

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

Rappresentante Nazionale: Finocchiaro Paolo

Struttura di appartenenza: LNS

Posizione nell'I.N.F.N.: Dipendente

Ricercatore responsabile locale: Finocchiaro Paolo

PROGRAMMA DI RICERCA

A) INFORMAZIONI GENERALI

Linea di ricerca	Collisioni tra ioni pesanti ad energia di 1-2 GeV/amu
Laboratorio ove si raccolgono i dati	GSI Darmstadt (Francoforte, Germania)
Acceleratore usato	Sincrotrone GSI
Fascio (sigla e caratteristiche)	C, Ca, Au, p 1-2 GeV/amu; pioni 1-2 GeV/c
Processo fisico studiato	Produzione di dileptoni in collisioni tra ioni pesanti a 1-2 GeV/amu; proprieta' dei mesoni nella materia nucleare.
Apparato strumentale utilizzato	HADES (High Acceptance Di-Electron Spectrometer)
Sezioni partecipanti all'esperimento	LNS, MI
Istituzioni esterne all'Ente partecipanti	GSI, Univ. Giessen, Univ. Frankfurt, T.U. Munich, Univ. Heidelberg, Univ. Cracow, JINR Dubna, Univ. Rossendorf, ITEP, LPI, MEPhI Moscow, IOP Bratislava, INP Rez, Univ. Valencia, Univ. Santiago de Compostela, Univ. Clermont-Ferrand, IN2P3 Orsay, Univ. Nikosia
Durata esperimento	

B) SCALA DEI TEMPI: piano di svolgimento

PERIODO	ATTIVITA' PREVISTA
2001	Completamento dell'assemblaggio dello spettrometro in configurazione a risoluzione ridotta; presa dati con fasci ionici medio leggeri e con fasci di protoni.
2002	Completamento dell'assemblaggio dello spettrometro in configurazione ad alta risoluzione; presa dati con fasci ionici medio pesanti, con fascio di protoni e con fascio di pioni

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO
2001
In ML

VOCI DI SPESA	DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale										
		Parziali	Totale Compet.											
Viaggi e missioni	Interno Riunioni Catania - Milano	10	10											
	Estero Meeting di collaborazione Riunioni (analisi, controlli, software) 1 turno (set-up e misura) 1 turno di misura	8 15 30 25 sj	78 di cui 25 sj											
Materiale Consumo	Realizzazione di 6 segment/master controller Realizzazione di 1 DAQ CPU con ATM Manutenzione ordinaria TOF (ottico/meccanica)	30 20 5	55											
Traspe. facch.	Spedizione materiale per riparazioni, etc.	4	4											
Spese Calcolo	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Consorzio</td> <td>Ore CPU</td> <td>Spazio Disco</td> <td>Cassette</td> <td>Altro</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Consorzio	Ore CPU		Spazio Disco	Cassette	Altro							
Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette		Altro									
Affitti e manutenz. apparecchiati.														
Materiale Inventariabile	1 unita' DLT 2 discriminatori CFD di scorta	7 10	17											
Costruzione Apparati														
Totale			164 di cui 25 sj											

Note:

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

ALLEGATO MODELLO EN2

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE
PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO

In ML

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	10	78	55	4			17		164
2002	10	80	60	4			10		164
TOTALI	20	158	115	8			27		328

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

PREVISIONE DI SPESA**Piano finanziario globale di spesa****In ML**

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Materiale di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	20	140	82	9			91		342
2002	20	140	85	7			82		334
TOTALI	40	280	167	16			173		676

Note:

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

(Vedere anche la relazione allegata con la descrizione della problematica fisica)

L• esperimento HADES

Diamo qui una descrizione schematica dello spettrometro e del suo stato attuale presso il GSI di Darmstadt, in modo da fornire una visione chiara, per quanto possibile, dell'insieme in cui va ad inquadrarsi la nostra proposta. Ricordiamo che la collaborazione, regolata da un Memorandum Of Understanding siglato nel corso del 1999, orbita intorno al GSI, laboratorio presso il quale è installato lo spettrometro. Essa conta i seguenti istituti:

- Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences (Bratislava, Slovakia)
- INFN Laboratori Nazionali del Sud, (Catania, Italy)
- Lab. de Physique Corpusculaire, Universite Blaise Pascal/Clermont II (Clermont (Aubiere Cedex), France)
- Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, (Cracow, Poland)
- Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University (Cracow, Poland)
- Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) (Darmstadt, Germany)
- Institut für Kern- und Hadronenphysik, Forschungszentrum Rossendorf (FZR) (Dresden, Germany)
- Lab. of High Energy Physics, Joint Institute of Nuclear Research (JINR) (Dubna, Russia)
- Institut für Kernphysik, Johann Wolfgang Goethe-Universität (Frankfurt, Germany)
- Physikalisches Institut, Justus Liebig Universität (Gießen, Germany)
- Physikalisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität (Heidelberg, Germany)
- INFN Sezione di Milano (Milano, Italy)
- MEPhI Department of Electronics, (Moscow, Russia)
- ITEP (Moscow, Russia)
- Physik Department E12, Technische Universität (München (Garching), Germany)
- Department of Natural Science, University of Cyprus (Nicosia, Cyprus)
- Division de Recherche, Institut de Physique Nucleaire (Orsay, France)
- Nuclear Physics Institute, Czech Academy of Sciences (Rez, Czech. Rep.)
- Departamento de Fisica de Particulas, Universidade de Santiago de Compostela (Santiago de Compostela, Spain)
- Instituto de Fisica Corpuscular, University of Valencia (Valencia (Burjasot), Spain)

HADES, High Acceptance Di-Electron Spectrometer, è uno strumento particolarmente selettivo e di grande accettazione, che nasce per lo studio di canali di decadimento in due leptoni (e^+e^-) di alta energia in collisioni tra ioni pesanti ad energie dell'ordine del GeV/amu. Un importante canale di ingresso addizionale è costituito da collisioni tra pioni e nuclei, ed a tale scopo presso il GSI è stata sviluppata una facility per produrre fasci di pioni.

Il rivelatore è costituito da diversi sistemi di rivelazione in cascata con simmetria esagonale. Procedendo nel verso di avanzamento delle particelle da rivelare si ha nell'ordine:

€ un rivelatore Cherenkov ad immagine anulare (RICH), con specchio in materiale leggero per riflettere i fotoni prodotti e rivelarli, più indietro della targhetta, tramite un sistema di fotocatodi e rivelatori a gas; questo sistema permette di identificare univocamente gli elettroni e di misurarne accuratamente la direzione di emissione;

€ due strati di camere a deriva (Mini Drift Chambers, MDC), seguiti da un sistema di 6 solenoidi, che producono un campo magnetico toroidale, e da altri due strati di camere a deriva: questo sistema permette la determinazione accurata dell'impulso delle particelle tramite misura di variazione di traiettoria prodotta dal campo magnetico;

€ il TOF, che copre gli angoli polari tra 44° e 88° , per la determinazione della molteplicità evento per evento, indice della centralità della collisione, e del tempo di volo e direzione di ciascuna particella rivelata;

€ un rivelatore di sciame, posto agli angoli polari tra 13° e 44° , realizzato con tre strati di camere a gas intercalate da due strati di convertitori in piombo, per effettuare la discriminazione tra leptoni e adroni.

Durante l'esperimento HADES (1997-2000) sono stati effettuati diversi test con fasci parassiti in configurazioni via via più complete. Nell'autunno di quest'anno è previsto un turno finale di test immediatamente seguito da un turno di misura (C+C, 1.7 AGeV). Allo stato attuale il rivelatore TOF è completamente installato, lo stesso vale per il rivelatore SHOWER. Il RICH è installato, anche se alcuni elementi dello specchio sono ancora in lavorazione. Stesso discorso per le MDC: due camere sono già installate, saranno sei per il run in autunno e quindici per la fine dell'anno; le restanti nove, già in produzione, saranno installate nel corso del prossimo anno.

Nuovo Esperimento	Gruppo
Hades2	3

Struttura
L.N.S.

PROPOSTA DI NUOVO ESPERIMENTO

Agli angoli polari 13°-44°, giusto davanti al rivelatore SHOWER, il progetto originale del 1995 prevedeva una continuazione del muro di tempo di volo TOF, al quale si è dovuto finora rinunciare per motivi di budget. In alternativa si è dunque installato un muro a granularità estremamente ridotta realizzato da un gruppo di Troitsk (Russia), detto TOFINO, che permetterà di effettuare la sperimentazione con sistemi medio-leggeri. Per una successiva sperimentazione con sistemi pesanti sarà quasi certamente necessario realizzare la parte mancante ad elevata granularità del TOF.

Durante un test run effettuato nel Settembre 1999 si è avuta l'occasione di avere in funzione contemporaneamente un settore del rivelatore MDC1 in coincidenza con il corrispondente settore del TOF e dello SHOWER, unitamente al magnete. I dati raccolti in questo breve run di C+C a 1.4 AGeV hanno prodotto eventi in coincidenza, a molteplicità rivelata uguale a 1, che hanno permesso di produrre uno spettro di massa delle particelle rivelate. Ciò, ovviamente, sfruttando i dati raccolti nelle stesse condizioni a magnete spento, che hanno permesso la calibrazione. La risoluzione in momento è chiaramente scadente, in quanto per la determinazione della traccia dopo il magnete si è usato il TOF ($Dx \approx 6\text{cm}$) anziché le MDC ($Dx \approx 100\mu\text{m}$).

