

# Facilities per lo studio di effetti indotti dalle radiazioni

Gruppo CMS Pavia

A. Braghieri, A. Magnani,  
P. Montagna, C. Riccardi, P. Salvini,  
Ilaria Vai, P. Vitulo

# Background in CMS

## Neutroni:

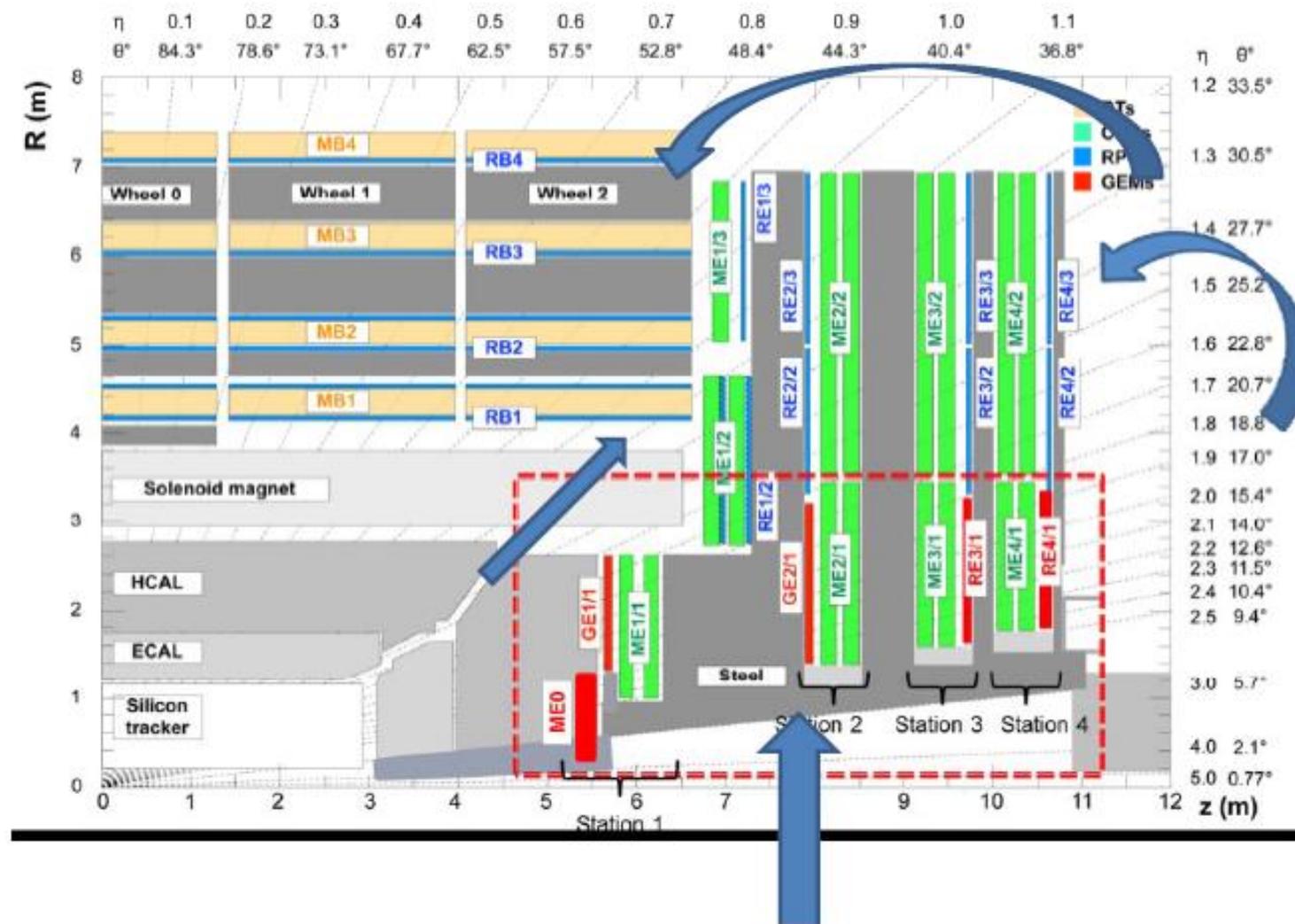
- da processo di evaporazione che segue interazione adronica: picco a **1 MeV**
- intranuclear cascade: picco a **70 MeV**

## Fotoni:

- da cattura neutronica: fino a **10 MeV**

## Particelle cariche:

- Contributo importante nelle regioni ad alto  $\eta$



Possibile configurazione CMS post LS1 + REn/1 + GEM

# Background in CMS

## Neutroni:

Regione	Flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per $l=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per $l=10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Fluenza ( $\text{cm}^{-2}$ ) per $l=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 1 anno LHC	Fluenza ( $\text{cm}^{-2}$ ) per $l=10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 1 anno LHC
GE1/1	$5,6 \times 10^3$	$5,6 \times 10^4$	$8,4 \times 10^{10}$	$8,4 \times 10^{11}$
GE2/1	$1,3 \times 10^4$	$5 \times 10^5$	$1,95 \times 10^{11}$	$1,95 \times 10^{12}$
RE3/1	$1,9 \times 10^4$	$1,9 \times 10^5$	$2,85 \times 10^{11}$	$2,85 \times 10^{12}$
RE4/1	$1,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$	$1,65 \times 10^{11}$	$1,65 \times 10^{12}$

