

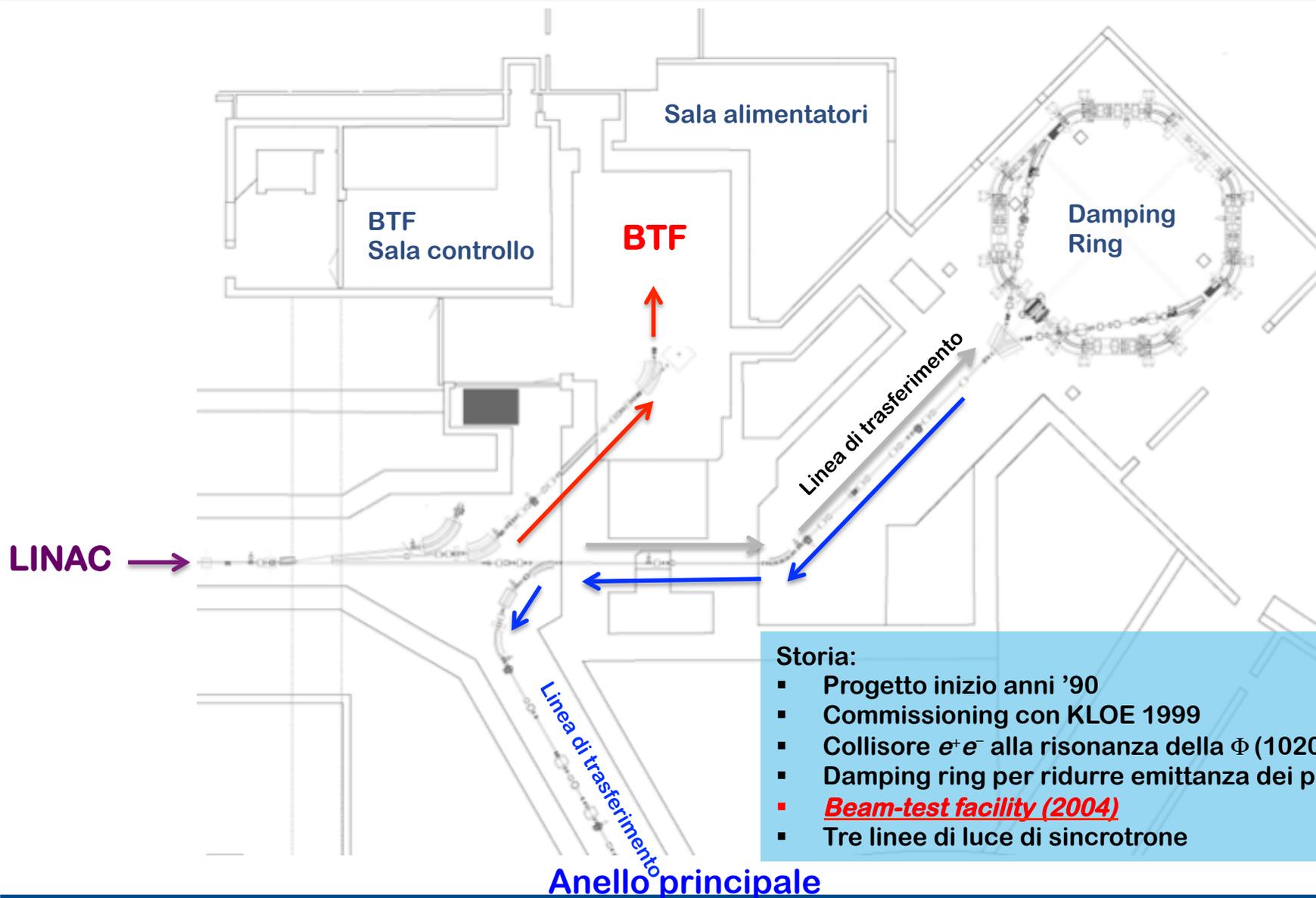
# La Beam Test Facility (BTF) del LINAC di Frascati: prestazioni attuali e sviluppi futuri

Bruno Buonomo<sup>1</sup>, Luca Foggetta<sup>1</sup>, Claudio Di Giulio<sup>1</sup>, Paolo Valente<sup>2</sup>



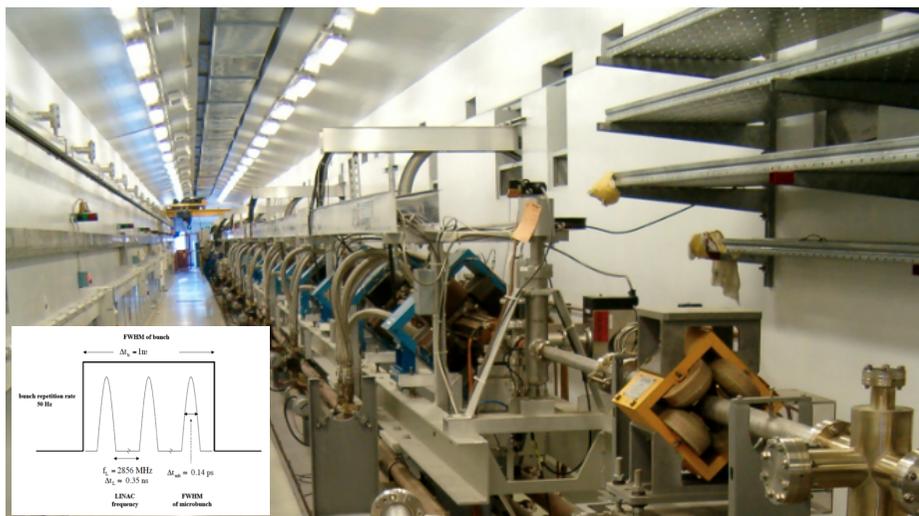
*1 INFN Laboratori Nazionali di Frascati  
2 INFN Sezione di Roma*

- Test con fasci di particelle e infrastrutture per l'irraggiamento sono gli elementi chiave per la ricerca in fisica delle alte energie e delle astro-particelle.
- Dal 2004 la (BTF) fa parte del complesso dell'acceleratore DAΦNE, nei Laboratori Nazionali di Frascati (INFN) ed ha guadagnato un ruolo importante nelle infrastrutture europee dedicate allo sviluppo e alla sperimentazione di rivelatori di particelle.
- Un programma di aggiornamento della BTF è stato presentato all'INFN Machine Advisory Committee.



**Storia:**

- Progetto inizio anni '90
- Commissioning con KLOE 1999
- Collisore  $e^+e^-$  alla risonanza della  $\Phi$  ( $1020 \text{ MeV}/c^2$ )
- Damping ring per ridurre emittanza dei positroni
- ***Beam-test facility (2004)***
- Tre linee di luce di sincrotrone



## TITAN Beta (Ca,USA) 1995

- ACceleratore LINEare lungo ~60 m in banda S.
- E' composto di un gun termoionico, quattro klystrons da 45 MW con l'amplificazione fornita dagli SLED e da 15 guide d'onda di tipo  $2/3\pi$  tipo SLAC con sezioni acceleranti lunghe 3m.
- Nel 2012 inizio aggiornamento componenti (modulatori, controllo etc etc).