Durante un test run effettuato nel Dicembre 1999, pur non avendo il magnete in funzione, si è collezionata una discreta statistica con tutti i rivelatori in coincidenza, cosa che ha permesso una calibrazione reciproca tramite la costruzione di diversi plot di correlazione tra i vari rivelatori. In particolare il RICH ha permesso di selezionare leptoni, come comprovato dallo spettro di tempo di volo inclusivo raffrontato a quello in coincidenza con il RICH.

È doveroso mettere in evidenza che l'elettronica del TOF, che fornisce prestazioni più che eccellenti, è stata quasi interamente sviluppata in seno al gruppo, ingegnerizzata in collaborazione con aziende italiane e adesso utilizzata e/o richiesta da altri gruppi sia all'interno che all'esterno di HADES. Stesso discorso vale per il know-how acquisito relativamente ai rivelatori a scintillazione, che permettono una risoluzione in tempo di volo ben al di sotto di 100ps. È altresì doveroso menzionare che il gruppo italiano costituisce un punto di riferimento anche rispetto al software di monitoraggio online e di analisi: nell'ambito del software della collaborazione (Hydra), basato su ROOT, è stato infatti realizzato un pacchetto interattivo altamente affidabile che permette una gestione agevole dell'analisi, con costruzione di multi-istogrammi, condizioni e quant'altro occorre basato su interfaccia grafica (GUI). In tale contesto è anche stata richiesta la nostra collaborazione dagli autori del ROOT.

La nuova proposta di esperimento, a naturale continuazione della realizzazione dello spettrometro, si propone di iniziare la sperimentazione fisica connessa alle problematiche sopra descritte. In particolare il gruppo italiano, costituito da personale dei Laboratori Nazionali del Sud e della Sezione di Milano, è maggiormente interessato alla sperimentazione con fasci di ioni che sono la diretta estensione della problematica aperta (e non conclusa) dalla collaborazione DLS, ferma restando la sua piena partecipazione a tutti gli esperimenti in programma. Diamo qui di seguito alcune brevi note esplicative della richiesta finanziaria inoltrata.

- Materiale inventariabile. L'esperienza acquisita nel corso della sperimentazione di test ha messo in evidenza la necessità di disporre di un certo numero di parti di ricambio, che rappresentano la quasi totalità della richiesta.

- Materiale di consumo. Si rende purtroppo necessario realizzare 6 moduli segment controller ed un modulo CPU di readout, ovviamente relativi al TOF, in versioni reingegnerizzate per sopperire a problemi vari (tra cui una limitazione del tasso di conteggio sostenibile). La nuova realizzazione sarà effettuata in collaborazione con i gruppi di Giessen e di Monaco.

I test effettuati hanno anche messo in evidenza un eccessivo deterioramento dei segnali di ampiezza nel percorso dai tubi fotomoltiplicatori agli shaper, anche a causa della lunghezza superiore a quanto inizialmente previsto per motivi di set-up meccanico. Pertanto si rende necessario realizzare dei cavi più costosi (coassiali a connettori singoli). Si chiede inoltre un modesto contributo per le manutenzioni e riparazioni ordinarie dell'elettronica e del rivelatore.

- Missioni. La richiesta di fondi per missioni è stata formulata sulla base dell'esperienza acquisita negli anni precedenti. È doveroso menzionare che il GSI ha generalmente sostenuto parte delle spese, sia con fondi della Comunità Europea che con fondi locali, e sulla base di ciò le nostre precedenti richieste all'INFN sono sempre state proporzionalmente ridotte, così come lo è la presente. Purtroppo per il 2001 non saranno disponibili fondi EC, nondimeno noi confidiamo (ottimisticamente) di ricevere ugualmente supporto come negli anni precedenti.

Codice	Esperimento	Gruppo
	Hades2	3

Struttura
L.N.S.

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA

N	RICERCATORI Cognome e Nome	Qualifica				Affer. al Gruppo	Percentuale	N	TECNOLOGI Cognome e Nome	Qualifica			Percentuale
		Dipendenti		Incarichi						Dipendenti		Incarichi	
		Ruolo	Art. 23	Ricerca	Assoc.					Ruolo	Art. 23	Ass. Tecnol.	
1	Agodi Clementina	Ric				3	30	1	Finocchiaro Paolo	D.T.			60
2	Bellia Giorgio			P.O.		3	50						
3	Coniglione Rosa	Ric				3	30						
4	Maiolino Concettina	Ric				3	30						
5	Piattelli Paolo	I Ric				3	20						
6	Raciti Giovanni			P.O.		3	20						
7	Sapienza Piera	Ric				3	30						
8	Vassiliev Dmitri				B.P.D.	3	100						
								Numero totale dei Tecnologi					1,0
								Tecnologi Full Time Equivalent					0,6
N	TECNICI Cognome e Nome	Qualifica				Percentuale							
		Dipendenti		Incarichi									
		Ruolo	Art. 15	Collab. tecnica	Assoc. tecnica								
Numero totale dei Ricercatori						8,0	Numero totale dei Tecnici						
Ricercatori Full Time Equivalent						3,1	Tecnici Full Time Equivalent						

Codice	Esperimento	Gruppo
	Hades2	3

Struttura
L.N.S.

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA (cont.)

LAUREANDI Cognome e Nome	Associazione		Titolo della Tesi
	SI	NO	
Bertino Stefano Relatore Bellia/Finocchiaro	<input type="radio"/> SI	<input checked="" type="radio"/> NO	HADES: uno spettrometro di di-elettroni per lo studio della materia nucleare densa
Spataro Stefano Relatore Bellia/Finocchiaro	<input type="radio"/> SI	<input checked="" type="radio"/> NO	Da definire
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	

Denominazione	mesi-uomo	SERVIZI TECNICI Annotazioni

INTERAZIONI CON LE INDUSTRIE (COMMESSE HIGH TECH)

DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA
CAEN	realizzazione convertitori di tempo, convertitori di ampiezza, discriminatori
ASCOM	realizzazione circuiti di ritardo attivi, circuiti di shaping

Codice	Esperimento	Gruppo
	Hades2	3

Struttura
L.N.S.

REFEREES DEL PROGETTO

Cognome e Nome	Argomento
Pagano Angelo	

MILESTONES PROPOSTE PER IL 2001

Data completamento	Descrizione
12/31/2001	Completamento dell'assemblaggio dello spettrometro in configurazione a risoluzione ridotta; presa dati con fasci ionici medio leggeri e con fascio di protoni.
12/31/2002	Completamento dell'assemblaggio dello spettrometro in configurazione ad alta risoluzione; presa dati con fasci ionici medio pesanti, con fascio di protoni e con fascio di pioni

COMPETITIVITA' INTERNAZIONALE

Lo spettrometro HADES e' al momento l'unico strumento al mondo in grado di poter effettuare una misura chiara e pulita di spettri di dielettroni. Diversi gruppi teorici attendono con grande interesse i dati che si pensa di produrre a partire dal 2001.

LEADERSHIPS NEL PROGETTO

Cognome e Nome	Funzioni svolte
Finocchiaro Paolo	Responsabile internazionale del TOF
Finocchiaro Paolo	Membro del Collaboration Board
Iori Ileana	Membro del Collaboration Board
Finocchiaro Paolo	Membro del Technical Board
Iori Ileana	Membro dell'International Affairs Committee della collaborazione

Proposta di nuovo esperimento: HADES2

La problematica.

Lo studio delle proprietà della materia nucleare calda e densa, per mezzo di collisioni relativistiche tra nuclei, è oggi uno degli obiettivi principali della fisica degli ioni pesanti. Al crescere dell'energia cinetica incidente, ben al di sopra della barriera coulombiana, la struttura a "shell" del nucleo è sempre meno rilevante nelle reazioni; fino a circa 30 A MeV sono ancora in gioco stati collettivi dei nuclei, quindi, oltre l'energia di Fermi, lo scenario evolve verso una dinamica in termini di materia nucleare (Figura 1).

