

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
FACOLTA' DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI
Corso di Laurea in Fisica

**SPETTROSCOPIA DELLA
MATERIA NUCLEARE CALDA E
DENSE CON LO SPETTROMETRO
HADES**

Tesi di laurea di

Stefano Bertino

Relatori: Ch.mo Prof. **G. Bellia**
Dr. **P. Finocchiaro**

ANNO ACCADEMICO 1999-2000

Sommario

Problematica Fisica

Spettrometro HADES

Rivelatore TOF

Risultati del Test run

Conclusioni e prospettive

Problematica Fisica

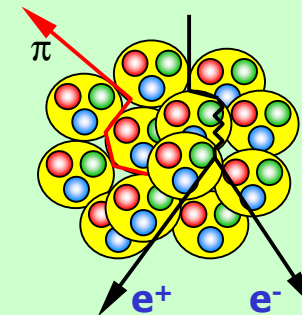
Proprietà della materia nucleare calda e densa

- Collisioni tra nuclei pesanti ad energie relativistiche (1÷2 AGeV)
- Proprietà dei Mesoni vettori (ρ , ω , ϕ) nella materia nucleare
- Spostamento della massa dei mesoni vettori verso valori inferiori (Dropping mass)

Mesoni	Massa [MeV/c ²]	Vita media [s]	Decadimento principale	Branching ratio e^+e^-
ρ	768	$4 \cdot 10^{-24}$	$\pi \pi$	$4.4 \cdot 10^{-5}$
ω	782	$7 \cdot 10^{-23}$	$\pi^+ \pi^- \pi^0$	$7.2 \cdot 10^{-5}$
ϕ	1019	$.3 \cdot 10^{-22}$	$K^+ K^-$	$3.1 \cdot 10^{-4}$

Metodo di misura delle masse

- Metodo della massa invariante: studio dei prodotti di decadimento
- Canale di decadimento mesonico: **coppie e^+e^-**
- Il canale leptonic è una sonda ideale per investigare la materia nucleare



Risultati di altri esperimenti

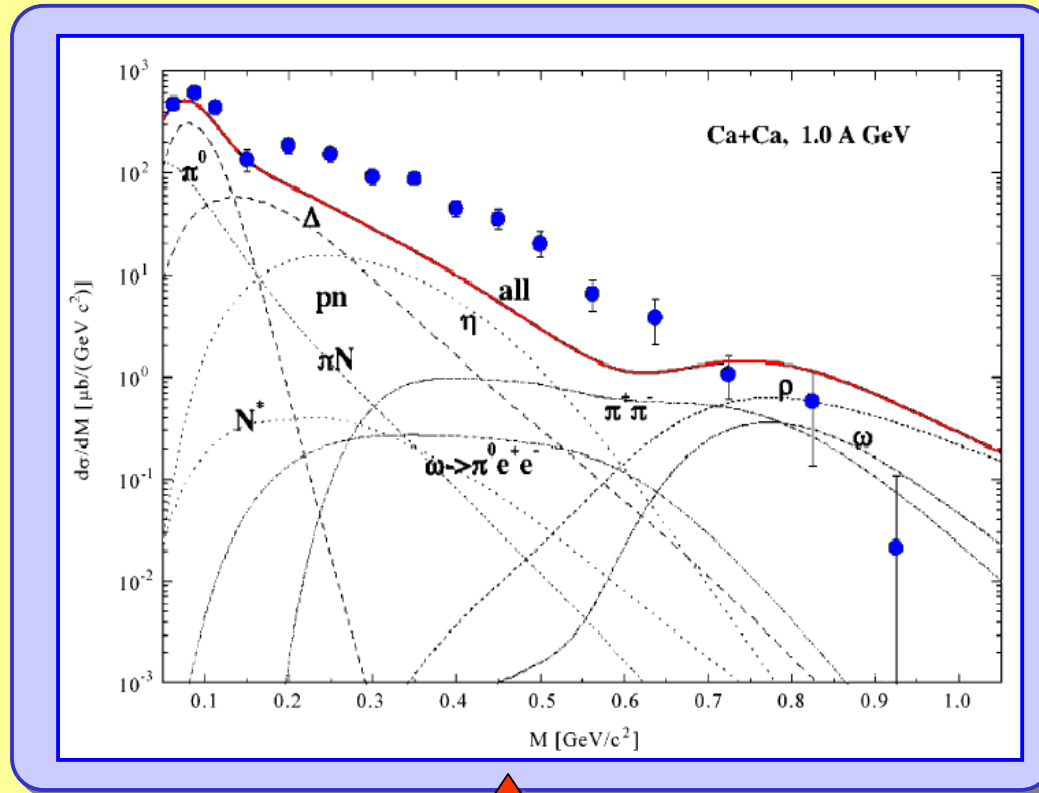
Collaborazione CERES/ NA45

- Regime di energia
1 ÷ 200 AGeV.

Collaborazione DLS

- Regime di energia
1 ÷ 5 AGeV.
- Accettanza 5%.
- Risoluzione in
massa 15%.

DLS



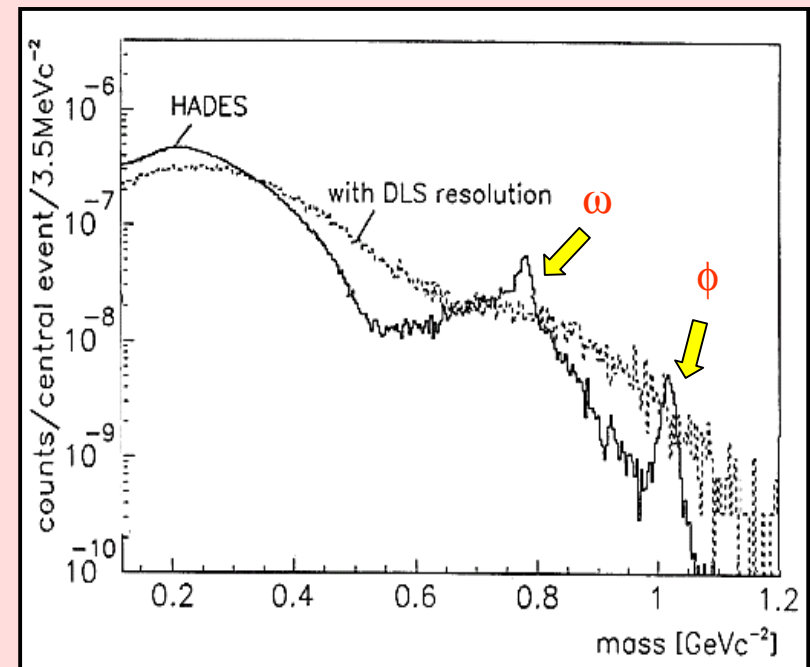
Spettro di massa invariante e^+e^- ottenuta nella collisione Ca+Ca ad energia incidente di 1 AGeV.

Confronto spettrometri DLS - HADES

Tabella riassuntiva

Spettrometri	DLS al BEVALAC	HADES al GSI
Accettanza Geometrica	$\sim 5\%$	40%
Risoluzione in Massa inv.	15%	1%
Di-elettroni per secondo	~ 0.006	~ 1
Coppie vere / per secondo	$\sim 2.4 \cdot 10^{-5}$	~ 0.1
Coppie vere / giorno	~ 16	~ 8000

Spettro di massa
invariante di di-leptoni
dello spettrometro **HADES**
paragonato con la
risoluzione di massa dello
spettrometro **DLS**

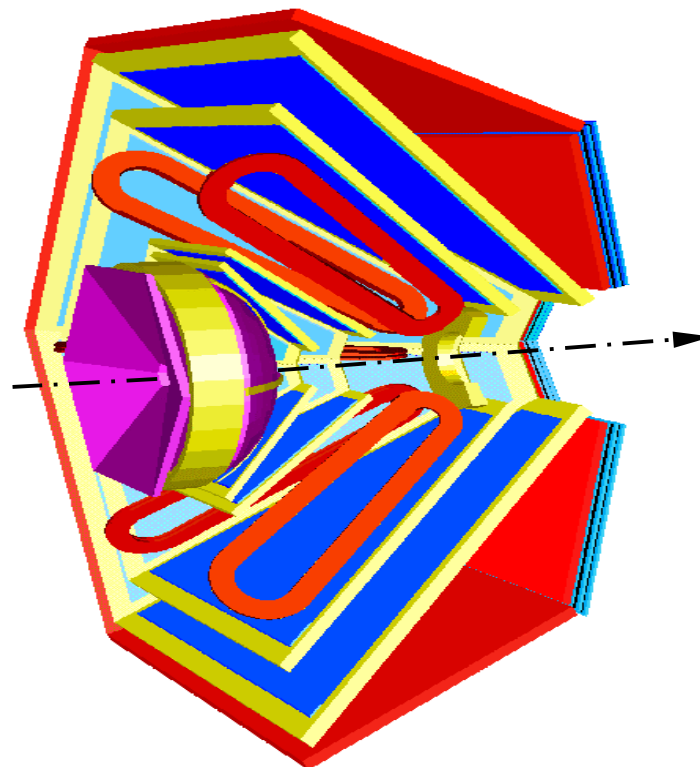
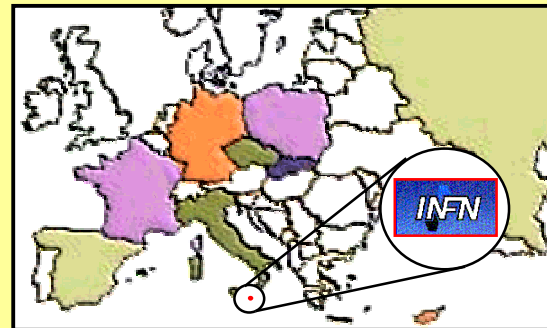


Lo spettrometro HADES (High Acceptance Di-Electron)

Caratteristiche principali di HADES:

- Grande efficienza geometrica, circa il 40% dell'angolo solido totale.
- Grande efficienza di rivelazione per le coppie e^+e^- .
- Ottima discriminazione elettrone/adrone
- Ottima risoluzione nella determinazione della massa invariante ($\sim 1\%$)

