storica del tempo di funzionamento del reattore
- Analisi del bruciamento del combustibile tramite modello MCB
- Studio del ciclo del combustibile con un modello di evoluzione sviluppato più MCNP
- Valutazione di combustibile e veleni per singola barra su 50 anni di funzionamento
- Modellizzazione e riconfigurazione ottimale del nocciolo del reattore TRIGA Mark II



ARCO – FAST

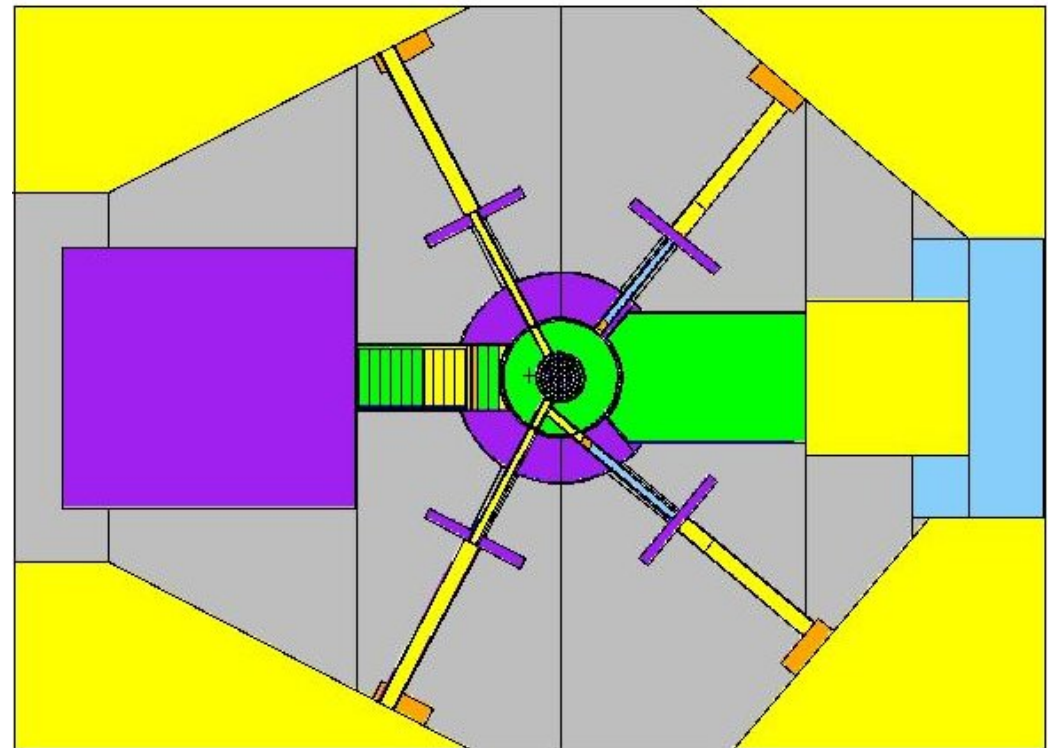
Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Individuazione di canali di irraggiamento veloci all'interno del reattore TRIGA.

