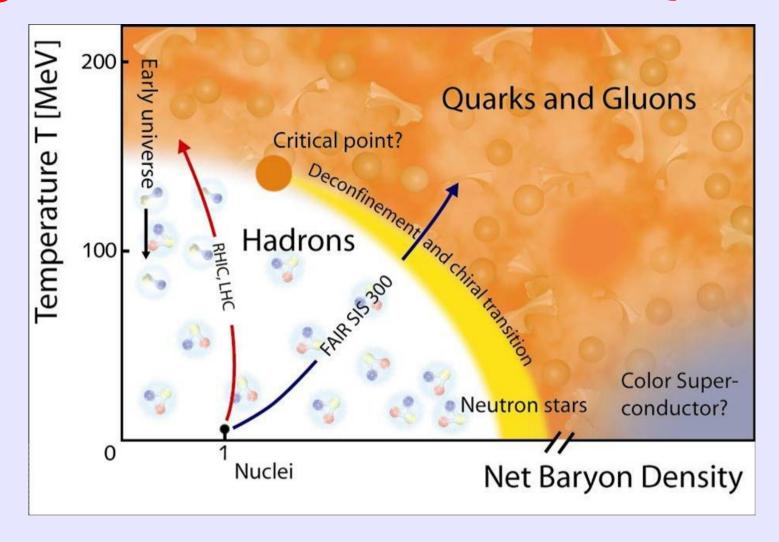
# Fisica delle collisioni di ioni pesanti di altissima energia e Quark-Gluon-Plasma

## **Sommario**

- Introduzione
- •Attività a Firenze e principali risultati
- •Il QGP come liquido quasi perfetto e prospettive

# Diagramma di fase della Cromodinamica Quantistica



Viene investigato teoricamente con calcoli numerici (QCD su reticolo) e sperimentalmente attraverso le collisioni di nuclei pesanti (cioè grandi) ad altissima energia

Programma sperimentale è partito negli anni '80 con collisioni Au-Au a qualche GeV nel centro di massa a Brookhaven (AGS)

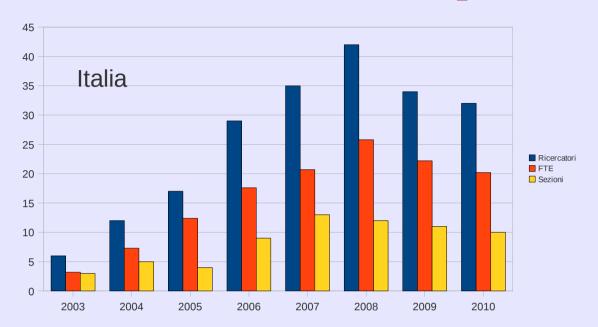
Collider	Nuclei	$\sqrt{s}$	T iniziale (stima)
SPS – CERN	Pb-Pb	17.2 GeV	250 MeV
RHIC – Brookhaven	Au-Au	200 GeV	350 MeV
LHC – CERN	Pb-Pb	5.5 TeV	700 MeV

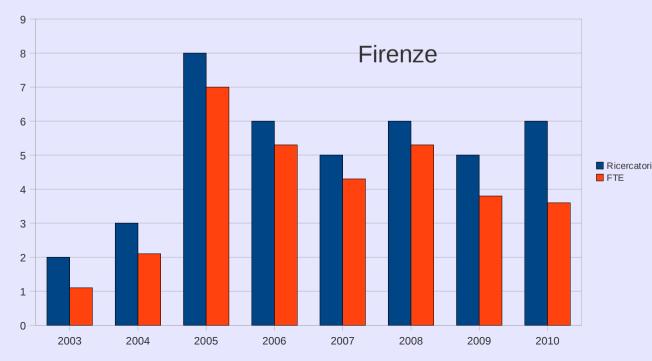
Problema principale è la segnatura, cioè l'identificazione di osservabili caratteristiche che segnalano in modo non ambiguo la formazione del plasma (e la misura di alcune sue proprietà).

## Un po' di storia

- •L'iniziativa specifica teorica INFN sulla fisica del quark gluon plasma e collisioni di ioni pesanti ultrarelativistici parte il 1 gennaio 2003 come FI31 (presentata nel giugno 2002) come prodotto del progetto speciale Giselda, nato a sua volta in seguito alle raccomandazioni, da parte dei referees internazionali all'INFN di avere in Italia un gruppo teorico su questa fisica (singoli in realtà già ci lavoravano da qualche anno).
- Nell'iniziativa FI31 confluisce nel 2004 anche il gruppo ex-FI21 (Barducci, Casalbuoni, Pettini), progetto dedicato allo studio teorico del diagramma di fase di QCD.
- •L'iniziativa FI31 si trasforma in RM31 quando Luciano Maiani entra nel settore e ne diventa responsabile nazionale. Successivamente Maiani lascia il coordinamento di RM31 il 31/12/2008 essendo divenuto presidente del CNR.