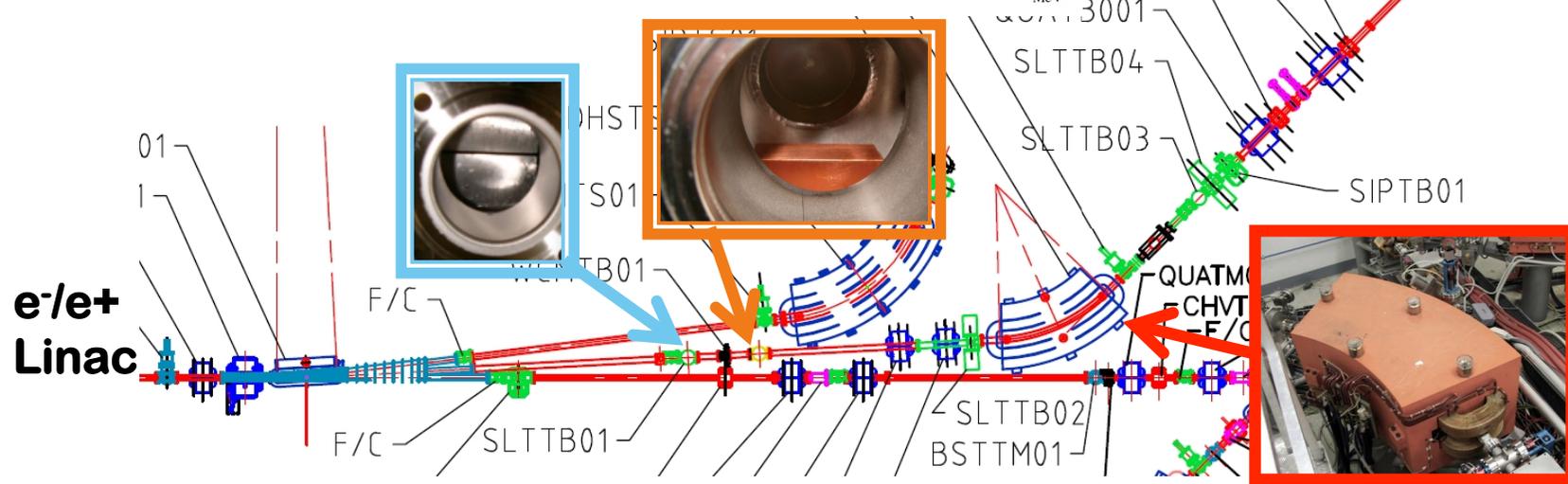
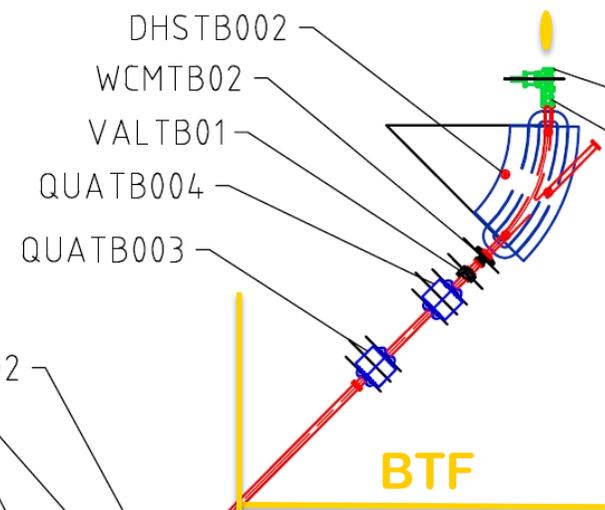
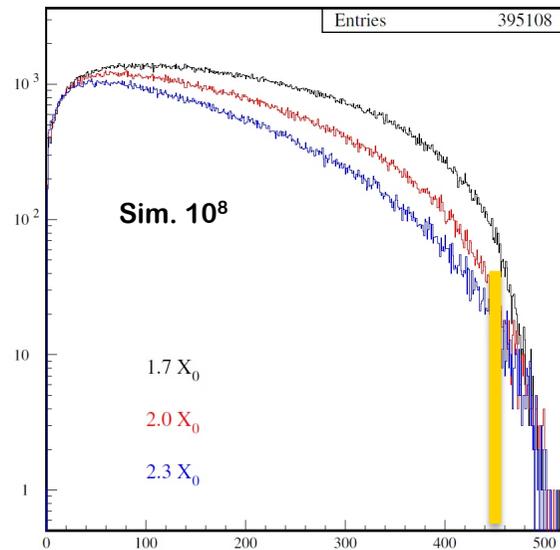
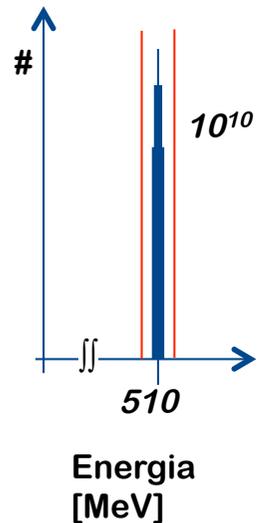
	Progetto	Prestazioni
Energia Finale fascio e-	800 MeV	510 MeV
Energia Finale fascio e+	550 MeV	510 MeV
Radio Frequenza	2856 MHz	
Energia Conversione e+	250 MeV	220 MeV
Freq. ripetizione impulso	1 to 50 Hz	1 to 50 Hz
Lunghezza impulso	10 ns	1.4 to 40 ns
Corrente del gun	8 A	8 A
Dimensioni del fascio sul convertitore e+	1 mm	1 mm
Emittanza Normalizzata (mm mrad)	1 (e-) 10 (e+)	< 1.5
RMS Energia	0.5% (e-) 1.0% (e+)	0.5% (e-) 1.0% (e+)
Corrente elettronica sul convertitore e+	5 A	5.2 A
Massima corrente per e-	>150 mA	500 mA
Massima corrente per e+	36 mA	85 mA
Efficienza di trasporto dalla conversione alla fine del LINAC	90%	90%
Strutture acceleranti	SLAC-type, CG, $2\pi/3$	
Sorgenti and amplificazione Radio Frequenza	4 x 45 MWp SLED-ed klystrons TH2128C	

- Gli **elettroni** e **positroni** accelerati dal LINAC possono essere estratti, attenuati, selezionati in energia focalizzati e collimati.
- È possibile avere delle misure in tempo reale di parametri del fascio (tipo di particelle, energia, intensità dimensioni e posizione).
- Agli utenti sono forniti una serie di servizi: alimentazioni, rete, gas, sistemi di acquisizione dati, servizi di vuoto e criogenia allineamento e campi magnetici.
- In generale la BTF lavora in modo “parassita” rispetto al collisore DAFNE.

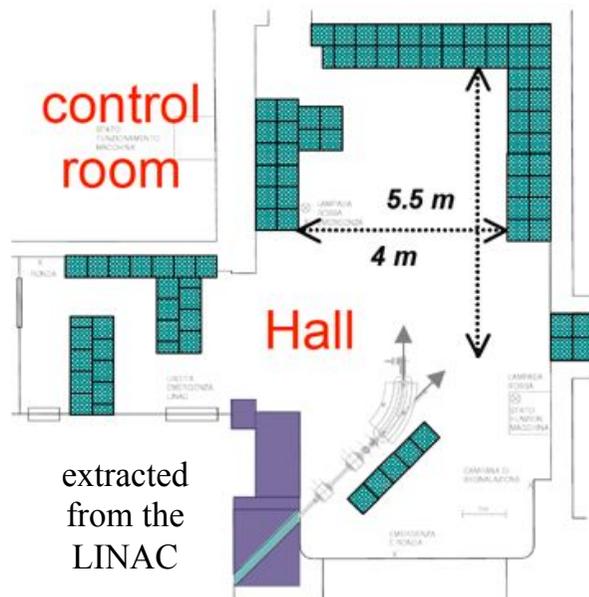
Parametri	Modalità parassita		Modalità dedicata	
	Con bersaglio	Senza bersaglio	Con bersaglio	Senza Bersaglio
<b>Tipo di particelle</b>	e <sup>+</sup> or e <sup>-</sup> Selezionabile dall'utente	e <sup>+</sup> or e <sup>-</sup> Dipende dallo stato di DAFNE	e <sup>+</sup> or e <sup>-</sup> Selezionabile dall'utente	
<b>Energia (MeV)</b>	25–500	510	25–700 (e <sup>-</sup> /e <sup>+</sup> )	250–730 (e <sup>-</sup> ) 250–530 (e <sup>+</sup> )
<b>Risoluzione En.</b>	1% at 500 MeV	0.5%	0.5%	
<b>Freq. di ripet. (Hz)</b>	Variable tra 10 e 49 Dipende dallo stato di DAFNE		1–49 Selezionabile dall'utente	
<b>Durata impulso (ns)</b>	10		1.5–40 Selezionabile dall'utente	
<b>Intensità (partic./pacchetto)</b>	1–10 <sup>5</sup> Dipende dall'energia	10 <sup>7</sup> –1.5 10 <sup>10</sup>	1–10 <sup>5</sup> Dipende dall'energia	10 <sup>3</sup> –3 10 <sup>10</sup>
<b>Massimo # partic.</b>	3.125 10 <sup>10</sup> particelle/s			
<b>Dim. del fascio(mm)</b>	0.5–25 (y) × 0.6–55 (x)			
<b>Divergenza (mrad)</b>	1–1.5			

# Come funziona la BTF:

Il fascio può essere intercettato da un bersaglio di  $\approx 2x_0$ , collimato e selezionato in impulso



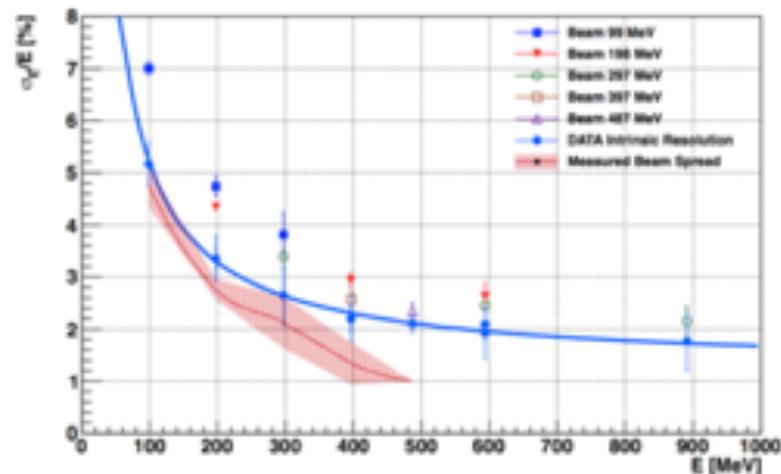
- Elettroni o positroni:
  - Fino in singola
  - Alta intensità
- Fotoni “Taggati”
- Neutroni