## Fotoni:

Regione	Flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per $l=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per $l=10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Fluenza ( $\text{cm}^{-2}$ ) per $l=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 1 anno LHC	Fluenza ( $\text{cm}^{-2}$ ) per $l=10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 1 anno LHC
GE1/1	$2,5 \times 10^3$	$2,5 \times 10^4$	$3,75 \times 10^{10}$	$3,75 \times 10^{11}$
GE2/1	$3,9 \times 10^3$	$3,9 \times 10^4$	$5,85 \times 10^{10}$	$5,85 \times 10^{11}$
RE3/1	$3,8 \times 10^3$	$3,8 \times 10^4$	$5,7 \times 10^{10}$	$5,7 \times 10^{11}$
RE4/1	$9,3 \times 10^3$	$9,4 \times 10^4$	$1,4 \times 10^{11}$	$1,4 \times 10^{12}$

# Background in CMS

## Carichi:

Regione	Flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per $l=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Flusso ( $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) per $l=10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$	Fluenza ( $\text{cm}^{-2}$ ) per $l=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 1 anno LHC	Fluenza ( $\text{cm}^{-2}$ ) per $l=10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 1 anno LHC
GE1/1	$1,2 \times 10^2$	$1,2 \times 10^3$	$1,8 \times 10^9$	$1,8 \times 10^{10}$
GE2/1	$5 \times 10^1$	$5 \times 10^2$	$7,5 \times 10^8$	$7,5 \times 10^9$
RE3/1	$2,6 \times 10^1$	$2,6 \times 10^2$	$3,9 \times 10^8$	$3,9 \times 10^9$
RE4/1	$1,6 \times 10^2$	$1,6 \times 10^3$	$2,4 \times 10^9$	$2,4 \times 10^{10}$
ME0/0	$8,2 \times 10^6$	$8,2 \times 10^7$	$1,23 \times 10^{14}$	$1,23 \times 10^{15}$

Possibile sovrastima dovuta a:

- Calorimetro forward non implementato
- Shielding post LS1 non implementato

Regione	R (cm)	Z (cm)
GE1/1	180	560
GE2/1	180	800
RE3/1	200	980
RE4/1	200	1060
ME0/0	20	540

# Test su elettronica

Misura di **Single Event Effects (SEE)** – **Misura attiva:**

- **Obiettivo:** misurare sezione d'urto di SEE
- **Modalità:** scheda alimentata esposta al fascio di particelle → in output si conta il numero di eventi indotti dall'interazione delle particelle con i chip
- **Durata del test:** tempi di acquisizione dati dal flusso delle particelle incidenti e dalle sezioni d'urto di interazione con il Si → ottenere numero statisticamente significativo di eventi (es. Test LENA: 30 min per ~ 50-60 ev.) → NON serve accumulare tanta fluenza
- **Particelle:** Neutroni veloci ( $E > \text{MeV}$ ) e termici (interazione con il boro); Ioni

Misura di **Effetti cumulativi** – **Misura passiva:**

- **Obiettivo:** misurare fluenza massima tollerata dall'elettronica
- **Modalità:** scheda non alimentata esposta al fascio di particelle → confronto tra parametri della scheda prima e dopo l'irraggiamento
- **Durata del test:** è fondamentale accumulare FLUENZA (1 anno LHC, 10 anni LHC, ecc...)
- **Particelle:** Neutroni; Gamma

# Test di sensitività a neutroni e gamma sui rivelatori

Misura di sensitività a neutroni/gamma



$$\varepsilon = \frac{\Phi_{meas}}{\Phi_{beam}}$$

Sezione d'urto macroscopica interazione neutroni/gamma - rivelatori



$$\varepsilon\Sigma = \frac{R_{meas}}{\Phi_{beam} V}$$

- $\varepsilon$  = sensitività
- $\Phi_{meas}$  = flusso misurato
- $\Phi_{beam}$  = flusso del fascio incidente
- $\Sigma$  = sezione d'urto macroscopica di interazione neutroni/gamma - rivelatore
- $R_{meas}$  = rate di interazioni misurato
- $V$  = volume rivelatore

# Altri test sui rivelatori

Studio di possibili danni dovuti all'esposizione prolungata dei rivelatori a neutroni/gamma



Accumulare fluenza pari a 1-10 anni LHC



Studio di variazioni nella risposta del rivelatore: corrente, resistività, ecc...

# Dove?

## Facilities considerate per gli irraggiamenti

Facility	Fascio	
LENA Pavia	Neutroni	} Termici
ENEA Casaccia	Neutroni	
PSI Villigen (Svizzera)	Neutroni	
Louvain la Neuve (Belgio)	Neutroni	} Veloci
ENEA Frascati	Neutroni	
TSL Uppsala	Neutroni	
LNL Legnaro	Neutroni – Ioni	
CNAO Pavia	Ioni Carbonio	
GIF (++)	Gamma	

..ed altre in Italia ed Europa.



