



STAGES ESTIVI 2004

Frascati

GRUPPO BTF

RIVELATORI DI PARTICELLE ELEMENTARI,
TRACCIAMENTO, CALORIMETRIA E
IDENTIFICAZIONE

Gruppo: AUCIELLO Simone
BERELLINI Giuseppe
BIANCO Flaviano Giovanni
DE MICHELIS Filippo
TOMASELLI Andrea

Tutors: MAZZITELLI Giovanni
BUONOMO Bruno
SARDONE M. Francesco

COSA SI STUDIA NELLA BTF

Lo strumento di ricerca principale della fisica nucleare e subnucleare è costituito dalla combinazione di collisori e rivelatori di particelle: lo scopo è osservare scontri tra componenti degli atomi in particolare elettroni, protoni e nuclei e studiarne gli effetti per ottenere dati sulla loro struttura e la loro interazione.

L'obiettivo è di trarre informazioni su come mai, agli albori del nostro Universo, si siano create tutte le particelle che costituiscono la materia ordinaria, formata da protoni, neutroni ed elettroni. Secondo studi teorici infatti, nei primi istanti successivi al Big Bang oltre alla materia esisteva una uguale quantità di antimateria, formata da particelle del tutto identiche a quelle della materia ma dotate di cariche opposte. Via via che l'Universo si espandeva e raffreddava, particelle corrispondenti ad antiparticelle iniziarono a trasformarsi ed infine annichilirsi, cioè a fondersi l'una con l'altra, trasformandosi in energia. Da questo processo, per cause che ci sono ancora in parte ignote, "avanzò" un po' di materia: una quantità piccolissima rispetto a quella originaria, ma sufficiente a formare le stelle, i pianeti e tutto ciò che è conosciuto.

Per quel che riguarda i nostri studi e quelli della moderna fisica nucleare, possiamo immaginare che essi ripercorrono idealmente diverse fasi dell'evoluzione della materia, dal Big Bang fino ad oggi.

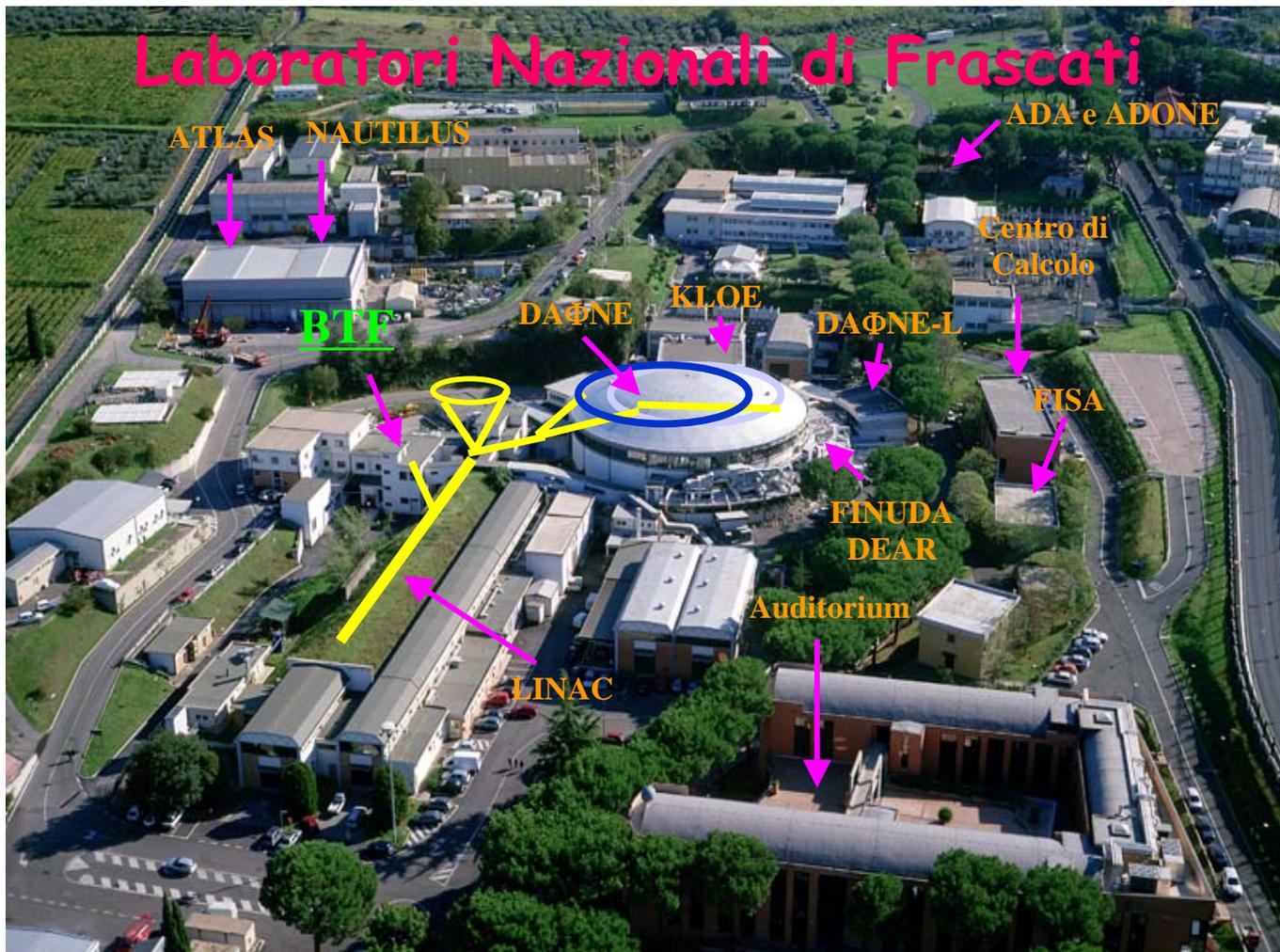
Nei più nuovi collisori si cerca di provocare urti tra particelle simili a quelli dei primi momenti dell'Universo con energia sempre maggiore e per ottenere queste energie si utilizzano potenti acceleratori, nei quali le particelle subiscono "spinte" successive per effetto di una serie di campi elettromagnetici, accelerando similmente ad un surfista che cavalchi un'onda.