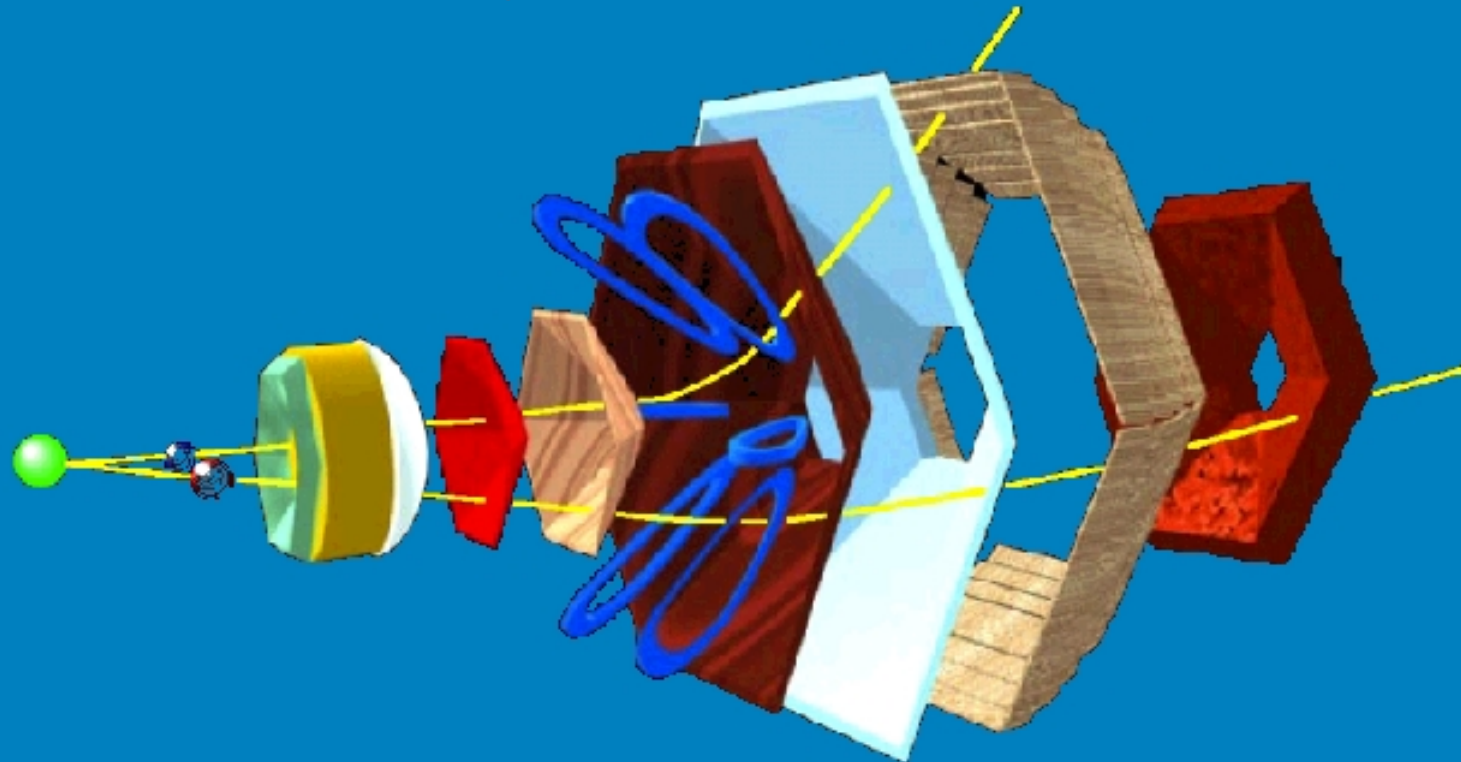
Attualmente la collaborazione è composta di 19 Istituzioni situate in 9 paesi europei



LO SPETTROMETRO HADES

HADES

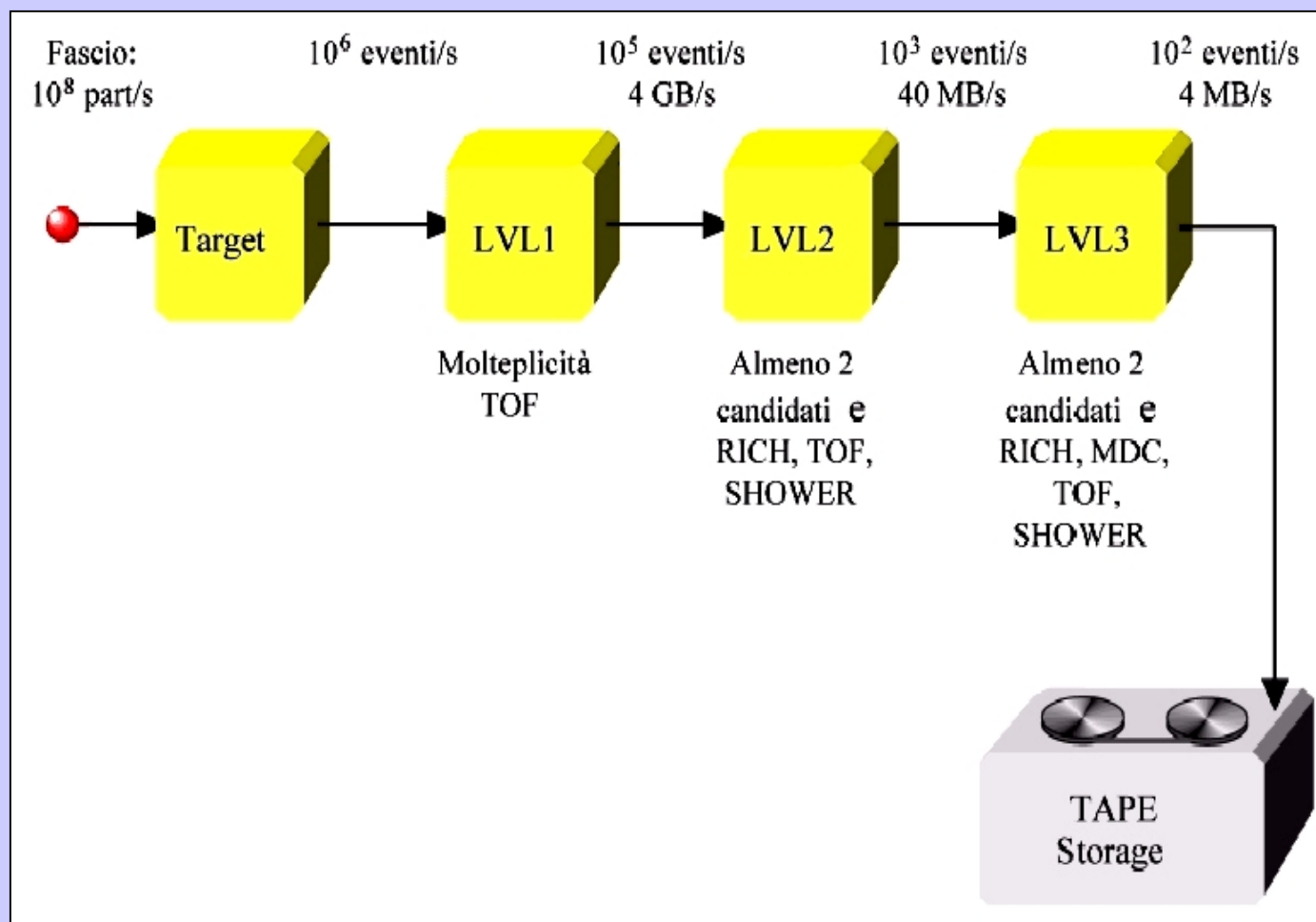
High Acceptance Di-Electron Spectrometer



       
RICH MDC1 MDC2 MAGNET MDC3 MDC4 TOF SHOWER

Schema dello spettrometro HADES

Sistema di Trigger dello spettrometro HADES



TOF: Caratteristiche operative

Funzioni

- **Identificazione degli elettroni**
- **Selezione di centralità tramite misure di molteplicità**
- **Selezione di eventi con di-elettroni**

Caratteristiche

- **Risoluzione in tempo di volo (~ 150 ps)**
- **Granularità (384 barre)**
- **Sistema autonomo di calibrazione basato su laser**

Il rivelatore tempo di volo TOF

- **Il TOF:**
sei settori in simmetria esagonale

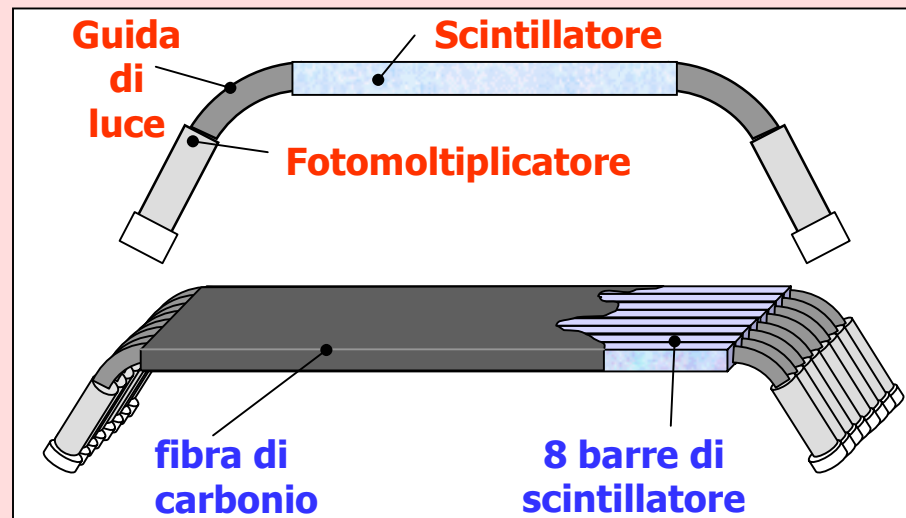
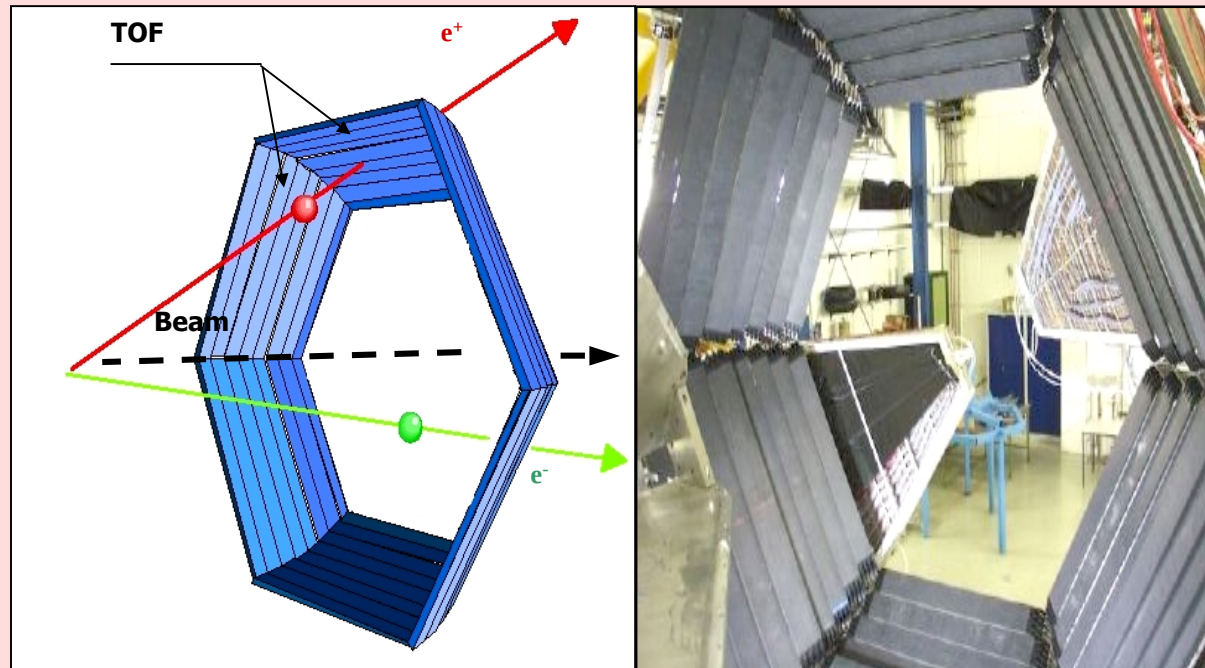
- **copertura angolare:**
 $\varphi = 0^\circ \div 360^\circ$
 $\theta = 44^\circ \div 88^\circ$

- **384 barre di scintillatore**
64 per settore.