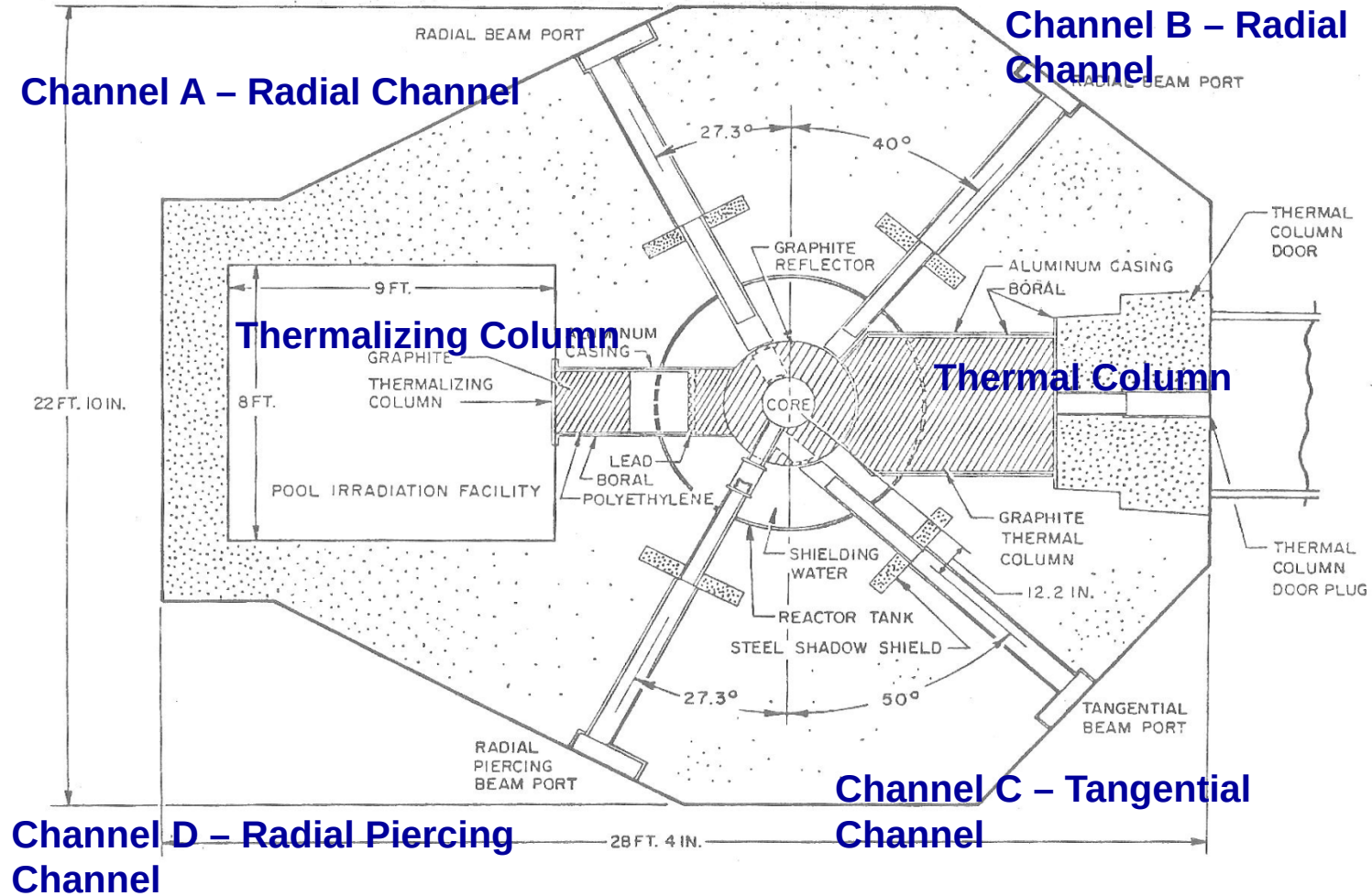
- I canali penetranti del TRIGA Mark II giungono direttamente a ridosso del core
- Si effettueranno misure sullo spettro veloce del TRIGA in questi canali
- Progettazione e realizzazione di una facility a spettro neutronico “duro” nel TRIGA



Radial Piercing
Channel (Ch. D)



“Out-core” irradiation facilities



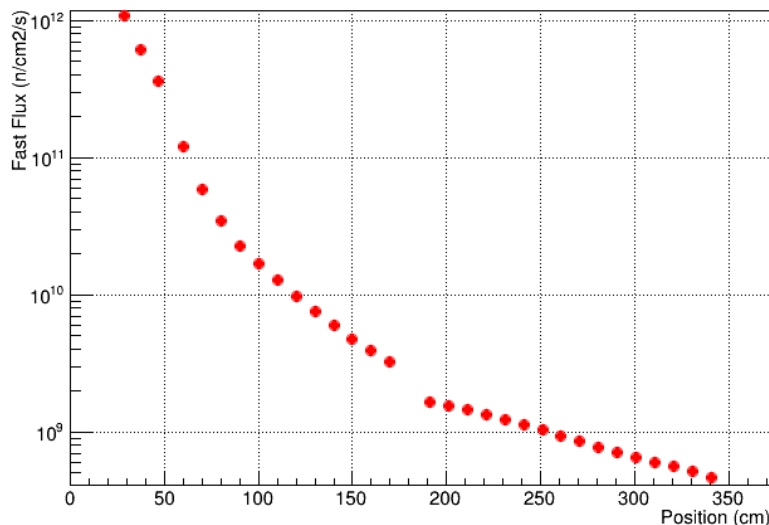
Distanza dall'origine core(cm)	Flusso (n/(cm ² s))		
	MCNP	CINGOLI	VANOSI
24 (Bordo nocciolo)	4.99e+12	2.0e+12	-
40	6.45e+11	4.2e+11	7.61e+11
60	2.41e+11	-	-
80	9.46e+10	5.4e+10	-
120	2.44e+10	1.2e+10	-
160 (Metà canale)	7.67e+09	2.8e+09	7.67e+09
320 (Bocca canale)	1.28e+09	-	-