I punti di collisione fra particelle sono circondati da rivelatori composti da diversi tipi di dispositivi, ognuno dei quali misura differenti proprietà delle particelle che vengono generate dagli urti.



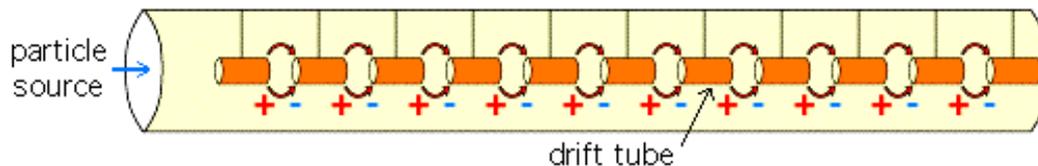
Nel laboratorio BTF adiacente a Daφne vengono studiati i comportamenti dei rivelatori, come calorimetri o scintillatori, tramite i fasci di elettroni "sparati" dall'acceleratore lineare (den. linac), con lo scopo di calibrarli e di provarli.

Tutti gli strumenti sono collegati elettronicamente ai computer della sala di controllo BTF, esterna al laboratorio, in modo che si sia in grado di studiare i fenomeni che avvengono all'interno della sala sperimentale senza trovarvisi dentro, evitando così gli effetti che le radiazioni potrebbero avere sugli osservatori. Nel periodo dello stage, sono stati effettuati alcuni esperimenti, sfruttando i fasci di elettroni che arrivano nel BTF.



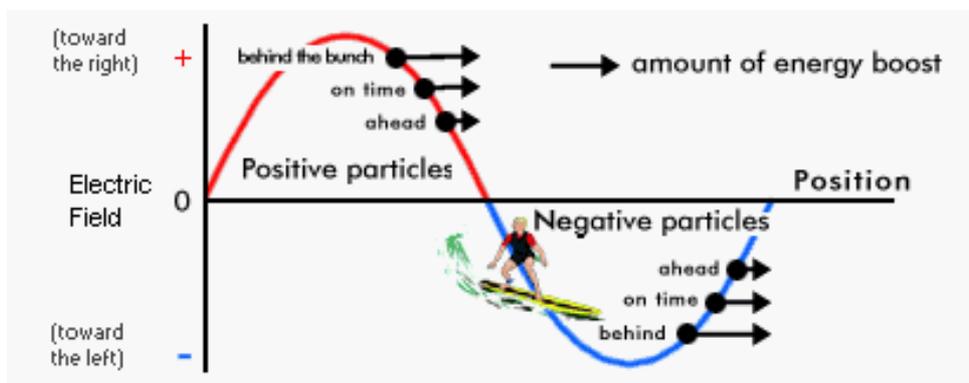
ACCELERATORI LINEARI

Il LINAC è un acceleratore lineare le cui particelle sono emesse da una sorgente (un filamento chiamato gun) e vengono accelerate dal campo elettromagnetico longitudinale generato da elettrodi susseguenti.

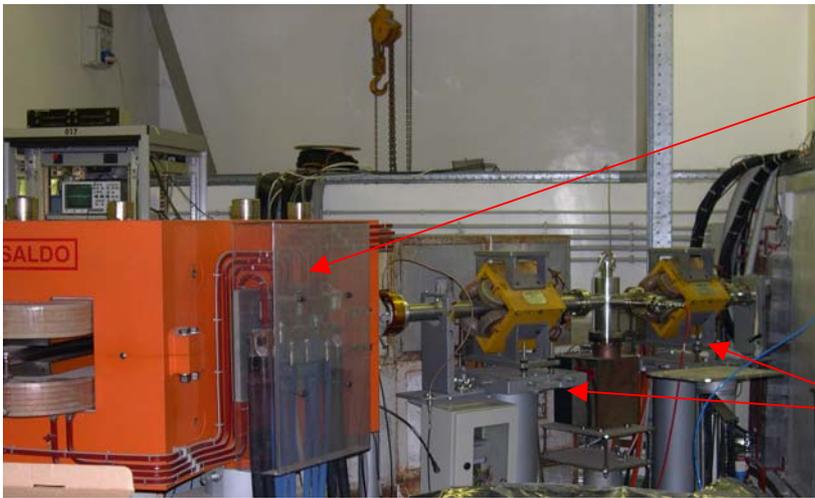


Per accelerare un fascio bisogna applicare, al posto di un campo elettrico statico, un campo oscillante con frequenza opportuna tale che la fase cambi di π (l'angolo di 180°) durante il tempo di volo fra due gap (ovvero la distanza tra un modulo e l'altro) successive.