# Partecipazione





## **Tesi**

- •4 Specialistica
- •3 Dottorato (1 in corso)

## **Post-Doc**

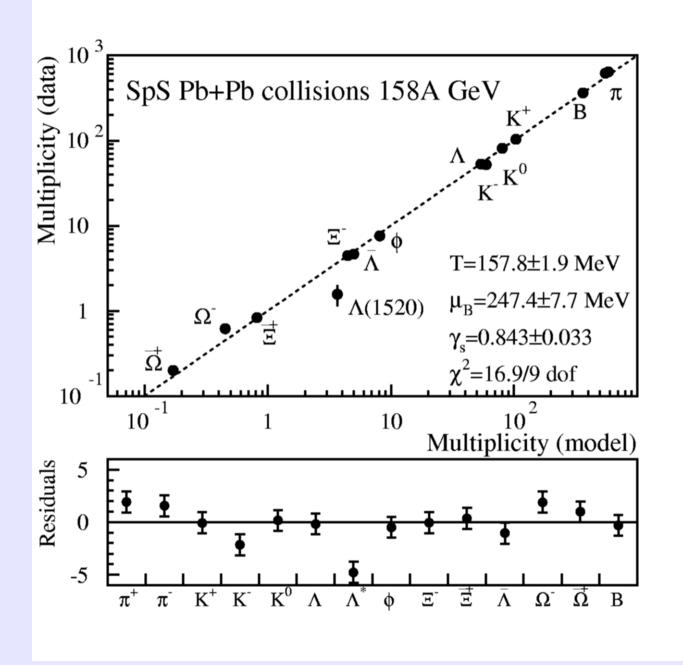
- •2 INFN
- •1 Assegno di ricerca Diversi visitatori

## **Composizione attuale**

F.B. 100 %

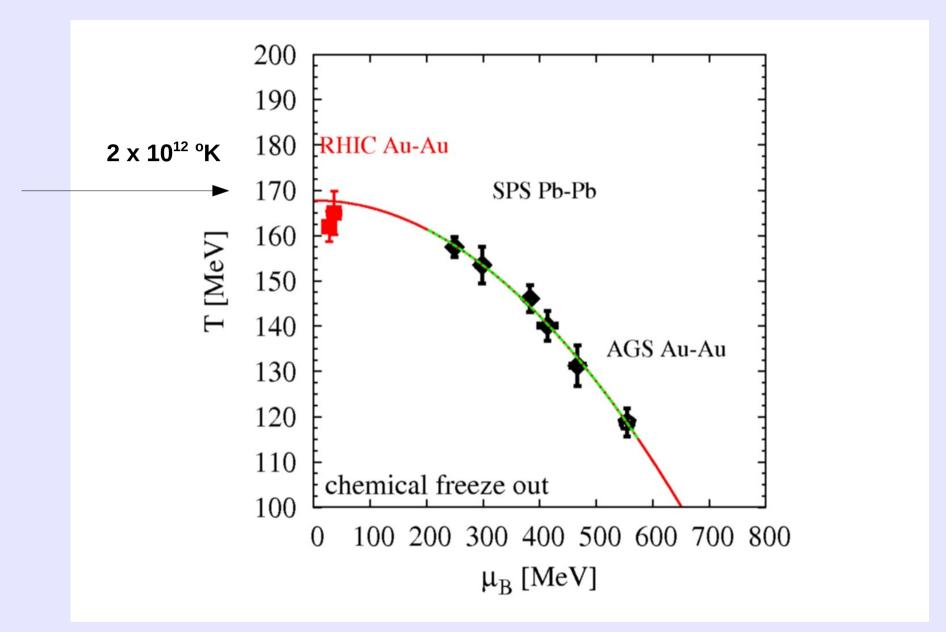
- A. Barducci 30%
- R. Casalbuoni 30%
- F. Matera 50%
- G. Pettini 50%
- L. Tinti (dott.) 100%

# Plasma che "adronizza": Il corpo nero adronico



F.B., M. Gazdzicki, A. Keranen, J. Manninen and R. Stock, Phys. Rev. C 69 (2004) 024905