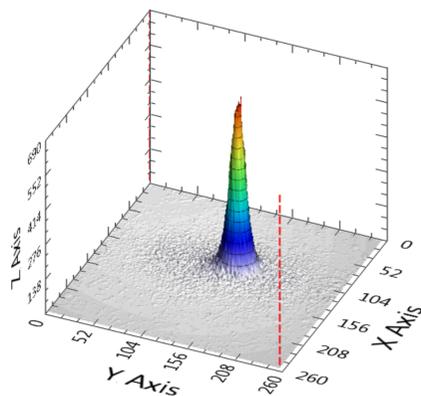
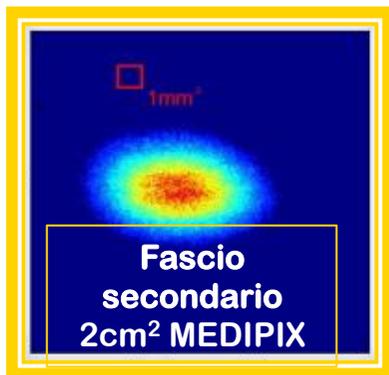
## Singola particella

- Il primario è attenuato dal **bersaglio di rame**.
- Energie da 800 a 50 MeV
- La molteplicità segue la distribuzione di Poisson e si può impostare il valore medio della molteplicità.
- Positroni ed elettroni sono selezionabili indipendentemente dal tipo di primario del LINAC.

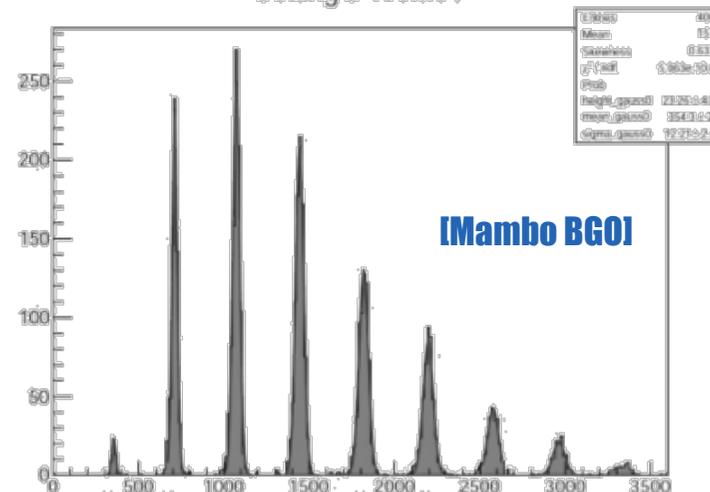
Energy spread misurato (Calorimetro LYSO)



Best beam  
(07/03/2016):  
440x420  $\mu\text{m}^2$



Setting@400MeV



- Il primario viene trasportato fino alla sala sperimentale.
- Grazie alle nuove schermature (Sett. 2015) il limite radio-protezione della sala BTF:

$$3.125 \times 10^{10} \text{ particelle/s}$$

- Operare in alta intensità è richiesto per la caratterizzazione di alcuni processi degli sciami in atmosfera come gli esperimenti AirFLY (fluorescenza) ed AMY (Microonde)

$$\text{BTF} \quad 10^{10} \frac{e^-}{\text{bunch}} \times 510 \text{ MeV} \approx 5 \times 10^{18} \text{ eV}$$

- Si opera ad alta intensità anche nella produzione di neutroni.



- I run ad alta intensità vengono sempre concordati con il servizio di radioprotezione ed il servizio di prevenzione protezione.

- Il primario viene trasportato fino alla sala sperimentale.
- Viene fatto collidere con un bersaglio di Tungsteno.
- Gli elettroni di alta energia producono uno spettro continuo di fotoni per bremsstrahlung. Questi possono generare neutroni attraverso reazioni foto-nucleari se la loro energia è almeno uguale all'energia di legame dei neutroni nel bersaglio.
- Il numero di neutroni dipende dalla potenza rilasciata nel bersaglio:

$$P = \text{rate} \times \text{energia} = [N \times f] \times E$$

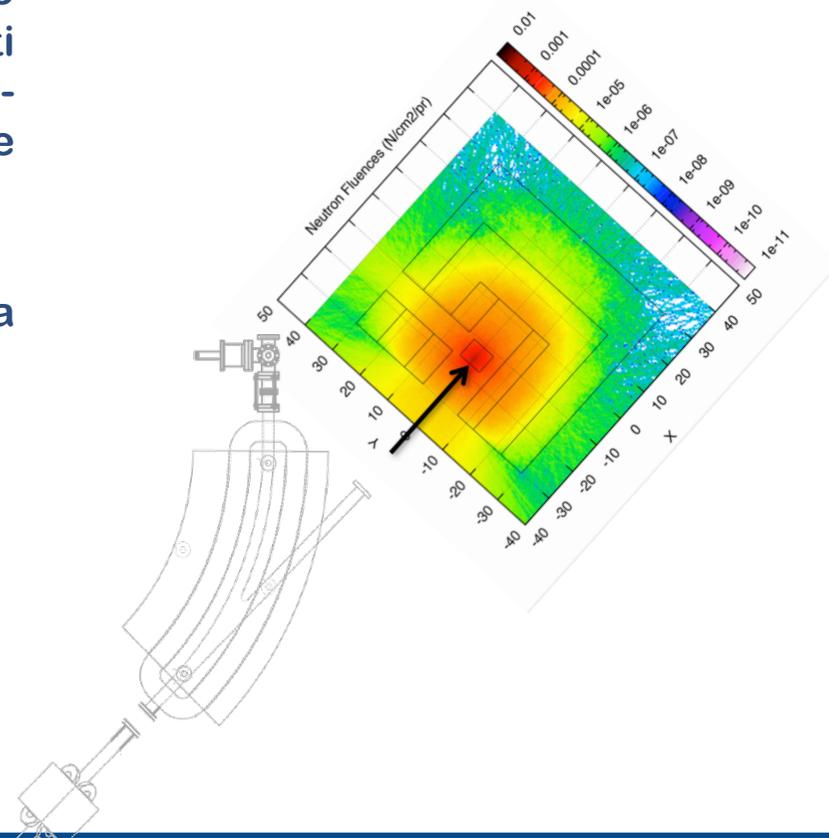
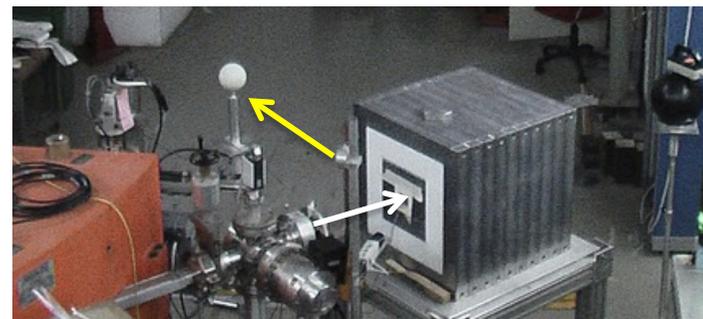
N = numero di particelle per bunch ( $1 \times 10^{10}$ )

f = frequenza (1-49 Hz)

E = Energia dle fascio (510-800 MeV)