Se il campo accelerante è una sinusoide e le particelle passano sulla parte crescente dell'onda, la particella che arriva in anticipo di fase rispetto alla fase sincrona verrà accelerata di meno, quella in ritardo vedrà un campo maggiore. Le particelle oscilleranno quindi attorno alla fase corretta raggruppandosi longitudinalmente.



Il fascio accelerato dal Linac viene trasportato nella sala sperimentale della BTF da un sistema di dipoli, che sfruttando la legge di Lorentz curvano il moto delle particelle, e quadrupoli magnetici consecutivi, che focalizzano le particelle nel piano ortogonale alla direzione del moto, similmente ad una lente ottica che agisce su un raggio di luce, e slitte che possono essere allargate o ristrette per selezionare (aumentare o diminuire) il numero di elettroni da far arrivare ai rivelatori.



DIPOLO
CURVANTE

QUADRUPOLI

RIVELATORI

Calorimetri

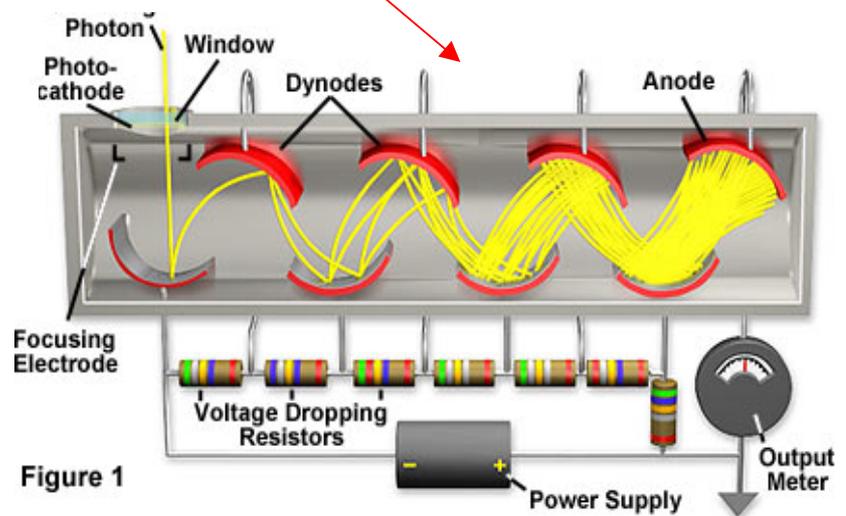
I calorimetri sono costituiti dai rivelatori capaci di fornire la misura dell'energia di una particella, ciò implica che questa debba essere completamente assorbita nel mezzo che costituisce il rivelatore. Lo studio di un calorimetro può essere dunque ricondotto allo studio di quei rivelatori capaci di dare una risposta proporzionale all'energia; essi sono capaci di lavorare sia con particelle cariche (e^\pm e protoni, etc) che con particelle neutre (ν, γ).

Il meccanismo di base consiste nella formazione di cascate elettromagnetiche e cascate adroniche, in modo tale da convertire l'energia della particella da rivelare in ionizzazione o eccitazione della materia.



VETRO A
PIOMBO

FOTOMOLTIPLICATORE



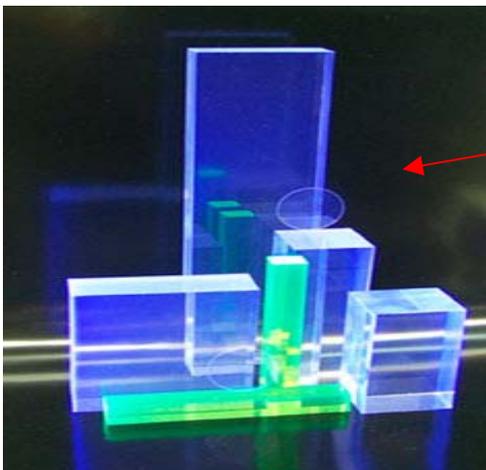
I calorimetri elettromagnetici sono quelli che rivelano elettroni, positroni e fotoni. In tali rivelatori si sfrutta l'assorbimento dell'energia delle cascate elettromagnetiche prodotte dalla radiazione incidente. L'assorbimento completo di tale sciame avviene su uno spessore di calorimetro che varia a seconda dell'energia della particella primaria.

Essenzialmente esistono due configurazioni di calorimetri:

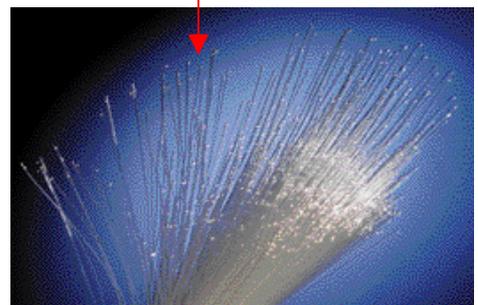
1. ***I calorimetri omogenei.*** In tali rivelatori l'assorbimento della particella da rivelare e la produzione del segnale è ottenuta in un singolo materiale. Tali calorimetri sono quasi esclusivamente utilizzati come calorimetri elettromagnetici. Gli scintillatori in genere ed in particolare i cristalli inorganici possono essere considerati degli esempi di calorimetri omogenei. I calorimetri omogenei hanno una buona risoluzione energetica ma una bassa risoluzione spaziale.
2. ***I calorimetri eterogenei.*** Tali rivelatori sono costituiti da più strati di materiali; in particolare materiali pesanti (ad es. l'uranio, piombo), che fungono da assorbitori, dove avviene lo sviluppo della cascata, vengono alternati a strati di materiale attivo, che può essere costituito da scintillatori, da contatori proporzionali, ecc. Purtroppo, solo una parte dell'energia viene assorbita dal materiale attivo e quindi misurata, proprio per questo hanno una bassa risoluzione energetica e un'alta risoluzione spaziale. Essi sono utilizzati sia come calorimetri adronici che elettromagnetici.