# Test preliminare LENA

Test pilota per misura sezione d'urto Single Event Effects indotto da neutroni svolto al LENA con schede di Front-End RPC:

- **Misura attiva:** scheda alimentata esposta a neutroni con input aperti (non collegata al rivelatore) → eventi rivelati sono dovuti all'interazione dei neutroni con il silicio dei chip

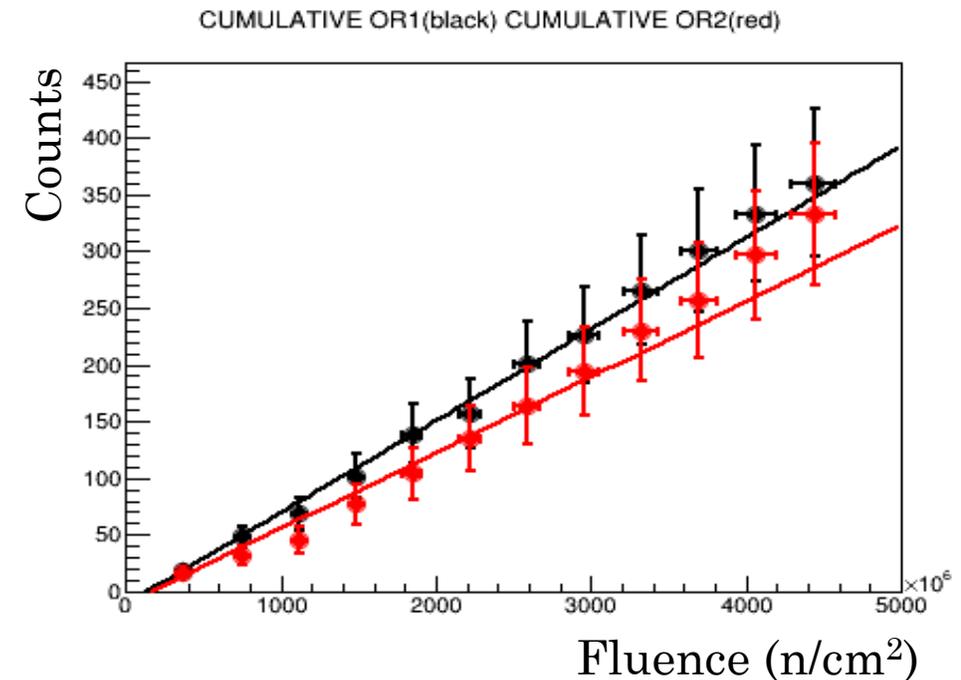
Sezione d'urto SEE in funzione della soglia di discriminazione del segnale ricavata come:

$$\sigma = \frac{R_{meas}(s^{-1})}{\phi(cm^{-2}s^{-1})}$$

$R_{meas}$  = rate interazioni misurata  
 $\Phi$  = flusso neutroni

$$\sigma_{Slope} = \frac{\text{Number of events}}{\Phi(cm^{-2})}$$

Dal fit numero interazioni vs fluenza

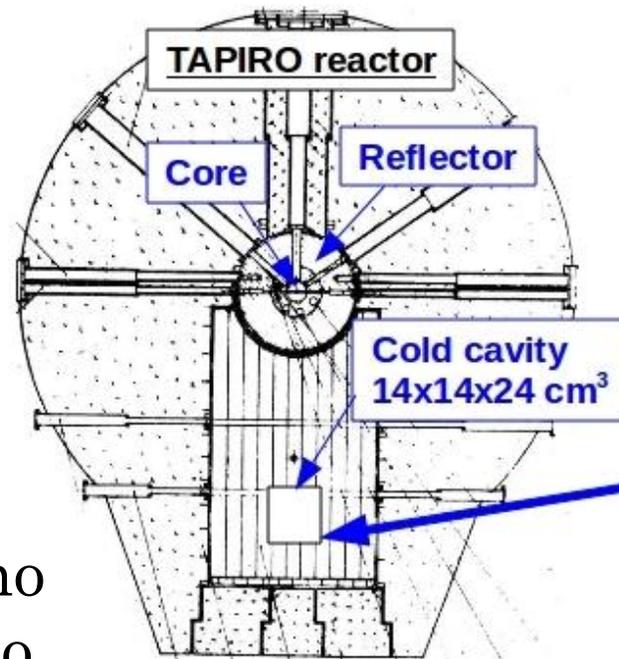


# ENEA Casaccia -TAPIRO

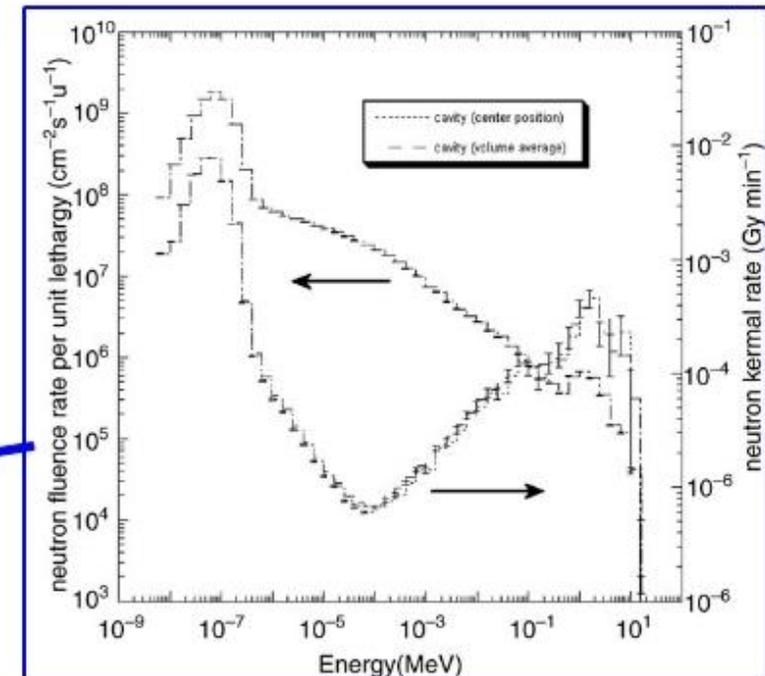
Unica cavità adatta a irraggiamento schede:  
cavità HYTOR nella colonna termica

Dimensioni cavità:  
 $14 \times 14 \times 24 \text{ cm}^3 \rightarrow$   
scheda non può  
essere esposta  
perpendicolarmente  
al flusso

**Costi:** circa 2000 € giorno  
(5,5 ore di irraggiamento  
nette)



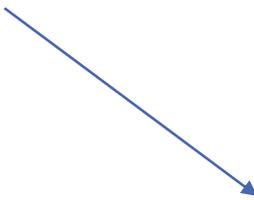
- **Flussi:**
- Termico:  $3,48 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$
- Totale:  $3,75 \times 10^9 \text{ n/cm}^2\text{s}$



# PSI Villigen

SINQ: sorgente continua neutroni da spallazione

- Flusso:  $2 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>s (Beamline BOA)
- Neutroni rallentati con deuterio liquido → spettro spostato verso le basse energie: da 2 meV a 100 meV



Solo termici!

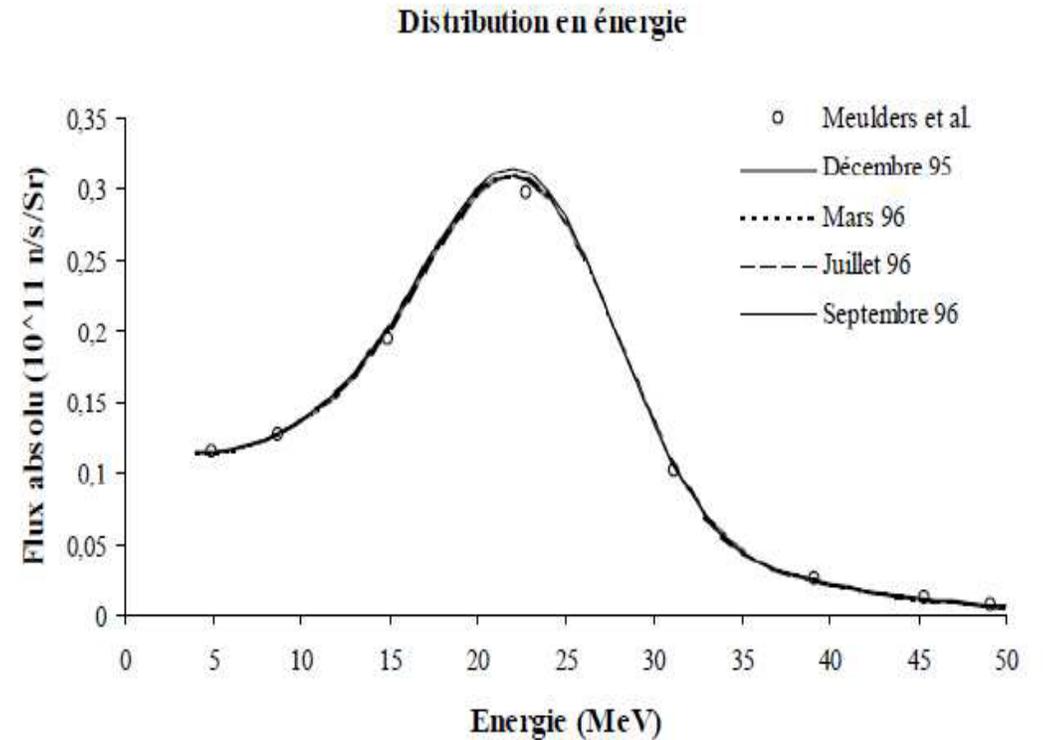
Costi: 2000 € /day (24h )

# Louvain la Neuve

Neutroni da  ${}^9\text{Be}(d,n){}^{10}\text{B}$

- Spettro continuo fino a 50 MeV, max intorno ai 25 MeV
- Filtro per rimuovere gamma e neutroni a bassa energia

L'energia dei neutroni si può ottenere dalla misura del tempo di volo



Dati da: E.Cortina , *WP7.2: Irradiation Facilities at UCLouvain*, AIDA kick-off meeting, UCLouvain, February 2011

<https://indico.cern.ch/getFile.py/access?resId=0&materialId=slides&contribId=2&sessionId=0&subContId=1&confId=125360>

In attesa di informazioni più dettagliate su energie, flussi e costi irraggiamento