# Temperatura e potenziale chimico al freeze-out chimico



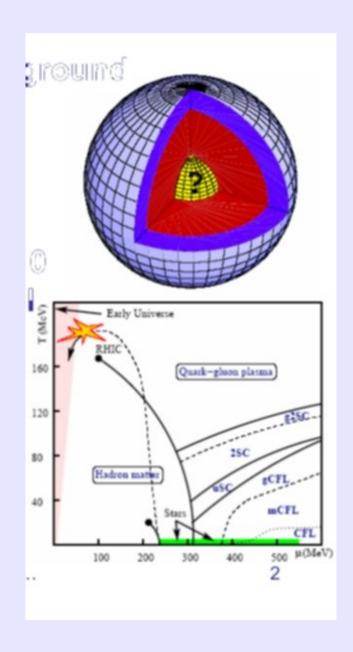
F. B., J. Manninen, Phys. Rev. C 78 (2008) 054901

# Studio delle fasi di QCD ad alta densità barionica e bassa T

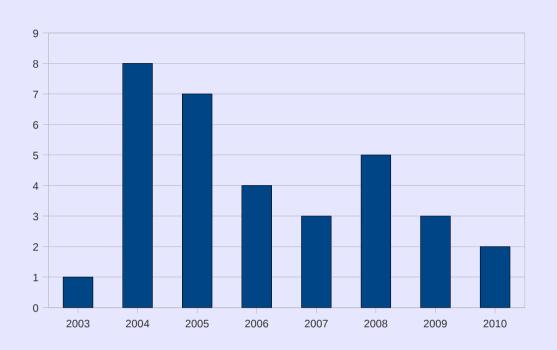
R. Casalbuoni et al.

Importante per capire la struttura interna delle stelle di neutroni

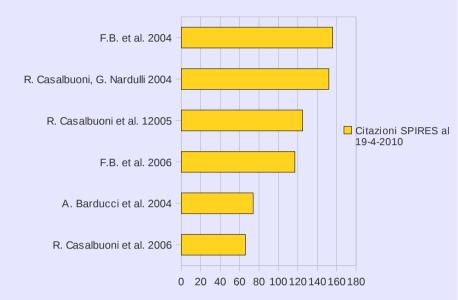
Possibilità di diverse fasi superconduttive a valori finiti di densità barionica il cui numero dipende dal fatto che esistono 3 colori e 3 sapori leggeri (e dai vincoli imposti).



## Pubblicazioni



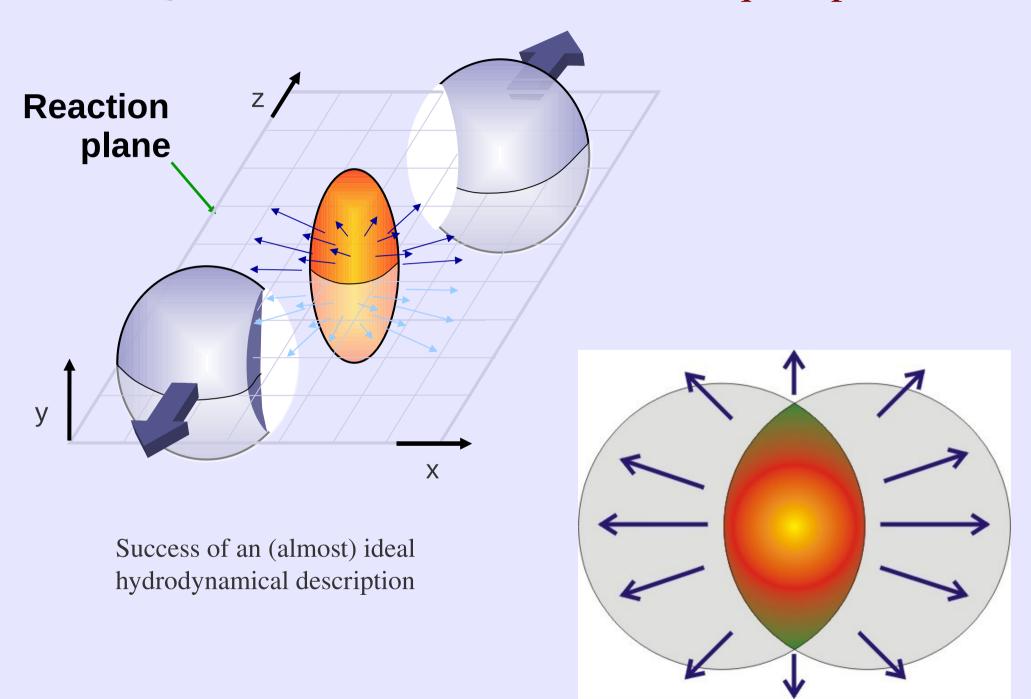
#### Articoli di "eccellenza"



Partecipazione al libro "summa" del campo: *Relativistic heavy ion physics*, Landolt/Bornstein (500 pagine, costo: 6 k\$ circa).