Scintillatori

Il meccanismo di scintillazione nei materiali inorganici dipende dagli stati energetici determinati dalla struttura cristallina dei materiali (teoria della struttura a bande elettroniche). Essi sono trasparenti alla propria luce di fluorescenza; infatti l'energia



SCINTILLATORI

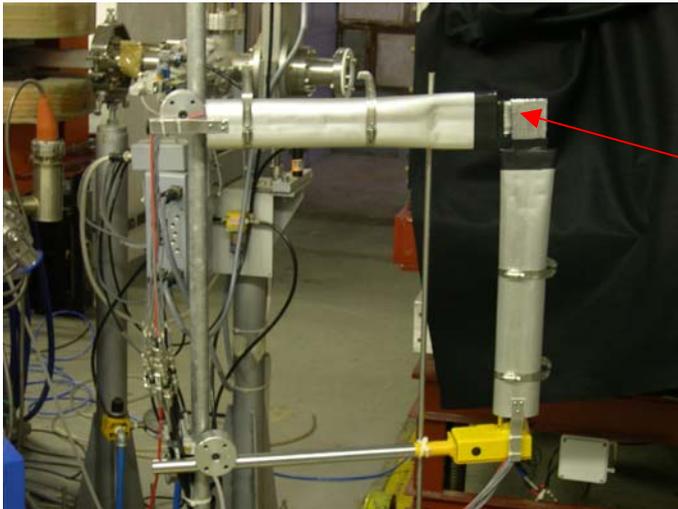


dei fotoni emessi è minore della differenza in energia tra le due bande.

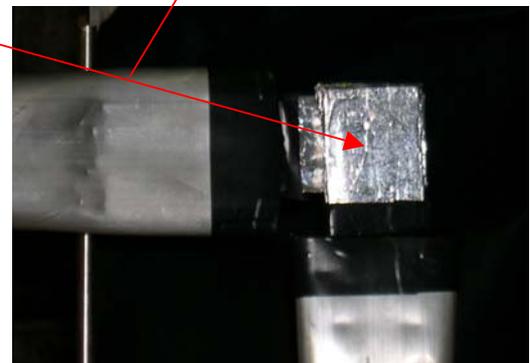
In generale i cristalli inorganici hanno una risposta di 2-3 ordini di grandezza meno veloce rispetto ai cristalli organici.

Uno dei problemi per molti cristalli inorganici è l'igroscopicità, che richiede in generale particolari accorgimenti di protezione.

Tra i vantaggi degli scintillatori inorganici, è da ricordare l'elevato stopping power dovuto alla elevata densità e all'alto numero atomico. Questo tipo di scintillatori hanno inoltre le più alte uscite in luce; pertanto, essi risultano fra i più adatti alla rivelazione dei raggi γ e degli elettroni e positroni di alta energia.



PROFILOMETRO A FIBRE SCINTILLANTI



I materiali scintillanti esibiscono la proprietà conosciuta come luminescenza. Sollecitati da un'azione esterna (come luce, calore, radiazioni), assorbono e riemettono energia sotto forma di luce visibile. Il processo di scintillazione è stato usato fin dall'inizio della fisica atomica e nucleare per rivelare le particelle ionizzanti. Il tempo che passa dall'assorbimento alla riemissione va da pochi microsecondi a ore a seconda del materiale.

In prima approssimazione l'evoluzione del processo di riemissione può essere descritto da un semplice decadimento esponenziale:

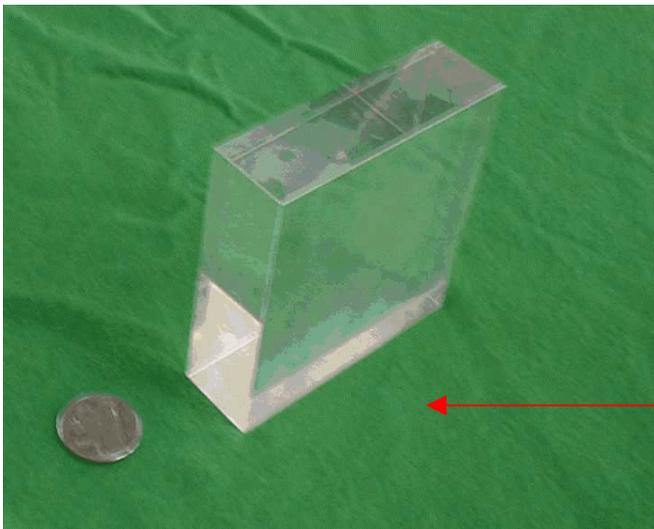
$$N = \frac{N_0}{t_d} \exp\left(-\frac{t}{t_d}\right)$$

N = numero di fotoni emessi al tempo t
 N_0 = numero totale di fotoni emessi
 t_d = tempo di decadimento

Le scintillazioni prodotte vengono amplificate tramite particolari dispositivi, come ad esempio i fotomoltiplicatori; queste scintillazioni possono essere convertite in segnale elettrico dando informazioni sulla radiazione incidente. In particolare l'intensità della luce di scintillazione è proporzionale all'energia persa dalla particella ionizzante nello

scintillatore; perciò questi rivelatori forniscono informazioni sull'energia della particella.