- **Alle estremità di ogni barra, sono accoppiati otticamente tramite guide di luce i fotomoltiplicatori.**

- **Materiale di scintillazione: BC408**

- **Misura di tof e x:**
somma e differenza dei tempi destra-sinistra



Installazione e Test dello spettrometro HADES

Dati Sperimentali

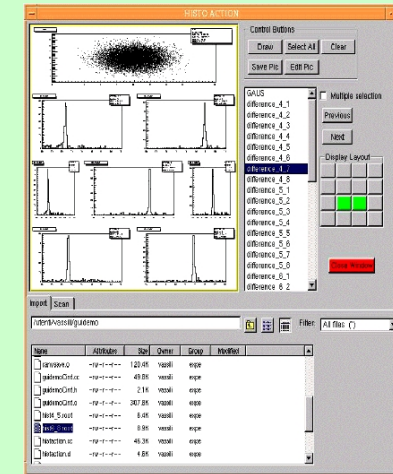
- Beamtime del Novembre 1999:
200.000 eventi
- Fascio:
 $^{40}\text{Ar} + ^{47}\text{Ti}$ @ 1.75 AGeV

Rivelatori funzionanti durante l'esperimento

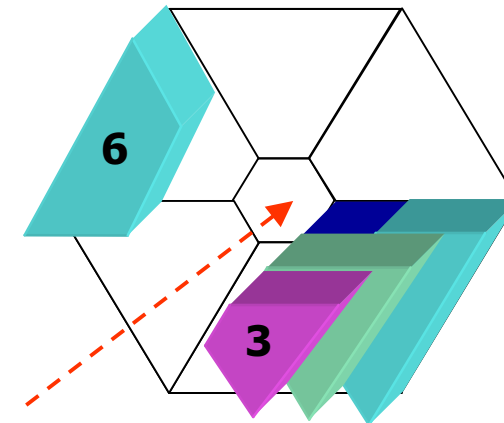
- RICH settore 3
- MDC2 settore 3
- TOF settori 3 e 6
- SHOWER settore 3
- MAGNETE spento

Sistema di analisi dati

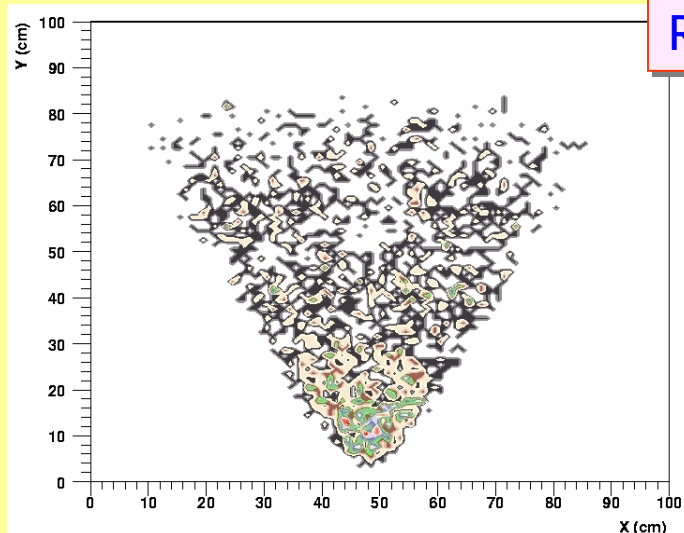
- Analisi dati:
HYDRA sviluppato dalla collaborazione
- Ambiente:
ROOT
- Interfaccia grafica:
sviluppato presso i LNS



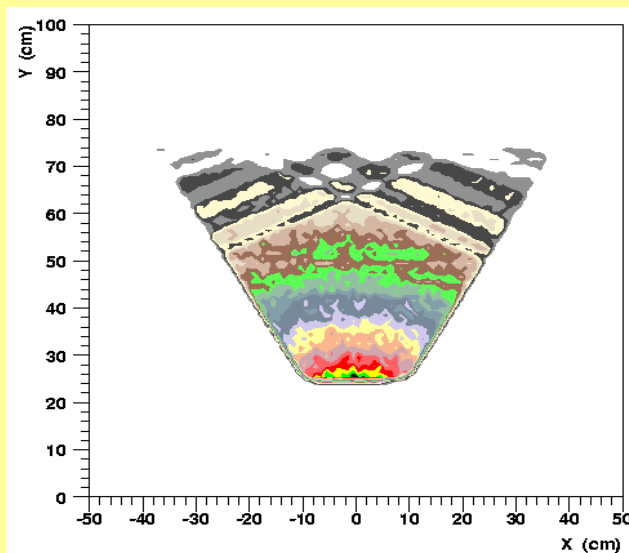
- TOF
- SHOWER
- MDC2
- RICH



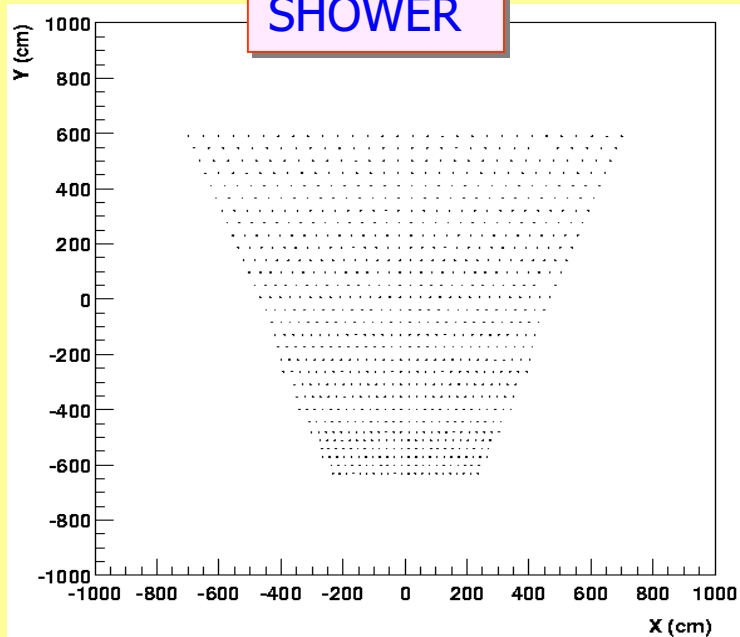
Rappresentazione degli hit sui vari rivelatori