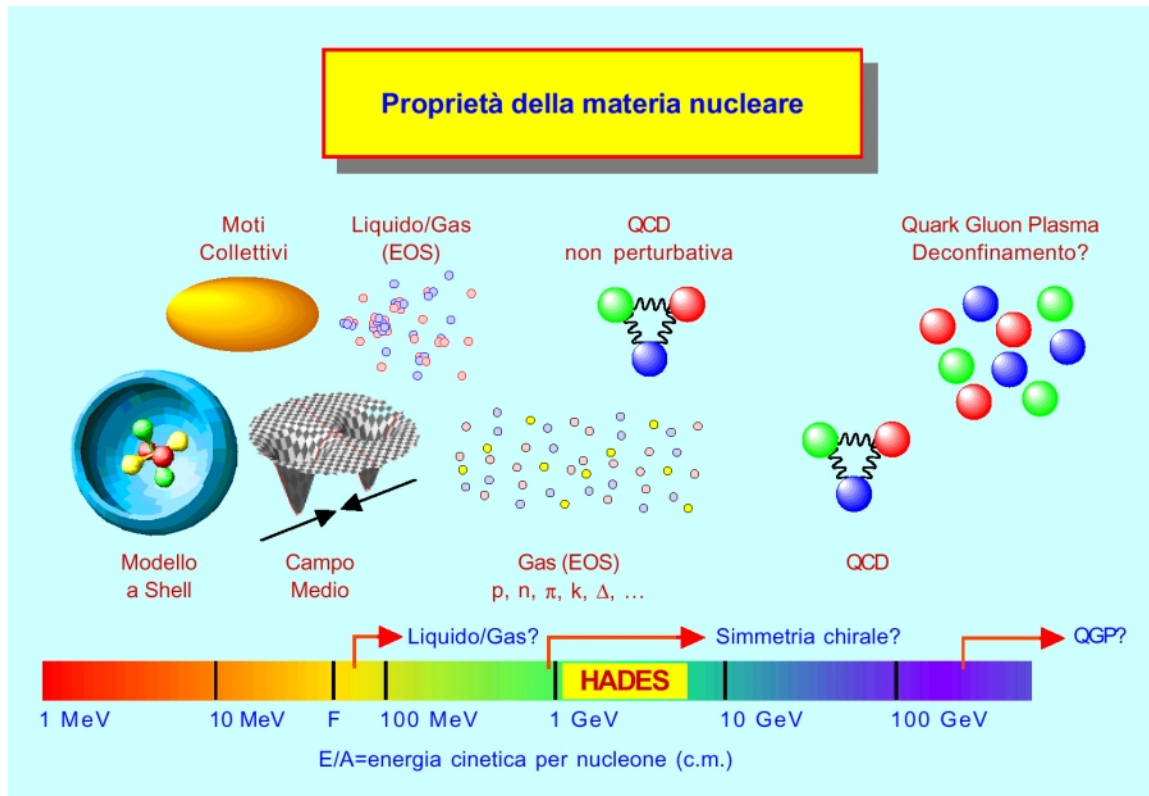


Figura 1 - Proprietà della materia nucleare al crescere dell'energia della collisione

In un tale scenario si cerca di interpretare il comportamento della materia nucleare per mezzo di una equazione di stato che, legando variabili quali pressione, temperatura e densità, fornisca ad esempio spiegazioni ai fenomeni di multi-frammentazione dei nuclei collidenti in termini di una transizione di fase liquido-gas.

Ad energie incidenti più elevate, dell'ordine di 1 A GeV, diversi autori hanno ipotizzato un possibile parziale ripristino di una particolare simmetria, la simmetria chirale [1], che rappresenterebbe un segno precursore di una nuova transizione di fase: da materia adronica a plasma di quark e gluoni (QGP) [2]. Tale ipotesi trae le sue basi da un modello (sigma model) che ipotizza la generazione delle masse degli adroni a partire dal pione (π) e dal suo partner chirale, il mesone sigma (σ), tramite un meccanismo di rottura spontanea di simmetria: il sigma infatti ha una massa considerevolmente più elevata del pione, oltre ad essere instabile. Ciò si esprime dicendo che la simmetria chirale è spezzata: pur essendo il sistema simmetrico in linea di principio, la natura spezza spontaneamente la simmetria con la scelta di uno stato fondamentale che è il pione.

In particolare il modello prevede l'esistenza del mesone σ che diversi autori ritengono di

identificare nella risonanza f_0 , anche se tale interpretazione non è universalmente accettata [3]. La posizione di minimo scelta dalla natura per rottura di simmetria fa sì che il pione abbia massa nulla ed il sigma massa finita (in realtà il pione ha massa piccola, non nulla, ma ciò viene spiegato a partire dalla piccola massa intrinseca dei quark u e d che lo costituiscono). Il modello prevede inoltre una variazione della massa degli adroni in funzione di densità e temperatura, a causa della presenza di un “condensato” chirale che altro non è se non la densità di energia del vuoto dovuta alla presenza di coppie virtuali quark-antiquark. Ecco dunque che la massa degli adroni, e dei quark in particolare, viene descritta come dovuta a due contributi: il primo, intrinseco, molto piccolo, mentre il secondo è attribuito alla presenza del condensato [1]. In Figura 2 è mostrato un tipico andamento previsto per la massa dei quark up e down (che costituiscono tutti gli adroni stabili o quasi stabili dell’universo); si osservi come a densità e/o temperatura sufficientemente elevata tale massa tende a zero (QGP). In particolare si può notare come la variazione di massa sia più uniforme rispetto a variazioni di densità, con un andamento circa lineare, piuttosto che rispetto alla temperatura, nei confronti della quale si ha un andamento a gradino.

E dunque diventa di estremo interesse capire se al crescere della densità si ha un parziale ripristino della simmetria chirale, poichè quest’effetto potrebbe essere un chiaro segno precursore della transizione a QGP.

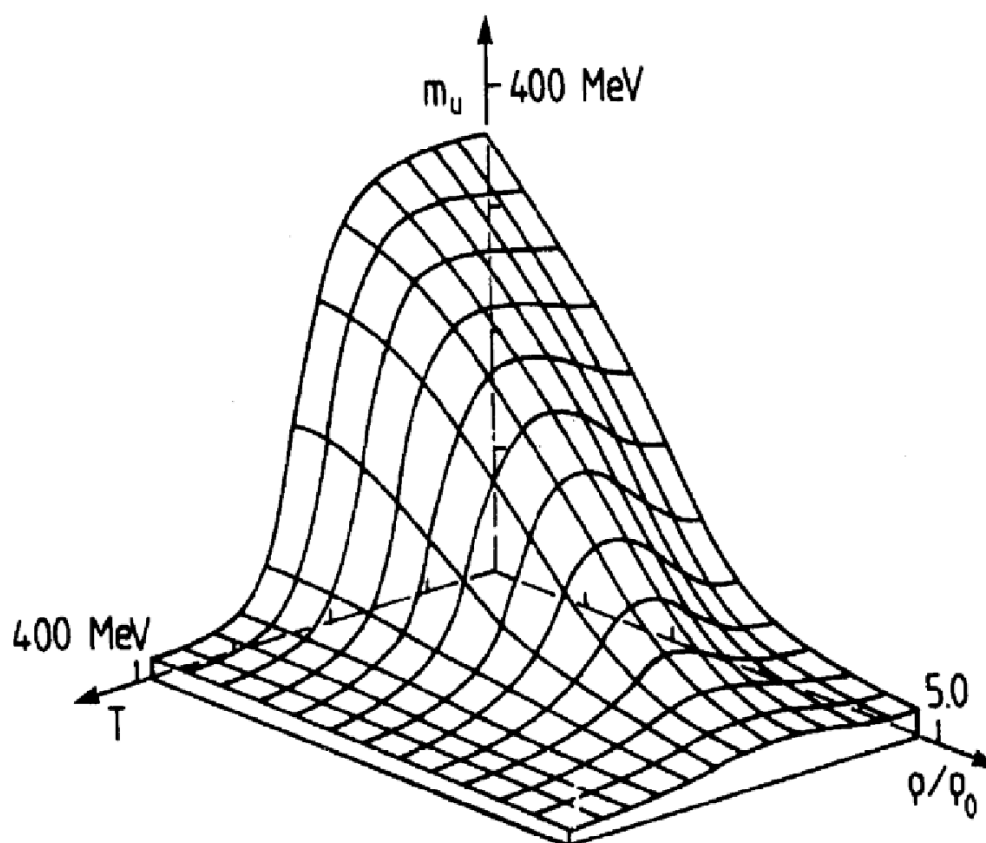


Figura 2 - Un tipico andamento previsto per la massa del quark up; si osservi come a densità e/o temperatura sufficientemente elevata tale massa tende a zero.

Modelli e loro previsioni

Diversi modelli ulteriori sono stati proposti e sviluppati negli ultimi anni per tentare di prevedere il comportamento della materia adronica al variare di densità e temperatura. Il tema più di frequente affrontato riguarda in particolare il comportamento dei mesoni, principalmente alla luce del fatto che la loro costituzione è intrinsecamente più semplice che

non quella dei barioni (due componenti anzichè tre). I mesoni più studiati in questo contesto sono stati π , η , ρ , ω , k e ϕ .

Pressochè tutti i modelli proposti non prevedono variazioni di rilievo nella massa di π , η e k , mentre per quanto riguarda ρ , ω e ϕ (detti mesoni vettori in quanto a spin 1) la situazione risulta variamente articolata e vale dunque la pena di scendere un minimo più in dettaglio per esaminare alcune previsioni.

Il mesone ρ è una risonanza centrata intorno a 770 MeV con una larghezza di circa 150 MeV. La sua vita media estremamente breve, $h/2\pi E$, è dell'ordine di $4 \cdot 10^{-24}$ s. Il mesone ω ha una massa di 782 MeV e una larghezza di 8.4 MeV, con corrispondente vita media di $7 \cdot 10^{-23}$ s; il mesone ϕ , infine, ha una massa di 1020 MeV e una larghezza di 4.4 MeV, con corrispondente vita media di $1.3 \cdot 10^{-22}$ s. E' evidente che le vite medie estremamente brevi di tali particelle ne proibiscono la rivelazione diretta, e dunque per il loro studio sperimentale bisogna far ricorso a dei metodi indiretti.