I vetri sono scintillatori costituiti da silicati, con aggiunta di altri materiali. Essi sono principalmente utilizzati per la rivelazione dei neutroni, ma sono sensibili anche alla radiazione β e γ . Essi sono noti per la loro resistenza a tutti i reagenti organici e inorganici eccetto l'acido idrofluoridrico. Hanno un alto punto di fusione e sono estremamente resistenti; possono quindi essere utilizzati quando si deve lavorare con agenti chimici corrosivi o con alte temperature, malgrado la loro uscita in luce sia piuttosto bassa, circa il 25-30 % dell'antracene. La loro velocità di risposta è intermedia tra quella degli scintillatori plastici e quella dei cristalli organici, essendo di poche decine di ns.



VETRO AL PIOMBO

Lo Ioduro di Sodio drogato al Tallio, $\text{NaI}(\text{Tl})$, è uno fra i più usati scintillatori inorganici. Esso ha una efficienza di scintillazione molto alta ed è disponibile in un'ampia varietà di forme e dimensioni. Presenta un assorbimento ridotto alla propria luce di scintillazione.

Lo Ioduro di Sodio è suscettibile al danneggiamento da radiazione; infatti tempi prolungati di esposizione ne rovinano le prestazioni. In condizioni ottimali, fra tutti gli scintillatori conosciuti, ha il più alto segnale a parità di radiazione assorbita; ad esempio produce 1×10^4 fotoelettroni per MeV di raggi γ .

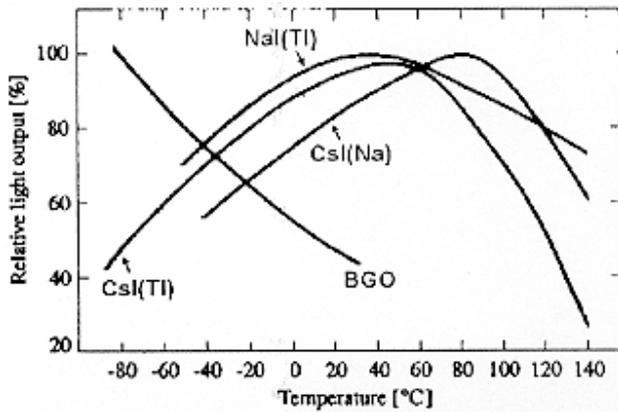


Figure 2. Temperature response of various scintillation materials.

Fig.2: relazione fra l'intensità di scintillazione e la temperatura.

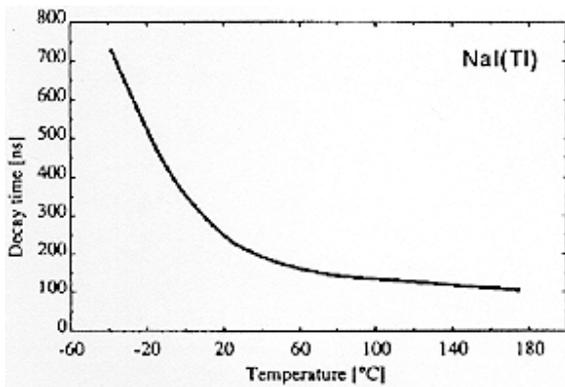


Figure 3. Temperature dependence of the decay time of NaI(Tl).

Fig.3 : dipendenza dalla temperatura della vita media del processo di scintillazione.