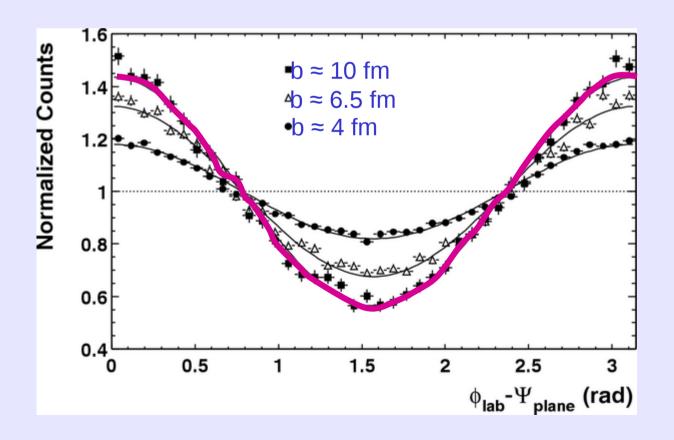
# Il Quark Gluon Plasma come fluido quasi perfetto



## **FLUSSO ELLITTICO**

$$\frac{dN_i}{dy \, p_\perp dp_\perp \, d\varphi_p}(b) = \frac{1}{2\pi} \frac{dN_i}{dy \, p_\perp dp_\perp}(b) \left(1 + 2 \, v_2^i(p_\perp, b) \cos(2\varphi_p) + \ldots\right).$$

### STAR, PRL90 032301 (2003)



### Brookhaven National Laboratory News



BNL: Departments | Science | ESS&H | Newsroom | Administration | Visitors | Directory

Contacts: Karen McNulty Walsh, (631) 344-8350 or Mona S. Rowe, (631) 344-5056



Print-friendly



E-mail Article

### RHIC Scientists Serve Up "Perfect" Liquid

#### New state of matter more remarkable than predicted -- raising many new questions

April 18, 2005

TAMPA, FL -- The four detector groups conducting research at the Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) -- a giant atom "smasher" located at the U.S. Department of Energy's Brookhaven National Laboratory -- say they've created a new state of hot, dense matter out of the quarks and gluons that are the basic particles of atomic nuclei, but it is a state quite different and even more remarkable than had been predicted. In peer-reviewed papers summarizing the first three years of RHIC findings, the scientists say that instead of behaving like a gas of free quarks and gluons, as was expected, the matter created in RHIC's heavy ion collisions appears to be more like a *liquid*.

"Once again, the physics research sponsored by the Department of Energy is producing historic results," said Secretary of Energy Samuel Bodman, a trained chemical engineer. "The DOE is the principal federal funder of basic research in the physical sciences, including nuclear and high-energy physics. With today's announcement we see that investment paying off."

"The truly stunning finding at RHIC that the new state of matter created in the collisions of gold ions is more like a liquid than a gas gives us a profound insight into the earliest moments of the universe," said Dr. Raymond L. Orbach, Director of the DOE Office of Science.

Also of great interest to many following progress at RHIC is the emerging connection between the collider's results and calculations using the methods of string theory, an approach that attempts to explain fundamental properties of the universe using 10 dimensions instead of the usual three spatial dimensions plus time.



Secretary of Energy Samuel Bodman

## Viscosita' nelle teorie di campo fortemente interagenti

Kovtun, Son, Starinets PRL 94, 111601 (2005)

Spin-off (?) delle stringhe e della congettura di Maldacena (1998): teoria di gauge supersimmetrica di Yang-Mills N=4 e' equivalente (duale) ad una teoria di stringa su un background di Anti de Sitter  $\times$   $S_5$ 

