



Centro di Competenza sul Calcolo Scientifico

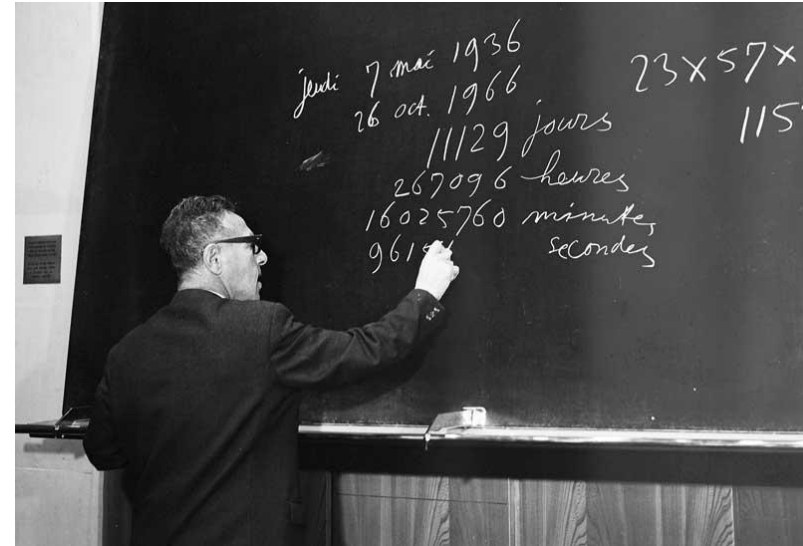
I computer e la fisica a Torino

Massimo Masera
massimo.masera@unito.it

Dipartimento di Fisica

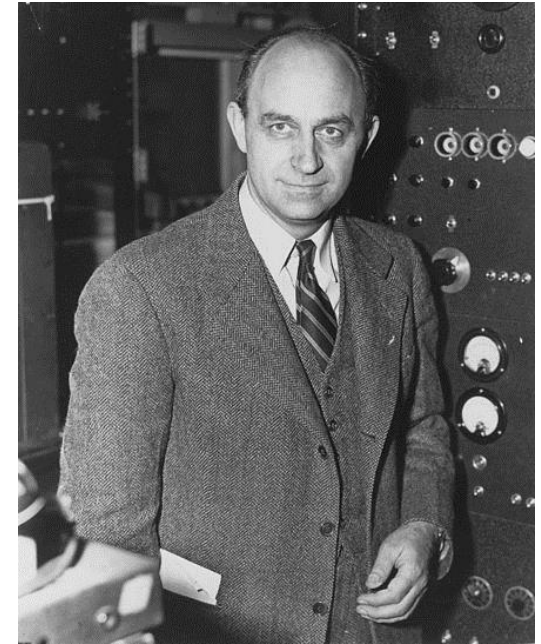
Un po' di storia

- In fisica il calcolo numerico ha sempre avuto un ruolo importante... **Anche prima della diffusione dei calcolatori elettronici.**
- Storicamente, la fisica computazionale è stata la prima applicazione dei computer moderni in ambito scientifico.
- Al CERN di Ginevra, alla fine degli anni 50 c'era un "computer office" con due signore inglesi che con calcolatrici meccaniche da tavolo facevano conti più o meno complessi con l'aiuto di tavole e tecniche di interpolazione.
- Nel **1958** fu assunto Wim Klein ("**CERN's first computer**") per le necessità di calcolo della divisione teorica.
 - aveva abilità straordinarie di calcolo mentale
 - nel 1976 entrò nel Guinness dei primati calcolando la 73-ma radice di un numero a 500 cifre in 2 minuti e 43 secondi
- Nello stesso anno il CERN installò il primo elaboratore elettronico, un **Ferranti Mercury.**
- Nel giro di pochi anni il povero W. Klein diventò obsoleto (capita a tutti i computer...)