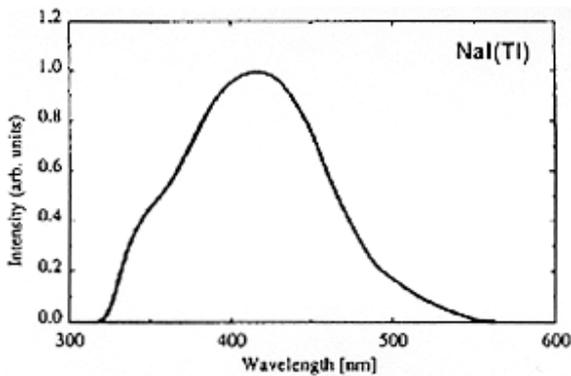
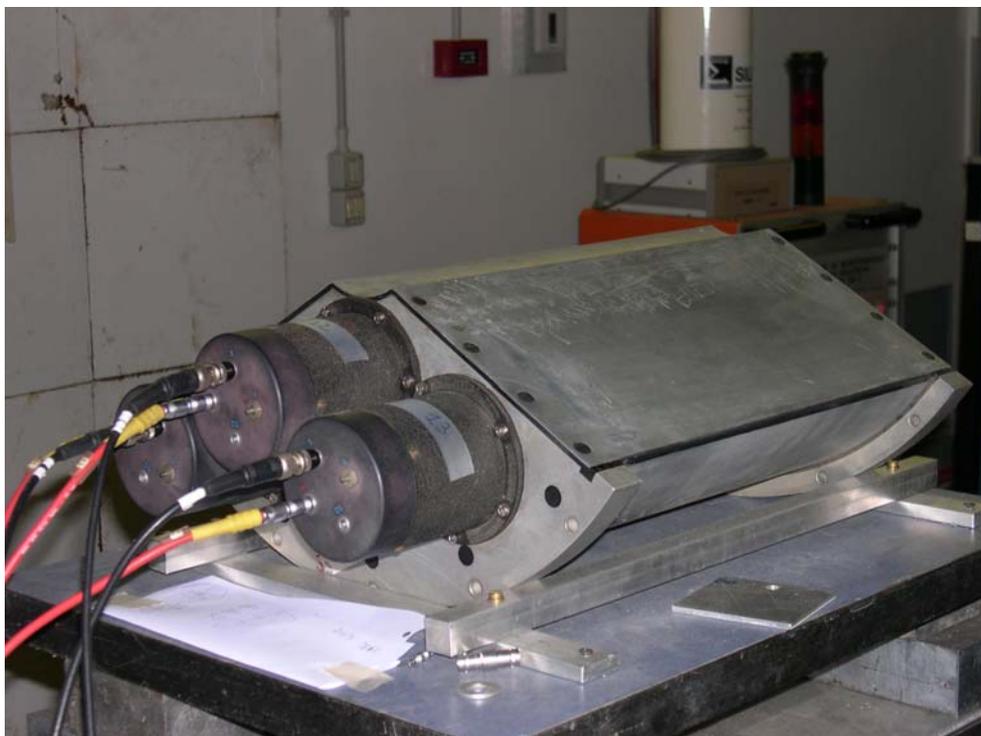


Figure 1. Scintillation emission spectrum of a canned NaI(Tl) crystal.

Fig.1: spettro di emissione dell'NaI(Tl).



CALORIMETRO NaI della BTF

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche peculiari del cristallo NaI.

<i>Densità</i>	3.67 g/cm ³
<i>Indice di rifrazione</i>	1.85
<i>Punto di ebollizione</i>	650 °C
<i>Uscita in luce</i>	230%
<i>Costante di decadimento</i>	230 ns
<i>L del max di emissione</i>	413 nm
<i>Principali applicazioni</i>	rivelazione γ , raggi x

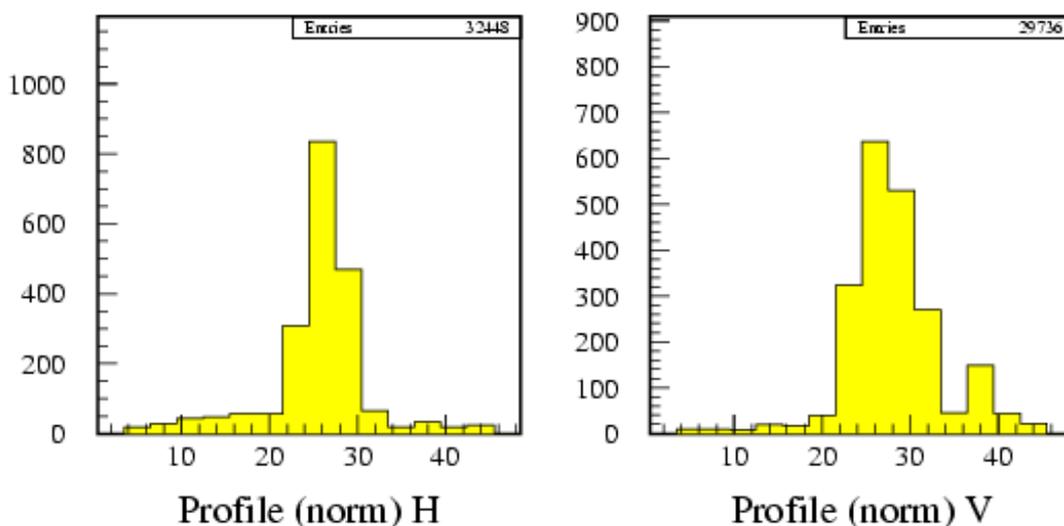
Uno scintillatore plastico è formato da una soluzione di materiale scintillante organico disciolto in un solvente successivamente polimerizzato, diventando così una soluzione solida. Molto spesso viene aggiunto anche un soluto secondario per le sue proprietà di "shifter" in lunghezza d'onda.

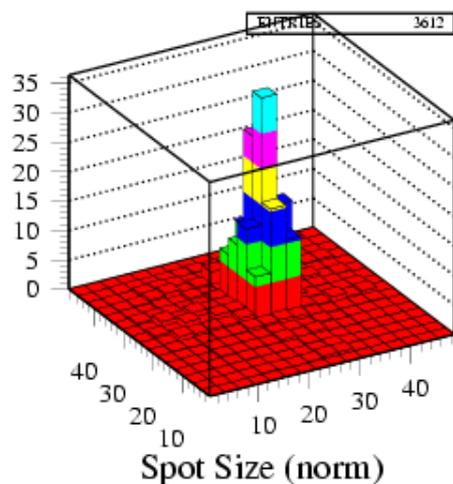
Gli scintillatori plastici offrono un segnale molto veloce con una costante di decadimento di circa 2-3 ns ed un'alta uscita in luce. Uno dei maggiori vantaggi degli scintillatori plastici è la flessibilità, che li rende facilmente manipolabili; il loro costo non eccessivo li rende particolarmente utili nel caso necessitino ampi volumi di scintillatori.