ARCO – FAST

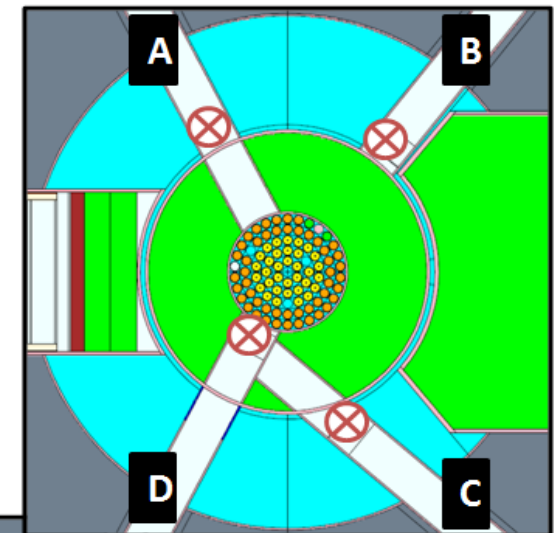
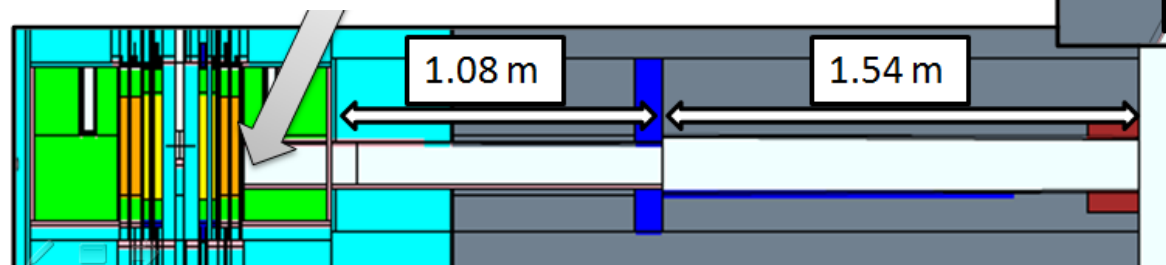
Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Canale penetrante D

- Si tratta di un canale che offre la possibilità di accedere ad una posizione di irraggiamento limitrofa al nocciolo, dove si registrano flussi di neutroni veloci ($E_n > 0.1$ MeV) dell'ordine di **10^{12} neutroni /cm² s** (dato stimato con simulazioni MCNP)
- Questo canale è profondo circa 3 metri e attraversa la schermatura di calcestruzzo, la piscina d'acqua ed il riflettore in grafite.
- Attualmente non è provvisto di un sistema per l'inserimento di campioni da irraggiare.