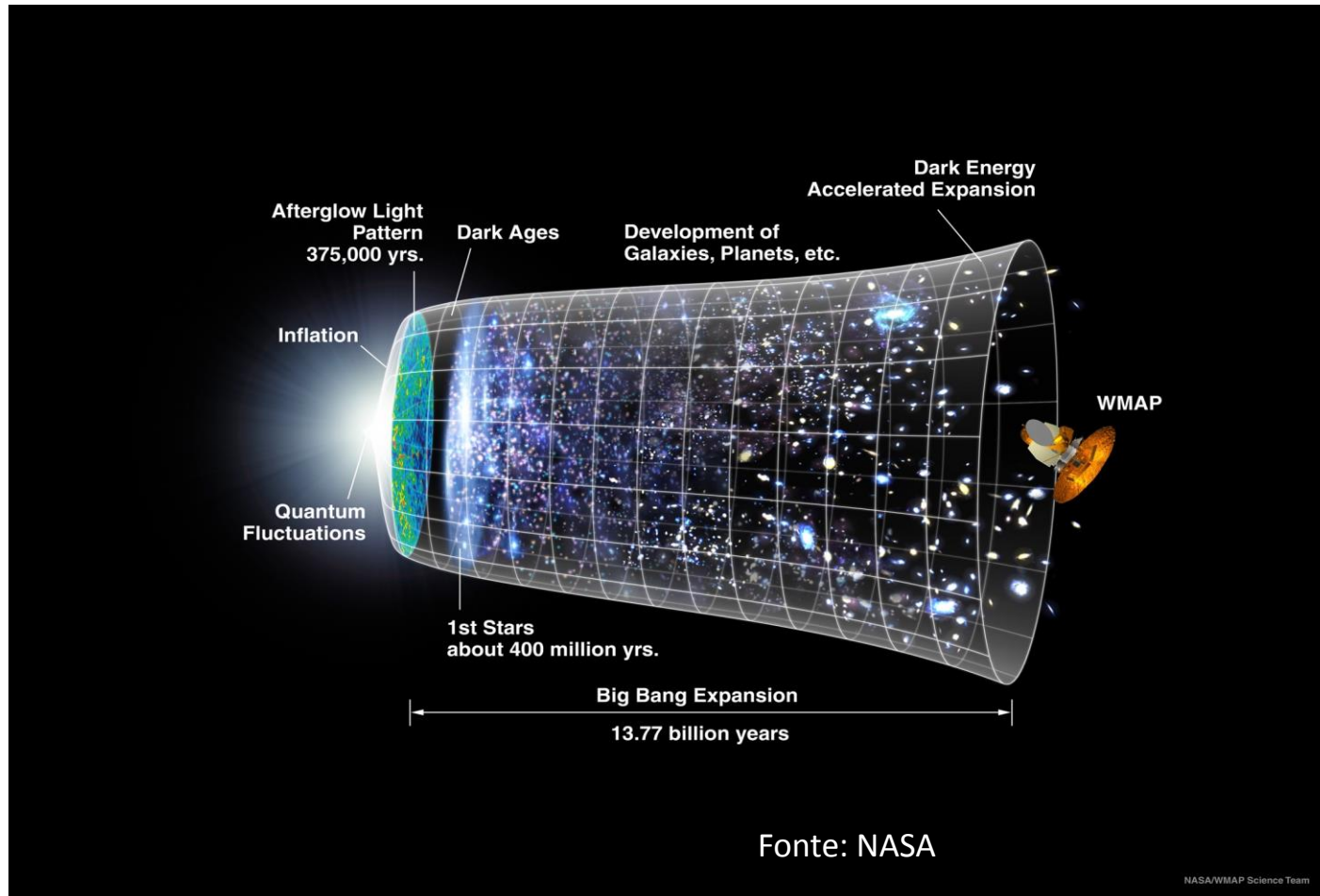
Un po' di storia

- Il padre nobile dell'uso dei calcolatori elettronici per la fisica italiana fu **Enrico Fermi**.
- Nel 1949, visitando l'Olivetti, Fermi richiamò l'attenzione di Adriano Olivetti sui possibili sviluppi dell'elettronica ed esortò i fisici italiani a costruire un centro di calcolo.
- Il suggerimento fu accolto da Marcello Conversi, che, con il matematico Alessandro Faedo, avviò la realizzazione della **Calcolatrice Elettronica Pisana (CEP)**