Potenza massima: 40 W a 510 MeV

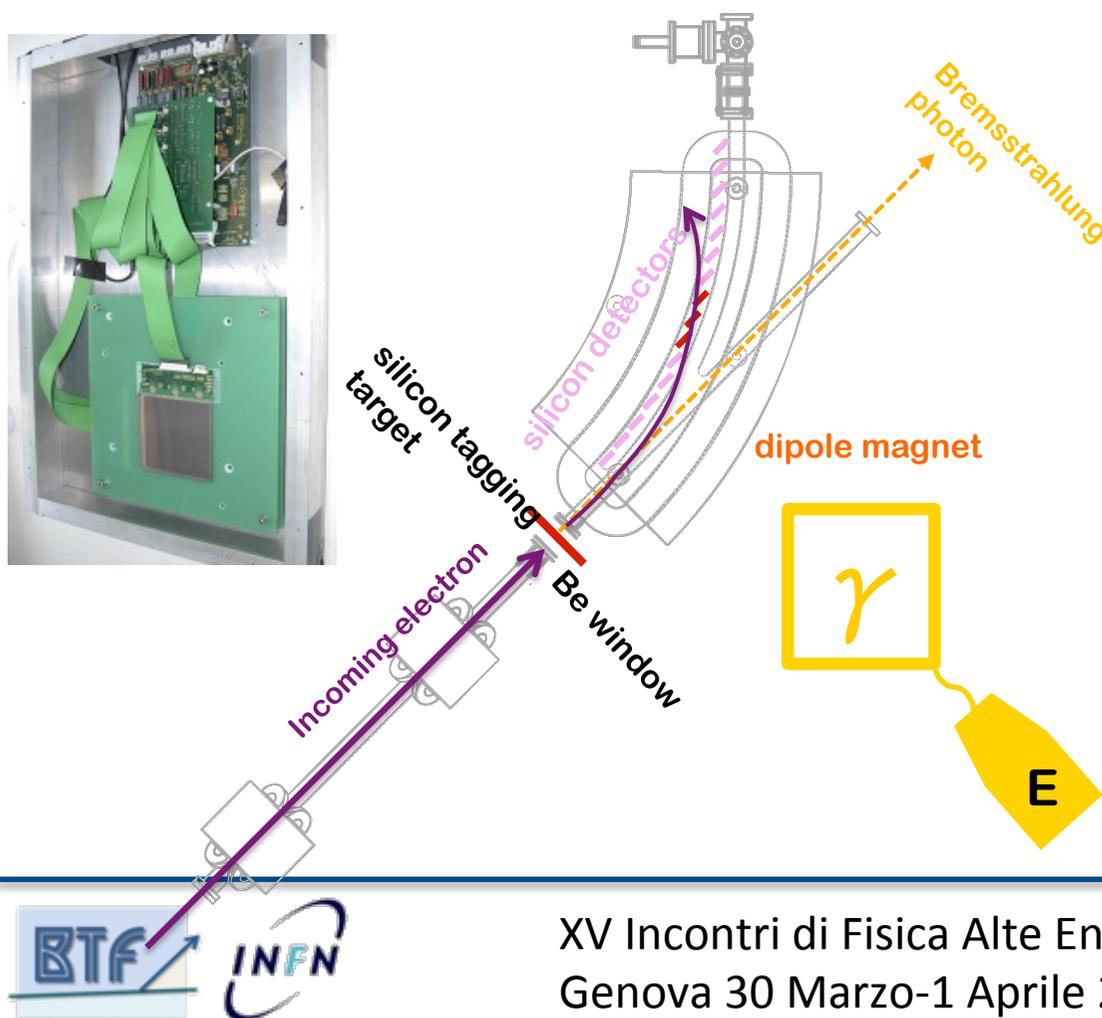
Swanson ->  $10^{11}$  n per W ->  $8.8 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>/s



# Fotoni “taggati” in BTF



Progettato e costruito in collaborazione con il team del satellite AGILE il cui scopo era la calibrazione del payload tracciatore + calorimetro.



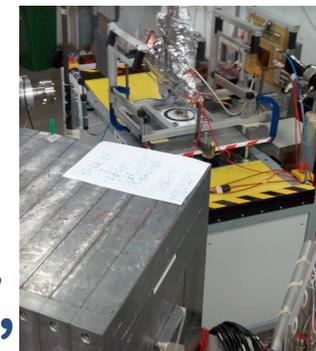
- I **fotoni** sono “taggati” in energia utilizzando il **dipolo** le cui pareti interne sono ricoperte da 10 moduli **Si micro-strip**.
- A seconda della perdita di energia nella produzione di fotoni, gli **elettroni** urtano una striscia diversa una volta impostato il valore di corrente di dipolo.
- La correlazione tra la posizione dell’elettrone sulla camera di silicio e la posizione di impatto all’interno delle strip nel magnete permettono la “taggatura” dei fotoni.

- Diagnostica:

- ICT
- Medipix/Fitpix
- Hodoscope
- Silicon Tracker
- Photon tag
- Neutron detectors
- Flags
- Cams
- GEM
- Calorimeters

- Servizi:

- 4 linee di gas
- Acqua, aria compressa, HV, network.
- Tavolo controllabile da remoto (step fino a  $100 \mu\text{m}$ , portata fino a 200 Kg)
- LNF officina e servizi
- Supporto operatori DAFNE
- Supporto Tecnici DAFNE



## Efficienza

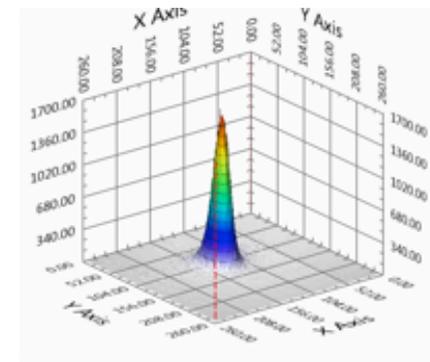
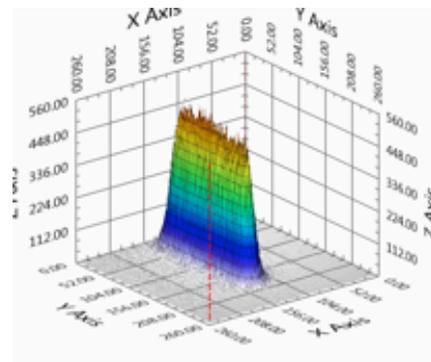
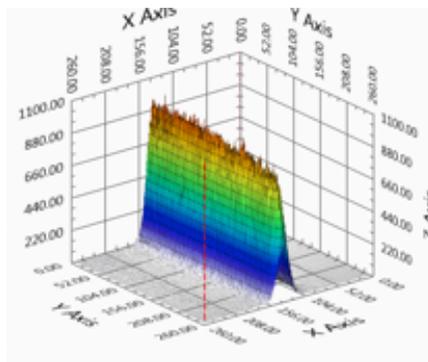
- Al netto del down-time del linac e del tempo morto dovuto allo switch del linac tra modalità elettroni e modalità positroni, l'efficienza complessiva è  $>90\%$
- Naturalmente durante le iniezioni, il numero di bunch disponibili scende da 49 al secondo a 49 – n dove n è il numero di bunch ineiettati

## Flessibilità

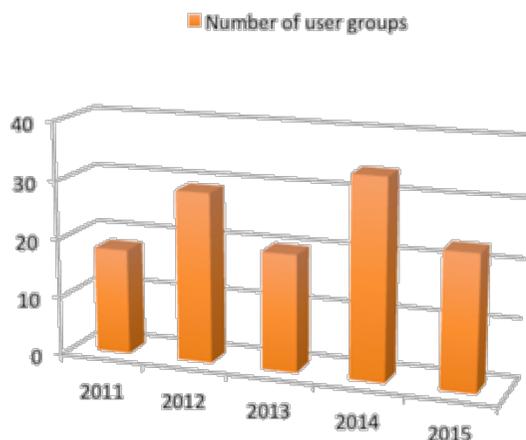
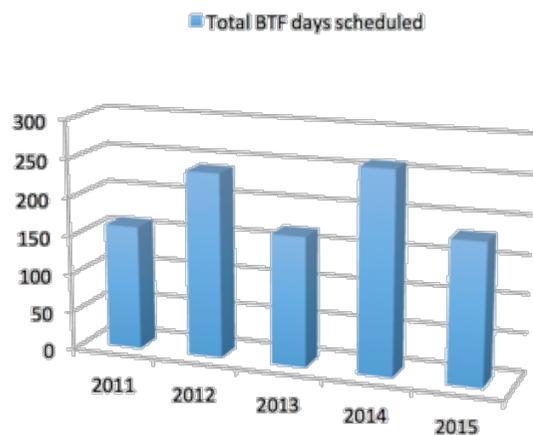
- I parametri fondamentali del fascio sono modificabili in range piuttosto ampi, ma soprattutto in modo veloce e riproducibile
- Lo spot è molto riproducibile e il fuoco può essere facilmente modificato

## Diagnostica user-friendly

- In questi anni la diagnostica del fascio è stata continuamente migliorata, sia dal punto di vista delle prestazioni, sia da quello della facilità d'uso
- In particolare i rivelatori di tipo MediPix/FitPix permettono di aggiustare lo spot del fascio in tempo reale e garantiscono una misura molto accurata delle dimensioni e posizione del fascio