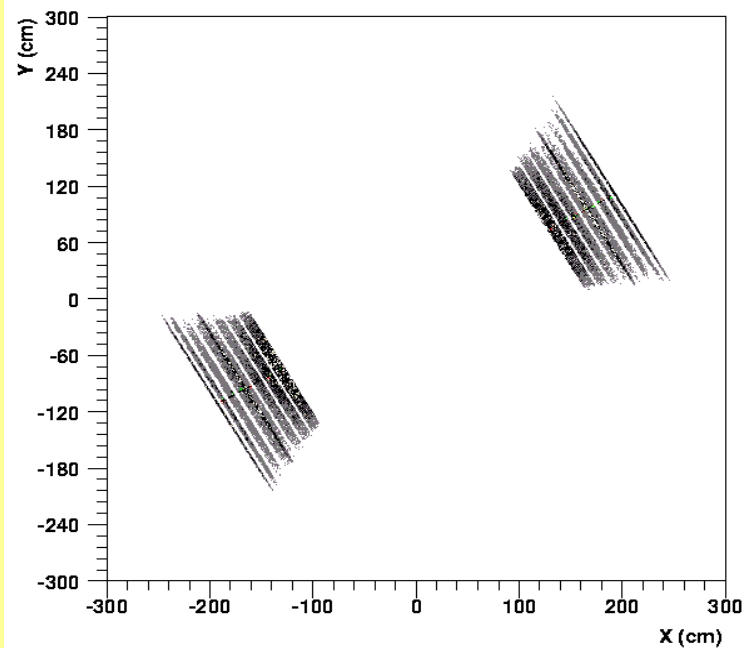
RICH



MDC2

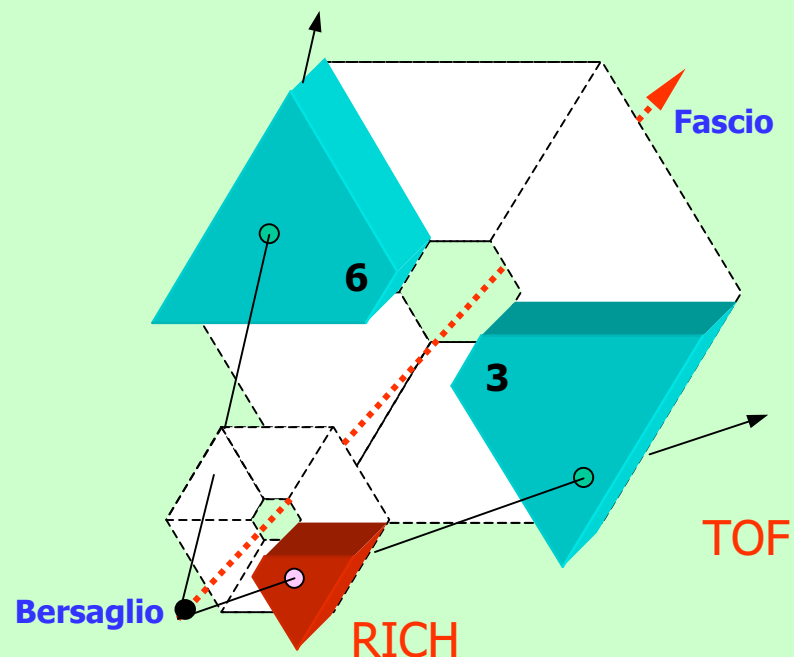


SHOWER



TOF

Condizioni di molteplicità leptonica 1 e 2 sul RICH



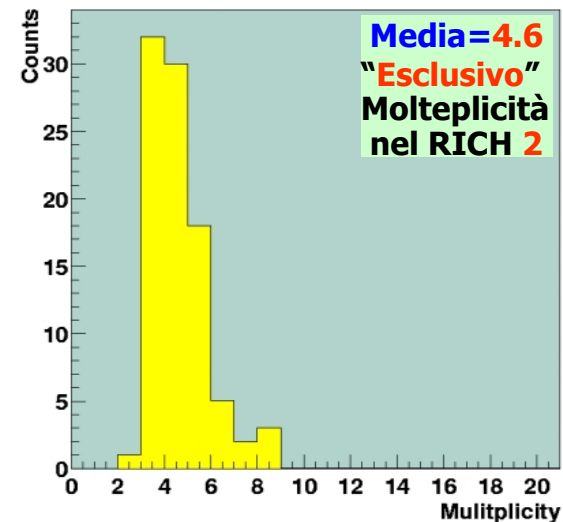
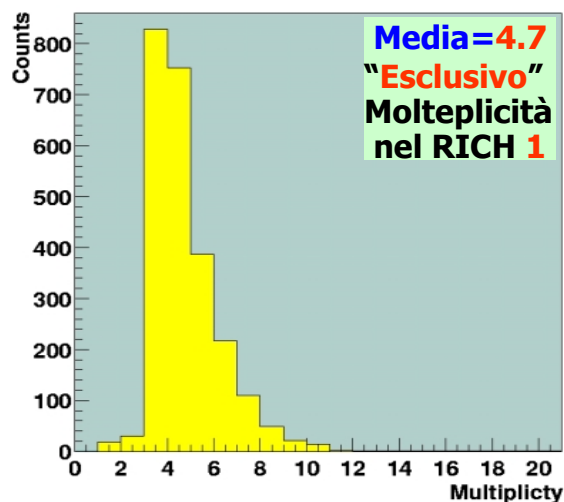
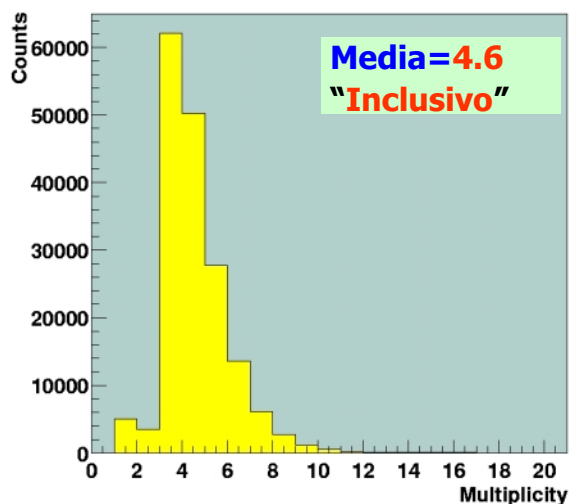
Il settore 3 del TOF è in corrispondenza geometrica con il settore 3 del RICH

Condizione di Molteplicità sul RICH:

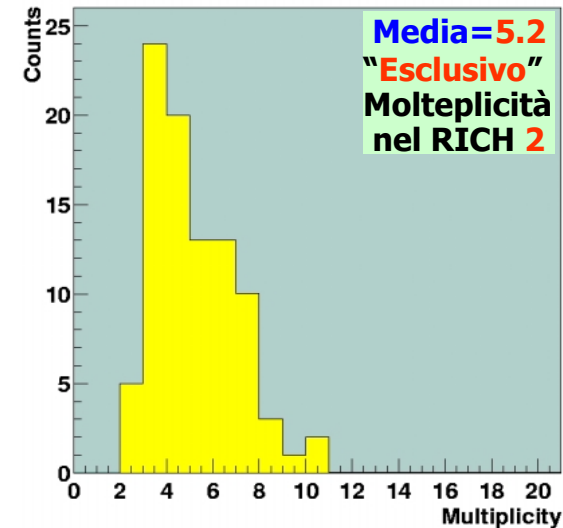
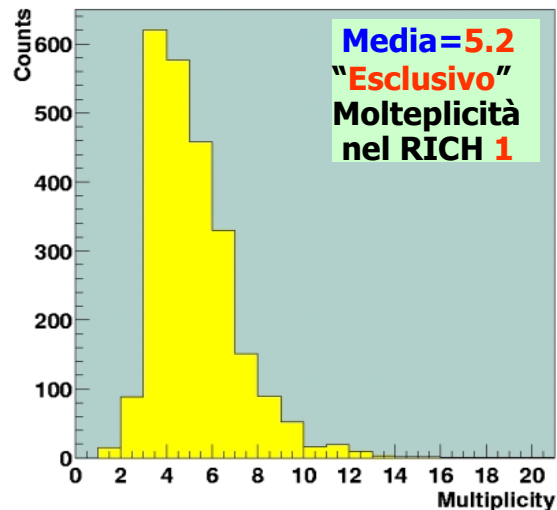
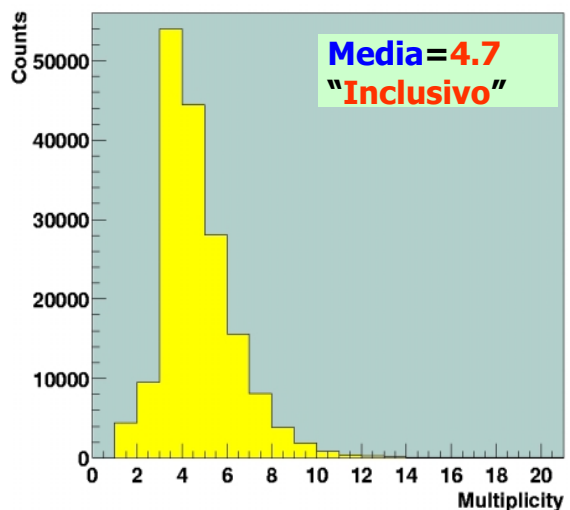
- **Molteplicità leptonica 1 sul RICH:**
un leptone è rivelato dal RICH in un evento
- **Molteplicità leptonica 2 sul RICH:**
due leptone rivelati dal RICH in un evento

Molteplicità misurata dal TOF

Distribuzione di molteplicità del settore 6 del TOF, con molteplicità leptonica 1 e 2 sul RICH

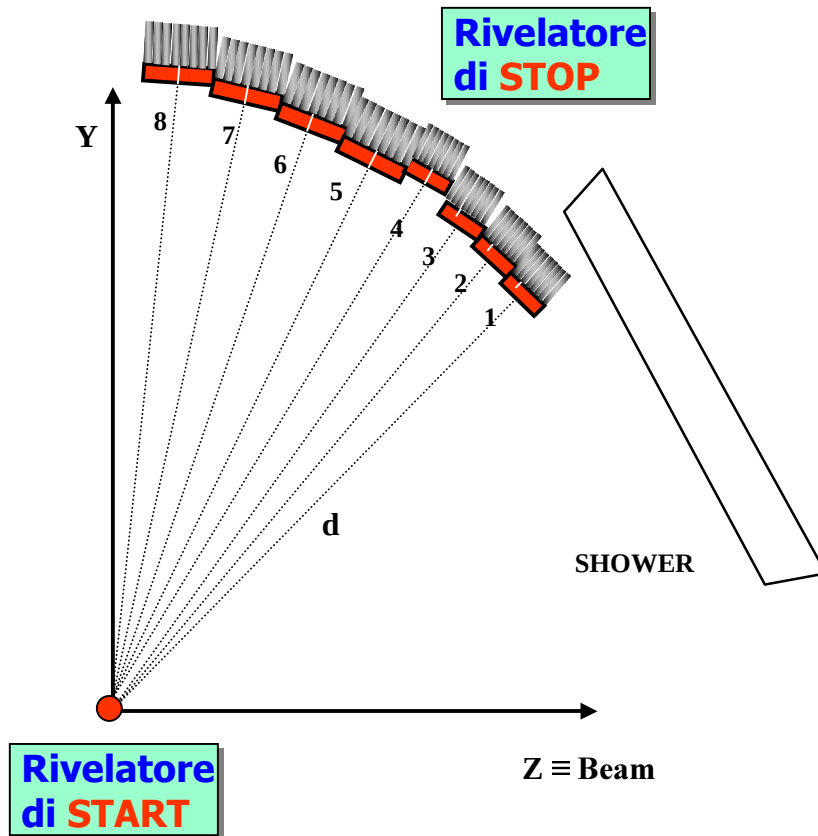


Distribuzione di molteplicità del settore 3 del TOF, con molteplicità leptonica 1 e 2 sul RICH



TOF: Tempo di volo

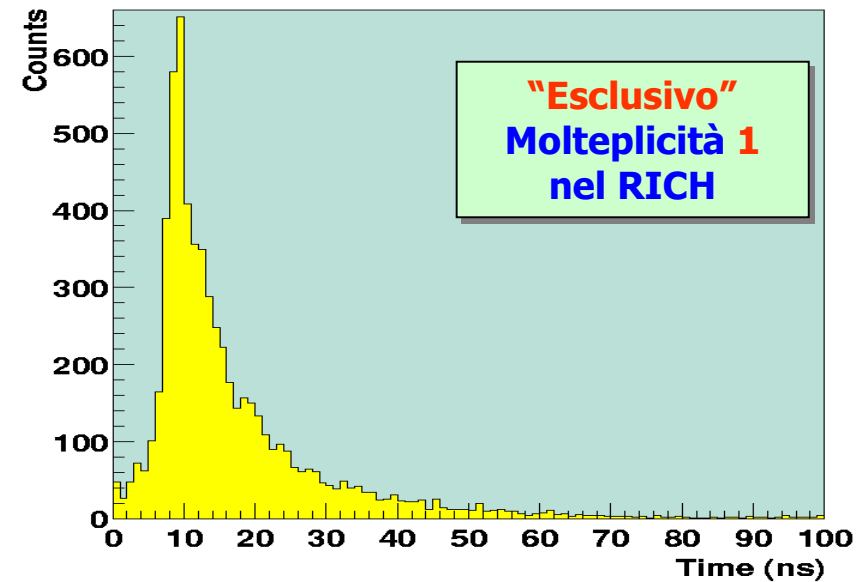
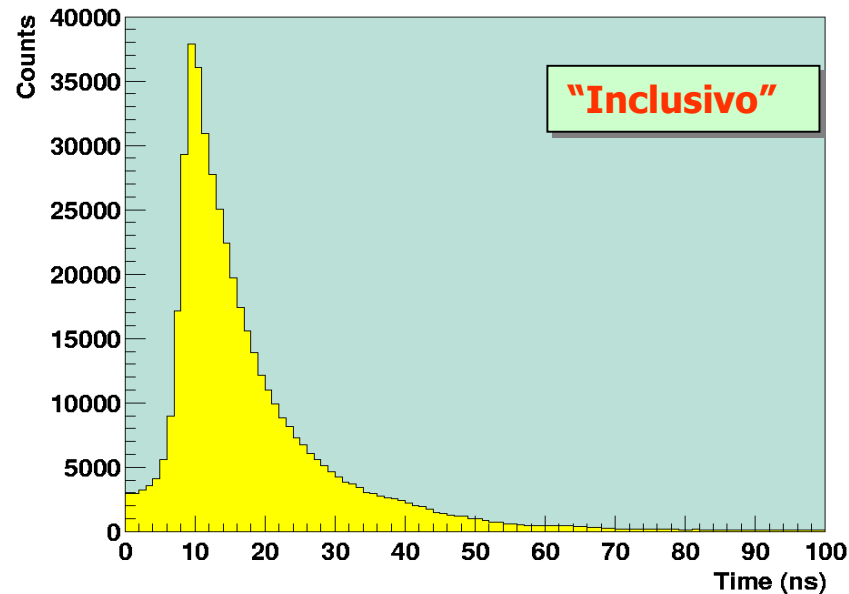
tempo di volo: il tempo che impiega la particella dal bersaglio al muro di TOF



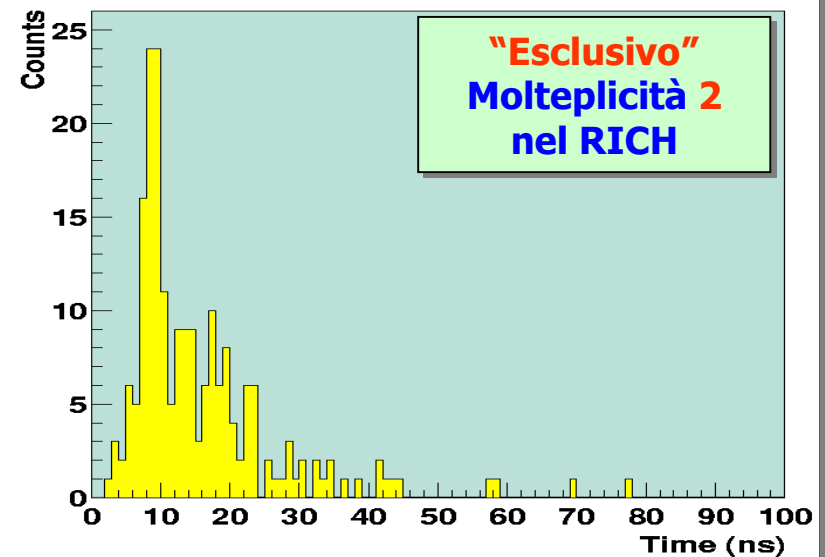
- La distanza percorsa varia da **200 ÷ 220 cm**
- Tempi di volo normalizzati a **3 m**

Tempo di volo: RICH - TOF

SETTORE 3

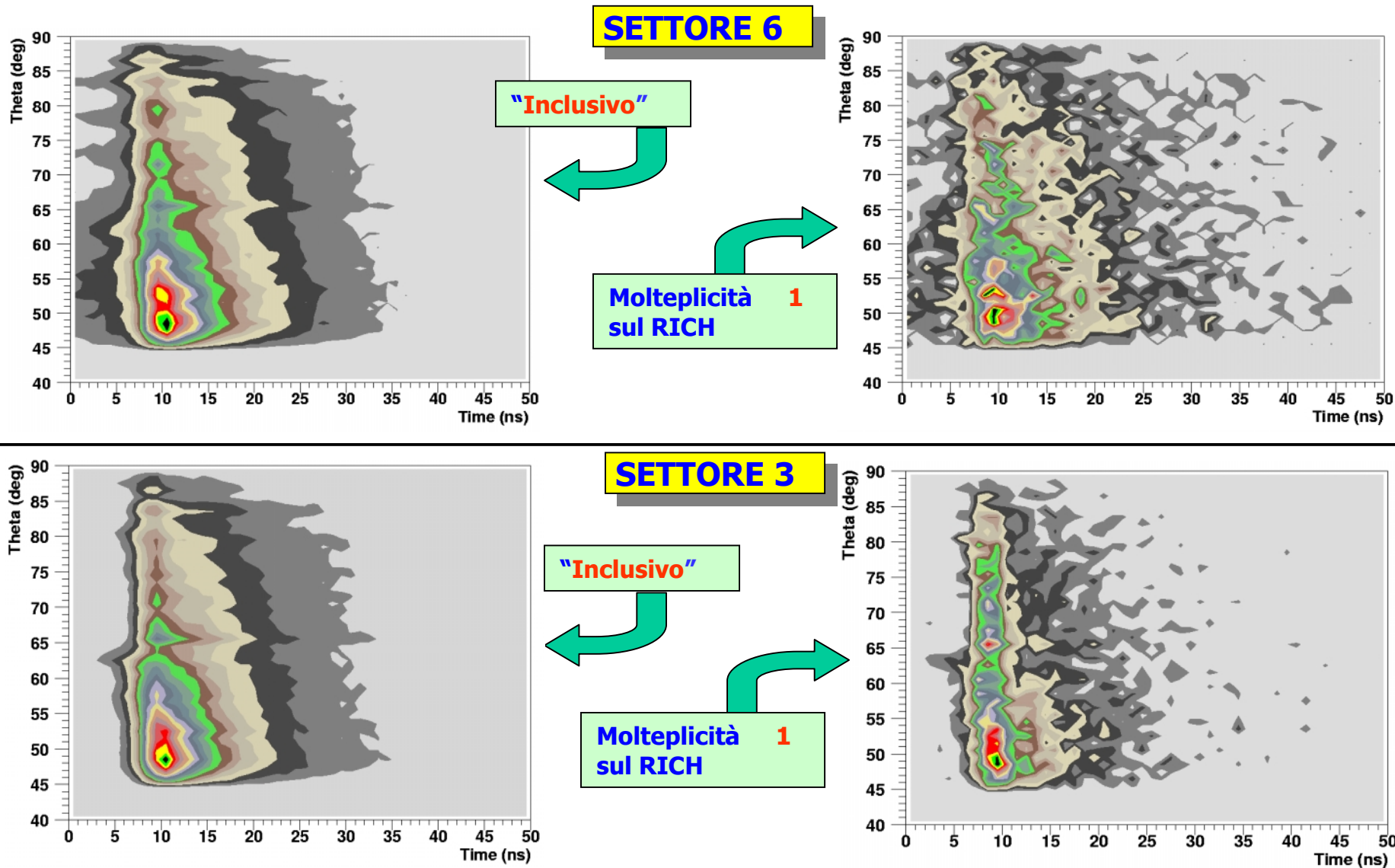


- Istogramma **"Inclusivo"**: senza nessuna condizione nel RICH
- Istogrammi **"Esclusivo"**: sono state imposte le condizioni di molteplicità di RICH 1 e 2, implica che in un evento ci sono **almeno 1 o 2 leptoni**

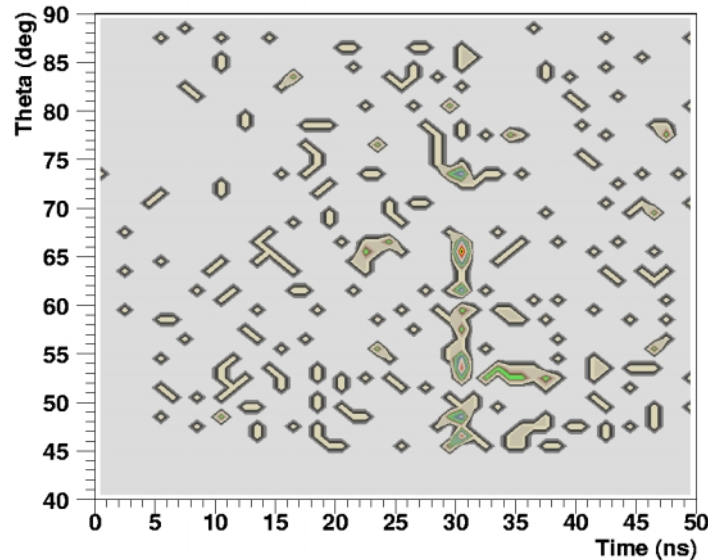


Correlazioni spaziali: RICH – TOF (1)

Grafici di correlazione tra il tempo di volo (in nanosecondi) e l'angolo polare theta (in gradi) delle particelle sul TOF

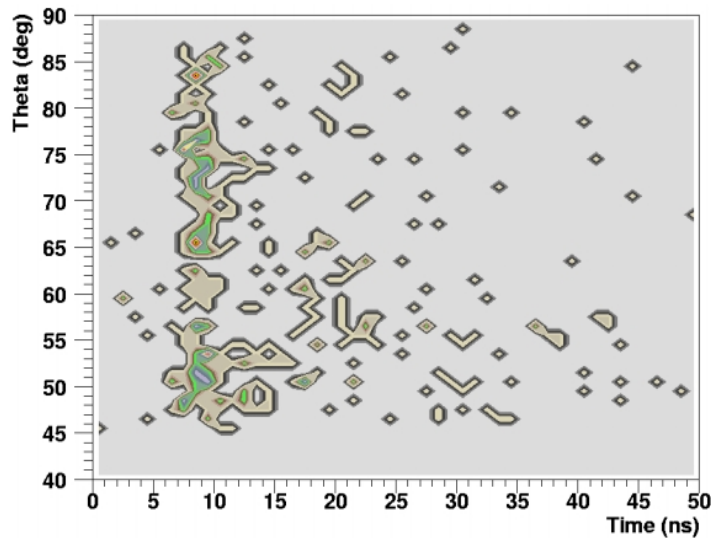
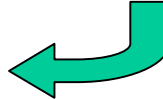


Correlazioni spaziali: RICH – TOF (2)



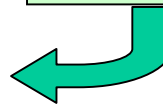
SETTORE 6

Molteplicità 2
sul RICH



SETTORE 3

Molteplicità 2
sul RICH

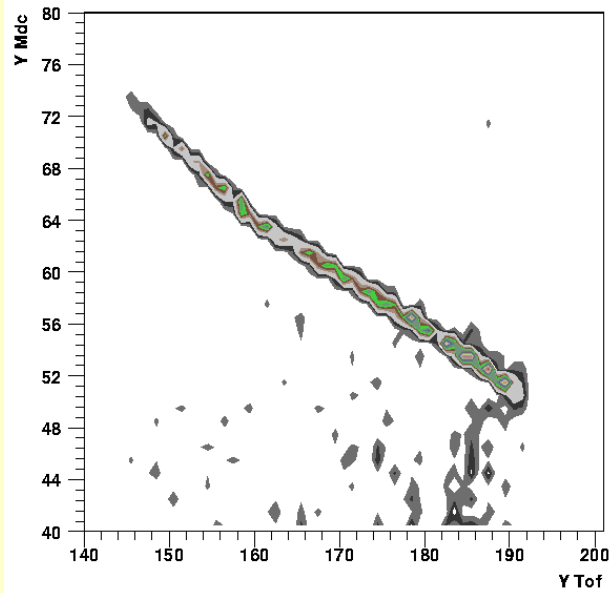


Osservazioni

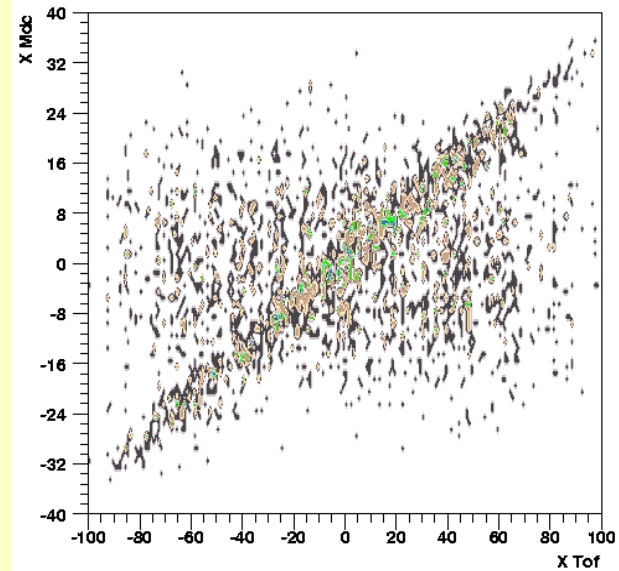
- Distribuzione di particelle scorrelate
- TOF e RICH stesso settore (3)
- La distribuzione si sposta verso valori di tempo più piccoli

Correlazioni spaziali: MDC – TOF

Correlazione tra le coordinate x e y del rivelatore TOF con le coordinate x e y delle MDC

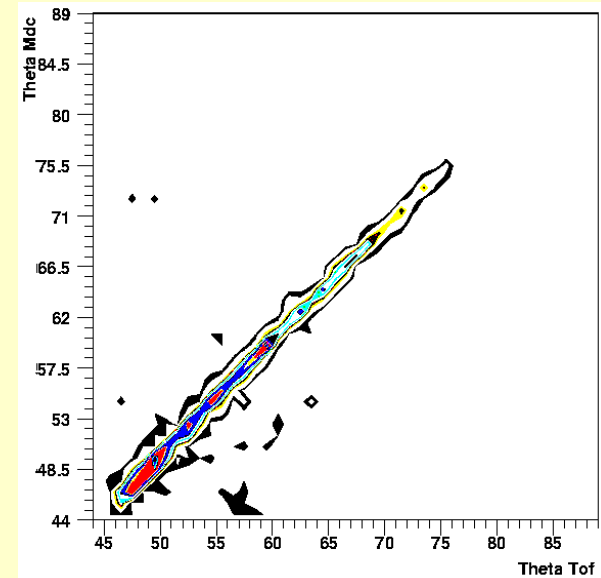


Correlazione
Y MDC $\Rightarrow$ Y TOF
(cm) (n° barra)



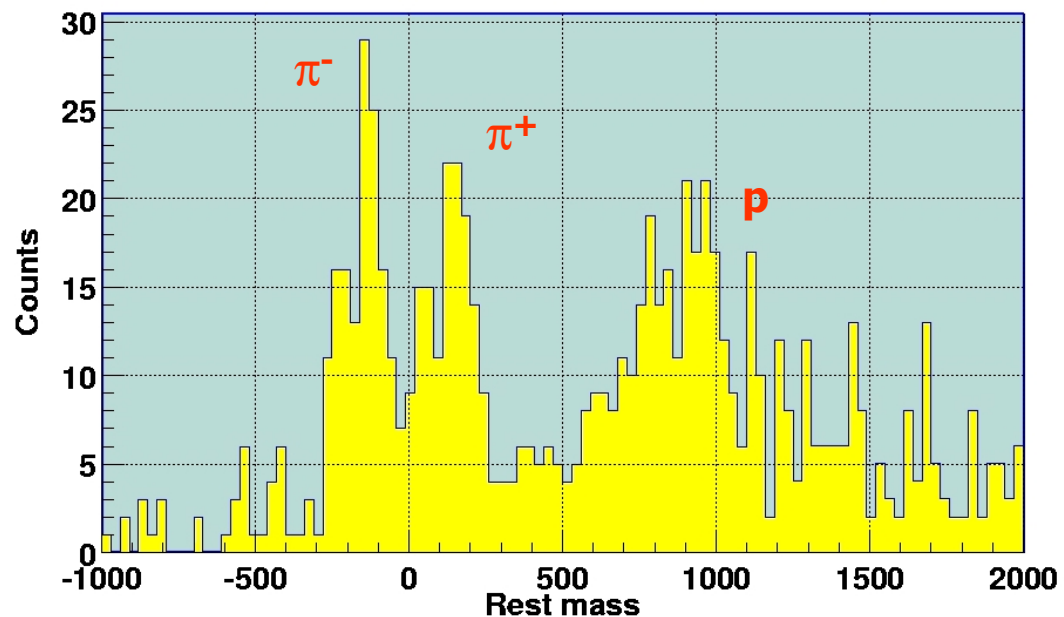
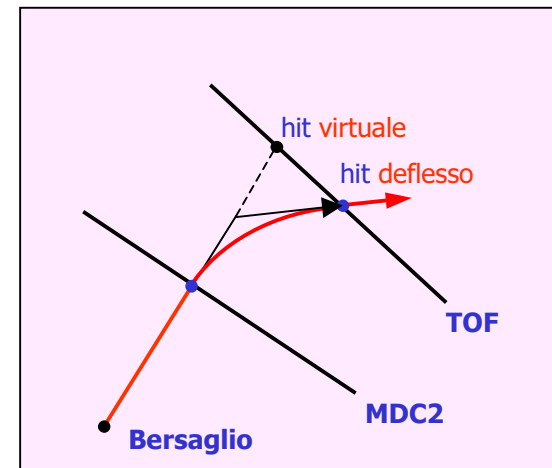
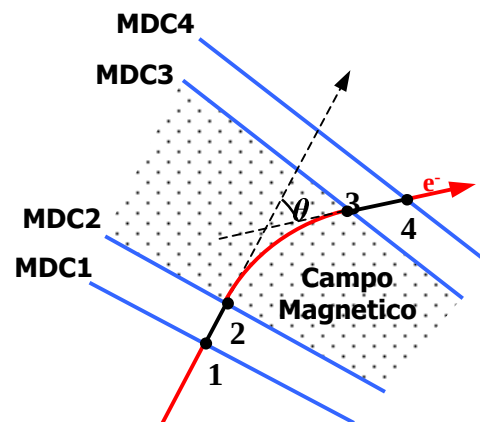
Correlazione
X MDC $\Rightarrow$ X TOF
(cm) (cm)

Correlazione
Theta MDC $\Rightarrow$ Theta TOF
(gradi) (gradi)



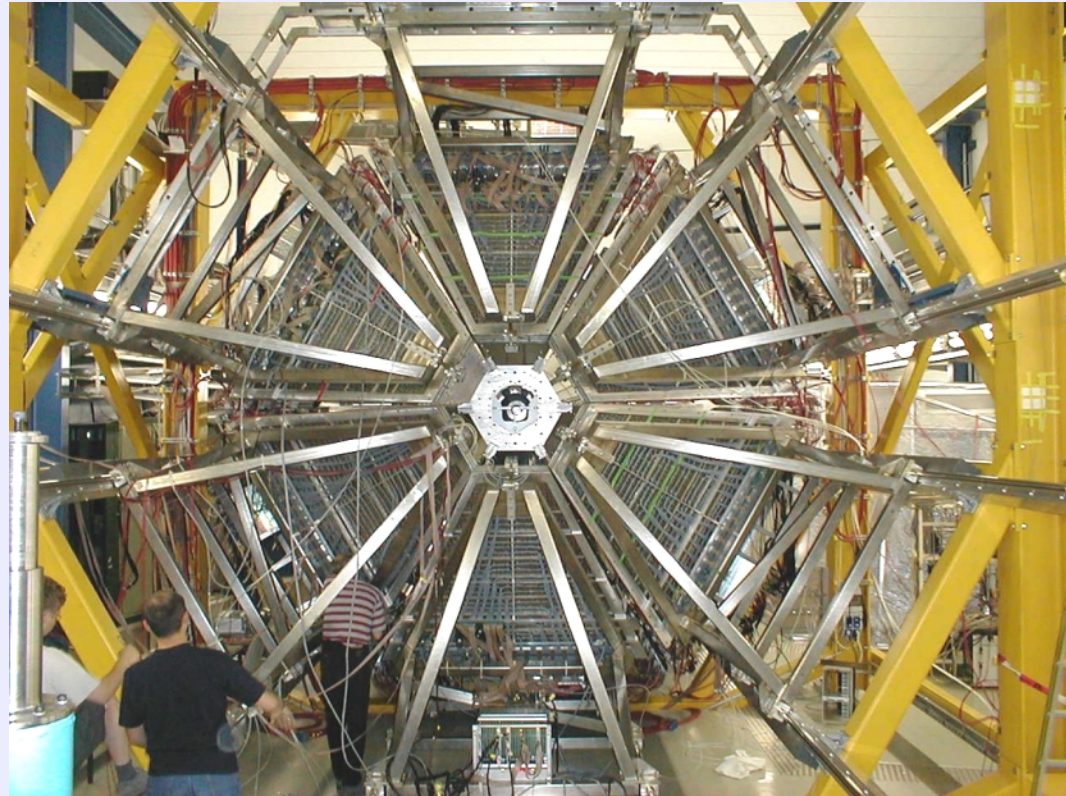
TOF con il campo magnetico acceso

- Test run con campo magnetico in funzione
- Fascio: **C+C @ 1.4 AGeV**
- Ricostruzione traiettoria delle particelle deflesse utilizzando: **MDC2 e TOF**



Stato attuale HADES

- Allo stato attuale il rivelatore TOF è completamente installato, tutti e sei i settori sono montati e funzionanti per la misura di tempo di volo
- Lo SHOWER è completo in tutti i settori
- Il RICH è completo, tranne il settore 5
- Le MDC sono complete, al 60%

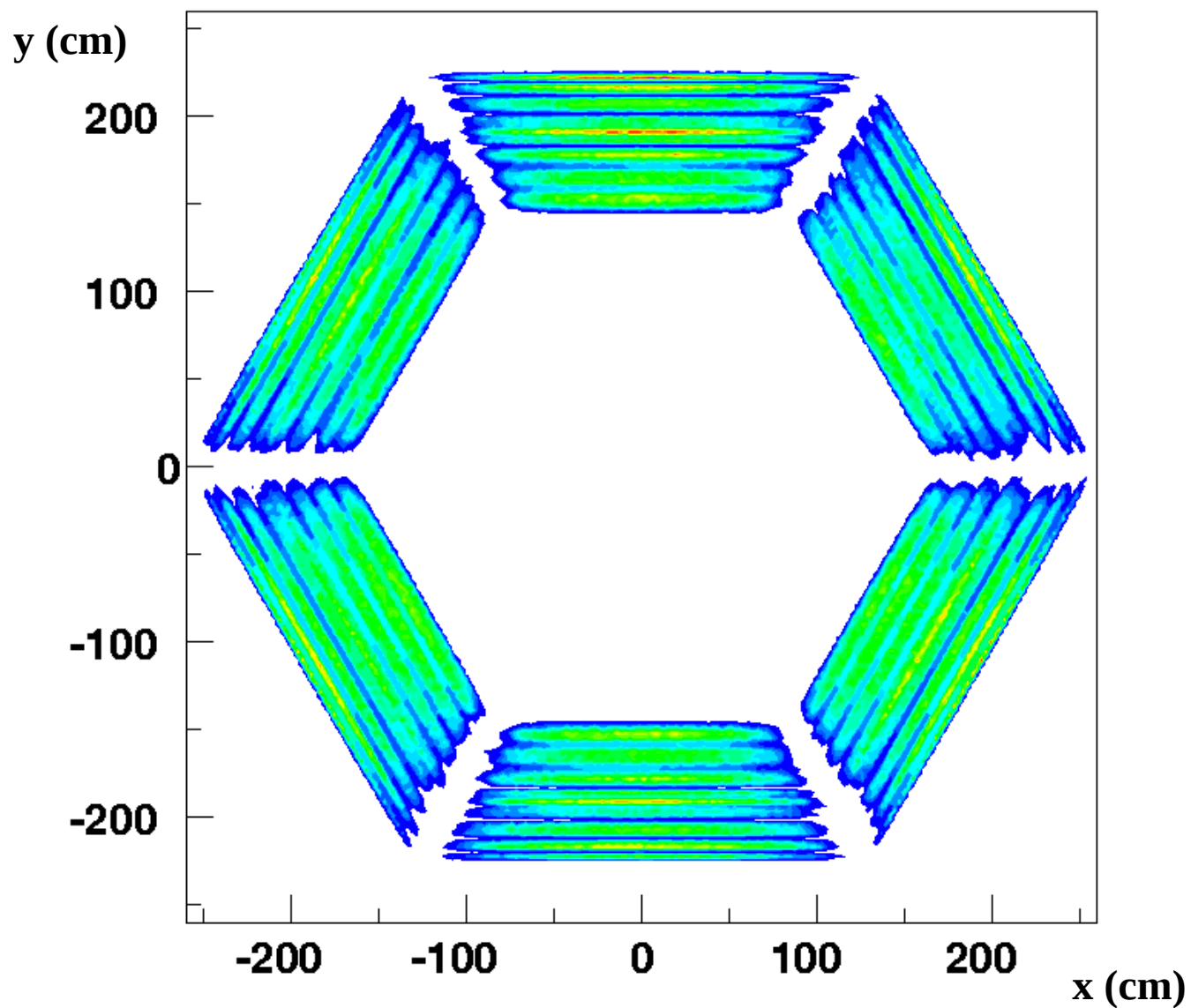


Vista frontale dello spettrometro HADES

Conclusioni e prospettive

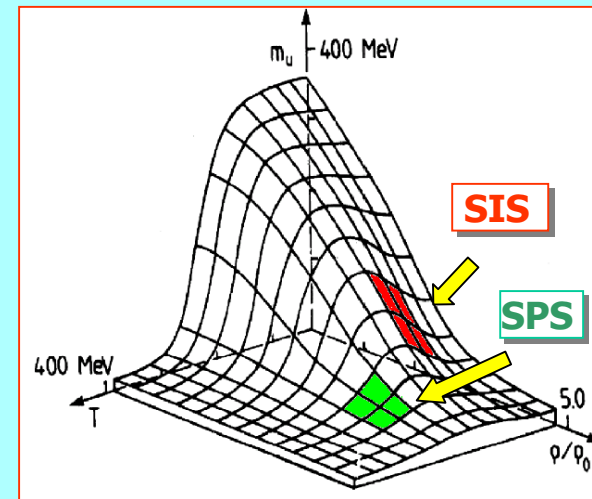
- I risultati dei dati raccolti durante i test run, dimostrano l'affidabilità dei singoli rivelatori di cui è composto lo spettrometro HADES, in particolare il rivelatore TOF
- Nel momento in cui HADES sarà in funzione a pieno regime, esso permetterà di collezionare in pochi giorni un numero di eventi e^+e^- superiore a quello totale collezionato dalla collaborazione DLS nel corso di tutta la sua esistenza
- Lo spettrometro potrà finalmente fornire un importante contributo per chiarire alcuni meccanismi che regolano la generazione delle masse adroniche.

Rappresentazione degli hit sul TOF



Canale di decadimento dei mesoni vettori ρ ω e Φ

- I mesoni vettori sono delle **particelle instabili** che decadono in due o più particelle.
- Impossibile effettuare **misure dirette** delle loro masse all'interno della materia nucleare.
- Il canale di decadimento di **di-leptoni** (e^+e^-) è una ottima sonda per investigare la materia nucleare.
- I **diversi processi** che hanno come prodotto di decadimento una coppia di leptoni (e^+e^-).



I SOTTORIVELATORI che costituiscono HADES

RICH

**Magnete
superconduttore**

MDC

SHOWER

TOF

Il **RICH** è sostanzialmente "cieco" agli adroni ed è utilizzato come prima identificazione degli elettroni, copre un angolo azimutale tra i **13° ÷ 88°**.

Il **magnete superconduttore** a geometria toroidale, fornisce un impulso trasverso necessario per misurare il momento delle particelle cariche con una risoluzione di circa 1%.

Quattro set di **camere a deriva**, poste due prima e due dopo la regione di campo magnetico, che servono alla precisa determinazione delle traiettorie delle particelle cariche.

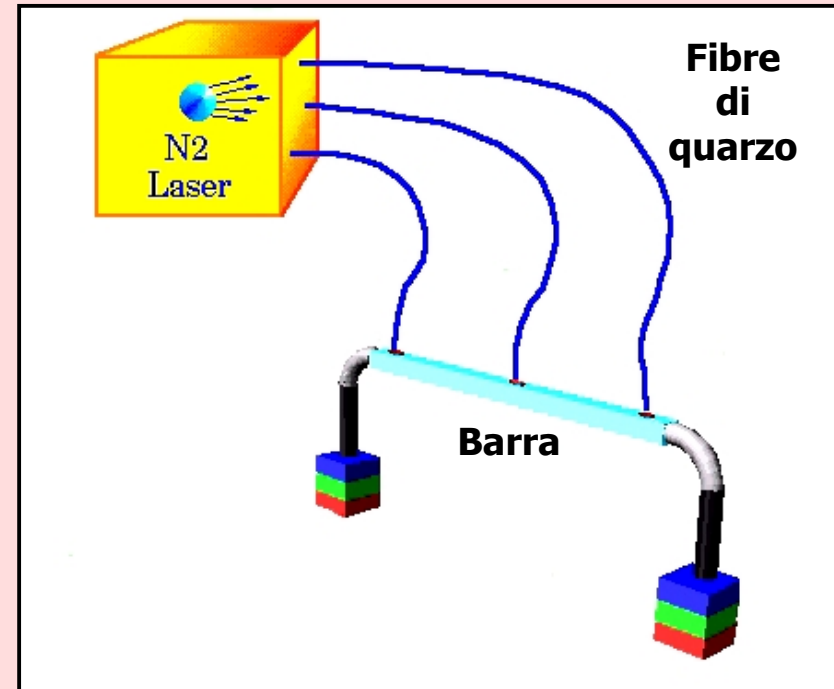
Rivelatore di sciame, discrimina elettroni da adroni e determina la posizione in bassa precisione. Insieme al **RICH** è utilizzato per la decisione veloce sull'accettazione/rigetto degli eventi tra **13° e 44°**.

Il **rivelatore di tempo di volo**, misura la molteplicità di particelle cariche, discrimina elettroni da adroni e determina, in bassa precisione, la posizione. Insieme al **RICH** è utilizzato per la decisione veloce sull'accettazione/rigetto degli eventi tra **44° e 88°**.

Calibrazione Laser

Il sistema dovrebbe permettere di:

- **Settare il TOF durante le condizioni di lavoro e controllare simultaneamente le prestazioni di tutti i suoi componenti**
- **Misurare i parametri fondamentali per ogni scintillatore, λ_{at} , V_{gr} , λ_{td} e θ_{AV} , anche la caratteristica dello stato ottico della barra e la sua superficie**



Sistema di TRIGGER di HADES

Il sistema di trigger è progettato per la **selezione di decadimenti leptonici** in reazioni di ioni pesanti, in grado di operare ad un tasso di eventi fino a $10^6/s$. Il sistema di trigger ha tre livelli

LIVELLO 1

- Il primo livello è basato sulla **selezione di collisioni centrali**, dove è massima la probabilità di produzione di mesoni vettori.
- Utilizza l'informazione di **molteplicità** di particelle cariche dal rivelatore **TOF**
- Il tasso di eventi primario è ridotto di un **fattore 10**

LIVELLO 2

- Il secondo livello è basato sulla presenza di una **coppia di "candidati" e^+e^-** tra gli eventi che hanno superato il primo livello
- Utilizza le informazioni dai rivelatori **RICH, TOF SHOWER**
- Il tasso di eventi primario è ridotto di un **fattore 100**

LIVELLO 3

- Il terzo livello è basato su un controllo di **potenziali candidati** che hanno superato la seconda selezione, vengono confrontati con le **tracce ricostruite** con le **MDC**
- Il tasso di eventi primario è ridotto di un **fattore 10**

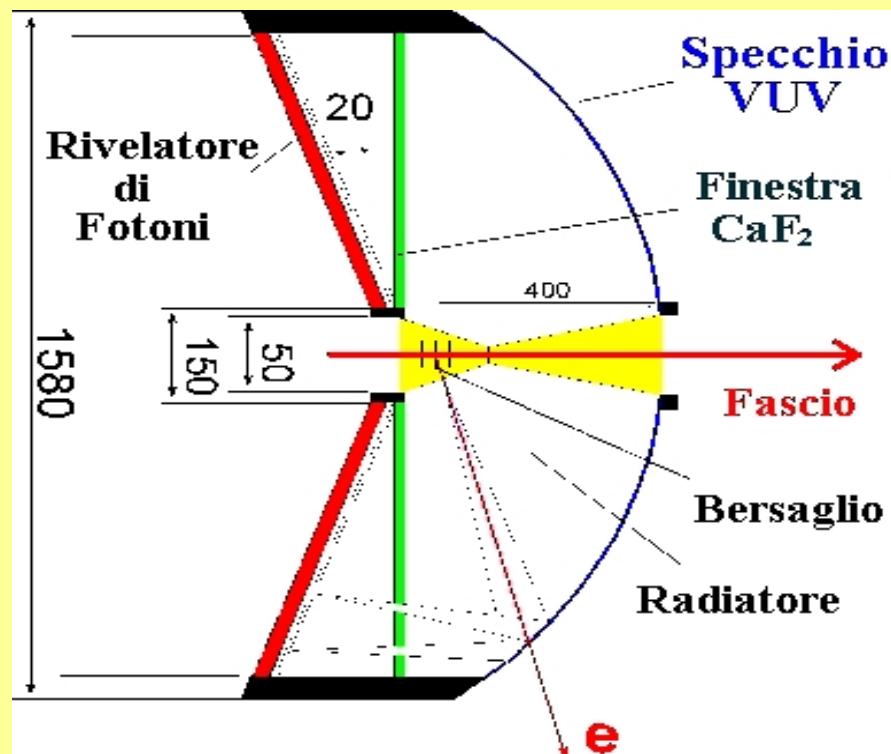


Rivelatore RICH (Ring Imaging CHerenkov)

Effetto Cherenkov

quando una particella carica si muove in un mezzo a velocità V superiore a quella della luce nello stesso mezzo (c/n), essa emette fotoni in un cono, secondo un angolo

$$\cos\theta = 1/\beta n$$

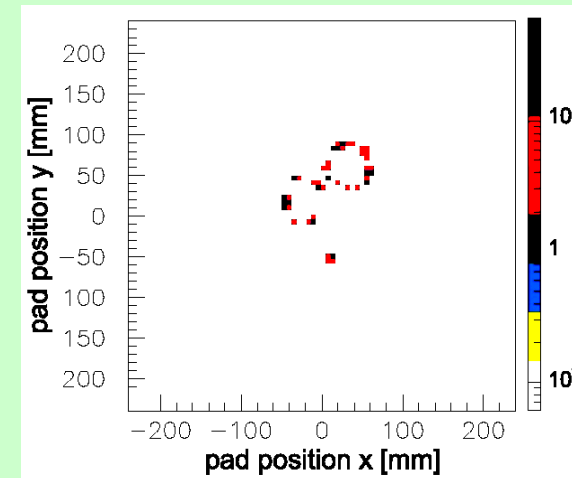


Caratteristiche

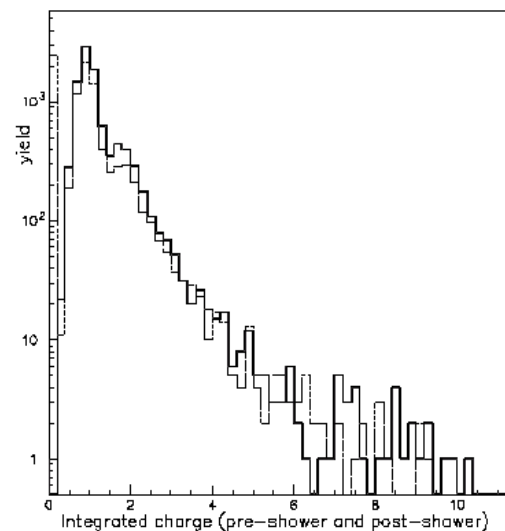
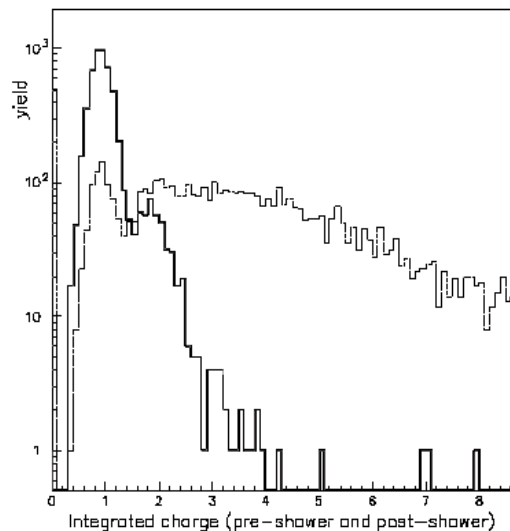
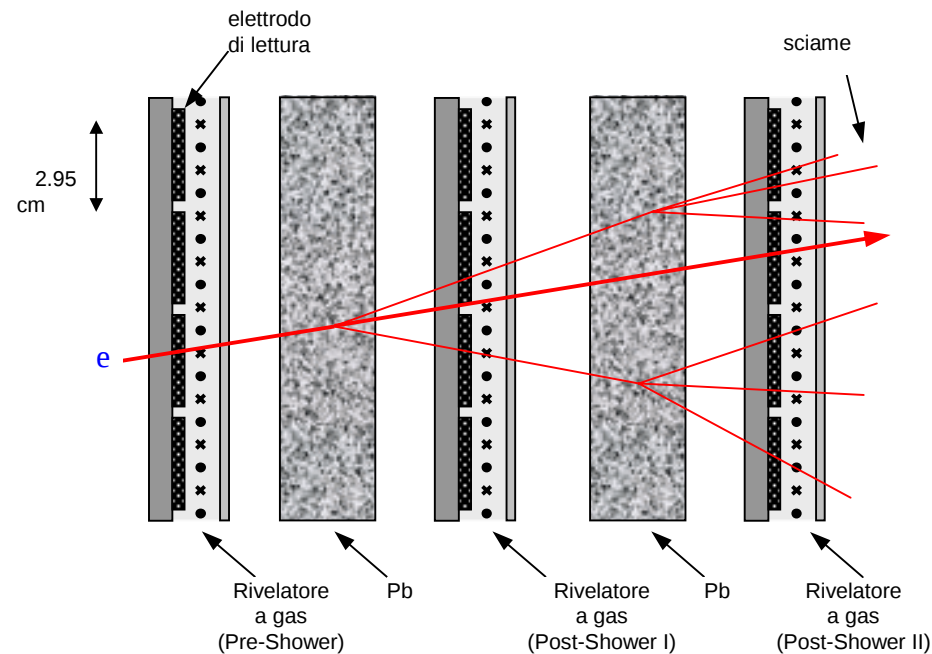
- **Soglia in unità γ :**

$$\gamma = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$
- Il radiatore del RICH è il gas C_4F_{10} che presenta una soglia:

$$\gamma_{soglia} \approx 18$$
- Alle energie 1-2 AGeV il RICH è cieco per gli adroni (p e π)

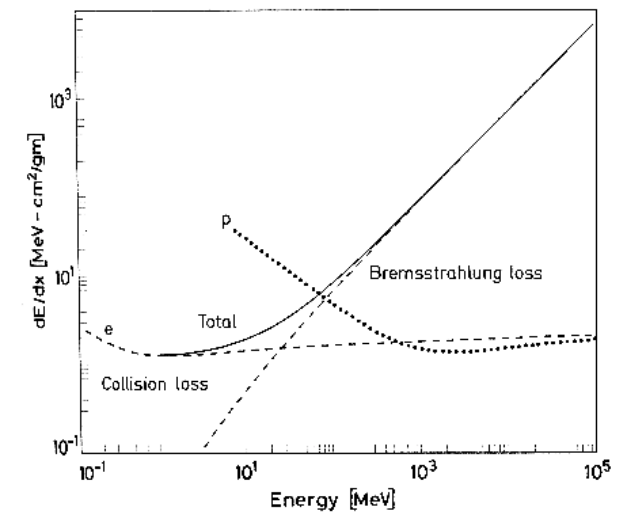


Rivelatore SHOWER

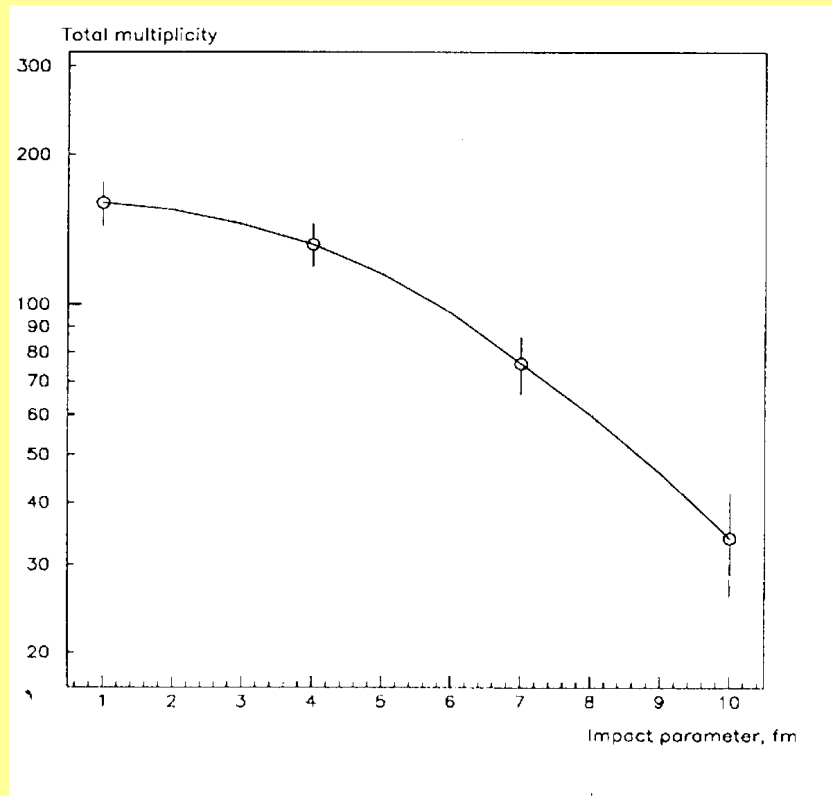


Il principio Fisico

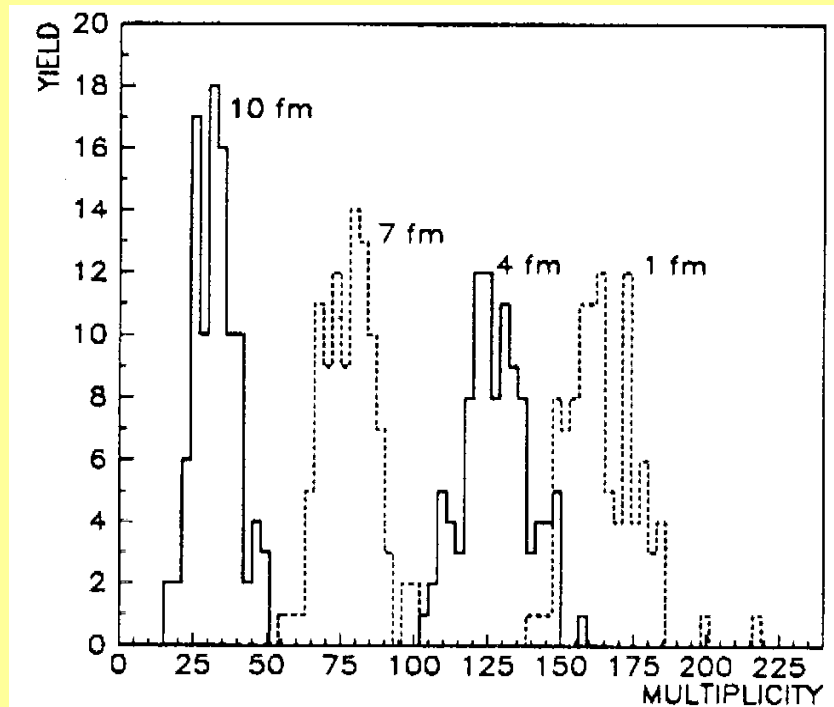
- Effetto combinato di emissione di **Bremsstrahlung** e produzione di coppie (e^+e^-)
- Il rivelatore a gas con sensori a pad opera in **regime SQS**
- **Confronto** della carica totale prima e dopo il materiale convertitore (Pb)



TOF: Molteplicità – parametro d'urto



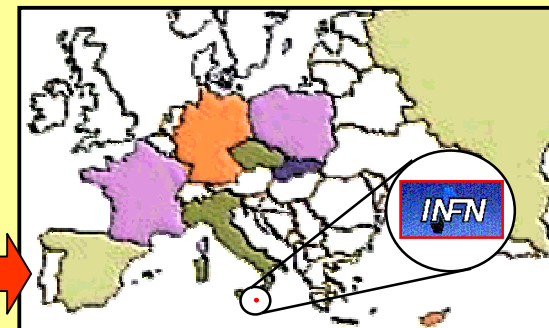
Molteplicità di particelle cariche verso parametro d'impatto



Distribuzione di molteplicità di particelle per differenti parametri d'impatto

Collaborazione HADES High Acceptance Di-Electron

Attualmente la collaborazione è composta di 19 Istituzioni situate in 9 paesi europei



Motivi che hanno spinto la collaborazione HADES a progettare e costruire uno spettrometro per di-elettroni

Dai risultati degli altri esperimenti:

- Lo spettrometro **CERES** opera ad energia molto elevate, molto al di sopra della soglia energetica per la produzione di mesoni d'interesse.
- Lo spettrometro **DLS** è ideale da un punto di vista energetico, ma possiede un'accettanza molto ridotta

OBIETTIVI:

- Elevata accettanza
- Ottima risoluzione in massa invariante
- Capacità di lavorare in ambienti ad alta molteplicità ed elevati conteggi