 - realizzata nel **1957**
 - primi passi del linguaggio di programmazione **Fortran**
- Parallelamente l'**Olivetti** avviò proprio a Pisa lo sviluppo della linea di elaboratori **Elea**.
- Nel 1962, il direttore dell'Istituto di Fisica Teorica **Mario Verde** acquistò un **Elea 6001**, il primo calcolatore elettronico del nostro Ateneo.



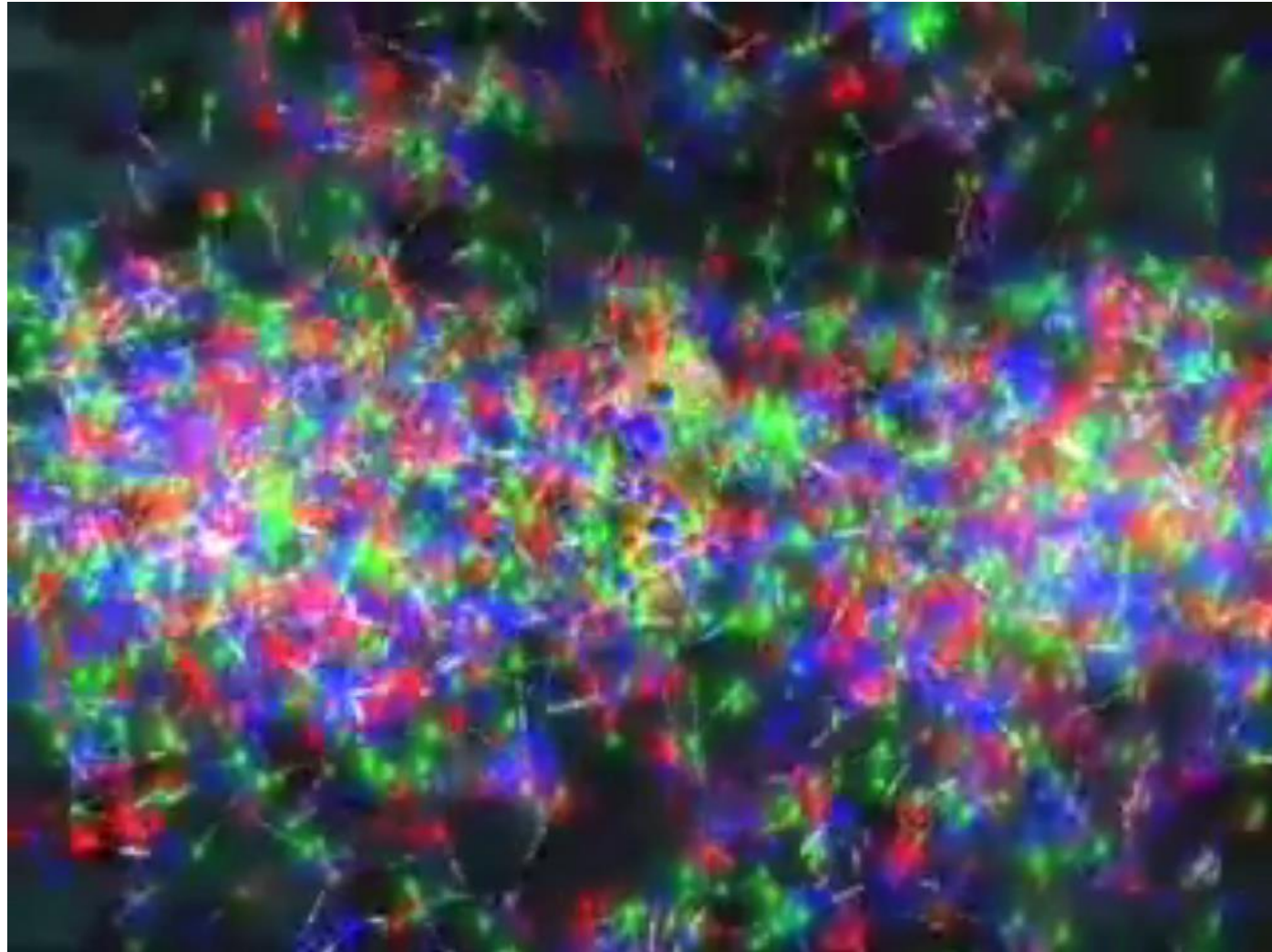
E adesso?