- In parassitaggio a DAFNE il duty cycle è limitato dallo switch tra elettroni e positroni, ma soprattutto l'intensità del fascio primario sul target BTF varia quasi di un ordine di grandezza con e senza positron converter, conseguentemente l'intensità è molto diversa
- In parassitaggio:
  - L'energia massima è limitata a 500 MeV (in "singola particella") e la durata del bunch a 10 ns
- In modalità dedicata:
  - L'energia massima è limitata a 750/550 MeV (elettroni/positroni) e la durata del bunch a 1-40 ns
- Operando con il target in BTF è possibile andare oltre  $10^3$  particelle/bunch solo abbassando l'energia selezionata, e comunque nel range intermedio lo spread in impulso peggiora da pochi per mille a oltre il per cento
- La diagnostica dell'intensità del fascio non è ottimale nel range  $>10^2$  particelle/bunch
- La divergenza angolare del fascio è dell'ordine di 1 mrad, ed è dominata dal multiplo scattering sulla finestra di uscita (500  $\mu\text{m}$  di Berillio)
- La diagnostica MediPix/FitPix è di tipo imaging e non un vero e proprio sistema tracciante



■ **90% per test e calibrazione di rivelatori**

- Calorimetri:
  - a cristalli omogenei e non, a sampling, Cerenkov.
- Rivelatori a gas:
  - (GEM/Micromegas, Drift chamber/tubes, RPC)
- Rivelatori al diamante/silicio:
  - (Microstrip, Pixel)
- Rivelatori a fluorescenza o scintillati
- Rivelatori Cerenkov :
  - (RICH, Threshold)
- Emulsioni Nucleari

■ **10% per esperimenti**

2 calls/anno -> Overbooking 120/150%

Come chiedere un test beam in BTF?

<http://www.inf.infn.it/acceleratori/btf/request.html>



DAΦNE TECHNICAL NOTE  
INFN - LNF, Accelerator Division

1991

Frascati, Oct. 29, 1991  
Note: LC-2

### DAΦNE-LINAC TEST BEAM

F. Sannibale and G. Vignola

In this note the possibility to include a test beam facility, in the DAΦNE accelerator complex, is discussed.

Between two injections, the DAΦNE-LINAC can deliver the electron beam into an existing hall (see Fig. 1). This area, previously used as "Pion Test Facility", has an extension of about 100 m<sup>2</sup>, it is surrounded by concrete walls, it has 20 ton crane capability and an independent entrance.

The e<sup>+</sup> e<sup>-</sup> DAΦNE-LINAC main features are:

Max Energy	800 MeV
Conversion Energy	250 MeV
Repetition rate	50 Hz
Pulse duration	10 ns
Max curr./pulse	150 mA ( 10 <sup>10</sup> particles)

The main tasks, in order to put the test beam in operation, are :

- Transferline and diagnostic
- Civil Engineering (Hole through the concrete wall)
- Safety system upgrading.

The maximum intensity that can be used, without reinforcing the existing shielding, is under evaluation.

In the following, we describe the transport optics and, in some more details, the "single electron mode of operation" which, in our opinion, is the most interesting one for calibration purposes.



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

Laboratori Nazionali di Frascati

2016

INFN-16-04/LNF  
11<sup>th</sup> March 2016

## Linear Accelerator Test Facility at LNF Conceptual Design Report

<sup>1</sup>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Roma

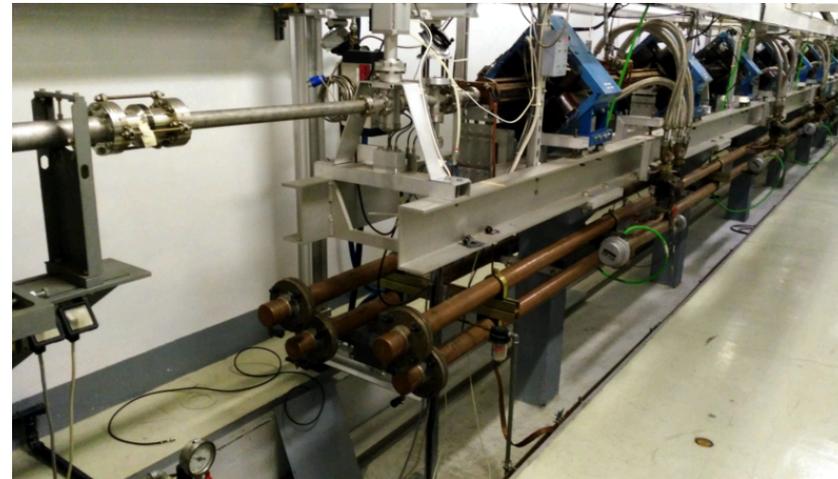
<sup>2</sup>INFN-Laboratori Nazionali di Frascati Via E. Fermi 40, Frascati, Italy

Publicato da SIDS-Pubblicazioni  
Laboratori Nazionali di Frascati

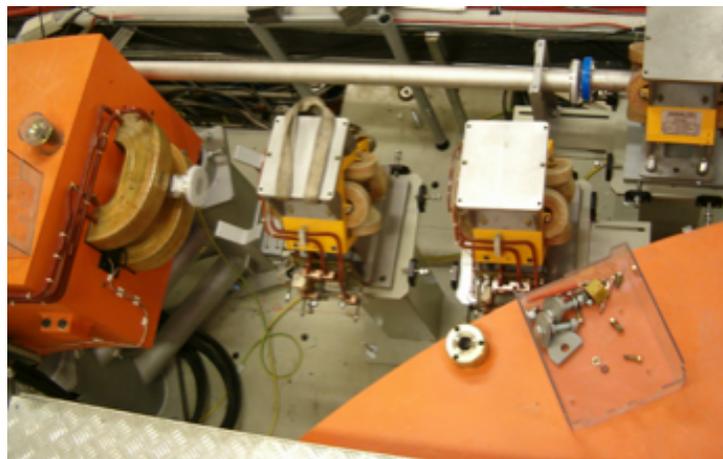
**WP1: Consolidamento modulatori del linac**



**WP2: Aumento dell'energia del LINAC 1 GeV**



**WP3: raddoppio delle linee in BTF**





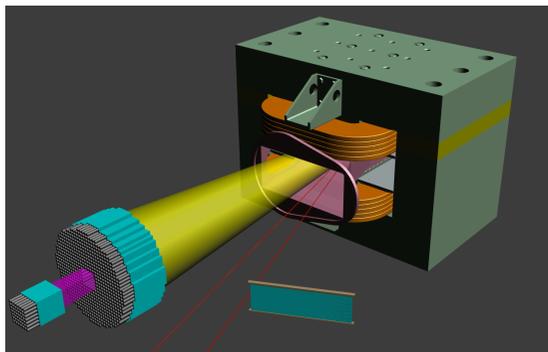
L'obiettivo è continuare il consolidamento delle componenti del LINAC che è in corso, in particolare modulatori e stazioni RF.

In dettaglio

- Sostituzione dei circuiti di carica dei modulatori con la sostituzione degli alimentatori (HV) con quelli di nuova generazione.
- Sostituzione alimentatori del core bias e del filamento
- Sostituzione dei sistemi di interlock analogici con quelli basati su FPGA attualmente basati su CAMAC-bus.
- Aggiornamento del sistema di controllo del LINAC
- Miglioramento della diagnostica, in particolare acquisizione digitale dei Beam Position Monitoring (BPM).
- Revisione e consolidamento del circuito di raffreddamento.