# ENEA Frascati

- Generatore di neutroni:
  - T(d,n) $\alpha$  : neutroni da 14,6 MeV
  - D(d,n) $^3\text{He}$ : neutroni da 2,8 MeV
- Flussi max: a pochi mm dalla sorgente
  - 14,6 MeV:  $10^{10}$  n/cm<sup>2</sup>s
  - 2,8 MeV:  $10^8$  n/cm<sup>2</sup>s
- Flussi realistici posizione irraggiamento
  - 14,6 MeV:  $10^{7-8}$  n/cm<sup>2</sup>s
  - 2,8 MeV:  $10^{5-6}$  n/cm<sup>2</sup>s

Costi: 700 €/h

Dimensioni bunker:  
11.5 x 12 m<sup>2</sup> e 9 m di  
altezza → NON ci sono  
problemi dimensioni  
schede, cavi, ecc...

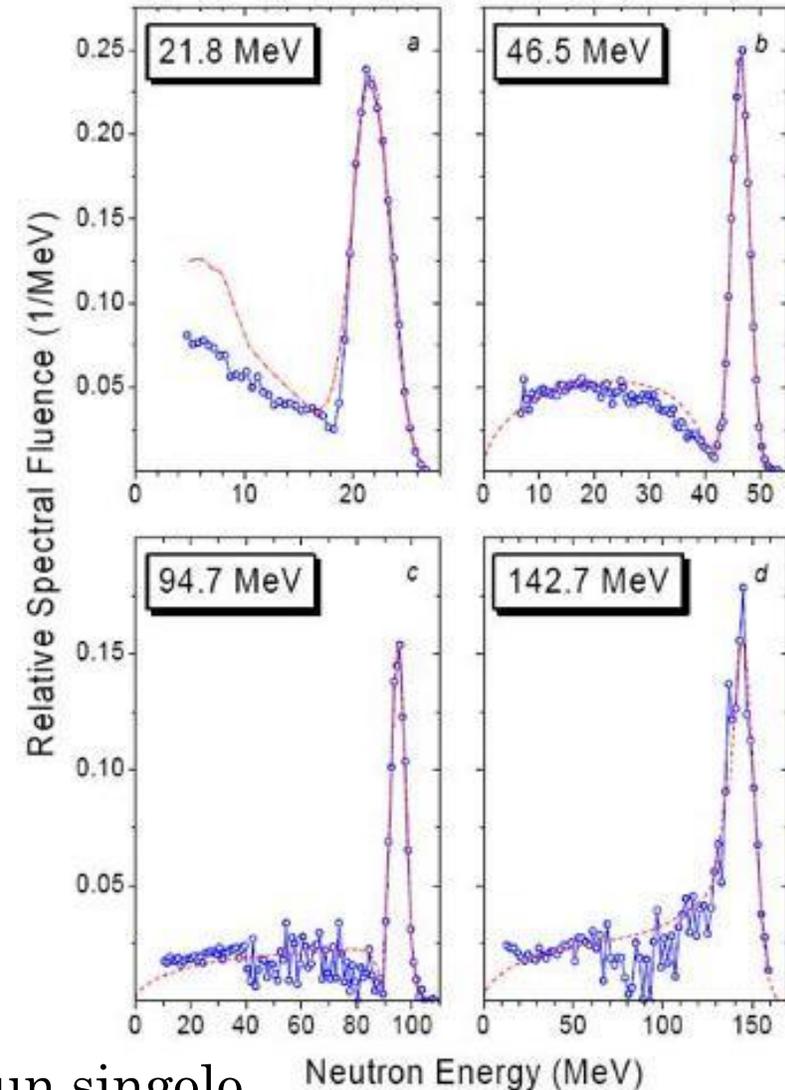


# The Svedberg Laboratory - Uppsala

- Neutroni da  ${}^7\text{Li}(p,n)$
- Energie standard: 22, 47, 59, 65, 75, 88, 95, 110, 143, 160, and 175 MeV
- Flusso massimo:  $3 \times 10^4 - 10^5 \text{ n/cm}^2\text{s}$
- Dimensioni spot fascio: variabile, 1 - 80 cm (forma circolare o quadrata)
- Area irraggiamento disponibile: 15 m lung, 3 m larg.

## Costi:

Facility	Hourly Rate (EUR/h)	Basic Startup Fee (EUR)	Reduced Startup Fee (EUR) <sup>1</sup>
ANITA	520	2080	1040
<b>QMN</b>	<b>580</b>	<b>3480</b>	<b>1740</b>
PAULA	550	2200	N/A



Minimo:

- 16 h per run singolo
- 10 h per run multipli

# Laboratori Nazionali Legnaro

Acceleratore CN (Van de Graaff 7 MV)

Beam	Target	Energy (MeV)	Max Current (nA)
$^1\text{H}^+$	Li	$\leq 7$	500
$^2\text{H}^+$	Be	$< 5$	300
$^2\text{H}^+$	Be	5-7	100

p da 4 MeV su Be

Range spettro neutronico 2,5 MeV (da 0,5 a 3 MeV circa)

Flusso al bersaglio:  $1,88 \times 10^5 \text{ n/cm}^2\text{s}$



Circa 22 h per raggiungere  $1,5 \times 10^{10} \text{ n/cm}^2$

**Costi:** irraggiamenti gratuiti per INFN

Facility SIRAD:

- NON utilizzabile per irraggiamento con ioni: energia ioni troppo bassa → **non superano package chip**
- NON utilizzabile per irraggiamento camere → **vuoto**

# CNAO

Ioni Carbonio:  $E = 1,4 - 4,8 \text{ GeV}$  (120-400 MeV/u)

Step energia: 0,02 MeV

Numero di particelle per spill:

da  $4 \times 10^6$  a  $4 \times 10^8$  ioni/spill

60 spill ogni 2-3 min

—————→  $1-2 \times 10^6 - 10^8$  ioni/s



Costi: 2500 €/h

# GIF

$^{137}\text{Cs}$ : 740 GBq (Marzo 1997), 662 keV

Misura del flusso in corso (vedi slide successiva)

# GIF ++

$^{137}\text{Cs}$ : 7-10 TBq, 662 keV

Fino a 2 Gy/h a 50 cm (fattore 10 in più rispetto a GIF)

Flussi fino a  $10^9$   $\gamma/\text{cm}^2\text{s}$  <sup>a</sup>

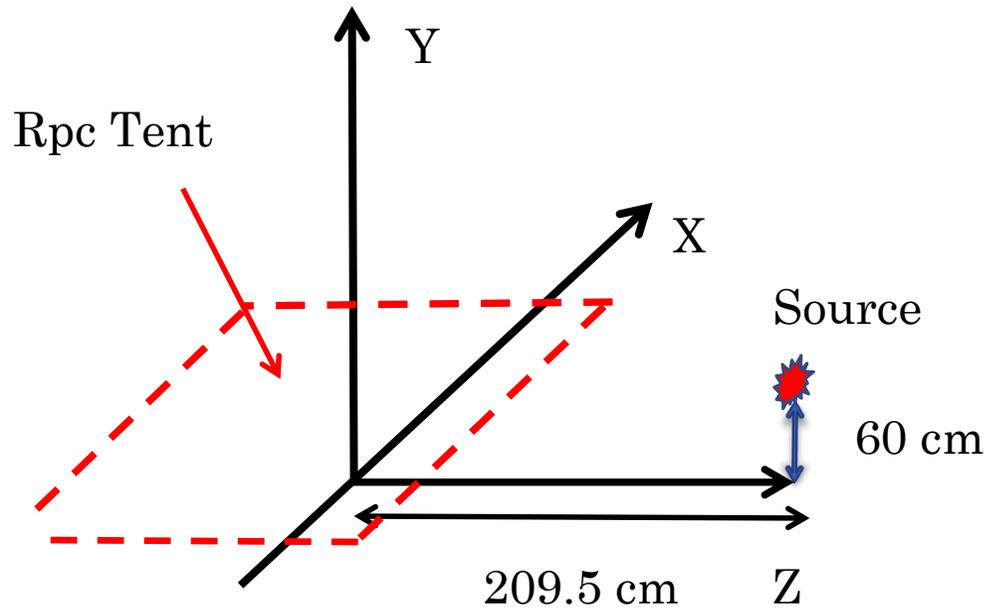
Dimensioni massime rivelatori da irraggiare: 3 x 1,4 x 0,5 m<sup>3</sup> a distanza variabile dalla sorgente<sup>b</sup>

<sup>a</sup> D. Pfeiffer , *Photon fluxes for experimental setups* , GIF++ Project Meeting, 09.12.2013

<sup>b</sup> M. Capeans et al., *Technical specifications for the new Gamma Irradiation Facility at CERN (GIF ++)*, 25.04.2009

# Test alla GIF

Camera a ionizzazione utilizzata per misurare la dose gamma nella zona di irraggiamento dei rivelatori



$$\Phi = (\dot{D}/2.1) \times 10^4 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

[ $\dot{D}$  = dose rate in  $\mu\text{Gy}/\text{min}$  ]  $\longrightarrow$  Max  $\sim 2 \times 10^5$   
 $\gamma/\text{cm}^2\text{s}$



# Stima del tempo di utilizzo

- Misure di SEE: durata del test al LENA usata come riferimento
- Misure cumulative: considerati i valori di fluensa di 1 anno LHC a  $10^{34}$  e  $10^{35}$   $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Facility	Misure attive	Misure passive	
	$1,5 \times 10^{10}$ n/cm <sup>2</sup>	1 anno LHC ( $10^{34}$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) $10^{11}$ n/cm <sup>2</sup>	1 anno LHC ( $10^{35}$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) $10^{12}$ n/cm <sup>2</sup>
LENA	40 h	<del><math>10^6</math> s = 278 h</del>	<del><math>10^7</math> s = 2778 h</del>
LNL	22 h	<del>147 h</del>	<del>1758 h</del>
ENEA Frascati (14 MeV)	30 min	2,8 h	28 h
Uppsala	14 h	93 h	<del>926 h</del>
GIF		$10^6$ s = 278 h	<del><math>10^7</math> s = 2778 h</del>
GIF ++		100 s	16 min

# Problemi riscontrati:

- **Misura energie neutroni**

- Reattore: si può ricostruire spettro con metodo attivazione neutronica:  $^{197}\text{Au}$  (termici ed epitermici),  $^{58}\text{Ni}$  ( $E > 3,45$  MeV),  $^{27}\text{Al}$  ( $E > 5,3$  MeV), ...
- Si ricava una sezione d'urto pesata sul flusso:

$$\sigma = \frac{\int \sigma(E)\phi(E)dE}{\int \phi(E)dE}$$

- **Misura con gli ioni**

- Chip con packaging plastico  $\rightarrow$  ioni con energie dell'ordine di qualche 100 MeV non lo superano
- Decapsulamento presso ditte specializzate costa 500/1000 € al pezzo

# Backup

# Energie ioni SIRAD e UCL

## SIRAD

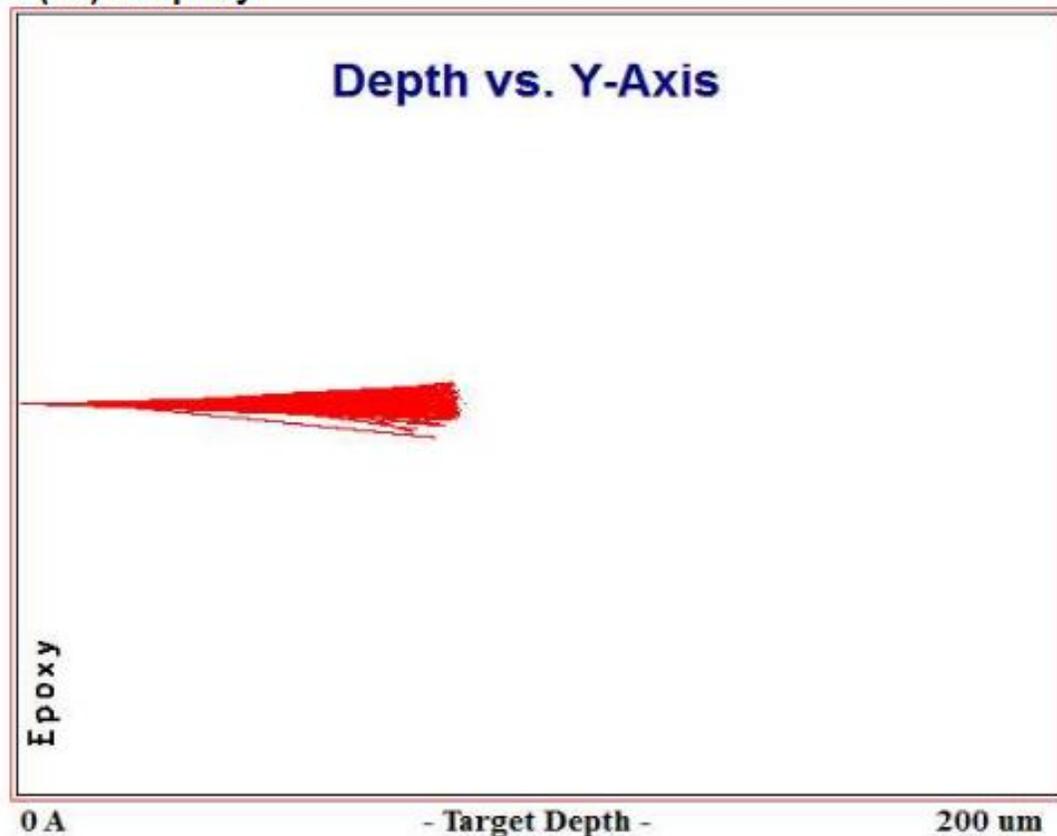
Ione	Energia (MeV)
$^{16}\text{O}$	98,15
$^{28}\text{Si}$	126,15
$^{58}\text{Ni}$	168,15
$^{107}\text{Ag}$	182,15
$^{19}\text{F}$	98,15
$^{35}\text{Cl}$	140,15
$^{81}\text{Br}$	168,15
$^{127}\text{I}$	18,15

## UCL

Ione	Energia (MeV)
$^{40}\text{Ar}$	151
$^{20}\text{Ne}$	78
$^{15}\text{N}$	60
$^{13}\text{C}$	131
$^{22}\text{Ne}$	235
$^{40}\text{Ar}$	372
$^{58}\text{Ni}$	576
$^{83}\text{Kr}$	756

Range nel rivestimento (1-1,3 mm spessore) ~ 100  $\mu\text{m}$

## O(16) in epoxy



## 9999 Ions Calculated

Ion Type = O  
 Ion Energy = 98,1 MeV  
 Ion Angle = 0

SRIM-2008.04  
 gennaio 16, 2014  
 www.SRIM.org

### Calculation Parameters:

Backscattered Ions 0  
 Transmitted Ions 0  
 Vacancies/Ion 1632,9

**ION STATS**

	Range	Straggle
Longitudinal	84.5 um	3770 A
Lateral Proj.	4580 A	6404 A
Radial	7149 A	5427 A

### Type of Damage Calculation

Quick: Kinchin-Pease

### Stopping Power Version

SRIM-2008

% ENERGY	LOSS Ions	Recoils
Ionization	99,81	0,09
Vacancies	0,00	0,00
Phonons	0,01	0,08