I computer si usano per studiare la storia dell'Universo dall'origine a oggi



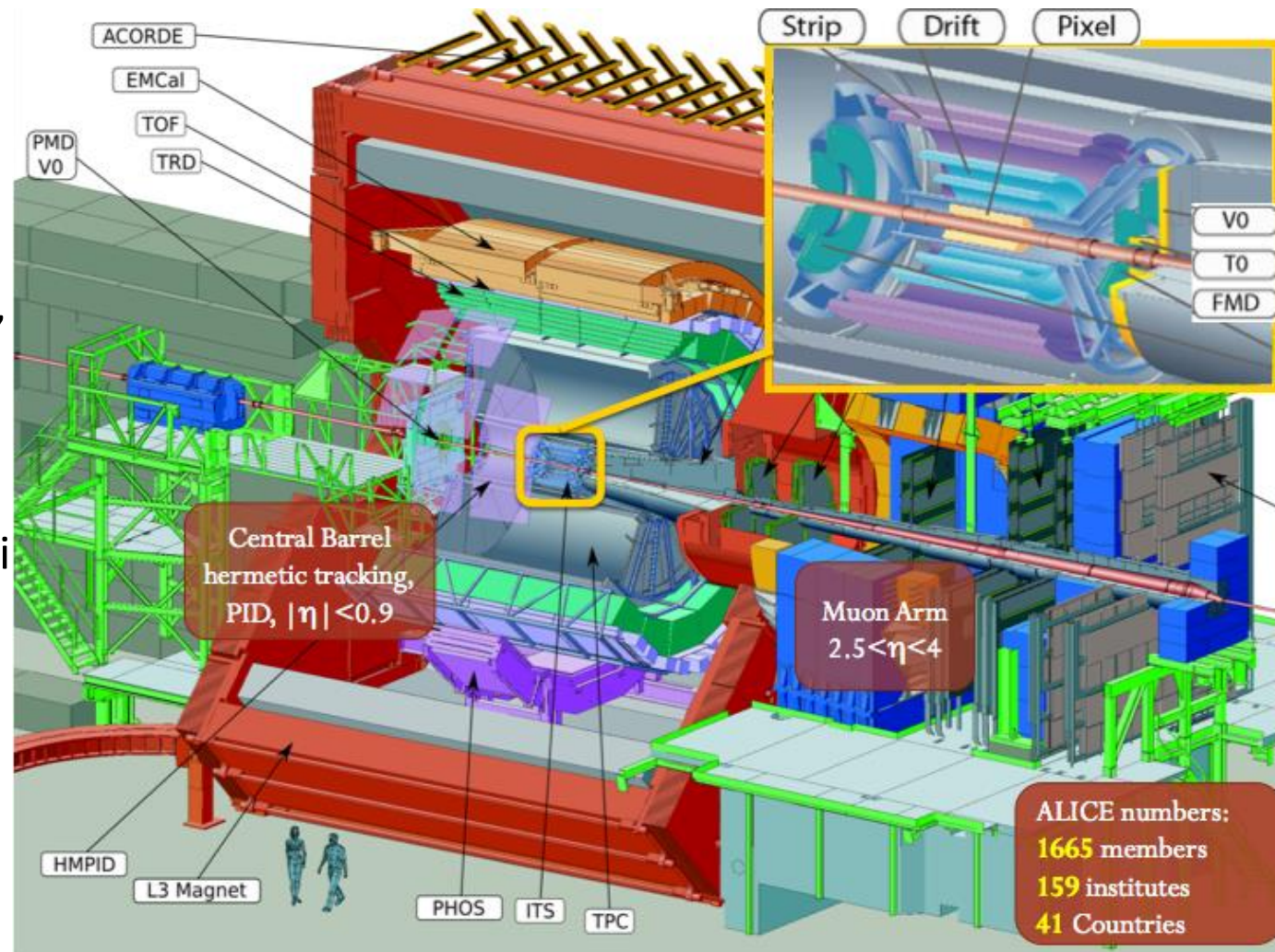
Il Big Bang in laboratorio

- Si ricreano in laboratorio le condizioni dell'Universo primordiale con collisione di nuclei ad altissima energia
- **A LHC: Pb-Pb a 5 TeV/A**
- *A Large Ion Colliding Experiment* (**ALICE**) studia questo problema



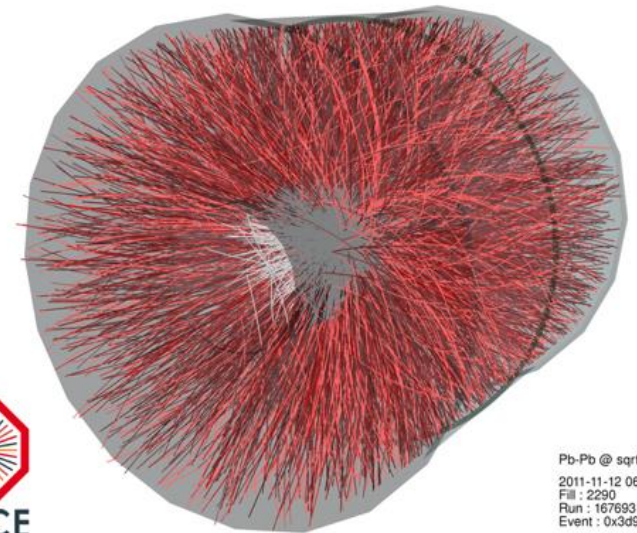
Esperimenti agli acceleratori di particelle

- Il dipartimento partecipa a diversi esperimenti agli acceleratori.
- ALICE è uno di questi, con CMS, Compass, BES, Belle, ... per citare i più grandi a cui partecipano fisici di Torino.
- ALICE acquisisce dati di collisioni **Pb-Pb** con un rate di **1.25 GB/s**
- Mole di dati accumulati finora:
 - **~45 PB su nastro**
 - **~55 PB su disco**



Esperimenti agli acceleratori di particelle

- Le risorse di calcolo per questi esperimenti sono parte degli esperimenti stessi. Per LHC fanno parte del World LHC Computing Grid
- Alice usa oltre 80000 core... sempre (24 h/24 h).
- **Noi usiamo risorse locali per lo sviluppo e la validazione di algoritmi di ricostruzione e analisi.**
- Ad esempio i fisici torinesi di ALICE sono attivi nella ricostruzione di traiettorie di particelle.
- Goal per il 2020: portare la ricostruzione su GPU per poter sostenere l'alto rate previsto per LHC