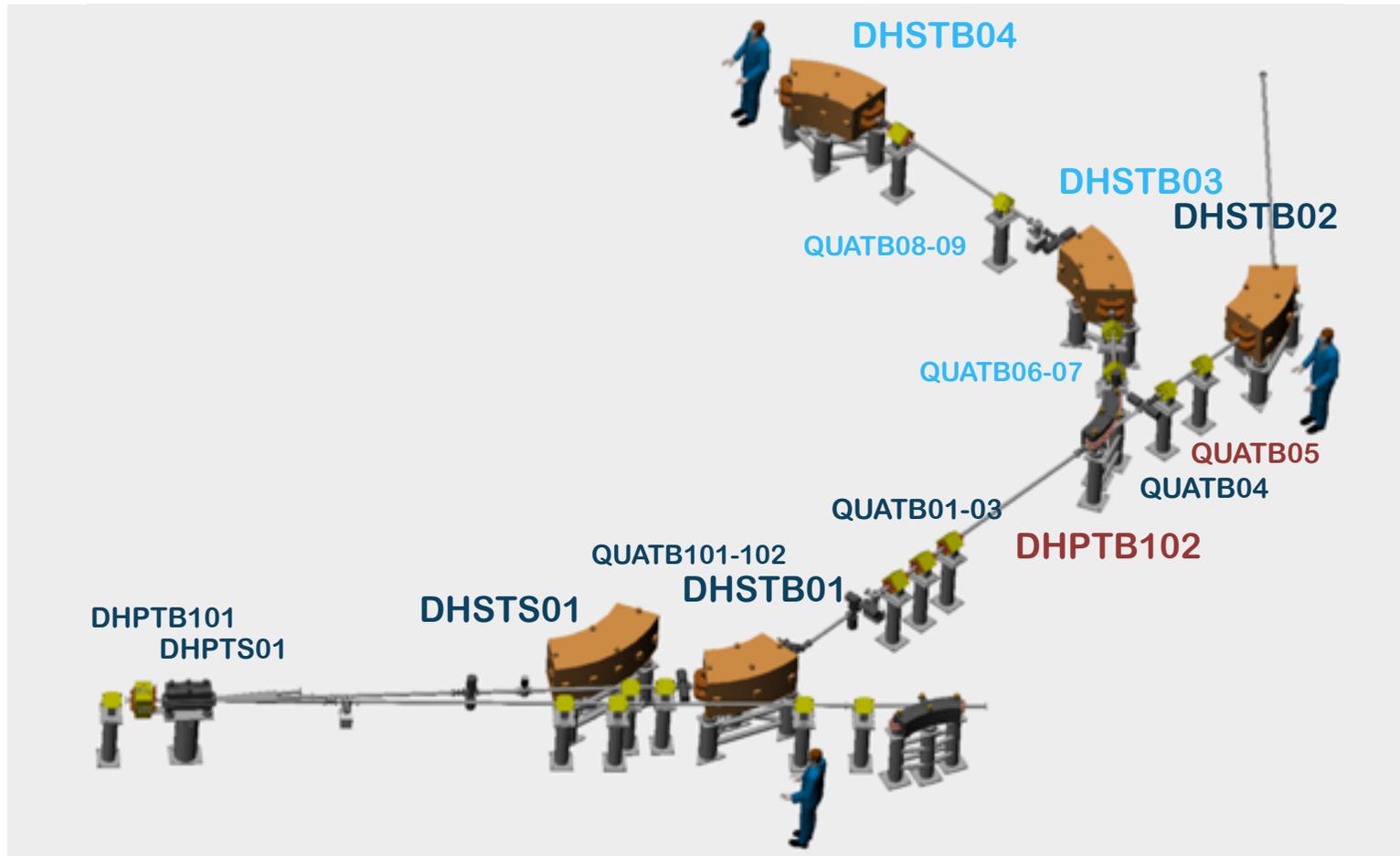


- La ricerca di “massa mancante” limita cinematicamente l’energia del fascio:  $m_{A'}^2 < 2m_e E_{beam}$
- Positroni da 1 GeV possono estendere la ricerca del dark photon fino ad un range di energia di  $32 \text{ MeV}/c^2$
- Un fascio di energia piú elevata migliora inoltre il rapporto segnale rumore a bassa energia e riduce il contributo del multiplo scattering.
- Inoltre permette di avere una minore divergenza e una migliore definizione dello spot.



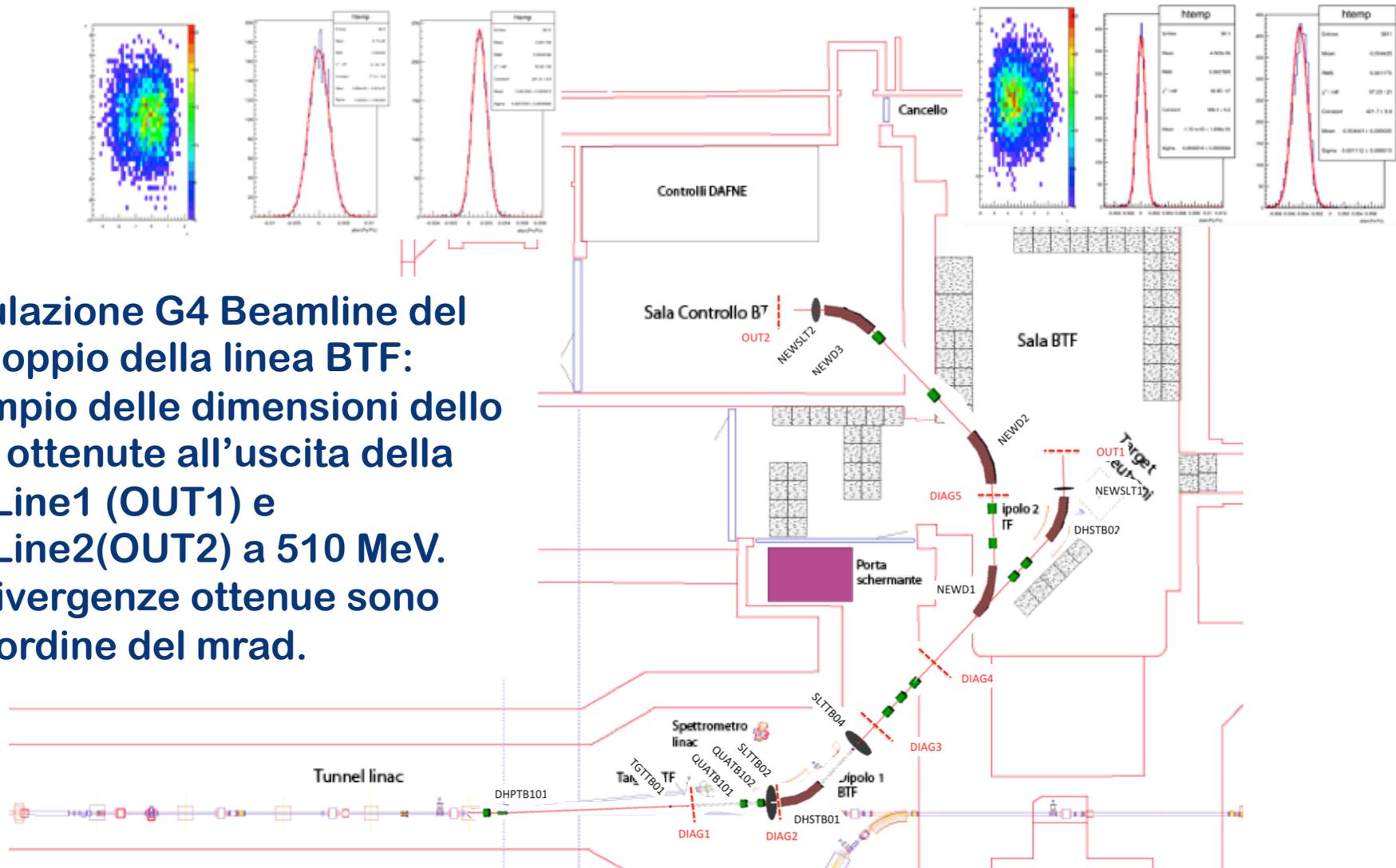
Con la configurazione attuale della BTF con l’esperimento PADME non sarebbe possibile effettuare test su altri rivelatori a partire dal 2018 →