Esiste una vasta letteratura che mostra come differenti approcci teorici portino a previsioni molto diverse sulle proprietà dei mesoni vettori in materia nucleare densa e calda: per ciascuno di essi ogni modello prevede un comportamento differente. A volte un allargamento della risonanza, oppure un suo spostamento verso energie inferiori o superiori, oppure ancora spostamento ed allargamento insieme [4-9]. I pochissimi dati sperimentali oggi disponibili sembrano indicare uno spostamento verso energie più basse (detto dropping mass dei mesoni vettori) [10, 11].

In conseguenza di quanto detto risulta importante poter effettuare misure di massa dei mesoni vettori al variare della densità del mezzo. Sfortunatamente sia la massa che la densità sono delle variabili assai difficili da controllare. Quest'ultima può essere ricavata a partire dai dati dinamici della collisione, vale a dire dal tipo di proiettile e bersaglio, dall'energia incidente, dal parametro d'impatto che si può desumere dal numero di particelle cariche prodotte nella collisione. La misura della massa è relativamente abbordabile nel vuoto, mentre risulta proibitiva nel mezzo.

La misura della massa

Le misure dirette su mesoni vettori sono irrealizzabili, e a maggior ragione lo sono quelle da effettuare all'interno della materia nucleare. La scappatoia consiste nell'utilizzare i prodotti del decadimento dei mesoni per ricostruire la massa tramite il metodo della massa invariante. Purtroppo però i mesoni interagiscono fortemente con la materia nucleare, visto che i loro canali di decadimento preferenziali sono adronici ($\pi\pi$, $\pi\pi\pi$, ...). Ciò significa che l'informazione iniziale sul mesone prodotto, che è quella di interesse, è distrutta dall'interazione nello stato finale in quanto non siamo in grado di determinare energia e momento dei prodotti del decadimento. Il metodo immediato per la determinazione della massa non è applicabile nel mezzo. Anche qui esiste una scappatoia: uno tra i vari possibili canali di decadimento dei mesoni vettori prevede che il mesone si trasformi in un fotone virtuale, il quale a sua volta decade immediatamente in una coppia elettrone-positrone (e^+e^-) che rappresentano delle sonde indisturbate pressochè ideali. Anche se la probabilità di un tale decadimento è molto bassa, dell'ordine di 10^{-4} , il processo può risultare estremamente vantaggioso: i leptoni non sono soggetti all'interazione forte e dunque trasportano informazione pressochè inalterata sul mesone originario. L'energia a disposizione nel centro di massa, quasi interamente convertita in energia cinetica, è di diverse centinaia di MeV (cioè la massa di riposo del mesone vettore), e quindi la perturbazione del loro moto dovuta all'interazione elettromagnetica con le altre particelle cariche presenti nel mezzo è trascurabile.

Il canale di decadimento e^+e^-

La soluzione appena esaminata sembra ideale, in quanto permette di disporre di un canale di misura "puro" con delle sonde imperturbate del decadimento, ma anche in questo caso ci

sono degli inconvenienti. Esiste infatti tutta una varietà di processi che possono portare ad una coppia e^+e^- nello stato finale, che costituiscono un vero e proprio rumore di fondo nello spettro di massa che si vuole misurare e dei quali è necessario tener conto onde riuscire ad estrarre delle grandezze fisiche significative da ciò che si misura. I più importanti di tali processi sono il decadimento a tre corpi del pione neutro ($\pi^0 \rightarrow \gamma e^+e^-$), il frenamento protone-neutrone ($pn \rightarrow p n e^+e^-$), il decadimento a tre corpi del mesone eta ($\eta \rightarrow \gamma e^+e^-$), il decadimento a tre corpi del barione delta ($\Delta^0 \rightarrow n e^+e^-, \Delta^+ \rightarrow p e^+e^-$).

Gli apparati sperimentali a tutt'oggi realizzati per la misura di di-elettroni sono sostanzialmente due: CERES e DLS. Il primo, operante presso l'acceleratore SPS al CERN, ha prodotto dei dati molto interessanti dai quali si evince un eccesso di produzione di di-elettroni nella regione di massa al di sotto del mesone ρ solo nel caso di collisioni nucleo-nucleo; un tale eccesso, non spiegabile con alcuno dei meccanismi noti, non si presenta in collisioni protone-nucleo. Purtroppo CERES opera ad energie molto elevate, centinaia di AGeV, e dunque ben al di sopra della soglia energetica per la produzione dei mesoni di interesse; ciò implica che il numero di canali di reazione aperti è elevato e può dar luogo a molteplici interpretazioni dei dati. Il secondo, operante a Berkeley ad energie di 1 AGeV, è ideale da un punto di vista energetico perchè appena al di sopra della suddetta soglia, ma possiede un'accettanza geometrica molto ridotta. Anche DLS ha prodotto indicazioni di un eccesso di di-elettroni nella stessa regione di massa al di sotto del mesone ρ (Figura 3 e Figura 4). Purtroppo il comune risultato dei due esperimenti è la statistica davvero ridotta: il numero totale di eventi di di-elettroni "puri" è dell'ordine di qualche migliaio in entrambi i casi.

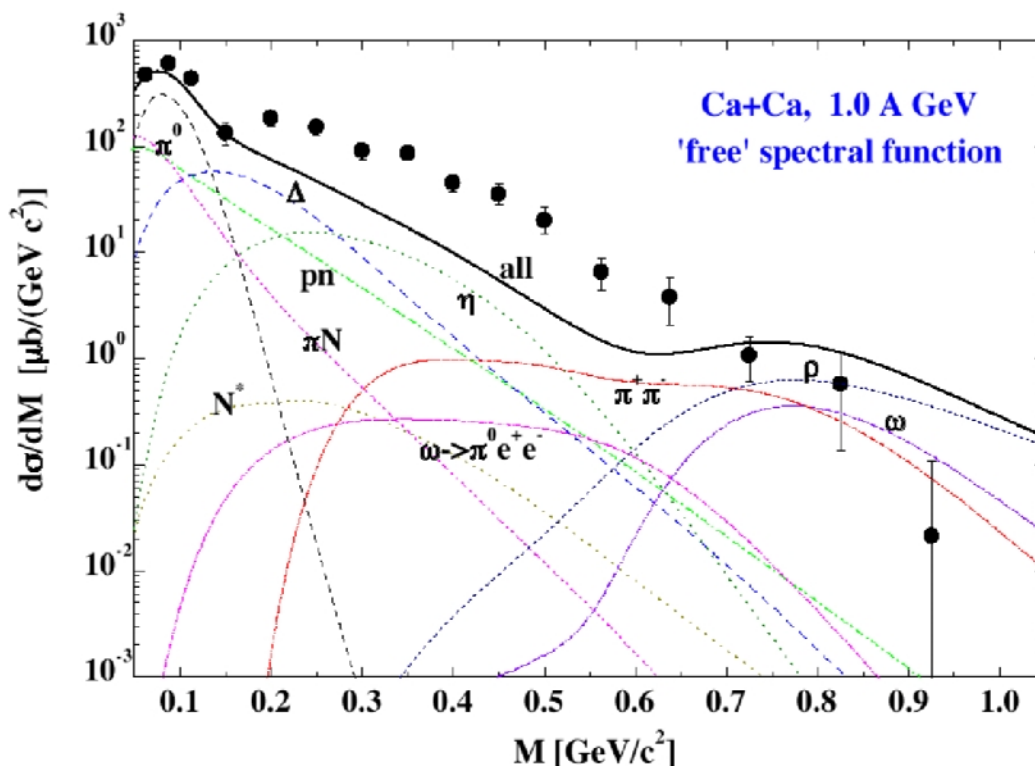


Figura 3 - Spettro di massa invariante e^+e^- ottenuto nella collisione Ca+Ca ad energia incidente di 1 GeV/amu, confrontato al risultato di una simulazione BUU tramite tutti i processi noti che comportano una coppia e^+e^- nello stato finale. La curva in nero è la somma di tutti i contributi, i cerchi pieni sono i punti sperimentali. Si noti l'eccesso nella regione tra 0.2 e 0.6 AGeV (collaborazione DLS).