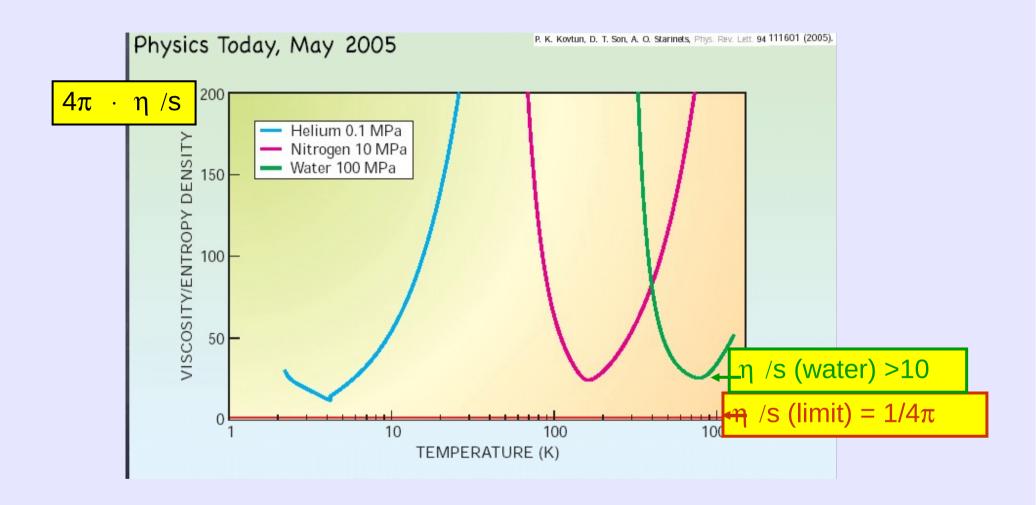
## AdS/CFT correspondance

Dualita': quando l'accoppiamento nella teoria di gauge e' grande, allora il calcolo corrispondente di teoria delle stringhe diventa "semplice" supergravita' classica e puo' essere svolto analiticamente

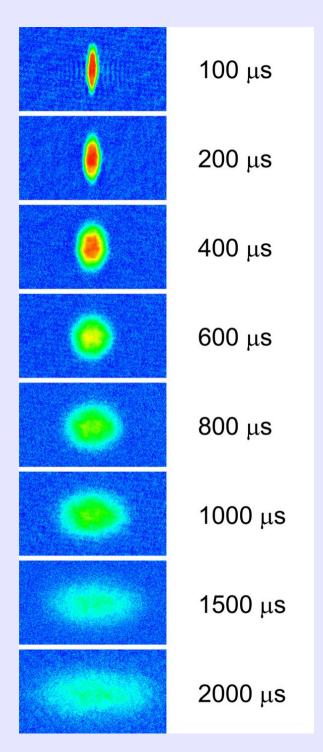
CAVEAT: nelle teorie conformi non c'e' running della costante di accoppiamento e quindi questa dualita' non riguarda esattamente la QCD

$$rac{\eta}{s}=rac{\hbar}{4\pi}$$

## Il limite universale sembra funzionare...



Fenomeno analogo osservato in fisica atomica: atomi "freddi" di Litio accoppiati fortemente in trappola magneto-ottica



Questi fenomeni e questo argomento hanno suscitato un revival di interesse per la fluidodinamica relativistica dissipativa, di cui non esiste una teoria ben stabilita a causa di problemi legati alla causalità.

Riuscire a "misurare" i coefficienti cinetici del QGP sarà uno dei principali goals di LHC e dell'esperimento ALICE in particolare.

# Cosa stiamo facendo noi e cosa vorremmo fare nel prossimo futuro

- Studiare se l'introduzione dello spin nel modello fluidodinamico del plasma comporti effetti dissipativi (analogia con effetto Barnett e Einstein-De Haas).
- Trovare i coefficienti cinetici relativi al trasporto e alla generazione dello spin in un fluido relativistico generale.
- Codice per l'idrodinamica relativistica ideale e dissipativa in 3+1 dimensioni (collaborazione con gli astronomi Del Zanna et al.) per tests sulle osservazioni che verranno prodotte dagli esperimenti di LHC.

# Scuole, conferenze

I membri dell'iniziativa RM31, oltre a partecipare a numerose conferenze, hanno promosso e organizzato scuole e conferenze in Italia

- Scuola internazionale di Villa Gualino Torino (4 edizioni: 2003, 2005, 2006, 2008)
- Conferenza internazionale *Hot Quarks* 2 Ed. 2006, Villasimius (M. Nardi, advisory member)
- Conferenza internazionale *Critical Point and Onset of Deconfinement* 3 Ed. 2006, GGI Firenze (F.B. advisory member)
- Workshop SPHIC06 Catania (e altri?)
- Workshops all'ECT a Trento