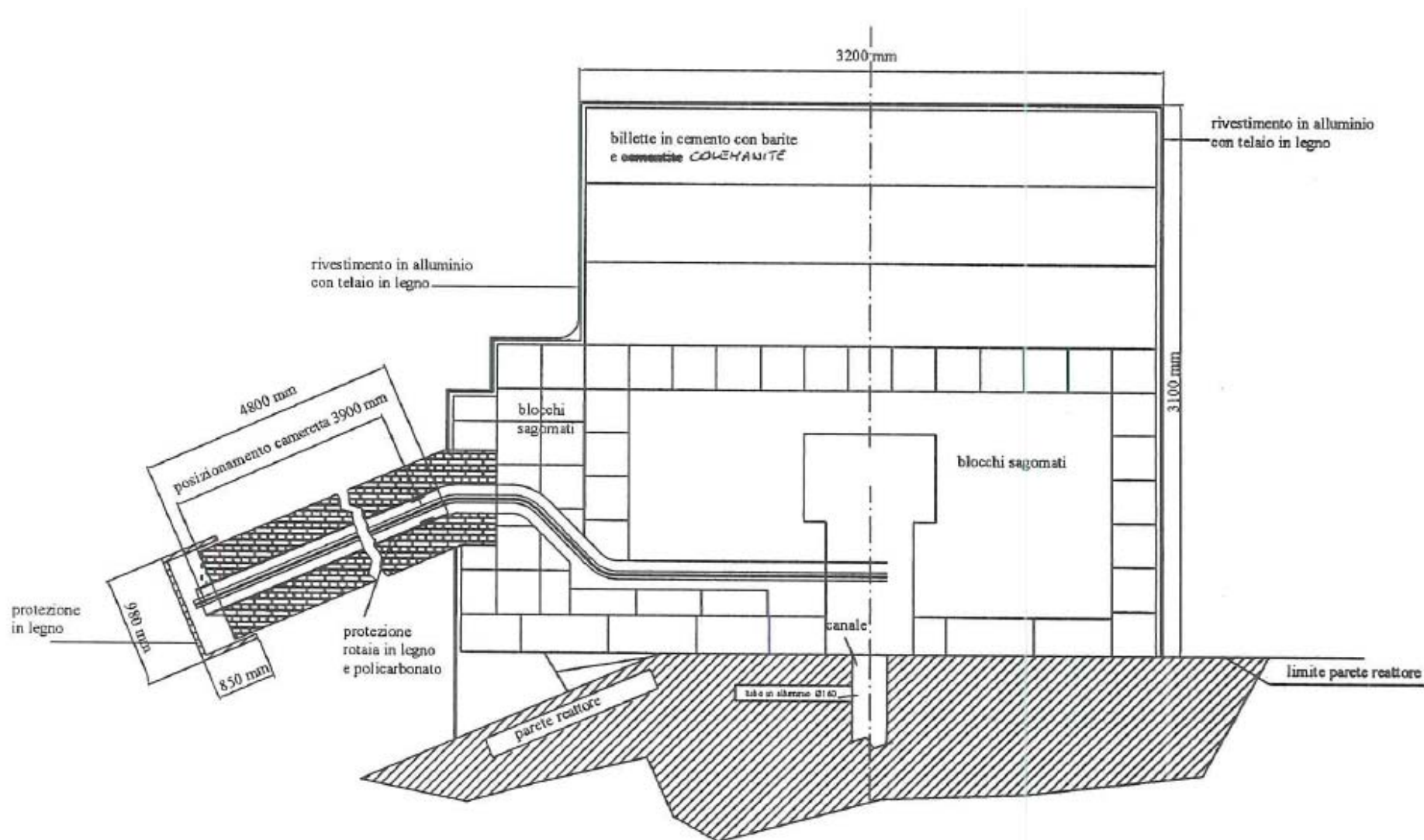


nto limitrofa al nocciolo