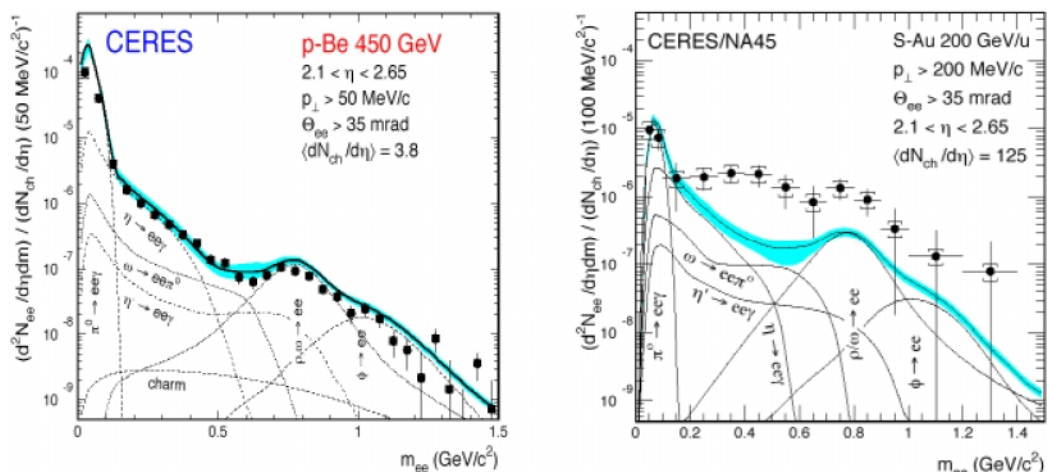


Figura 4 - Spettri di massa invariante e+e- ottenuti dalla collaborazione CERES in collisioni p+Be a 450 GeV e S+Au a 200 GeV/amu. Quando il proiettile è il protone lo spettro rispecchia le simulazioni effettuate con i parametri noti (decadimenti nel vuoto); in collisioni tra ioni pesanti la deviazione dovuta ad effetti del mezzo nucleare è consistente. Le previsioni teoriche, somma di tutti i contributi noti, sono rappresentate dalla banda azzurra, i cerchi pieni sono i punti sperimentali.

Inoltre, allo scopo di poter apprezzare variazioni in strutture fini nello spettro di massa, come ad esempio la risonanza ω che è larga circa 8 MeV, sarebbe necessaria una risoluzione in massa dell'ordine di 1-2%, ed in tal caso un istogramma con qualche migliaio di conteggi in totale sarebbe completamente dominato dall'errore statistico. Stesso discorso vale qualora si voglia anche studiare dei processi esclusivi, con caratterizzazione dello spettro di massa in funzione del momento trasverso del mesone vettore - grandezza ricavabile dalla somma vettoriale dei momenti dei prodotti del decadimento.

Gli esperimenti sin qui realizzati ci danno dunque il seguente messaggio: è necessario disporre di un dispositivo per la misura di di-elettroni, dotato di grande accettazione angolare e capacità di operare ad alti tassi di conteggio, in grado di assicurare una risoluzione sia in massa invariante che in momento dell'ordine del percento. E' inoltre di estremo interesse caratterizzarne la produzione in funzione della massa del sistema in esame, e dunque studiare una larga varietà di sistemi, da p+p a Au+Au, in un regime energetico tra 1 e 2 AGeV.

Ecco dunque nascere la collaborazione HADES, con il proposito di studiare più dettagliatamente le proprietà della materia nucleare densa e calda tramite la produzione di dileptoni. A tale scopo è stato deciso di costruire uno spettrometro dedicato, chiamato appunto HADES, che ha anche dato il nome ad un precedente esperimento finanziato negli anni 1997-2000 dalla Commissione III, ed è pertanto doveroso fornire un resoconto dell'attività sin qui svolta.

L'esperimento HADES

Diamo qui una descrizione schematica dello spettrometro e del suo stato attuale presso il GSI di Darmstadt, in modo da fornire una visione chiara, per quanto possibile, dell'insieme in cui va ad inquadrarsi la nostra proposta. Ricordiamo che la collaborazione, regolata da un Memorandum Of Understanding siglato nel corso del 1999, orbita intorno al GSI, laboratorio presso il quale è installato lo spettrometro. Essa conta i seguenti istituti:

- Institute of Physics, Slovak Academy of Sciences (Bratislava, Slovakia)
- INFN Laboratori Nazionali del Sud, (Catania, Italy)
- Lab. de Physique Corpusculaire, Universite Blaise Pascal/Clermont II (Clermont (Aubiere Cedex), France)
- Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, (Cracow, Poland)

- Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University (Cracow, Poland)
- Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) (Darmstadt, Germany)
- Institut für Kern- und Hadronenphysik, Forschungszentrum Rossendorf (FZR) (Dresden, Germany)
- Lab. of High Energy Physics, Joint Institute of Nuclear Research (JINR) (Dubna, Russia)
- Institut für Kernphysik, Johann Wolfgang Goethe-Universität (Frankfurt, Germany)
- Physikalisches Institut, Justus Liebig Universität (Gießen, Germany)
- Physikalisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität (Heidelberg, Germany)
- INFN Sezione di Milano (Milano, Italy)
- MEPhI Department of Electronics, (Moscow, Russia)
- ITEP (Moscow, Russia)
- Physik Department E12, Technische Universität (München (Garching), Germany)
- Department of Natural Science, University of Cyprus (Nicosia, Cyprus)
- Division de Recherche, Institut de Physique Nucleaire (Orsay, France)
- Nuclear Physics Institute, Czech Academy of Sciences (Rez, Czech. Rep.)
- Departamento de Fisica de Particulas, Universidade de Santiago de Compostela (Santiago de Compostela, Spain)
- Instituto de Fisica Corpuscular, University of Valencia (Valencia (Burjasot), Spain)

HADES, High Acceptance Di-Electron Spectrometer, è uno strumento particolarmente selettivo e di grande accettazione, che nasce per lo studio di canali di decadimento in due leptoni (e^+e^-) di alta energia in collisioni tra ioni pesanti ad energie dell'ordine del GeV/amu. Un importante canale di ingresso addizionale è costituito da collisioni tra pioni e nuclei, ed a tale scopo presso il GSI è stata sviluppata una facility per produrre fasci di pioni.

Il rivelatore, schematizzato in Figura 5, è costituito da diversi sistemi di rivelazione in cascata con simmetria esagonale. Procedendo nel verso di avanzamento delle particelle da rivelare si ha nell'ordine:

- un rivelatore Cherenkov ad immagine anulare (RICH), con specchio in materiale leggero per riflettere i fotoni prodotti e rivelarli, più indietro della targhetta, tramite un sistema di fotocatodi e rivelatori a gas; questo sistema permette di identificare univocamente gli elettroni e di misurarne accuratamente la direzione di emissione;
- due strati di camere a deriva (Mini Drift Chambers, MDC), seguiti da un sistema di 6 solenoidi, che producono un campo magnetico toroidale, e da altri due strati di camere a deriva: questo sistema permette la determinazione accurata dell'impulso delle particelle tramite misura di variazione di traiettoria prodotta dal campo magnetico;
- il TOF, che copre gli angoli polari tra 44° e 88° , per la determinazione della molteplicità evento per evento, indice della centralità della collisione, e del tempo di volo e direzione di ciascuna particella rivelata;
- un rivelatore di sciame, posto agli angoli polari tra 13° e 44° , realizzato con tre strati di camere a gas intercalate da due strati di convertitori in piombo, per effettuare la discriminazione tra leptoni e adroni.

Durante l'esperimento HADES (1997-2000) sono stati effettuati diversi test con fasci parassiti in configurazioni via via più complete. Nell'autunno di quest'anno è previsto un turno finale di test immediatamente seguito da un turno di misura (C+C, 1.7 AGeV).

Allo stato attuale il rivelatore TOF è completamente installato, lo stesso vale per il rivelatore SHOWER. Il RICH è installato, anche se alcuni elementi dello specchio sono ancora in lavorazione. Stesso discorso per le MDC: due camere sono già installate, saranno sei per il run in autunno e quindici per la fine dell'anno; le restanti nove, già in produzione,

saranno installate nel corso del prossimo anno. Agli angoli polari 13° - 44° , giusto davanti al rivelatore SHOWER, il progetto originale del 1995 prevedeva una continuazione del muro di tempo di volo TOF, al quale si è dovuto finora rinunciare per motivi di budget. In alternativa si è dunque installato un muro a granularità estremamente ridotta realizzato da un gruppo di Troitsk (Russia), detto TOFINO, che permetterà di effettuare la sperimentazione con sistemi medio-leggeri. Per una successiva sperimentazione con sistemi pesanti sarà quasi certamente necessario realizzare la parte mancante ad elevata granularità del TOF.