Gli scintillatori plastici usati in fisica delle alte energie sono soluzioni di fluori in una base plastica contenenti anelli aromatici. Virtualmente tutti gli scintillatori plastici contengono come base poli-vinil-toluene, polistirene o acrilico.

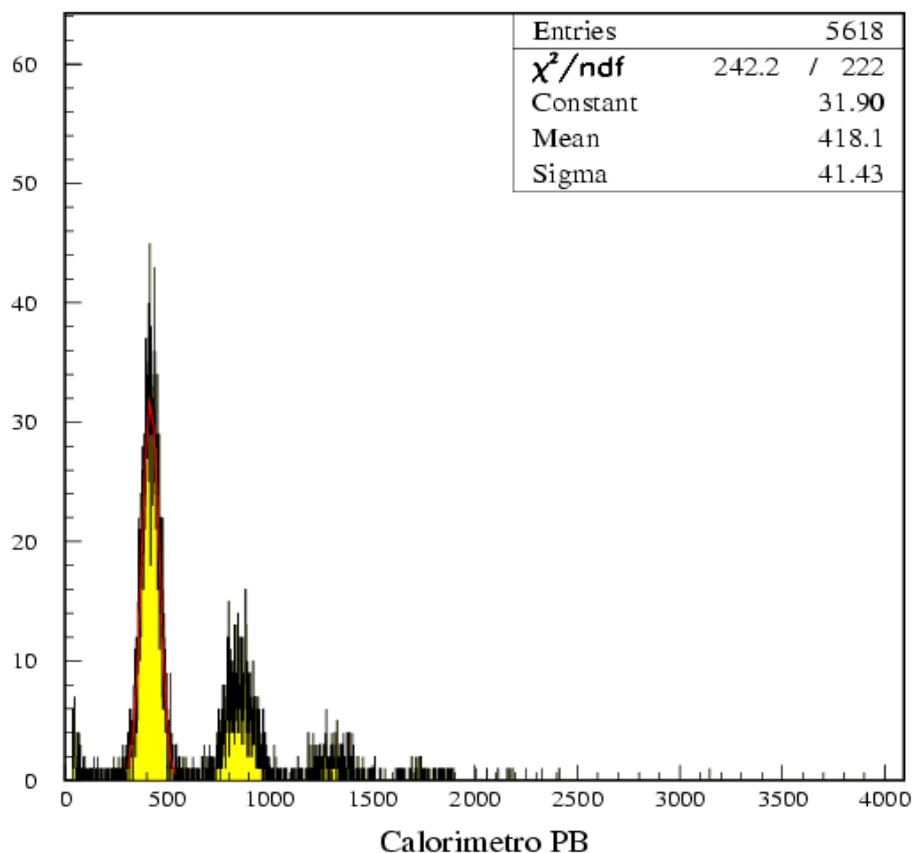
MISURE EFFETTUATE

Sparati gli elettroni il profilometro a fibre scintillanti ci ha fornito il profilo del fascio che abbiamo acquisito attraverso i 32 canali dell'ADC (Analogic to Digital Converter), che trasforma i dati ricevuti da analogici a digitali con una determinata risoluzione (nel nostro caso è di 2^{12} bit) per poi poter controllare i risultati ottenuti attraverso i computer della sala di controllo. I primi due grafici rappresentano il conteggio rivelato dalle due palette di fibre scintillanti, mentre il terzo è la rielaborazione tridimensionale dei primi due:





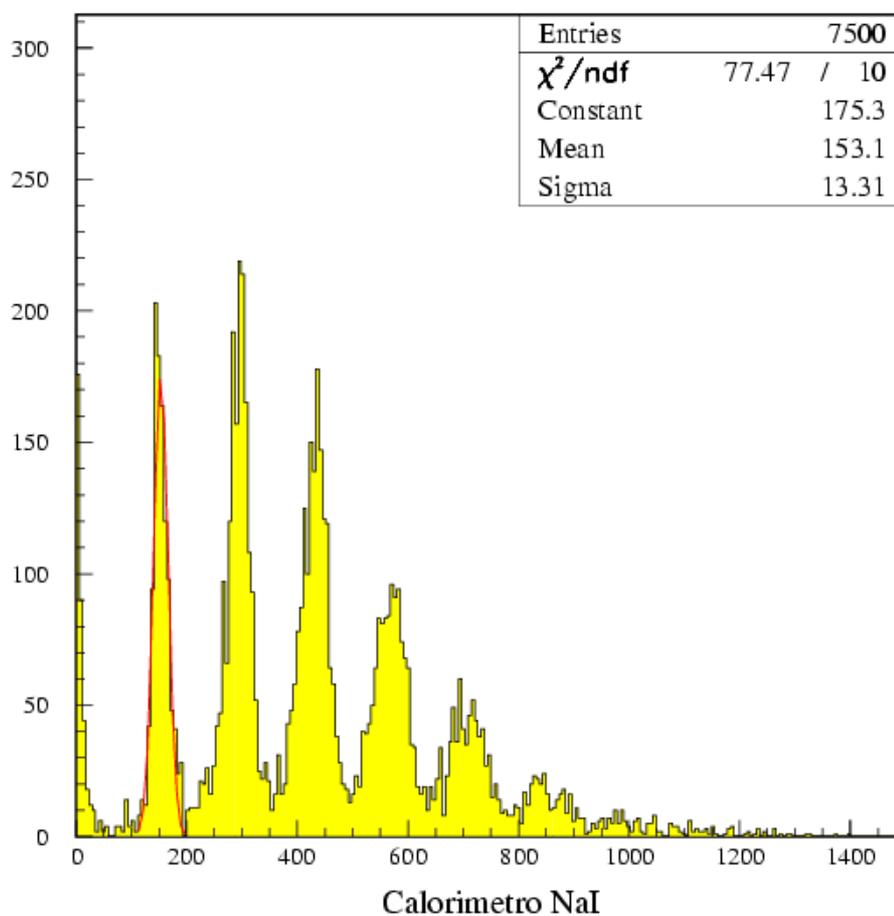
Un'altra misura è stata effettuata con il calorimetro a piombo, grazie al quale è possibile avere la distribuzione statistica del numero di particelle che giungono alla BTF:



Il primo picco rappresenta il singolo elettrone che è arrivato nella BTF ad un'energia di 500 MeV, il secondo picco rappresenta gli elettroni arrivati in coppia con energia

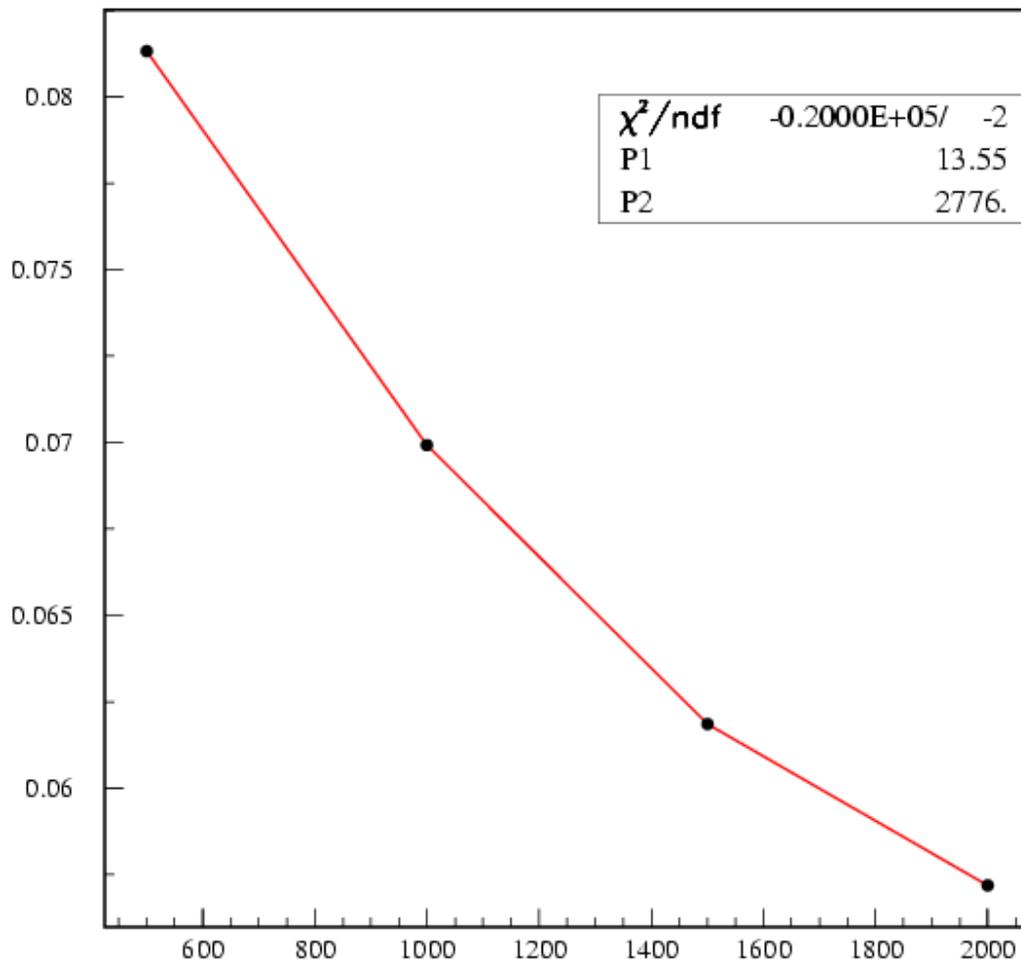
quindi, pari a 1 GeV, mentre il terzo, molto più piccolo, indica tre elettroni che sono arrivati assieme, con relativa energia di 1,5 GeV.

Questo terzo grafico presenta un maggior numero di picchi, il che significa che attraverso la regolazione delle slitte e dei magneti abbiamo fatto arrivare al rivelatore NaI (ioduro di sodio) una maggior numero di elettroni.



Del calorimetro NaI è stato elaborato il grafico della risoluzione del calorimetro in funzione dell'energia in base alla legge:

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{1}{\sqrt{E}}$$



Questo è un grafico dell'andamento della risoluzione in funzione dell'energia nel NaI. Interpolando i punti è possibile vedere che seguono perfettamente la legge prima descritta.

Questi siamo noi:

