



Università degli Studi di Firenze

La Fisica teorica oggi a Firenze

Alcuni Highlights

Giornata dedicata ad Enrico Fermi

Dipartimento di Fisica ed Astronomia

Arcetri 23-3-2011

Domenico Seminara

Ricerca teorica a Firenze

Una solida attività e variegata all'interno del Dipartimento di Fisica con un grande impatto a livello internazionale

Lo spettro di interessi è vasto ed attuale

- Fenomenologia dello Modello Standard ed oltre: Previsioni teoriche di precisione ai collider e Rottura della Simmetria Elettrodebole
- Dinamica non perturbativa delle Teorie di Gauge e Stringa:
 - ➔ Tecniche di Stringa per lo studio del regime di strong coupling delle teorie di campo: Applicazioni ad Quark-Gluon Plasma e Atomi Freddi.
- Fisica delle collisioni degli ioni pesanti, Fasi della QCD e Dinamica nucleare in condizioni estreme ed in astrofisica
- Aspetti fondamentali della Relatività Generale: Meccanica Quantistica in sistemi non inerziali, Quantizzazione Hamiltoniana e sui sviluppi, Sincronizzazione degli orologi
- Meccanica Statistica di equilibrio e non e Dinamica caotica

- Fisica delle Basse Dimensioni: Applicazioni della teoria dei campi alla materia condensata (QHE), Computazione Quantistica, Sistemi esattamente Risolubili
- Relazioni Tra Geometria e Fisica: Geometrie non commutative, geometrie Poissoniane, Sistemi integrabili
- Applicazione della Fisica Teorica ai sistemi biologici: reti neurali, protein folding, Evoluzione del sistema immunitario,.....
-

Ricerca e non solo: Iniziative Internazionali



Under the “direct” spell
of
Fermi

meccanica statistica

all'equilibrio e fuori dall'equilibrio

Dipartimento di Fisica e Astronomia

Lapo Casetti
Roberto Livi

dottorandi:

Stefano Iubini
Cesare Nardini
Rachele Nerattini
Aurelio Patelli

Dipartimento di Energetica

Franco Bagnoli
Duccio Fanelli
Stefano Ruffo

dottorandi:

Alessio Turchi

ISC-CNR

Thomas Kreuz
Stefano Lepri
Antonio Politi
Paolo Politi
Alessandro Torcini

post-doc:

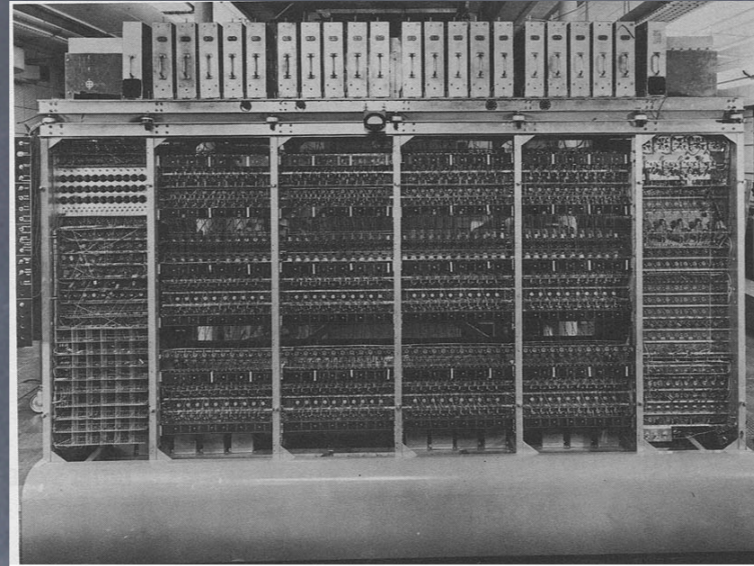
Stefano Luccioli

dottorandi:

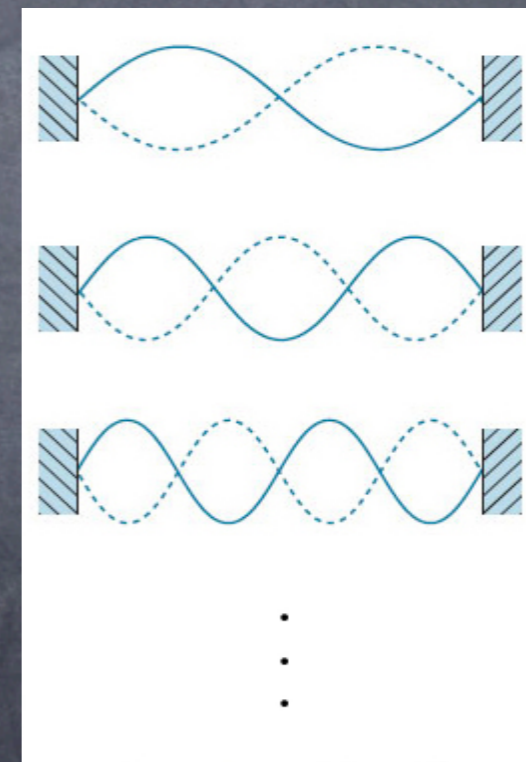
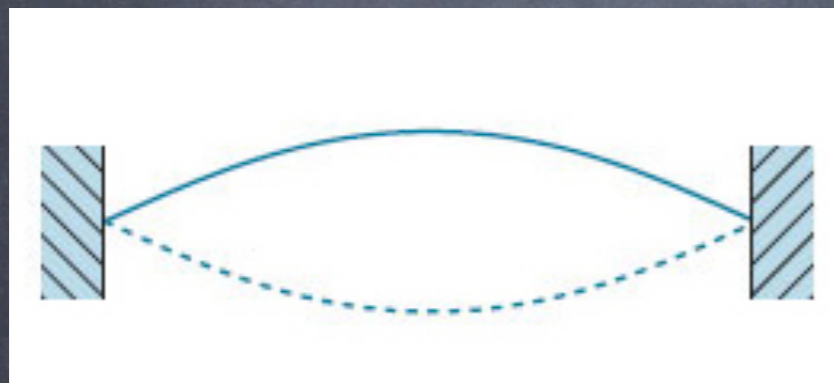
Simona Olmi

IL PROBLEMA DI FERMI, PASTA E ULAM

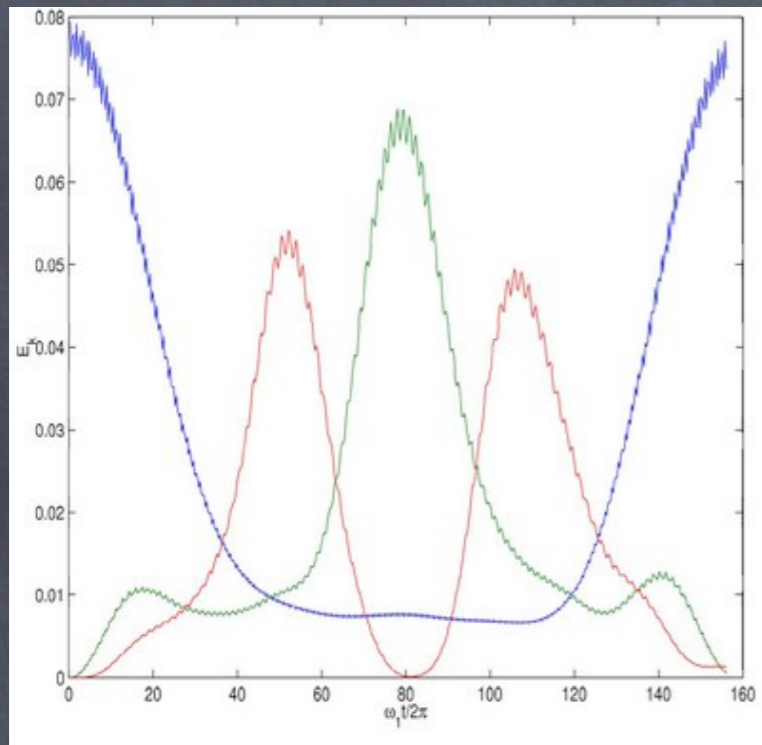
L'ultimo lavoro di Enrico Fermi, e il primo "esperimento numerico" (Los Alamos, 1952)



Il calcolatore MANIAC I a Los Alamos



Equipartizione dell'energia fra i modi?



Ricorrenza!

IL PROBLEMA DI FERMI, PASTA E ULAM... 50 ANNI DOPO

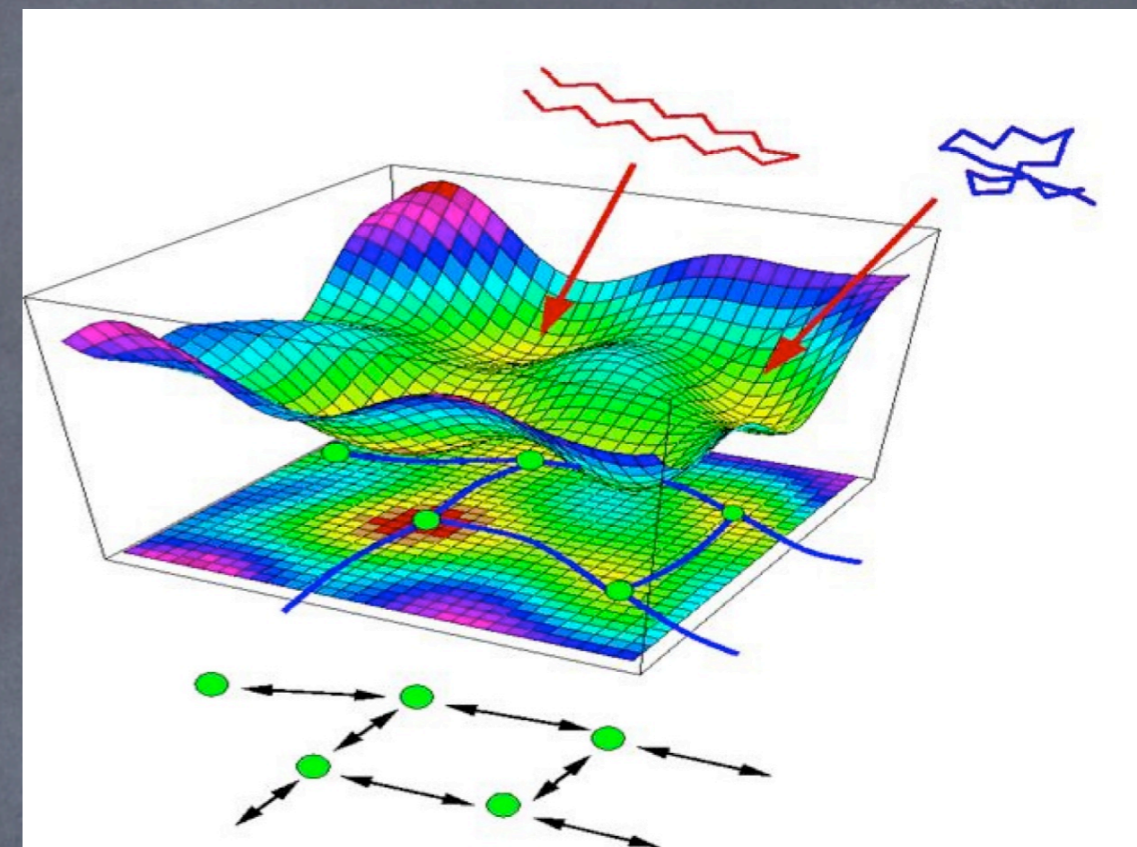
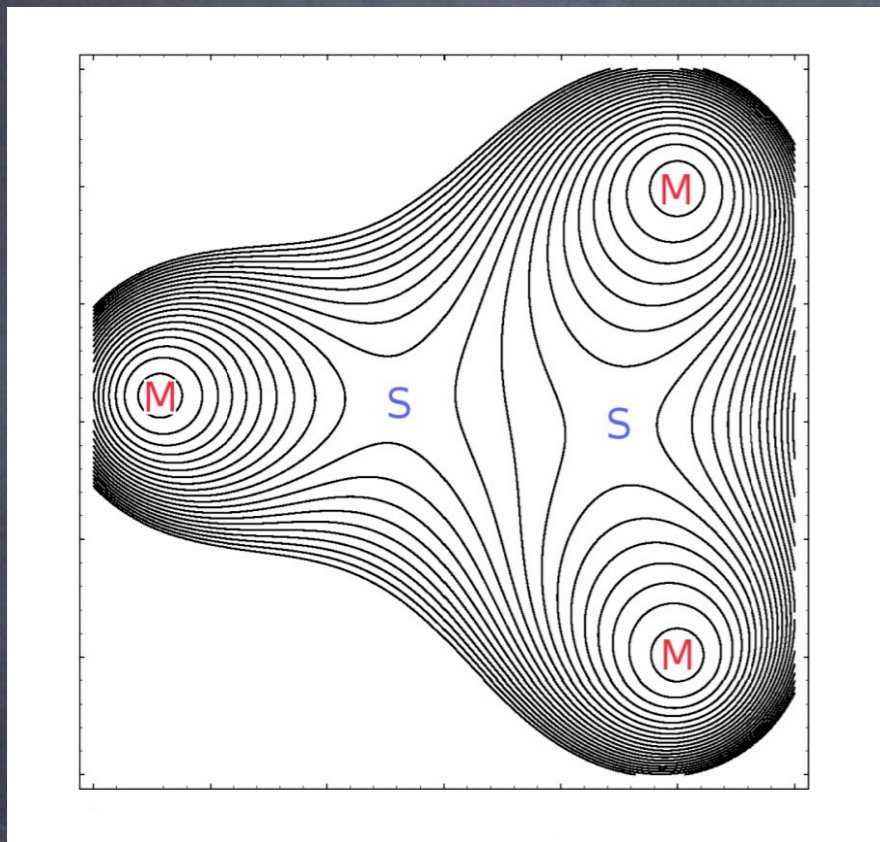
- solitoni & breathers
- dinamica caotica e meccanica statistica
- trasporto
-

numerosi contributi del gruppo fiorentino
dal 1983 a oggi

The Fermi-Pasta-Ulam problem – The first fifty years, focus issue di Chaos (2005)

ENERGY LANDSCAPES

$$V(q_1, \dots, q_N)$$



punti stazionari dell'energia
potenziale, singolarità
microcanoniche e transizioni di
fase

[Casetti, Nardini & Nerattini PRL 2011]
[Franzosi & Pettini PRL 2004, Nucl. Phys. B 2008]
[Casetti, Kastner & Nerattini JSTAT 2009]

dinamica efficace di
polimeri e proteine

**ENERGY LANDSCAPES
2012**

@ OBERGURGL, AUSTRIA

ESF research conference, July 2011

Chair D. Wales (Cambridge)
Co-chair L. Casetti (Firenze) &
M. Kastner (Stellenbosch)

INTERAZIONI A LUNGO RAGGIO

$$V = \sum_{i>j} \sum_{j=1}^N v(\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)$$

$$r \rightarrow \infty \quad v(r) \propto r^{-d+\epsilon} \quad \epsilon > 0$$

equilibrio: comportamento **NON** termodinamico [Campa, Dauxois & Ruffo Phys. Rep. 2009]

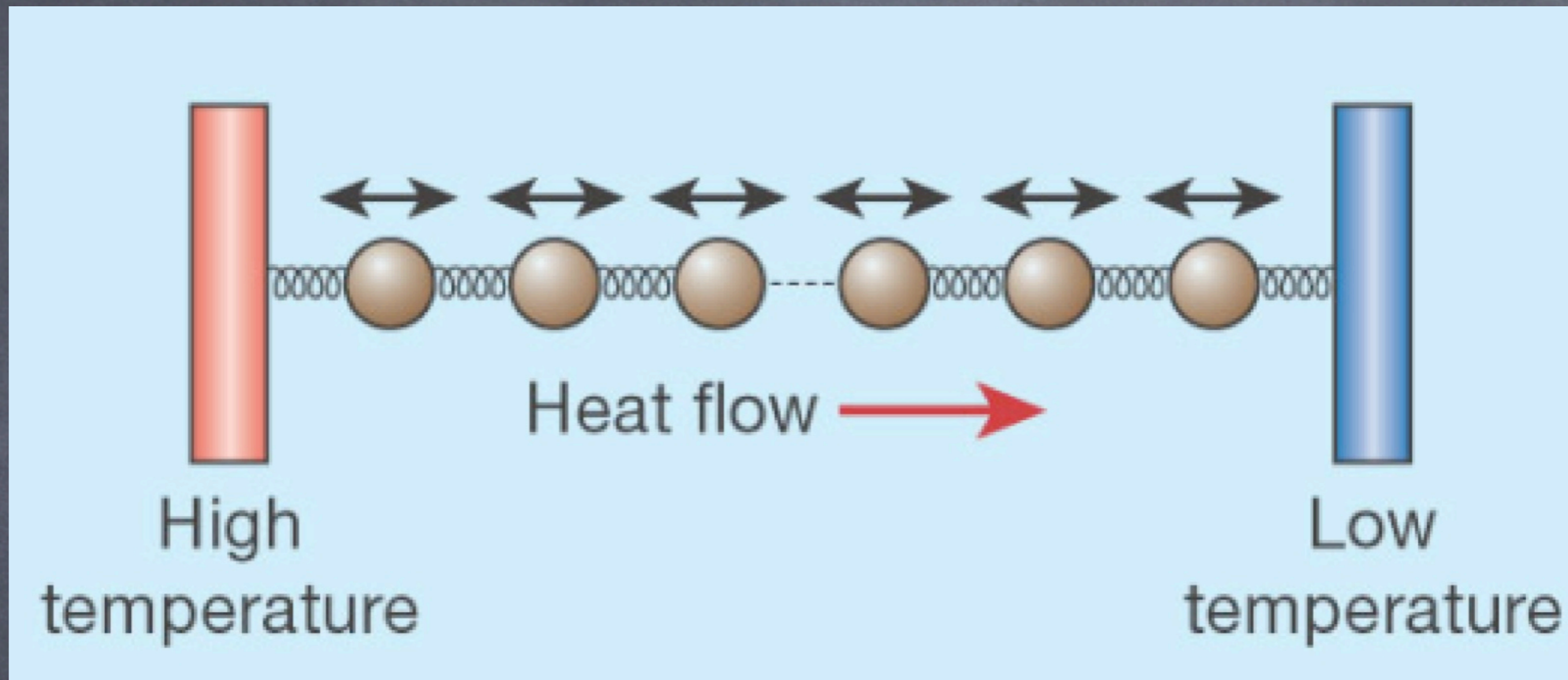
- ☞ stati di equilibrio non omogenei
- ☞ non-equivalenza fra insieme canonico e microcanonico
- ☞ calori specifici negativi
- ☞ transizioni di fase in modelli di sistemi autogravitanti

[Tatekawa, Bouchet, Dauxois & Ruffo PRE 2005; Nardini & Casetti PRE 2009, JSTAT 2010]

NON equilibrio:

- ☞ stati quasi-stazionari che sopravvivono per $N \rightarrow \infty$
- ☞ equazione di Vlasov esatta per $N \rightarrow \infty$
- ☞ transizioni di fase fuori dall'equilibrio

TRASPORTO



[Lepri, Livi & Politi Phys. Rep. 2003]

trasporto anomalo di calore in sistemi
basso-dimensionali

Fisica delle collisioni di ioni pesanti di altissima energia

Dipartimento di Fisica
e Astronomia

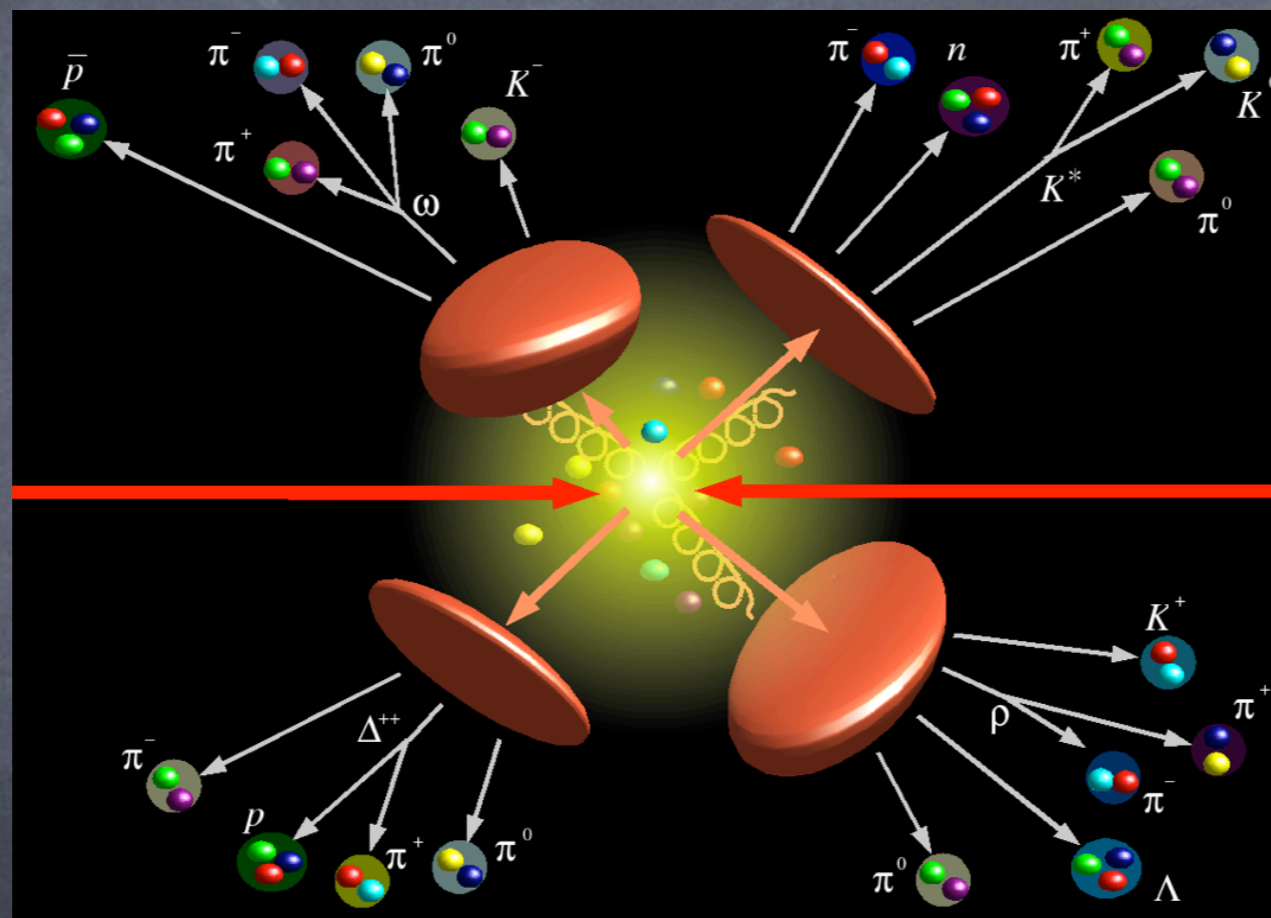
A. Barducci
R. Casalbuoni
F. Matera
G. Pettini

Dottorandi
L. Tinti

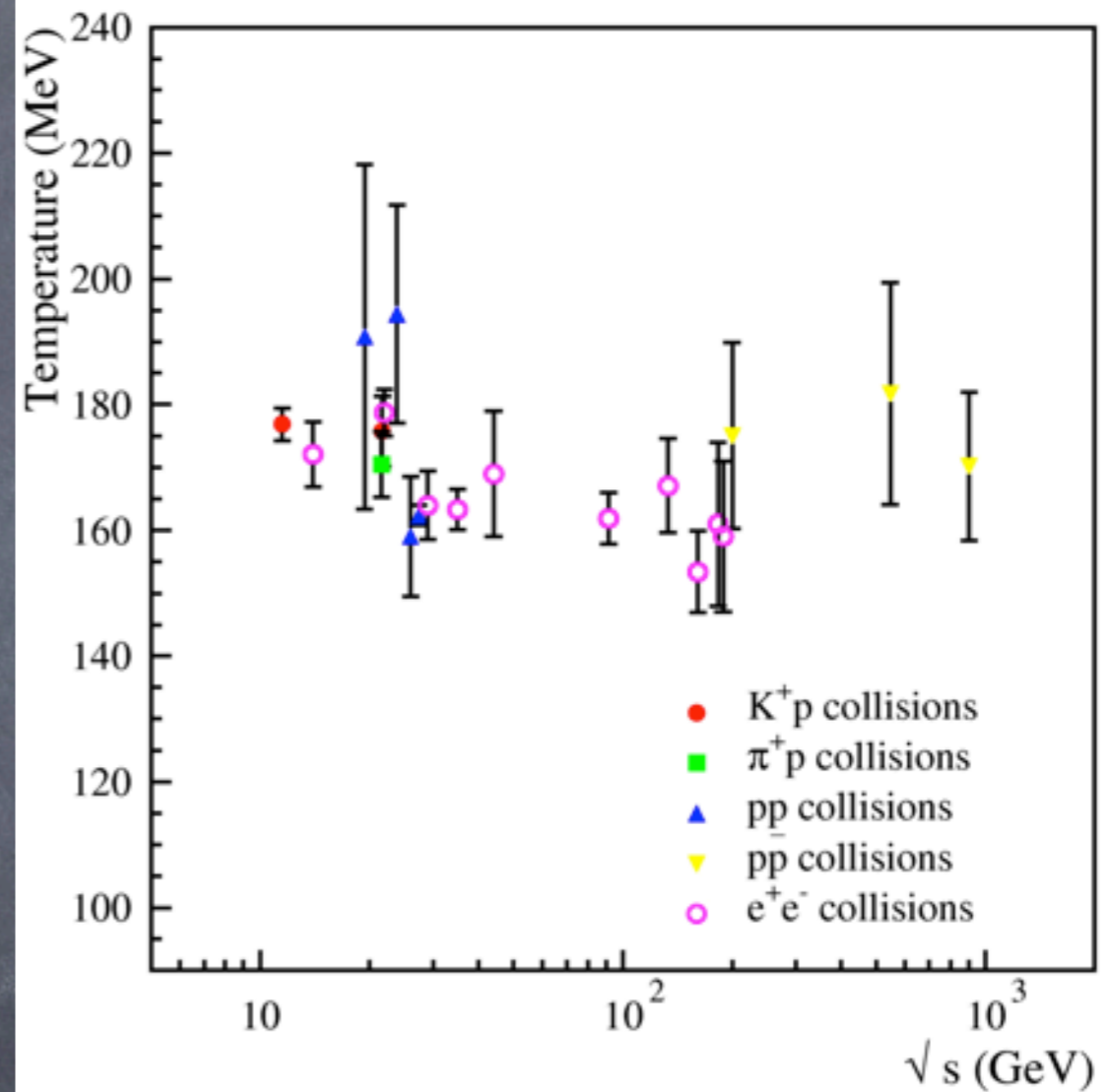
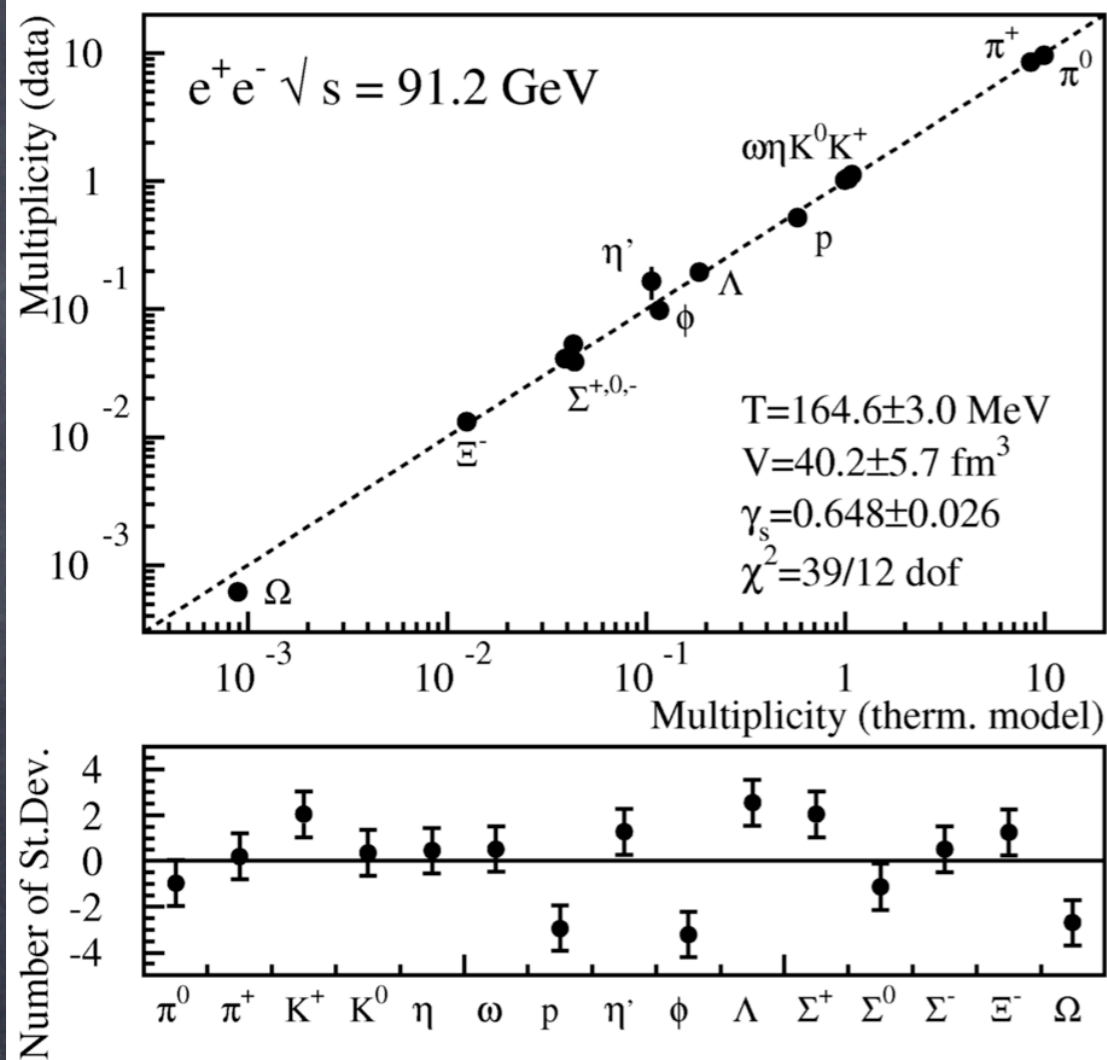
Modello statistico di adronizzazione

Sviluppo di un' idea di E. Fermi del 1950 (E. Fermi, Prog. Th. Phys. 5, 570, (1950))

La produzione multipla di adroni in collisioni di alta energia procede da oggetti massivi altamente eccitati (clusters o fireballs) in modo puramente statistico



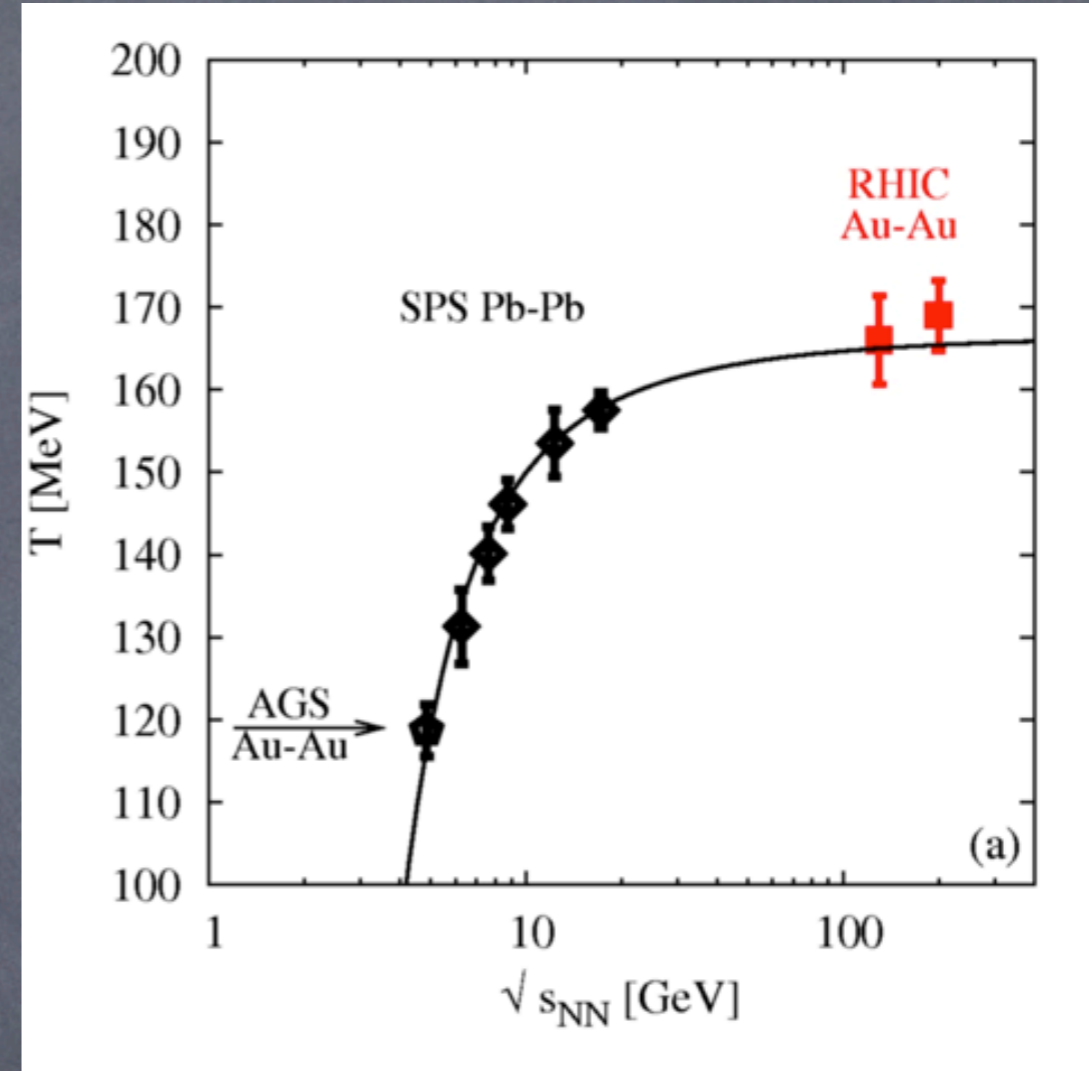
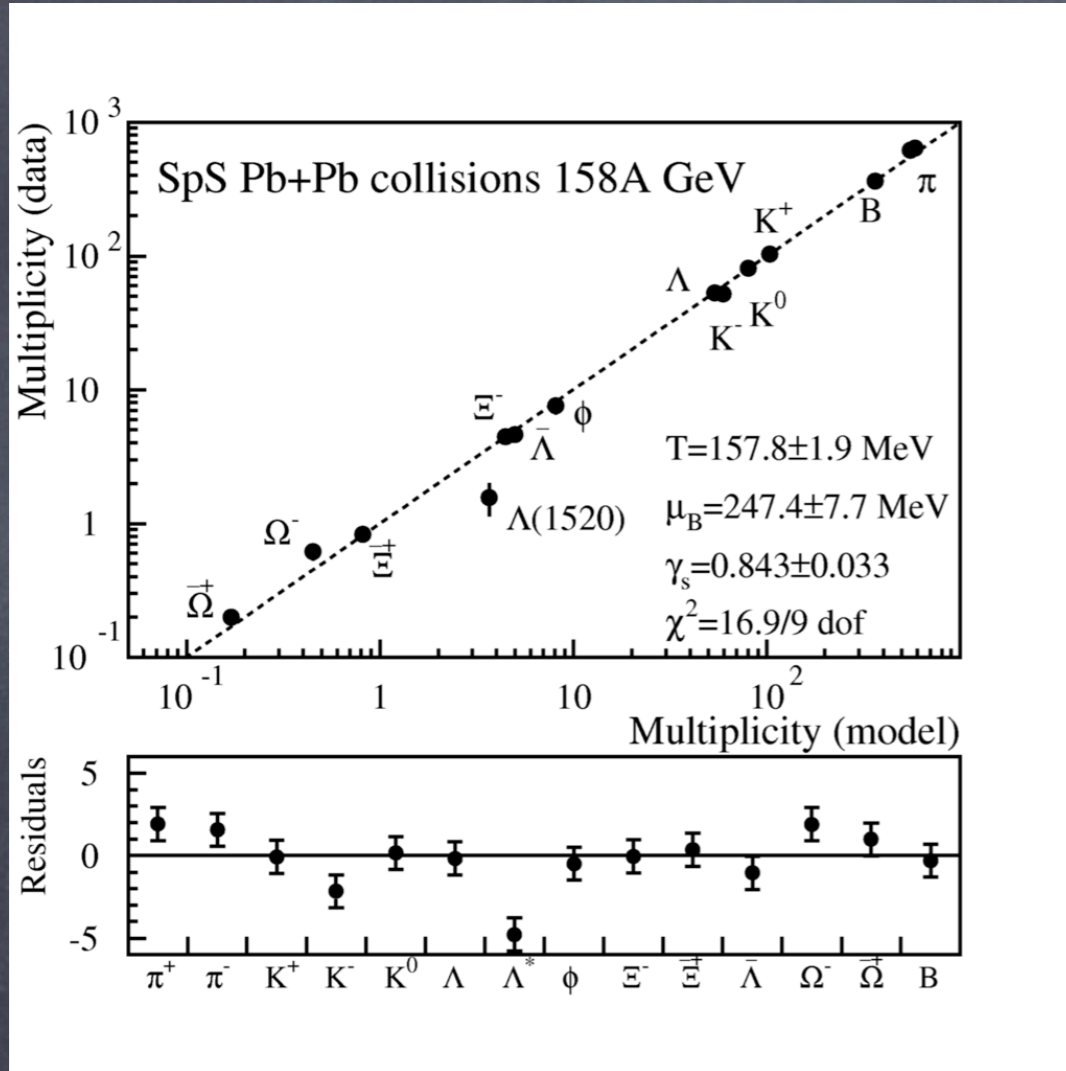
Riproduce le molteplicita' delle varie specie adroniche in collisioni di alta energia e mette in evidenza importanti proprieta' universali del processo di adronizzazione



Da: F. Becattini, P. Castorina, J. Manninen, H. Satz Eur. Phys. J. C 56 (2008) 493;

F. Becattini, R. Fries, in Relativistic heavy ion physics Landolt-Boernstein I-23 (2010) Springer-Verlag

COLLISIONI DI NUCLEI: saturazione di T_H



Da: F. Becattini, R. Fries, in *Relativistic heavy ion physics* Landolt-Boernstein 1-23 (2010) Springer-Verlag

Fisica alla Scala di Fermi e dintorni

Fisica teorica del MODELLO STANDARD

**Dipartimento di Fisica
e Astronomia**

Marcello Ciafaloni,
Dimitri Colferai

Post-Doc:
Giancarlo Ferrera

dottorandi:
Damiano Tommasini

INFN

Stefano Catani
Massimiliano Grazzini.

La nuova frontiera verso l'infinitamente piccolo:
(quark, fisica oltre il Modello Standard, l'universo circa al tempo del Big-Bang, ...)

LHC (Large Hadron Collider)

collisioni protone-protone a

$$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV (2010 - 2012)}$$

$$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV (2014 - \dots)}$$

Tutta la Fisica (Modello Standard + nuova fisica) è prodotta a livello primario dalle Interazioni Forti tra i protoni (e i loro costituenti elementari: quark, gluoni)

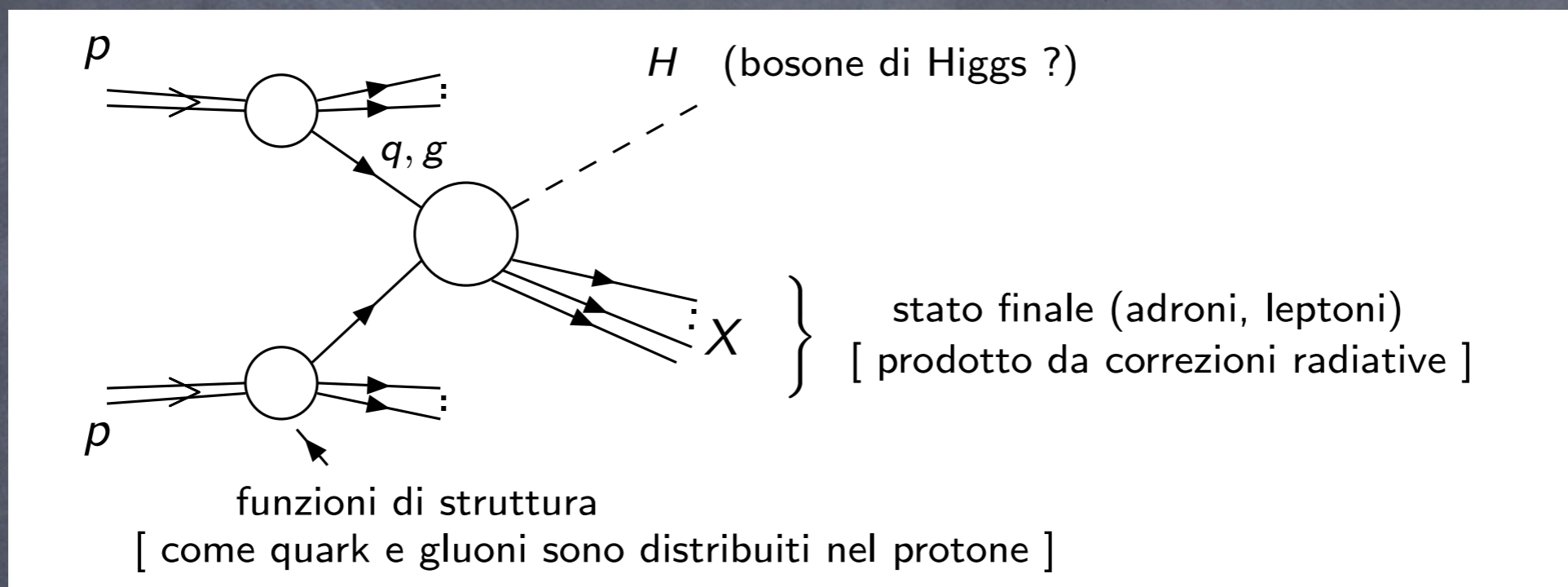
⇒ Necessaria approfondita (→ previsioni teoriche) delle Interazioni Forti.

Previsioni teoriche ai colliders adronici:

CERN LHC, Fermilab Tevatron (collisioni pp a $\sqrt{s} = 1.96$ TeV).

Teoria fondamentale delle Interazioni Forti:

QCD (interazioni tra quark e gluoni)



Previsione teorica richiede:

- conoscenza (teoria + dati sperimentali) delle funzioni di struttura
- calcolo teorico accurato delle correzioni radiative (espansione perturbativa nella costante di accoppiamento $\alpha_s \sim 0.1$ di QCD).

Ricerca del bosone di Higgs

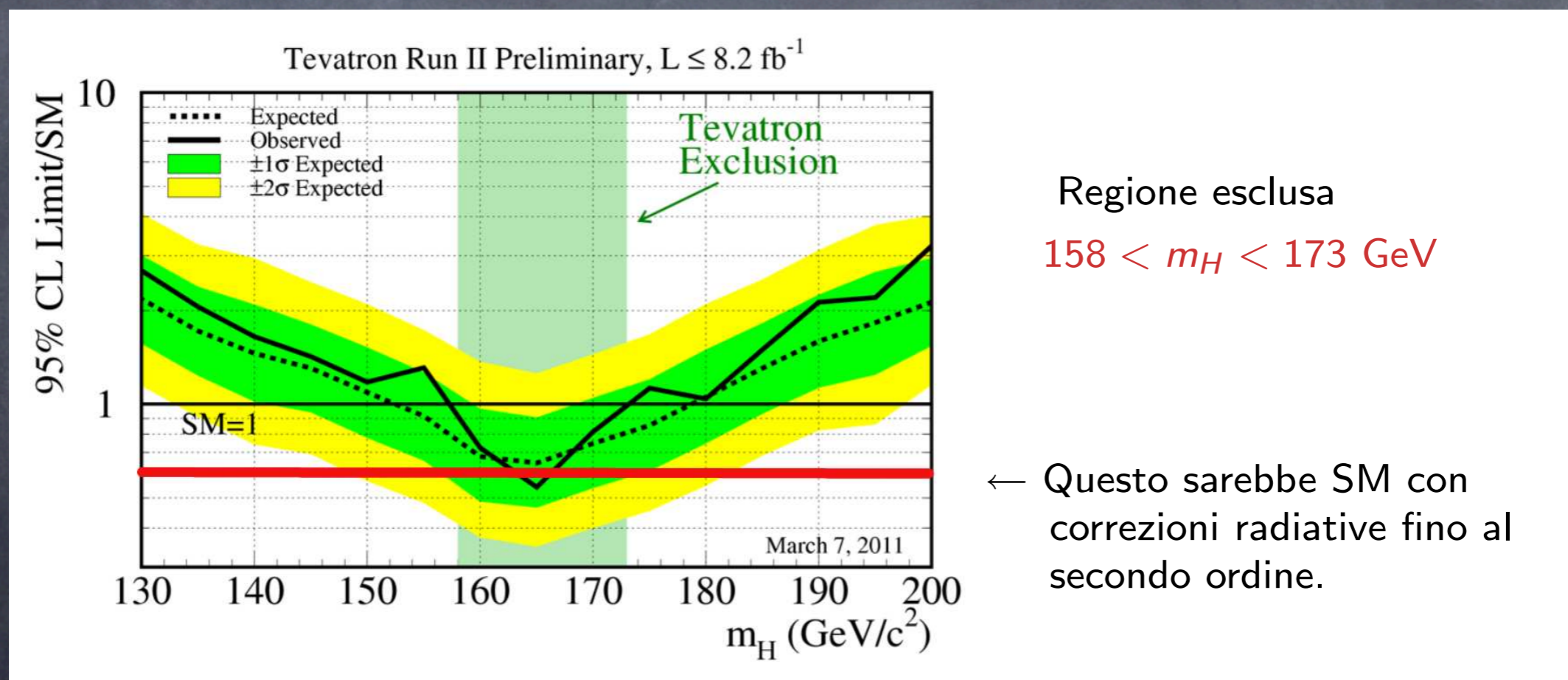
Risultati di LEP: $m_H > 114 \text{ GeV}$ (95% C.L.)

Risultati di LHC: iniziata l'analisi

Risultati del Tevatron: attualmente il più (luminosità quantità di dati accumulati/analizzati).

Moriond Conference Marzo 2011:

“Combined Tevatron experiments (CDF+D0) now are sensitive to a Higgs mass from 153 to 179 GeV, but statistical fluctuations reduce the actual mass range that can be excluded so far.”



SM: correzioni radiative di QCD fino al terzo ordine perturbativo: D. de Florian, M. Grazzini, Phys. Lett. B 674 (2009) 291 update di S. Catani, D. de Florian, M. Grazzini, P. Nason JHEP 0307 (2003) 028

Rottura della simmetria elettrodebole in piu` di quattro dimensioni

Sviluppo di modelli e predizioni di effetti a LHC e futuri acceleratori lineari

**Dipartimento di Fisica
e Astronomia**

R. Casalbuoni,
D. Dominici

Post-Doc:
F. Corradeschi

dottorandi:
L. Fedeli

INFN

S. De Curtis
M. Redi

Il mondo che sperimentiamo intorno a noi appare quadri-dimensionale. A distanze più piccole di quelle esplorate fino ad ora, però, l'universo intorno a noi potrebbe essere meglio descritto da una teoria con extra-dimensioni.

Un'idea che arriva dal passato: Kaluza (1921) e Klein (1926) tentano di unificare la gravità e l'elettromagnetismo in una teoria 5-dimensionale.

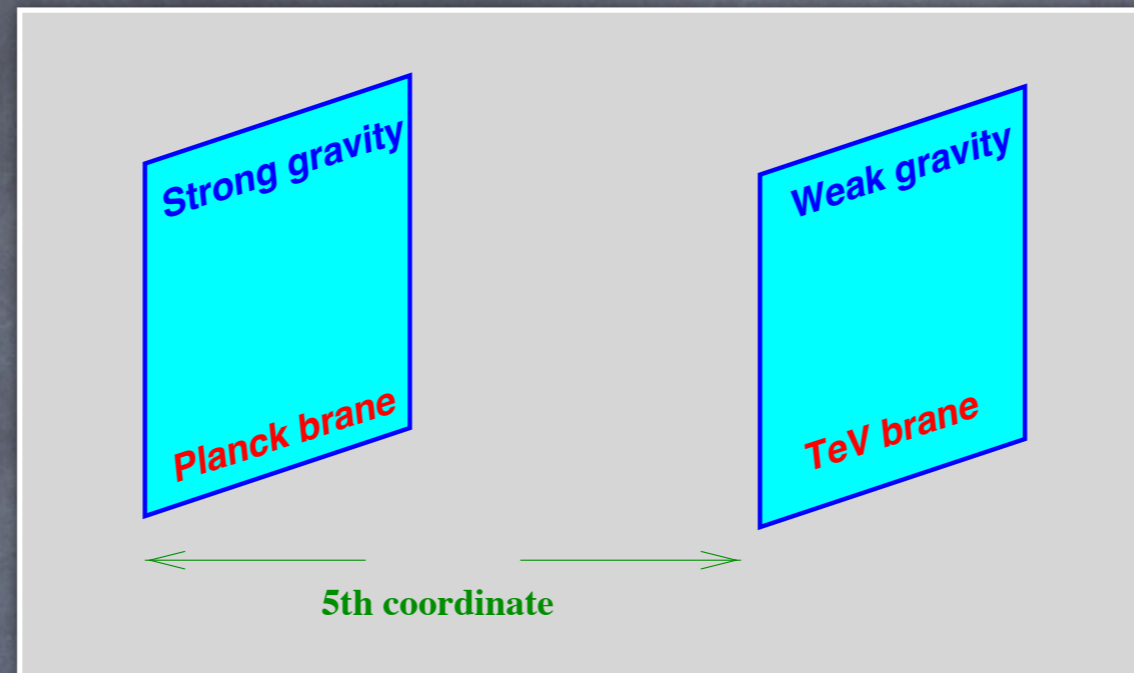
Fino al 1998 si pensava che queste extra-dimensioni fossero dell'ordine $\sim M_P$

Nuovo ingrediente, Brane: La materia ordinaria (eccetto la gravità) risulta confinata in sottospazi (brane) 3+1 dimensionali di uno spazio con extra-dimensioni

Motivazioni Recenti: Il problema della gerarchia, ovvero perché la **scala di FERMI** è molto più piccola della **scala di Planck**

$$G_F^{1/2} \sim 250 \text{ GeV} \ll M_{Pl} = G_N^{1/2} \sim 10^{19} \text{ GeV}$$

Randall-Sundrum: Viviamo su una brana?



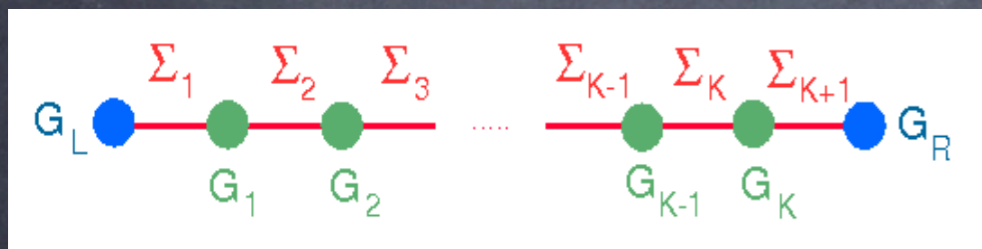
We generally assume that we live on a brane, but it may not be the brane on which gravity is concentrated. Suppose that gravity is highly concentrated near what I'll call the **Planck brane**. We live on a second brane, not precisely on top of the first brane but a little apart. Gravity on our **second brane** would appear to be weak. And that's precisely what we wanted to explain: why gravity appears to be so weak. That's the hierarchy problem-why gravity is so weak. (Lisa Randall)


- Il problema delle gerarchie è riformulato geometricamente: il red-shift (gravitazionale) nella quinta dimensione genera l' enorme differenza fra la **scala di Planck** e la **scala di FERMI**

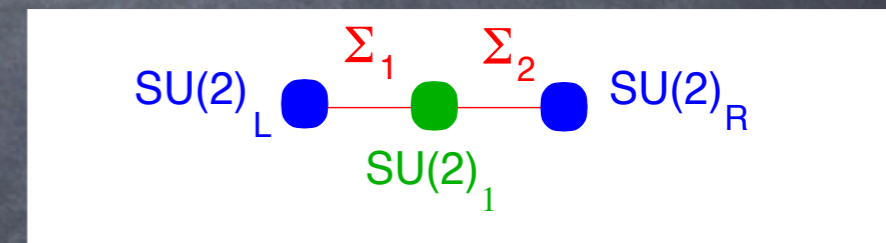
$$\Lambda = M_{Pl} \exp(-\pi k R)$$

$$\Lambda \sim \text{TeV}, \quad k R \sim 11-12$$

- Nel setup originale di RS tutti i campi dello Standard Model vivono sulla TeV brane
- Per risolvere il problema della gerarchia solo l' Higgs deve rimanere localizzato sulla TeV brane, gli altri campi possono anche propagarsi nella quinta dimensione (bulk)
- Modelli con bosoni di gauge nel (bulk) sono stati anche studiati considerando la possibilità di una quinta dimensione discreta:



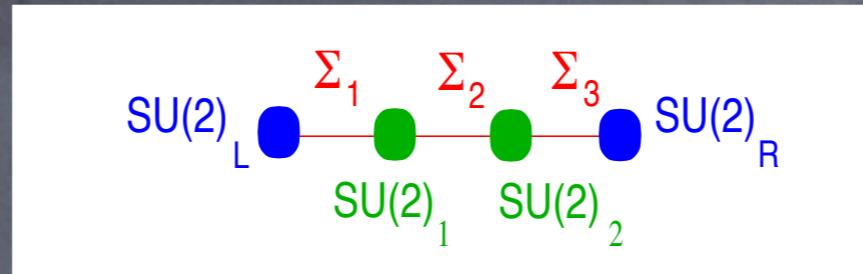
Generalizzazione del

 vecchio modello BESS



$$G_1 = G_2 = \dots = G_K = SU(2)$$

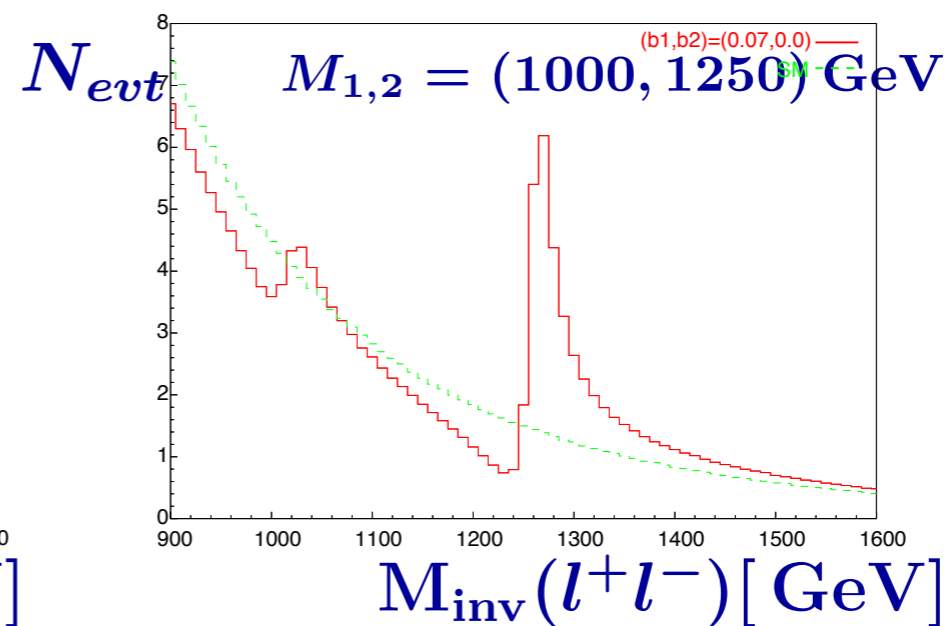
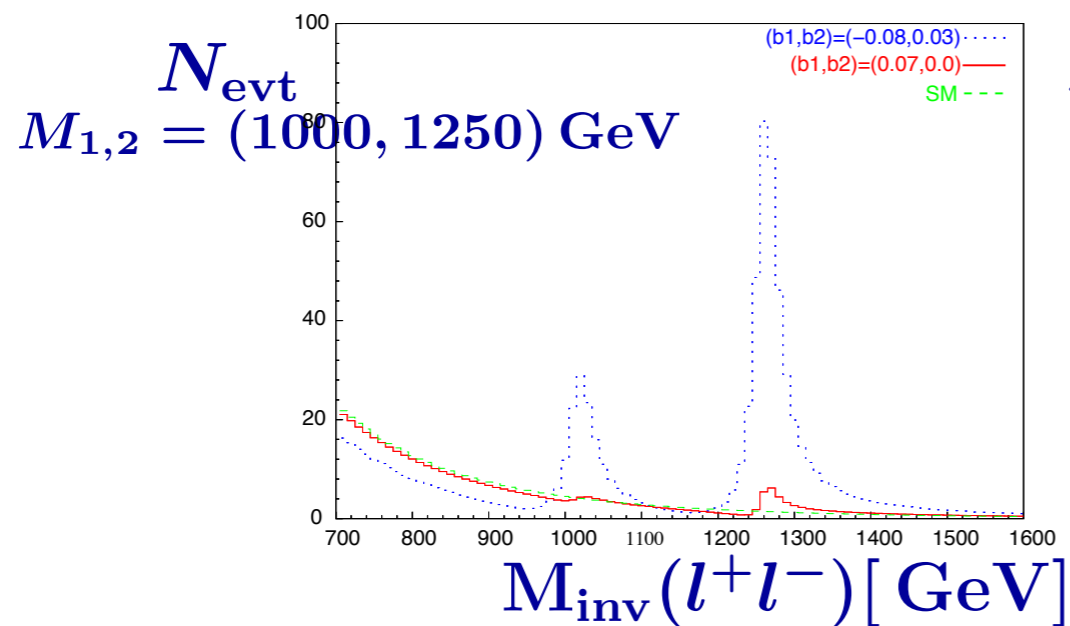
$$G_L = G_R = \dots = G_K = SU(2)_L \times SU(2)_R$$

MODELLO A 4 SITI



Nuove particelle : primi 2 livelli di eccitazioni di Kaluza-Klein di W, Z

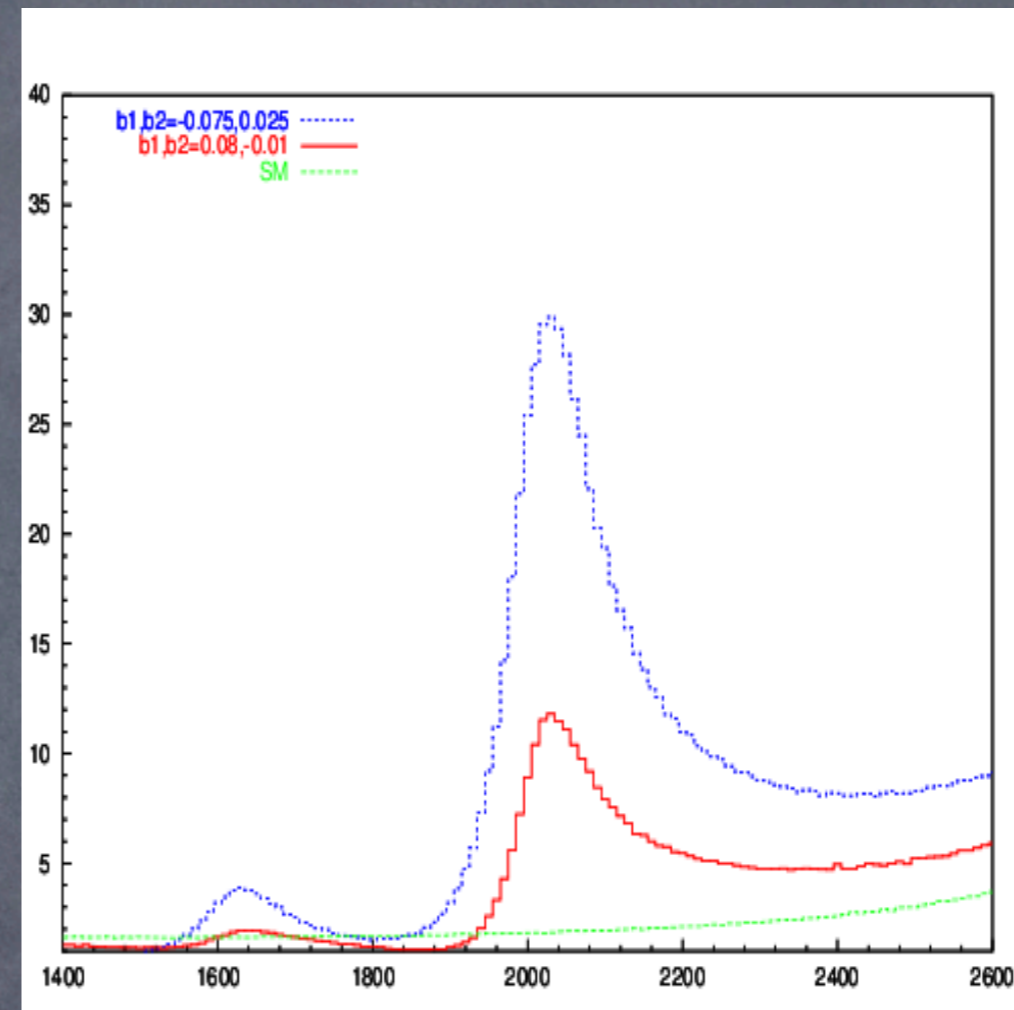
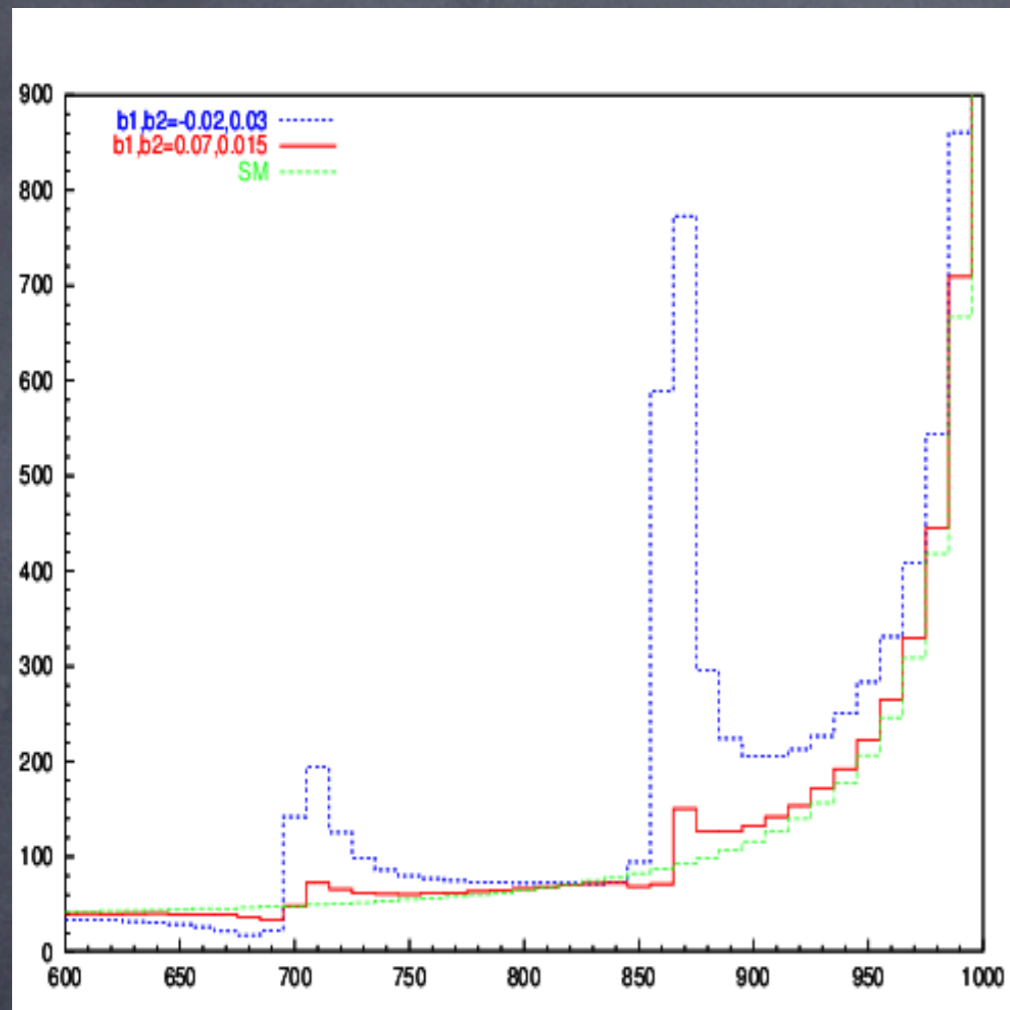
Total number of events in a 10 GeV-bin versus the dilepton invariant mass, $M_{inv}(l^+l^-)$, for the **LHC** process $pp \rightarrow l^+l^-$ for $L = 10 \text{ fb}^{-1}$, $E = 14 \text{ TeV}$.



$$S_1/\sqrt{B_1} = 9.9, 0, S_2/\sqrt{B_2} = 16.7, 3.2$$

MODELLO A 4 SITI ai futuri Liner Collider

$$e^+e^- \rightarrow Z^1, Z^2 \rightarrow \mu^+\mu^-$$



Numero totale di eventi in un bin di 10 GeV verso la massa invariante della coppia muoni invariant mass, $E=1$ (3) TeV, $M1 = 680(1600)$ GeV, $M2 = 850$ (2000) GeV per luminosità $L=100 \text{ fb}^{-1}$. ISR è inclusa, beamstrahlung no.

Statistica?

Né Fermi Né Bose

Teoria dei campi in bassa dimensionalità, sistemi integrabili ed applicazioni

**Dipartimento di Fisica
e Astronomia**

dottorandi:

L. Banchi
D. Calvani

INFN

A. Cappelli
F. Colomo

CNR

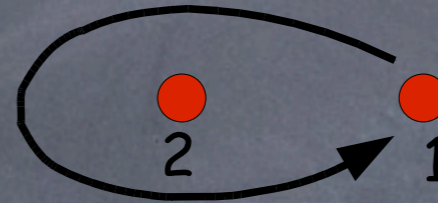
P. Verrucchi
P. Politi

Statistica quantistica frazionaria in $d=2+1$

Scambio



Monodromia



$$z = x + iy \quad e^{i\theta}$$

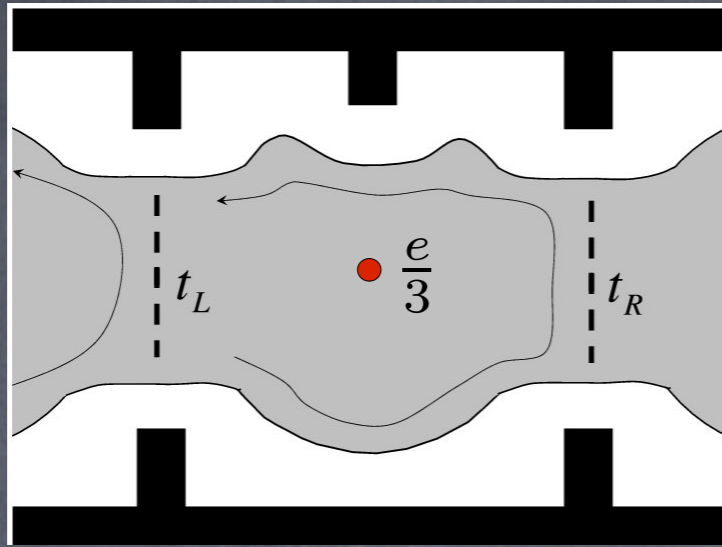
$$\Psi \left[(z_1 - z_2) e^{i2\pi}, z_2 \right] = e^{i2\theta} \Psi [z_1, z_2]$$

- $\theta = \pi\nu$, ad esempio $\nu=1/3$ fase frazionaria $\neq \pm 1$

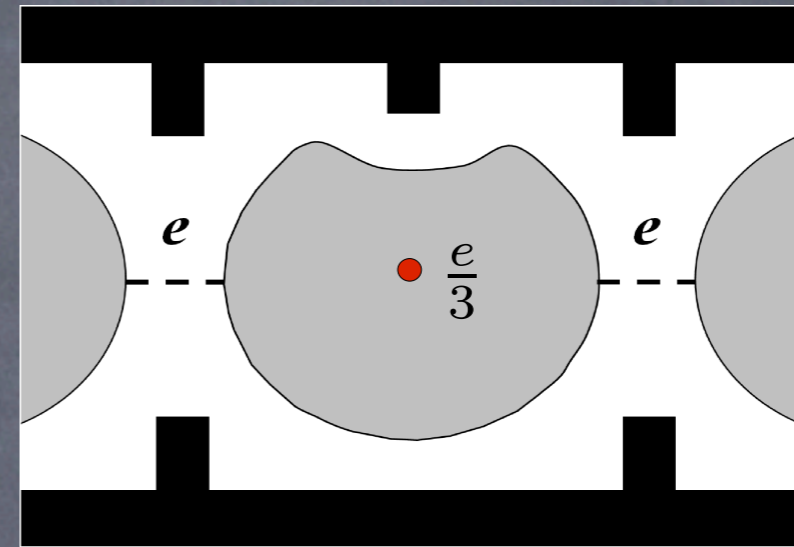
Bosoni \longleftrightarrow **Anioni** \longleftrightarrow **Fermioni**

- fasi statistiche descritte dalle teorie di campo conformi
- estensione a piu' componenti: $\Psi_a [z_1, z_2] \longrightarrow U_{ab} \Psi_b [z_1, z_2]$
- trasformazioni unitarie utili per la computazione quantistica
eccitazioni topologiche protette dalla decoerenza

Esperimenti sulla statistica non-Abeliana



(a)



(b)

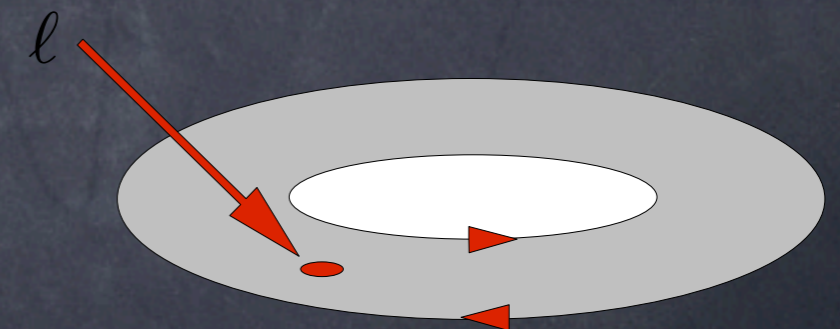
(a) **interferenza di onde di bordo:** Aharonov-Bohm phase, statistica frazionaria

(b) **tunneling di un elettrone nella goccia:** Coulomb blockade, picchi della conduttanza

(c) **Thermopower:** In presenza di un gradiente di temperatura T e potenziale V fra i bordi. All' equilibrio

$$J = -\sigma \nabla V_o - \alpha \nabla T = 0$$

$$S_{\text{Seebeck}} = \frac{\alpha}{\sigma} = -\frac{\nabla V_o}{\nabla T} = \frac{S}{eN_e}$$



Questi sono solo alcuni esempi della ricca attività' del gruppo teorico fiorentino e del costante confrontarsi con i risultati e gli interessi del genio universale fermiano.

Un genio fuori scala: se si pensa che il primo contributo che porta il suo nome in fisica teorica risale a lui studente ventunenne:

Sistemi accelerati e coordinate Fermi-(Walker)

Fermi E., Atti Accad. Naz. Lincei Cl. Sci. Fiz. Mat. Nat., 31, 184 (1922) 306.