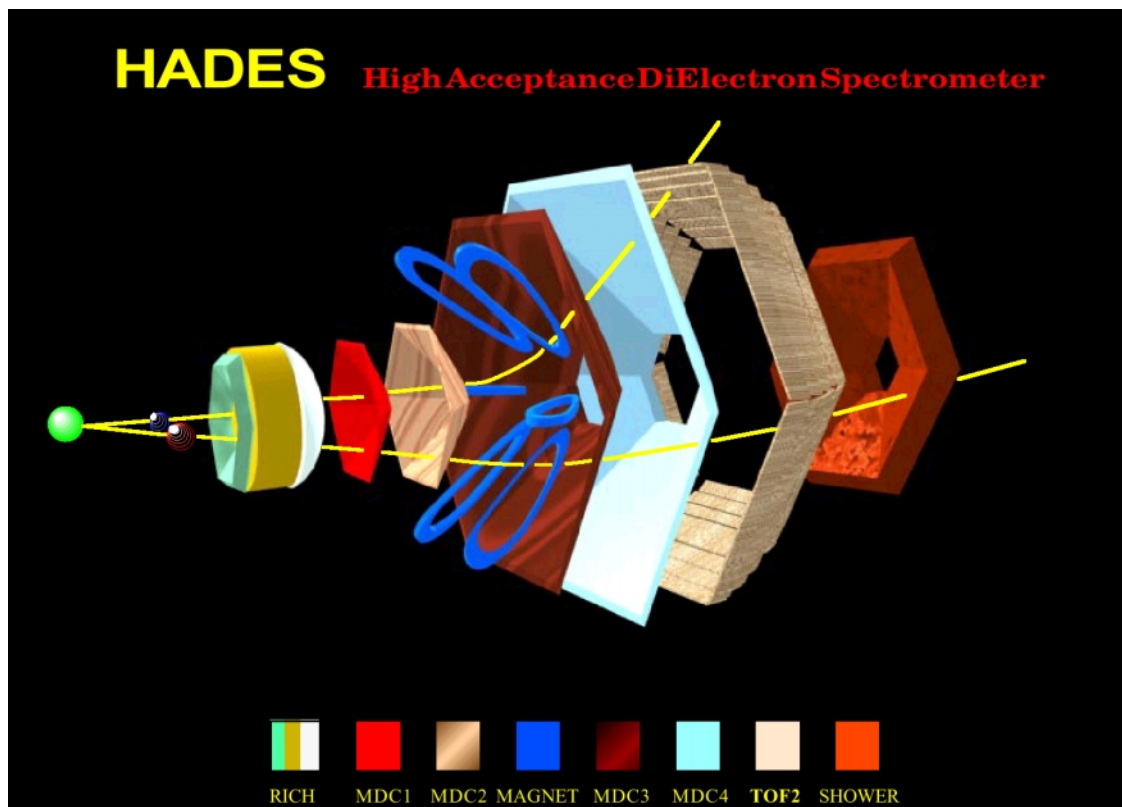


Figura 5 - Schema tridimensionale dello spettrometro HADES, aperto lungo la direzione longitudinale per maggior chiarezza; in condizioni operative tutti gli elementi di rivelazione si insinuano uno nell'altro rendendo la struttura estremamente compatta.

Durante un test run effettuato nel Settembre 1999 si è avuta l'occasione di avere in funzione contemporaneamente un settore del rivelatore MDC1 in coincidenza con il corrispondente settore del TOF e dello SHOWER, unitamente al magnete. I dati raccolti in questo breve run di C+C a 1.4 AGeV hanno prodotto 1082 eventi in coincidenza, a molteplicità rivelata uguale a 1, che hanno permesso di produrre uno spettro di massa delle particelle rivelate. Ciò, ovviamente, sfruttando i dati raccolti nelle stesse condizioni a magnete spento, che hanno permesso la calibrazione. La risoluzione in momento è chiaramente scadente, in quanto per la determinazione della traccia dopo il magnete si è usato il TOF ($\Delta x \approx 6\text{cm}$) anziché le MDC ($\Delta x \approx 100\mu\text{m}$). Ciononostante si è riusciti a ricostruire lo spettro di massa mostrato in Figura 6.

Durante un test run effettuato nel Dicembre 1999, pur non avendo il magnete in funzione, si è collezionata una discreta statistica con tutti i rivelatori in coincidenza, cosa che ha permesso una calibrazione reciproca tramite la costruzione di diversi plot di correlazione tra i vari rivelatori. In particolare il RICH ha permesso di selezionare leptoni, come comprovato dallo spettro di tempo di volo inclusivo raffrontato a quello in coincidenza con il RICH (Figura 7). In Figura 8 è mostrata una distribuzione dei conteggi sul TOF nel sistema di coordinate del laboratorio, che mette in evidenza la geometria del rivelatore stesso. In

Figura 9 si può osservare una fotografia dello spettrometro durante la preparazione del test in Maggio 2000.

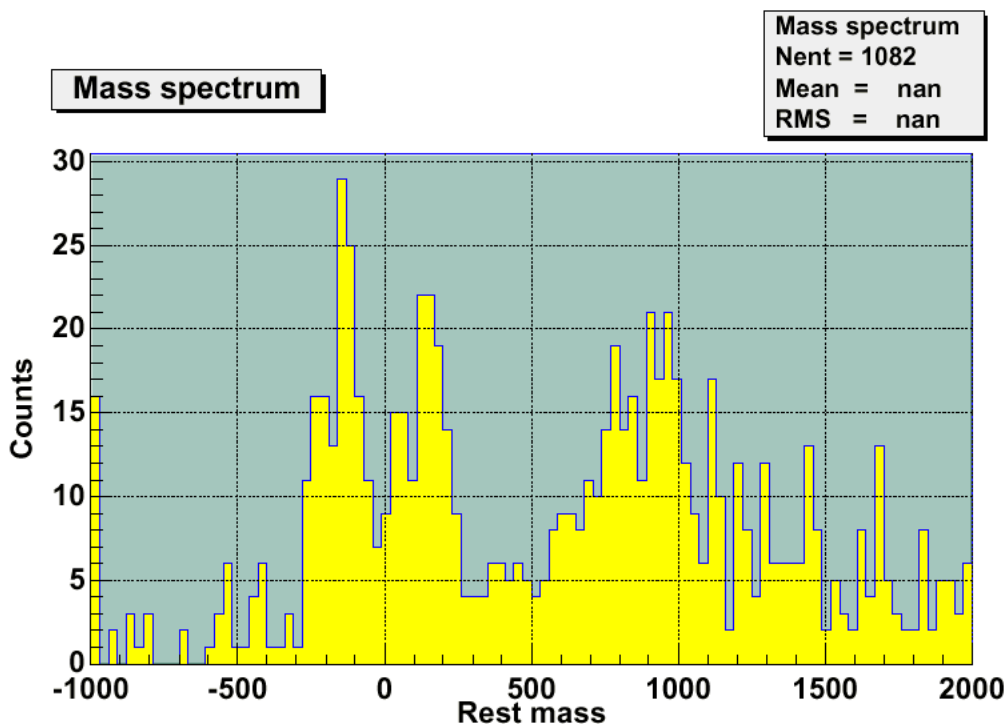


Figura 6 - Spettro di massa preliminare ottenuto in collisione C+C a 1.4 AGeV utilizzando parte dello spettrometro (una MDC, il magnete, un settore del TOF), durante un test run in Settembre 1999.

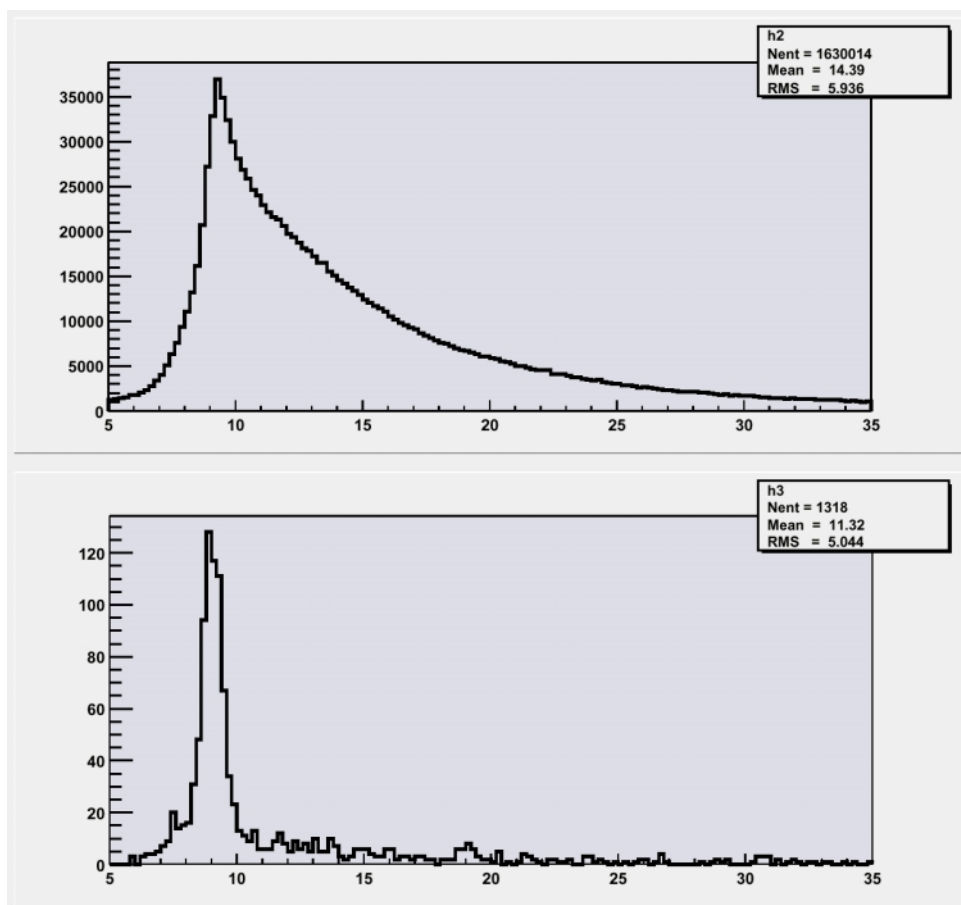


Figura 7 - Spettro inclusivo di tempo di volo, normalizzato a 3m (in alto); spettro di tempo di volo, normalizzato a 3m, per le particelle rivelate nel RICH (candidati leptoni).