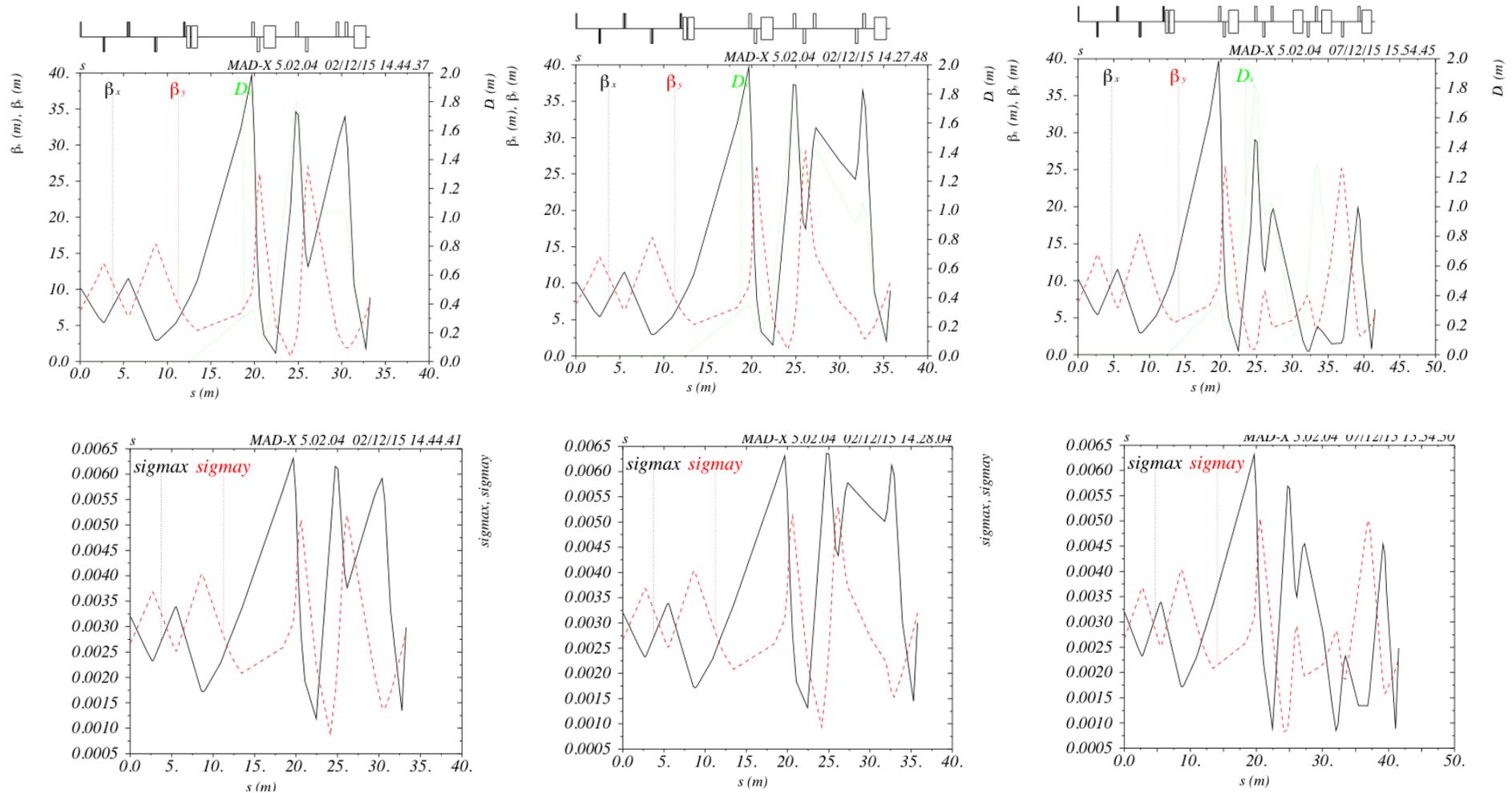
# Raddoppio della BTF



**Grazie al supporto della Divisione Acceleratori dei LNF.**

Simulazione G4 Beamline del raddoppio della linea BTF: Esempio delle dimensioni dello spot ottenute all'uscita della BTFLine1 (OUT1) e BTFLine2(OUT2) a 510 MeV. Le divergenze ottenute sono dell'ordine del mrad.





**BTF Stato attuale**

**BTF Linea 1**

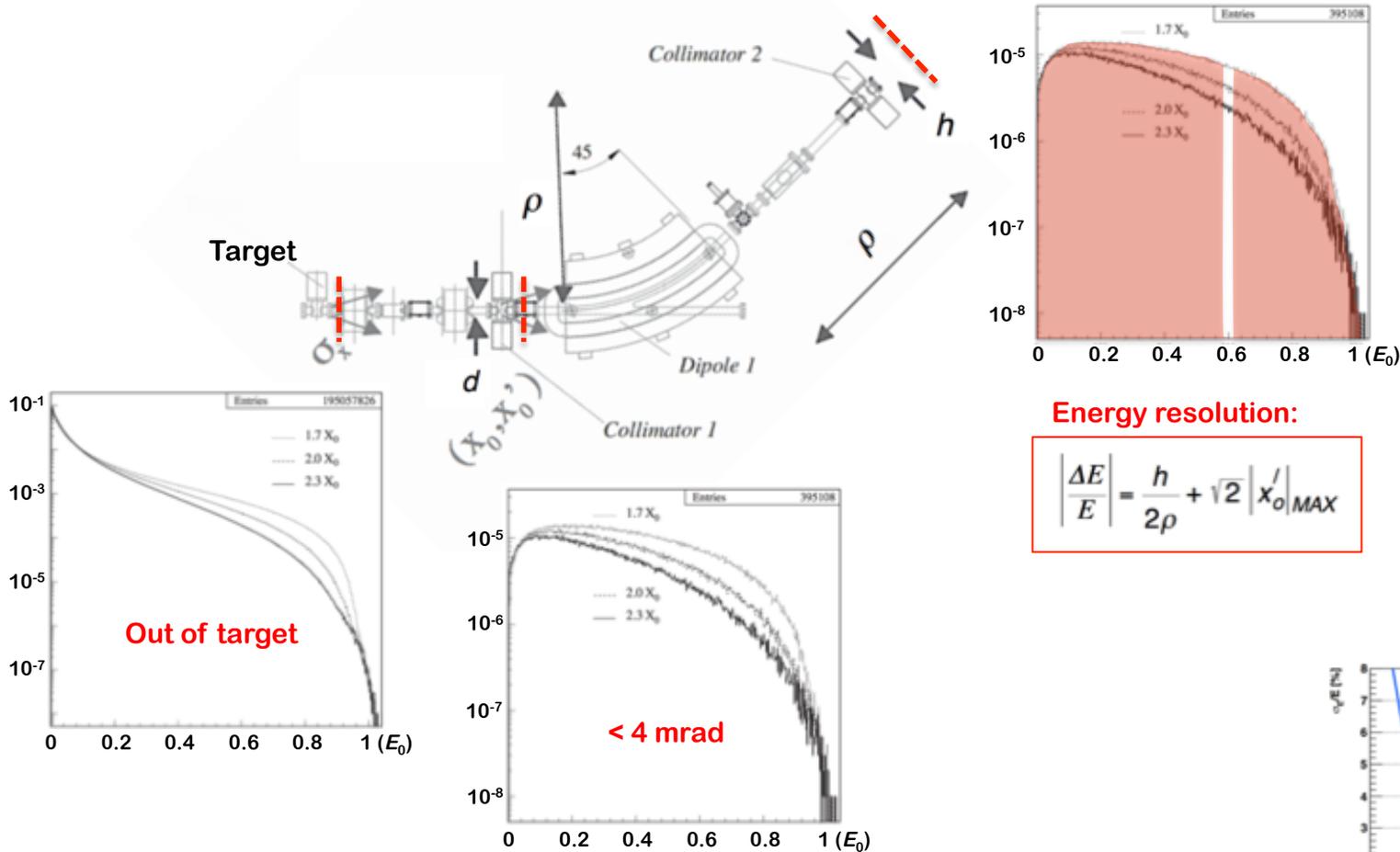
**BTF Linea 2**

## MADX Simulazione a 510 MeV

- La BTF con le sue caratteristiche continuerà a ricoprire un ruolo di rilievo per i test e la calibrazione dei futuri rivelatori di particelle.
- Gli sviluppi futuri previsti per la BTF permetteranno di rispondere alle esigenze degli utenti dei prossimi anni.



Il fascio viene intercettato da un bersaglio di  $\approx 2x_0$ , collimato e rifelezionato in impulso

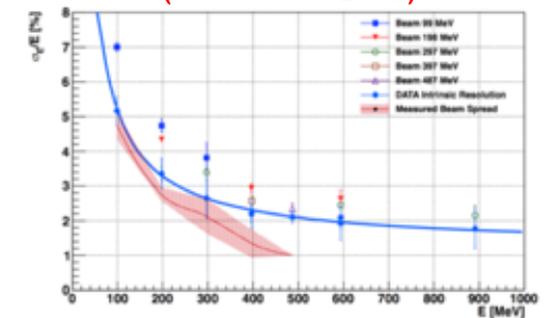


Maximum  
input  
divergence:

$$|x'_0|_{MAX} = \frac{d}{D}$$

$d \approx 0.25$  mm  
 $D = 60$  mm

Energy spread misurato  
(Calorimetro LYSO)

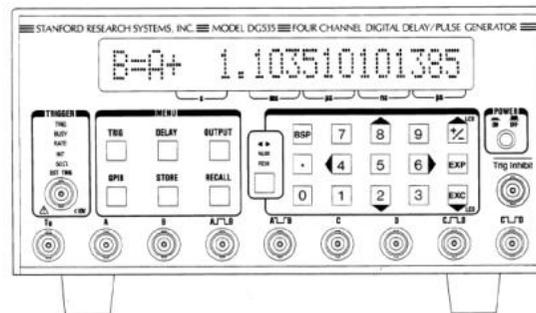


- DAFNE reference  $\emptyset_4$  for the injection systems
- Conditioned  $\emptyset_4$  -> DELAYED LINAC SYS SIGNAL moves all the LINAC stuff together to match ACCUMULATOR phase)
  - DELAYED GUN SIGNAL -> LINAC SYS REFERENCE (once optimized, not moved for months)
  - BTF REFERENCE -> USER needs DELAYED LINAC SYS

→ WE ARE WORKING in STATIC LINAC+BTF TRIGGERING SCHEME

Some Jitter contribution (see also AMY and UA9 experiences)

- LINAC SYS reference jitter (rms, 10ps, our best measure)
- LINAC GUN jitter (100ps)
- BTF STANFORD DDG535m single channel jitter (rms, 50ps + 0.01ppm of the channel delay) .