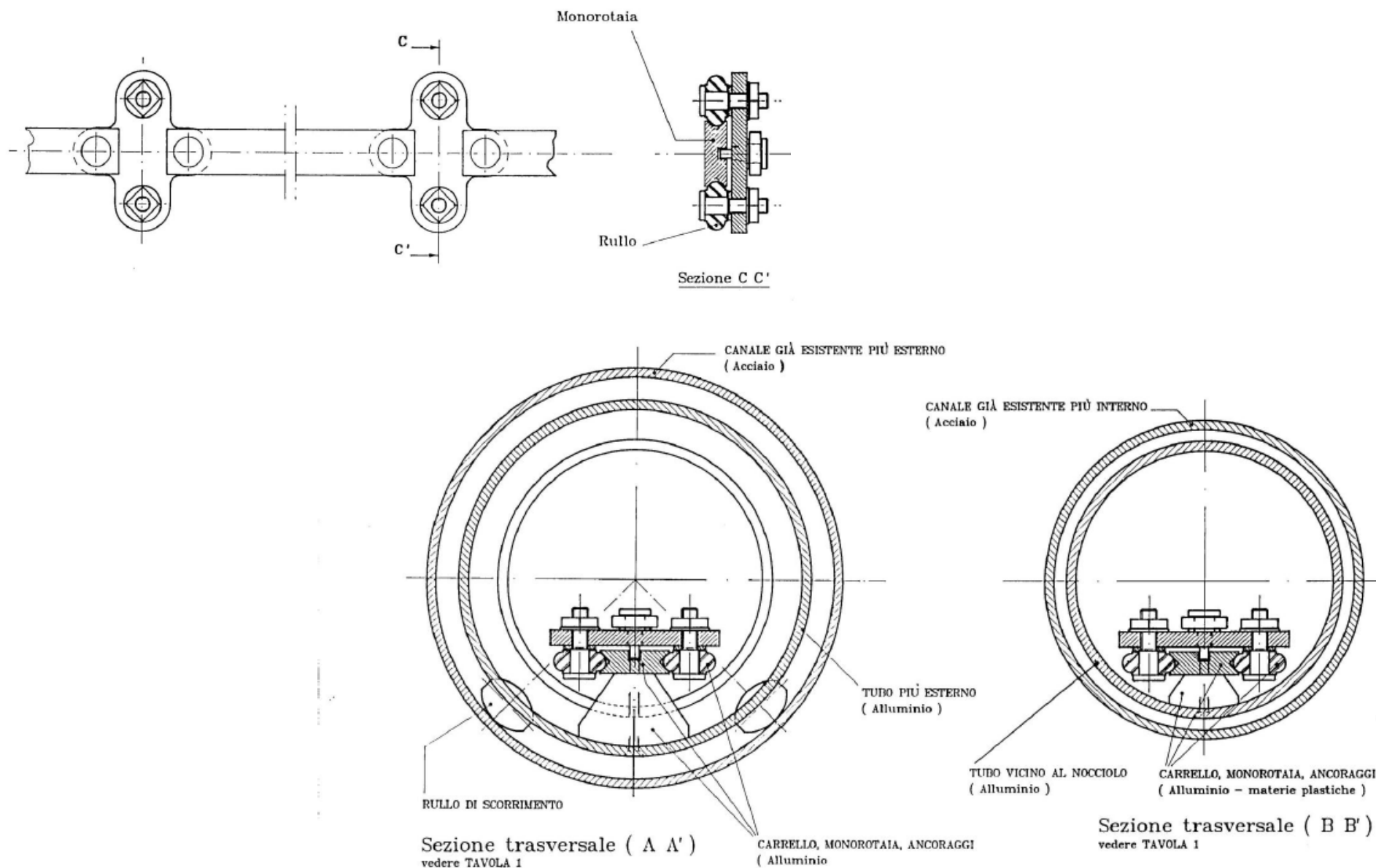
ARCO – FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests



ARCO – FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

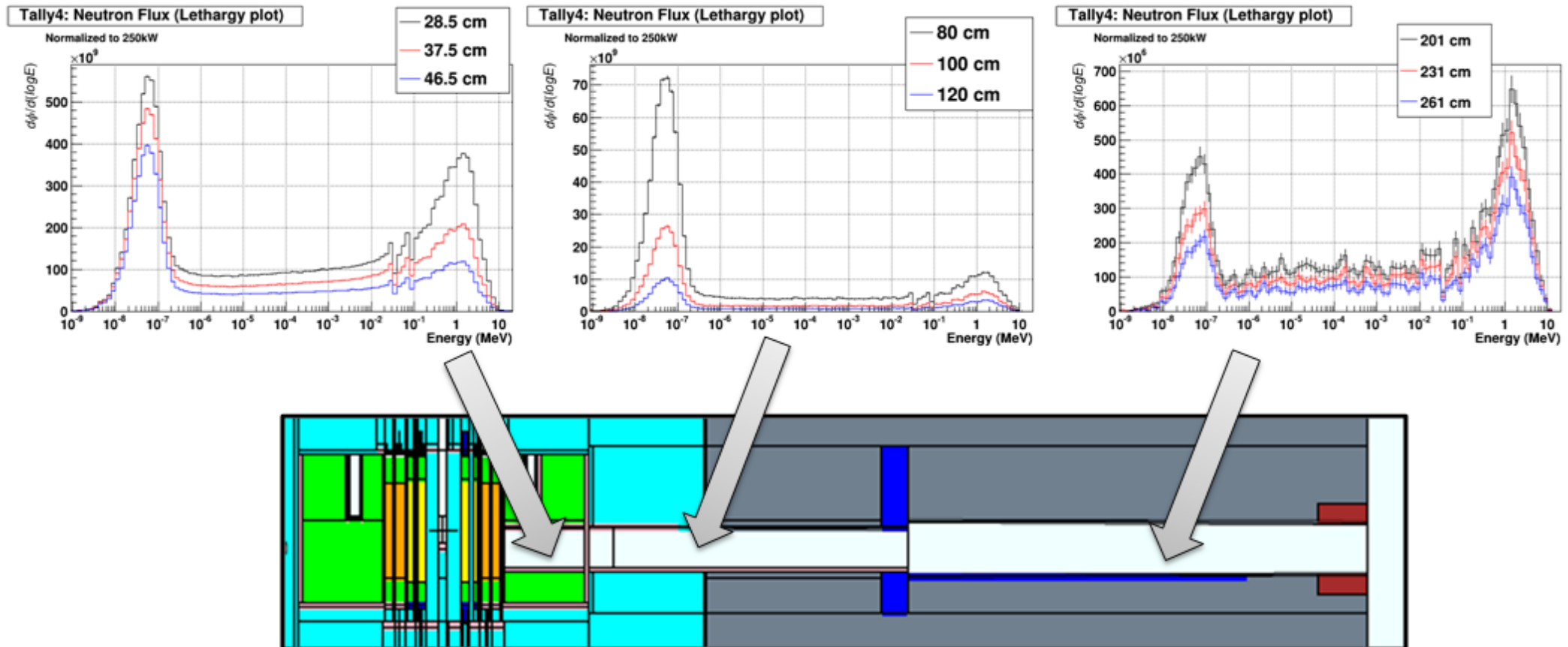


ARCO – FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Canale penetrante D

- Utilizzando il modello di simulazione MCNP, sono stati analizzati gli spettri neutronici in diverse posizioni lungo il canale D.



ARCO – FAST

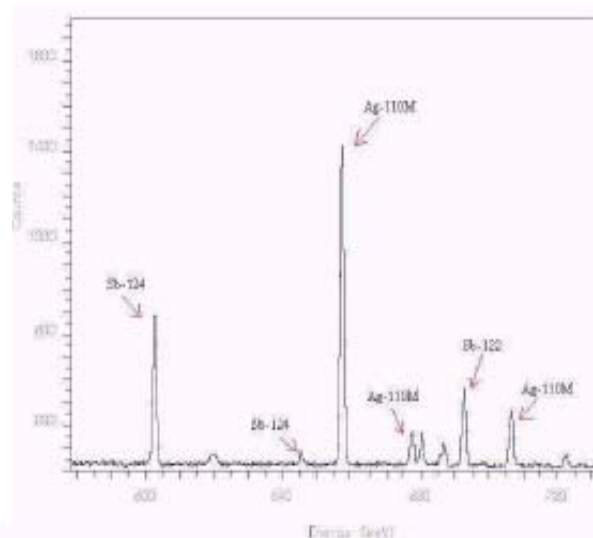
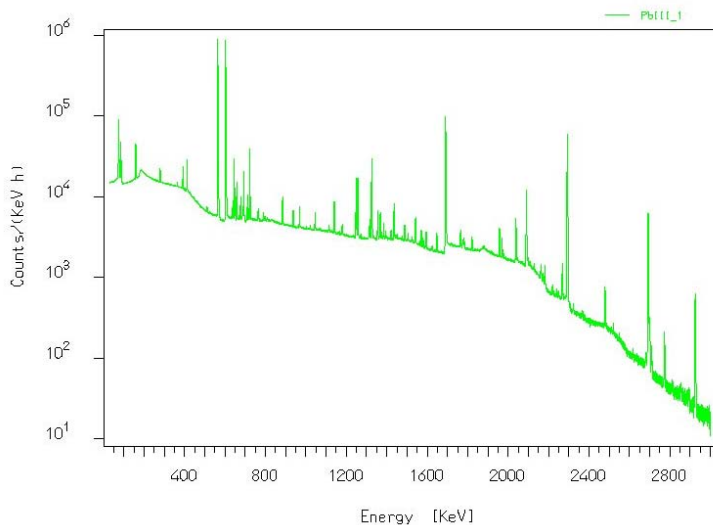
Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Studio della trasmutazione uranio e transuranici.