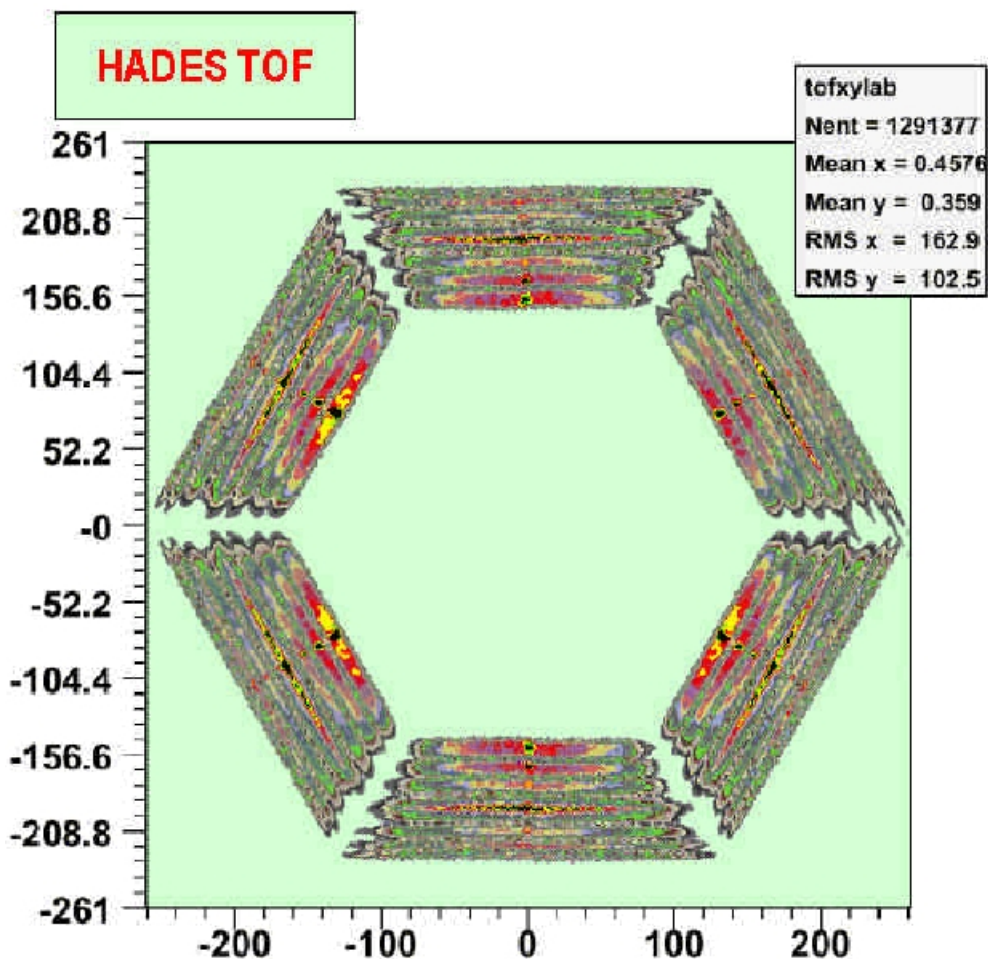


Figura 8 - Distribuzione dei conteggi sul TOF nel sistema di coordinate del laboratorio, che evidenzia la geometria del rivelatore stesso.

E' doveroso mettere in evidenza che l'elettronica del TOF, che fornisce prestazioni più che eccellenti, è stata quasi interamente sviluppata in seno al gruppo, ingegnerizzata in collaborazione con aziende italiane e adesso utilizzata e/o richiesta da altri gruppi sia all'interno che all'esterno di HADES. Stesso discorso vale per il know-how acquisito relativamente ai rivelatori a scintillazione, che permettono una risoluzione in tempo di volo ben al di sotto di 100ps. E' altresì doveroso menzionare che il gruppo italiano costituisce un punto di riferimento anche rispetto al software di monitoraggio online e di analisi: nell'ambito del software della collaborazione (Hydra), basato su ROOT, è stato infatti realizzato un pacchetto interattivo altamente affidabile che permette una gestione agevole dell'analisi, con costruzione di multi-istogrammi, condizioni e quant'altro occorre basato su interfaccia grafica (GUI). In tale contesto è anche stata richiesta la nostra collaborazione dagli autori del ROOT.

L'esperienza HADES2

La nuova proposta di esperimento, a naturale continuazione della realizzazione dello spettrometro, si propone di iniziare la sperimentazione fisica connessa alle problematiche sopra descritte. In particolare il gruppo italiano, costituito da personale dei Laboratori Nazionali del Sud e della Sezione di Milano, è maggiormente interessato alla sperimentazione con fasci di ioni che sono la diretta estensione della problematica aperta (e non conclusa) dalla collaborazione DLS, ferma restando la sua piena partecipazione a tutti gli esperimenti in programma.

Diamo qui di seguito alcune brevi note esplicative della richiesta finanziaria inoltrata.

- *Materiale inventariabile.* L'esperienza acquisita nel corso della sperimentazione di test ha

messo in evidenza la necessità di disporre di un certo numero di parti di ricambio, che rappresentano la quasi totalità della richiesta.

- *Materiale di consumo.* Si rende purtroppo necessario realizzare 6 moduli “segment controller” ed un modulo CPU di readout, ovviamente relativi al TOF, in versioni reingegnerizzate per sopperire a problemi vari (tra cui una limitazione del tasso di conteggio sostenibile). La nuova realizzazione sarà effettuata in collaborazione con i gruppi di Giessen e di Monaco.

I test effettuati hanno anche messo in evidenza un eccessivo deterioramento dei segnali di ampiezza nel percorso dai tubi fotomoltiplicatori agli shaper, anche a causa della lunghezza superiore a quanto inizialmente previsto per motivi di set-up meccanico. Pertanto si rende necessario realizzare dei cavi più costosi (coassiali a connettori singoli). Si chiede inoltre un modesto contributo per le manutenzioni e riparazioni ordinarie dell’elettronica e del rivelatore.

- *Missioni.* La richiesta di fondi per missioni è stata formulata sulla base dell’esperienza acquisita negli anni precedenti. E’ doveroso menzionare che il GSI ha generalmente sostenuto parte delle spese, sia con fondi della Comunità Europea che con fondi locali, e sulla base di ciò le nostre precedenti richieste all’INFN sono sempre state proporzionalmente ridotte, così come lo è la presente. Purtroppo per il 2001 non saranno disponibili fondi EC, nondimeno noi confidiamo (ottimisticamente) di ricevere ugualmente supporto come negli anni precedenti.

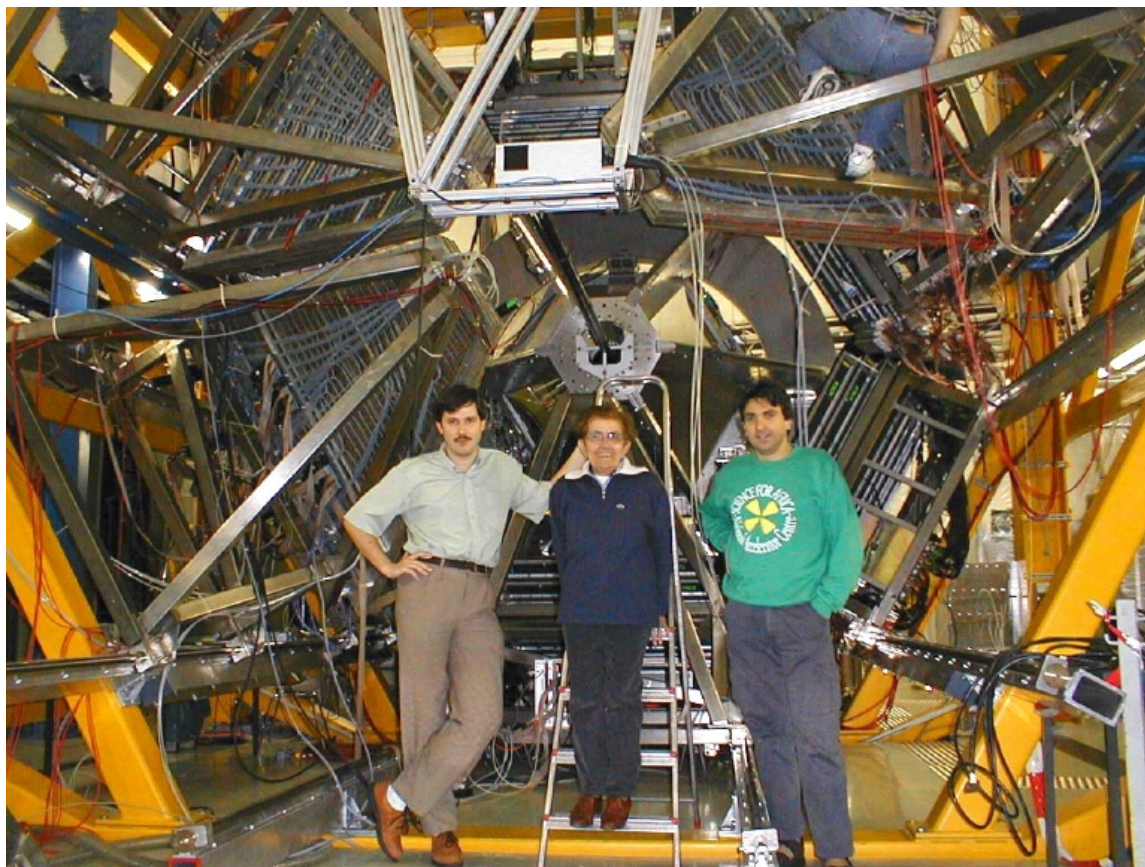


Figura 9 - Lo spettrometro HADES in preparazione del test su fascio di Maggio 2000.