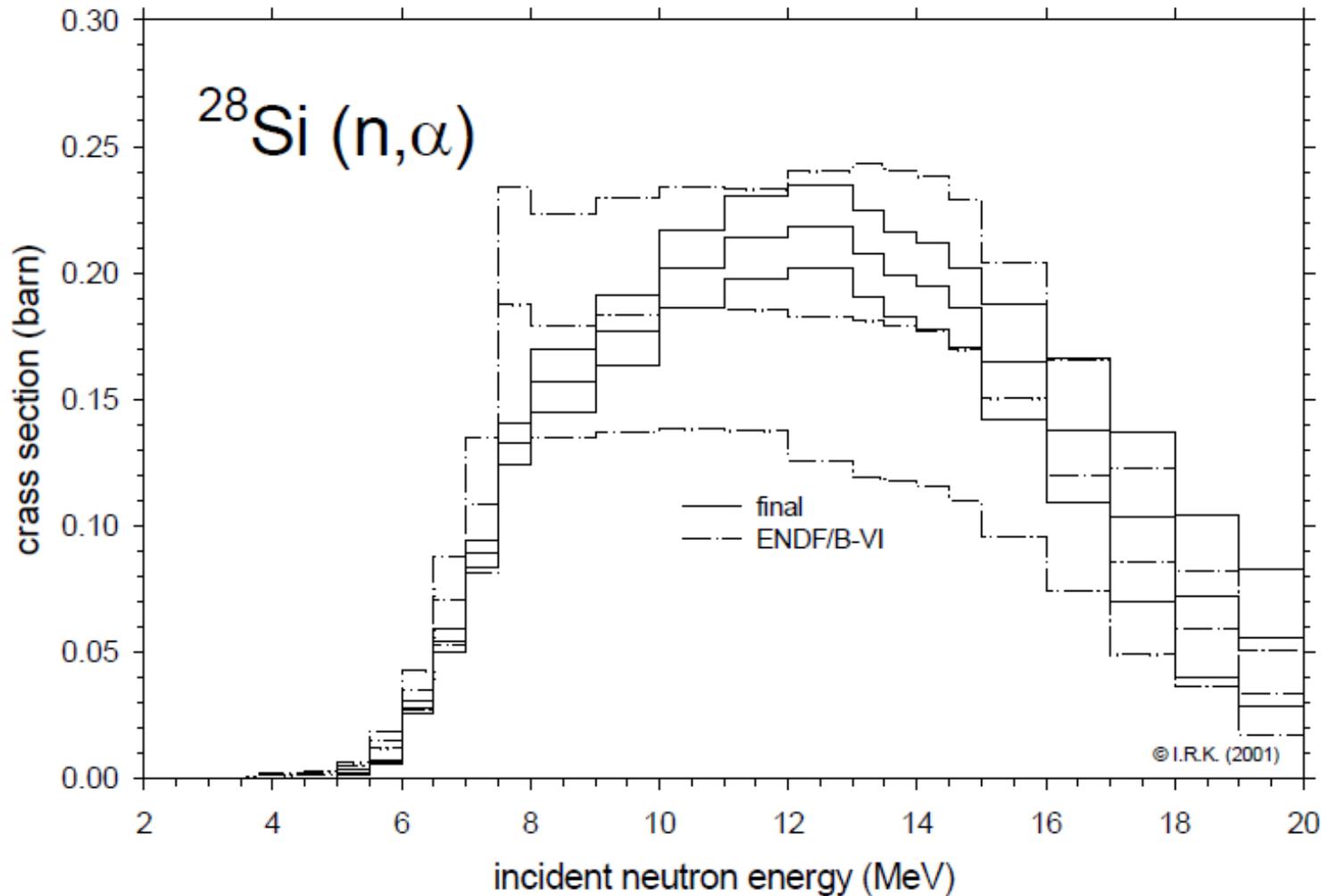
### SPUTTERING YIELD

	Atoms/Ion	eV/Atom
TOTAL		
H	0,000000	0,00
C	0,000000	0,00
O	0,000000	0,00

## Target layers:

Layer Name	Width (A)	Density	H (1,008)	C (12,011)	O (15,999)	Solid/Gas	Stop Corr.
1 Epoxy	199,5231628	1,850	0,47500	0,45000	0,07500	Solid	0,9639168
Lattice Binding Energy			3	3	3		
Surface Binding Energy			2	7,41	2		
Displacement Energy			10	28	28		

# Sezione d'urto $^{28}\text{Si}(n,\alpha)$ vs $E_n$



Diversa da 0 per  
 $E_n > 4 \text{ MeV}$

# Test su elettronica

Tipo di test	Obiettivo	Tipo di misura	Caratteristiche	Quali particelle
Single Event Effects	Misura sezione d'urto	Attiva: scheda alimentata, lettura output	Non serve accumulare tanta fluenza	Neutroni: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fast: <math>E &gt; 3-4</math> MeV</li> <li>• Termici: interazione con boro</li> </ul> Ioni(?)
Effetti cumulativi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accumulo dose</li> <li>• Displacement</li> </ul>	Misura limiti tolleranza scheda	Passiva: confronto parametri scheda prima e dopo irraggiamento	Fondamentale fluenza accumulata	Gamma Neutroni