With  $1.1 \times 10^{11}$  n in the target:

- $8.8 \times 10^8$  n/cm<sup>2</sup>/s exiting from the target
- $1.87 \times 10^{10}$  γ/cm<sup>2</sup>/s exiting from the target

d (m)	$\times 10^{-7}$ n/cm <sup>2</sup> /pr
0.5	58
1	15
1.5	8

**At 1.5 m distance:**

Total neutron flux:  $8 \times 10^{-7}$  n/cm<sup>2</sup>/pr  $\pm 3\%$

Flux =  $4.5 \times 10^5$  n/cm<sup>2</sup>/s

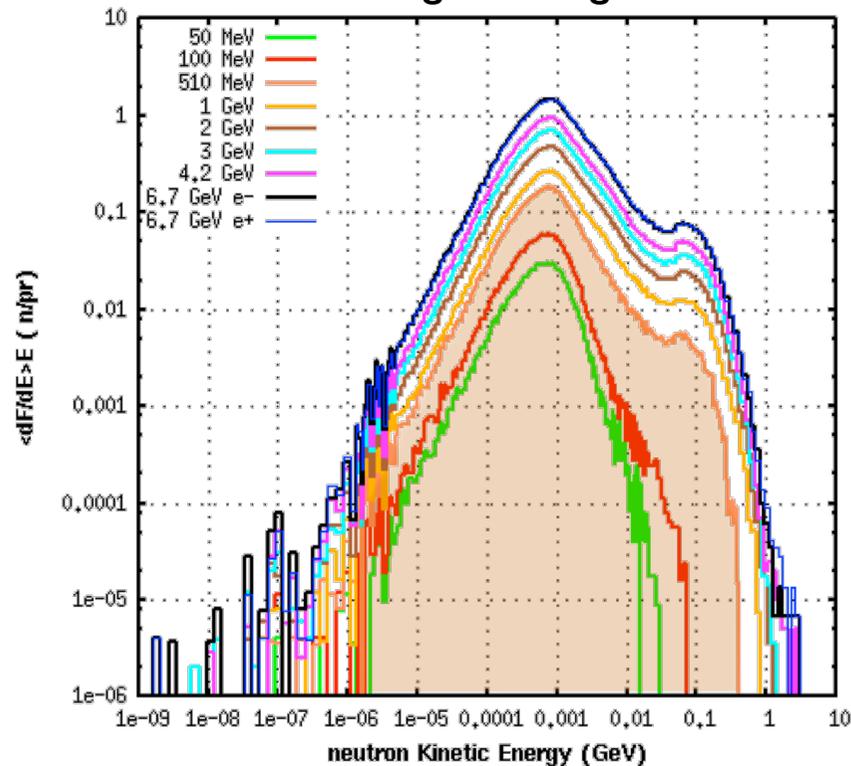
Equivalent dose = 45 mSv/h

d (m)	$\times 10^{-5}$ γ/cm <sup>2</sup> /pr
0.5	63
1	5.7
1.5	1

**At 1.5 m distance**

Total photon flux =  $1 \times 10^6$  γ/cm<sup>2</sup>/s

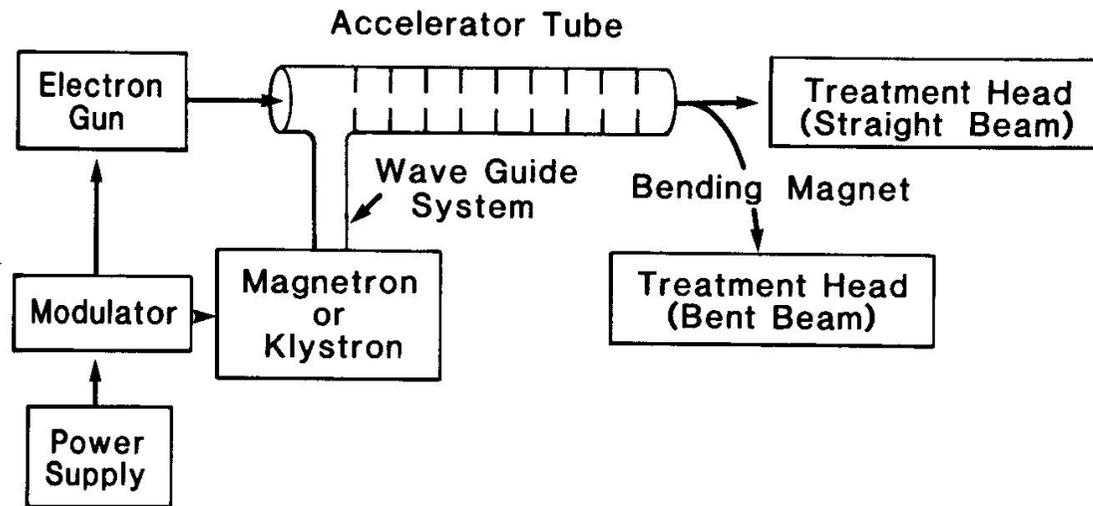
Tungsten target



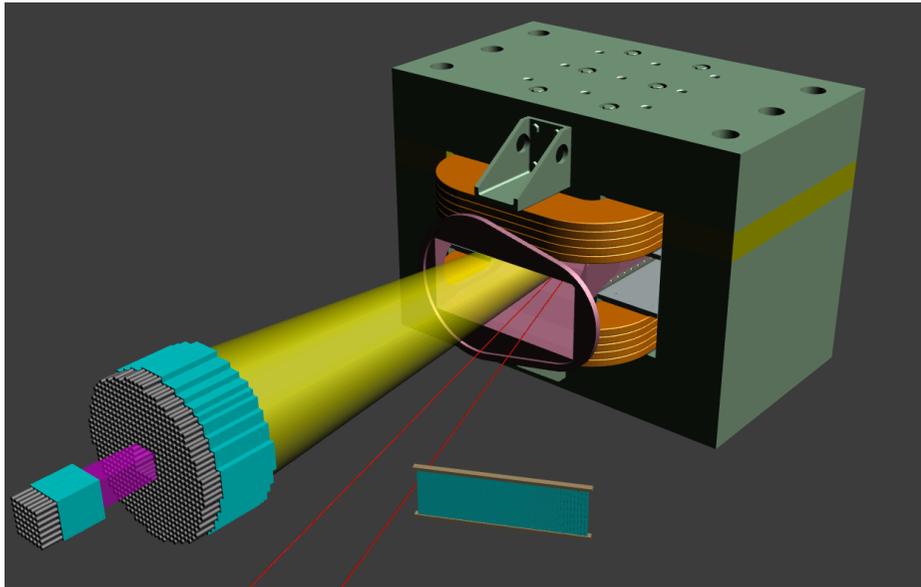
Evaporation peak + fast neutrons shoulder

- At full linac power:  $10^{13}$  e/s
  - to be compared e.g. with nELBE,  $N=6 \cdot 10^{15}$  e/s
- Swanson estimate
  - $9.3 \cdot 10^{10} Z^{(0.73 \pm 0.05)}$  n/s kW<sup>-1</sup>
  - $2.15 \cdot 10^{12}$  n/s kW<sup>-1</sup> for Tungsten
- Optimizing the target configuration can (slightly) improve the yield:
  - n@BTF optimized target:  $2.75 \cdot 10^{12}$  n/s kW<sup>-1</sup>
  - **0.218 n/pr** (over  $4\pi$  and all spectrum)

- In our case the main limitation will always be the intensity delivered onto the target



- Impulsi distribuiti al magnetron/klystron e simultaneamente all'electron gun;
- Microonde impulsate prodotte nel magnetron/klystron (più precisamente il magnetron è effettivamente un generatore di microonde mentre il klystron è un amplificatore – le microonde sono prodotte in un oscillatore annesso) e iniettate nel tubo accelerante attraverso una struttura a guida d'onda;
- All'istante opportuno iniettati gli elettroni a un'energia iniziale di circa 50 keV;
- La cavita' accelerante consiste di un tubo di rame, in cui viene fatto il vuoto, suddiviso in dischi di rame;
- Gli elettroni interagiscono con il campo elettromagnetico delle microonde guadagnando energia come un surfista guadagna velocità sulla cresta delle onde marine.



- CSN I full approval for 1,350 kEuro for 2016-2018
- Magnet from CERN (OK, being measured now)
- 500 BGO crystals from former L3 experiment
- Calorimeter construction starting in Spring 2016
- Active diamond target being developed in Lecce
- Scintillating bars positron veto being developed in Sofia
- Interest from Hungarian group
- Collaboration with Cornell starting this summer