Riferimenti bibliografici

- [1] V.Koch, LBNL-39463 UC-413;
G.E.Brown, M.Rho, Nucl. Phys. A590 (1995) 527.
- [2] J.Engels, F.Karsch, K.Redlich, Nucl. Phys. B435 (1995) 295.
- [3] N.A.Törnqvist, M.Roos, Phys. Rev. Lett. 76 (1996) 1575;
N.Isgur, J.Speth, Phys. Rev. Lett. 77 (1996) 2332.
- [4] W.Cassing, E.L.Bratkovskaya, Phys. Rep. 308 (1999) 65.
- [5] T.Hatsuda and S.H.Lee, Phys. Rev. C 46 (1992) R34.
- [6] F.Klingl and W.Weise, Nucl. Phys. A606 (1996) 329.
- [7] R.Rapp, G.Chanfray and J.Wambach, Nucl. Phys. A617 (1997) 472.
- [8] M.Herrmann, B.Friman and W.Nörenberg, Nucl. Phys. A560 (1993) 411.
- [9] G.E.Brown and M. Rho, Phys. Rev. Lett. 66 (1991) 2720.
- [10] R.J.Porter et al., Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 1229.
- [11] J.Stachel, proc. Nuclear Physics Conference, Paris, August 1998, in stampa su Nucl. Phys. A.

Codice	Esperimento	Gruppo
	HADES2	3

Struttura
MILANO

Ricercatore responsabile locale:

L. Iori _____

PREVENTIVO LOCALE DI SPESA PER L'ANNO 2001
In ML

VOCI DI SPESA		DESCRIZIONE DELLA SPESA	IMPORTI		A cura della Comm.ne Scientifica Nazionale		
			Parziali	Totale Compet.			
Viaggi e missioni	Interno	4 viaggi a Catania per 3 persone	10	10			
	Estero	Riunioni di collaborazione Riunioni per analisi e simulazioni 1 turno ai Commissioning prese dati 1 turno presa dati	7 10 25 20	62			
Materiale Consumo		Componenti e ibridi	12	27			
		650 cavi collegamento shaper - pannelli	15				
Trasp.e facch.		Invio materiale a GSI	5	5			
Spese Calcolo	Consorzio	Ore CPU	Spazio Disco	Cassette		Altro	
Affitti e manutenz. apparecchiati.							
Materiale Inventariabile		1 DLT (4000)	7	74			
		2 TDC	12				
	4 ADC	23					
	1 ritardo attivo a 32 ch.	4					
	5 Shaper	14					
	1 Crate Camac	14					
Costruzione Apparati							
Totale				178			
Note:							

Codice	Esperimento	Gruppo
	HADES2	3

Struttura
MILANO

ALLEGATO MODELLO EC 2

L'attività del gruppo italiano nella collaborazione HADES riguarda la costruzione, messa a punto, calibrazione e analisi dati in particolare del TOF.

Nell'ambito della collaborazione Milano si occupa dell'elettronica del TOF., sia per quanto riguarda il trattamento dei segnali provenienti dai P.M. (timing e segnali di energia) che della conversione analogico-digitale tramite schede VME realizzate per l'esperimento.

Sono stati progettati e costruiti gli ADC e TDC a 32 canali su scheda VME e ditte italiane (CAEN e Silena) hanno richiesto di poter inserire nei loro cataloghi tali strumenti.

I progetti suddetti sono stati oggetto di relazioni a Conferenze specialistiche quali IEEE Transaction in Nucl. Sc..

Analoghe presentazioni sono state fatte e saranno fatte per i moduli di Delay e Shaper.

Per l'esperimento HADES2, l'attività di Milano, è concentrata, in un primo tempo, alla sistemazione e test definitivi e controlli del TOF. In questa fase sarà studiata l'adeguatezza dei moduli di ritardo realizzati, in relazione al loro inserimento nella catena elettronica e dovranno essere calibrate le caratteristiche di formazione e guadagno dei moduli Shaper. Nel primo turno di misure, con fascio di C, sarà completato il commissioning e sarà effettuata una prima parte presa dati. Sarà effettuato anche un run di presa dati con fascio di P, per avere informazioni di riferimento. Si procederà quindi all'analisi dei dati sia di calibrazione che dei dati fisici.

Successivamente si procederà con fasci di Ca e Au e alla conseguente analisi dei dati.

Codice	Esperimento	Gruppo
	HADES2	3

Struttura
MILANO

PREVISIONE DI SPESA: PIANO FINANZIARIO LOCALE
PER GLI ANNI DELLA DURATA DEL PROGETTO

In ML

ANNI FINANZIARI	Miss. interno	Miss. estero	Mater. di cons.	Trasp.e Facch.	Spese Calcolo	Affitti e manut. appar.	Mat. inventar.	Costruz. apparati	TOTALE Competenza
2001	10	62	27	5			74		178
2002	10	60	25	3			72		170
TOTALI	20	122	52	8			146		348

Note:

Osservazioni del Direttore della Struttura in merito alla disponibilità di personale e di attrezzature:

Mod. EC. 3

(a cura del responsabile locale)

Codice	Esperimento	Gruppo
	HADES2	3

Struttura
MILANO

COMPOSIZIONE DEL GRUPPO DI RICERCA (cont.)

LAUREANDI Cognome e Nome	Associazione		Titolo della Tesi
	SI	NO	
Toia Alberica Relatore Iori Ileana	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	Produzione di dileptoni in collisioni N-N.
Elisepi Francesco Relatore Iori Ileana	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	Trasmissioni di fase della materia nucleare.
Sard Paolo Relatore Strini A.	<input type="radio"/> SI	<input checked="" type="radio"/> NO	1 modulo per il trattamento dei segnali.
Fabbietti Laura (dott.) Relatore Iori Ileana/Y. Friese	<input checked="" type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	Simulazioni di segnali dal RICH di HADES.
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	
Relatore	<input type="radio"/> SI	<input type="radio"/> NO	

Denominazione	mesi-uomo	SERVIZI TECNICI Annotazioni

INTERAZIONI CON LE INDUSTRIE (COMMESSE HIGH TECH)

DENOMINAZIONE	DESCRIZIONE PRODOTTO O COMMESSA
CAEN	Messa a catalogo e produzione di moduli sviluppati dal gruppo per HADES.
SILENA	32ch ADC su VME board 32ch TDC su VME board

Hades2

3

Finocchiaro Paolo

LNS

nuovo

STR.	ESPERIM.	Missioni interno	Inviti ospiti stran.	Missioni estero	Mater. di Cons.	Spes Sem	Tras. e Fac.	Pub. Scien.	Spese Calc	Aff. e Manut. App.	Mater. invent.	Costruz. apparati	TOTALE	
L.N.S.	Personale													
	Ricercatori	8,0		Tecnologi	1,0		Tecnici				Servizi mesi uomo			
	FTE	3,1		FTE	0,6		FTE							
	Rapporti (FTE/numero) Ricercatori				0,39				Ricercatori+Tecnologi				0,41	
	Hades2	10		78	55		4				17		164	
	di cui sj			25									25	
	Totali	10		78	55		4				17		164	
	di cui sj			25									25	
	Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)				44,32									
	MILANO	Personale												
Ricercatori		2,0		Tecnologi	1,0		Tecnici	4,0			Servizi mesi uomo			
FTE		1,0		FTE	0,5		FTE	1,0						
Rapporti (FTE/numero) Ricercatori				0,50				Ricercatori+Tecnologi				0,48		
HADES2		10		62	27		5				74		178	
di cui sj														
Totali		10		62	27		5				74		178	
di cui sj														
Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)				122,76										
TOTALI														
Totali	20		140	82		9					91		342	
di cui sj			25										25	
Confronto con il modello EC4														
Mod. EC4 dati														
Totali-Dati EC4	20,0		140,0	82,0		9,0					91,0		342,0	
Personale														
Ricercatori	10,0		Tecnologi	2,0		Tecnici	4,0			Servizi mesi uomo				
FTE	4,1		FTE	1,1		FTE	1,0							
Rapporti (FTE/numero) Ricercatori				0,41				Ricercatori+Tecnologi				0,43		
Richieste/(FTE ricercatori+tecnologi)				66,41										