- Misura della trasmutazione di ^{238}U e ^{232}Th esposti ad uno spettro duro
- Individuazione degli elementi a lunga emivita prodotti nelle reazioni
- Misura della trasmutazione di attinidi minori (Pu, Am,.....) con neutroni veloci
- Sviluppo di una tecnica post irraggiamento specifica per analizzare i campioni

Studio di materiali da utilizzarsi in reattori veloci.

- Analisi elementare per materiali utilizzati in reattori veloci
- Studio delle sezioni d'urto efficaci per i vari elementi analizzati
- Valutazione della radioattività indotta e valutazioni dosimetriche
- Possibile studio di effetti strutturali in materiali specifici



NAA su Pb ultrapuro:

Ag ~ 100 ppm

Sb ~ 10 ppm

Br ~ 1 ppm

As ~ 10 ppm

.....

ARCO – FAST

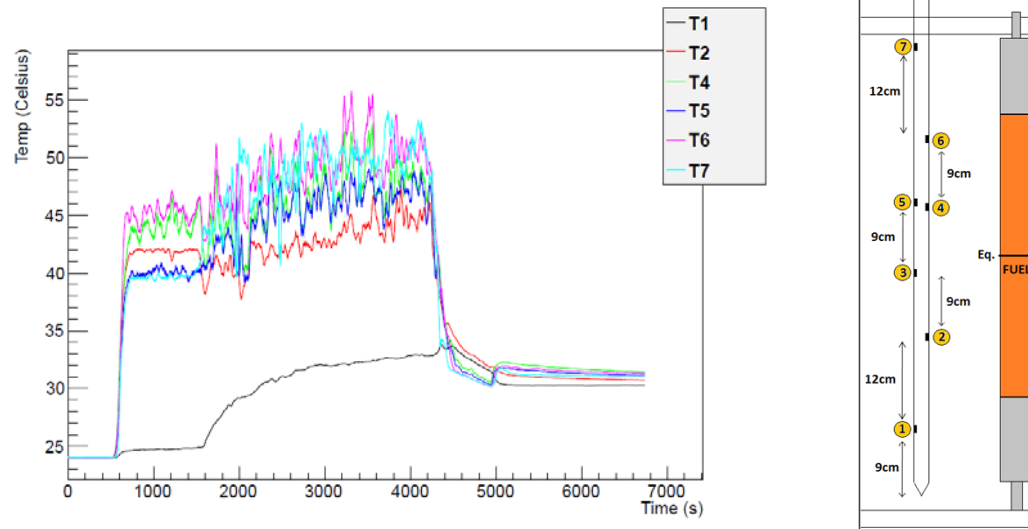
Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Sviluppo completo di un modello termoidraulico.

- Analisi della dinamica del reattore TRIGA quale benchmark di analisi
- Integrazione del modello termoidraulico con quello neutronico
- Estensione del modello alla dinamica di altri reattori o di sistemi moltiplicanti
- Confronto tra le misure, il modello MCNP e il simulatore multifisico Serpent

Implementazione di un modello multifisico “parametrico”.

- Sviluppo del sistema parametrico delle variabili fisiche per un reattore
- Analisi delle basi caratteristiche legate alla descrizione del reattore
- Applicazione del modello parametrico a differenti tipologie di macchina



ARCO – FAST

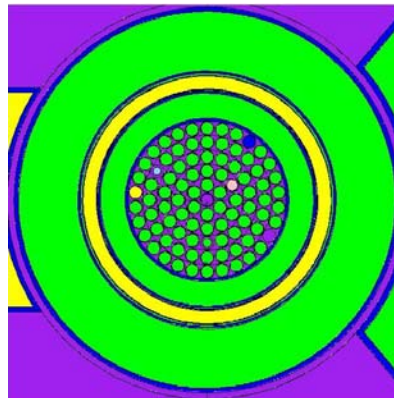
Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Sistema di misura diretta del livello di avvelenamento di una barra di combustibile.

- Lo studio del burnup ha ricostruito la storia del TRIGA su una scala di 50 anni
- Il coefficiente di moltiplicazione presenta un errore dell'ordine di 400 pcm
- Il processo di valutazione permette la massima efficienza di bruciamento
- La misura dell'avvelenamento permette la valutazione del modello di burn-up

Analisi e validazione di tecniche di calcolo per sistemi moltiplicanti.

- Possibilità di sfruttare il TRIGA come sistema moltiplicante, critico o sottocritico
- Sorgenti di neutroni possono essere inserite in diverse posizioni del core
- Validazione delle tecniche di calcolo per sistemi con $K < 1$
- Con le informazioni note sul TRIGA è possibile valutare condizioni sottocritiche
- Analisi del comportamento del sistema compresi gli eventuali effetti termici



ARCO – FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Conclusioni

Studio e progettazione di una facility per neutroni veloci.

- In prospettiva il progetto si prefigge di affrontare uno studio di fattibilità per la realizzazione di una facility per lo studio delle reazioni indotte da neutroni veloci
- Sfruttando i canali veloci del TRIGA opportunamente attrezzati e strumentati per ottenere uno spettro duro di neutroni
- Analizzando la possibilità di ulteriori implementazioni sulla base delle risorse strumentali disponibili e dei costi di realizzazione
- Studiare inoltre un sistema moltiplicante a spettro duro

L'obiettivo principale di questa fase sarebbe quello di poter estendere ed ampliare le esperienze già maturate sullo studio del TRIGA per:

- studiare la neutronica di un sistema veloce in tutti i suoi aspetti
- definire i tassi di reazione del combustibile esposto a uno spettro duro
- analizzare il ciclo del combustibile, sia fresco che irraggiato
- condurre studi di dinamica e cinetica di un sistema a neutroni veloci

ARCO – FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Personale coinvolto – Sezione INFN di Pavia

2014

- **Alloni** Daniele 0.10 FTE
- **Magrotti** Giovanni 1.00 FTE
- **Oddone** Massimo 0.30 FTE
- **Prata** Michele (*Resp.Loc.*) 0.40 FTE
- **Salvini** Andrea 0.30 FTE
- **Strada** Lucilla 0.20 FTE

Totale 2.30 FTE

2015

- **Magrotti** Giovanni 0.50 FTE
- **Oddone** Massimo 0.20 FTE
- **Prata** Michele (*Resp.Loc.*) 0.40 FTE
- **Salvini** Andrea 0.30 FTE
- **Strada** Lucilla 0.10 FTE

Totale 1.50 FTE

ARCO – FAST

Analysis of **R**eactor **C**ore - **F**ast neutron **A**nalysis with **S**imulations and **T**ests

Finanziamento 2014 – Sezione INFN di Pavia

• Missioni	2.5 k€
• Servizi	5.0 k€
• Consumo	3.5 k€
• Impianti & Attrezzature	4.0 k€
Totale	15.0 k€

ARCO – FAST

Analysis of Reactor Core - Fast neutron Analysis with Simulations and Tests

Richieste Finanziamento 2015 – Sezione INFN di Pavia

- Missioni **3 k€**
(Riunioni di collaborazione e partecipazioni a congressi)
- Materiale di Consumo **7 k€**
(Targhette per misure flusso e caratterizzazione facility e materiale assorbitore componente termica dello spettro neutronico)
- Servizi **5 k€**
(Utilizzo del reattore TRIGA e delle facility del LENA per irraggiamenti e misure spettroscopiche)
- Impianti e Attrezzature **35 k€**
(Costo per la realizzazione del canale di irraggiamento per neutroni veloci da installare sul reattore TRIGA)

Totale 50 k€