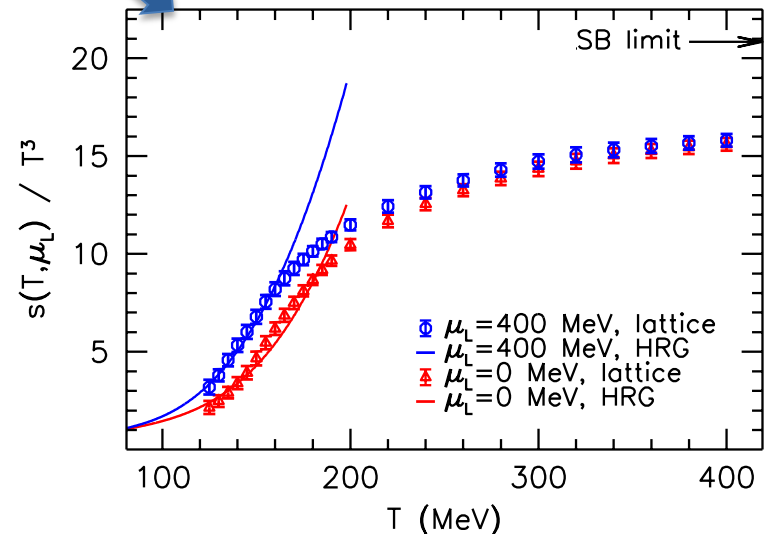
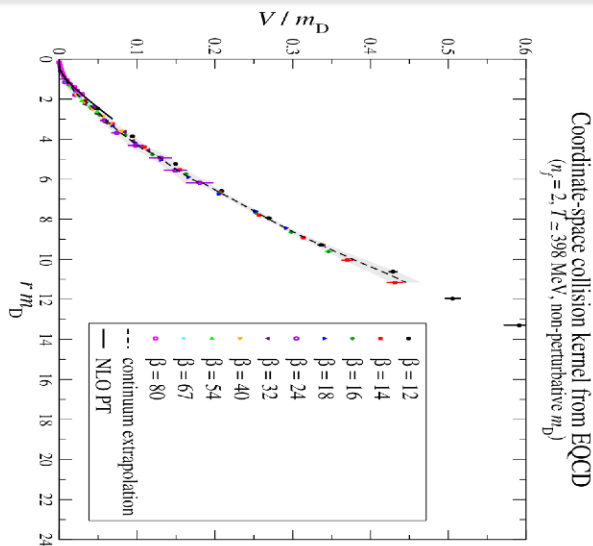
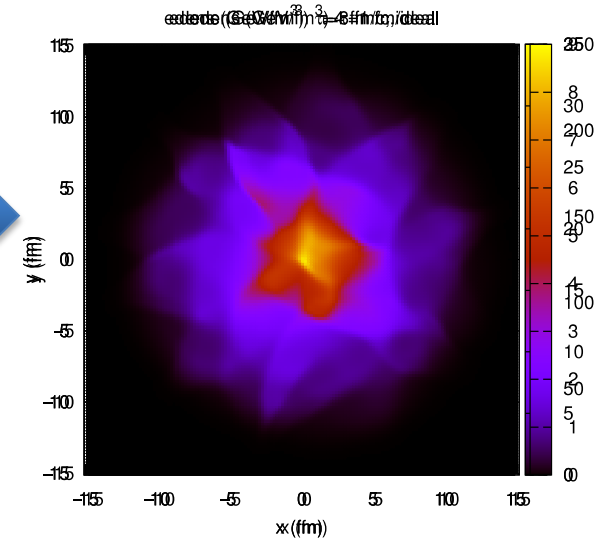


Dall'esperimento alla teoria

I fisici teorici del dipartimento sono in grado di calcolare molte proprietà del Plasma di Quark e Gluoni (**QGP**) formato in collisioni tra nuclei.

Calcolo **dell'evoluzione idrodinamica** del plasma (con possibilità di ipotesi diverse sulle proprietà del fluido)

Calcoli di QCD (Cromodinamica Quantistica) **su reticolo** per prevedere quantitativamente alcune proprietà quali la propagazione di una particella nel plasma (a sinistra) e l'entropia in funzione della temperatura (a destra)



- Si usano risorse di calcolo in fisica astroparticellare per:
 - correlare le emissioni di radiazione cosmica con la distribuzione di materia con lo scopo di identificare da cosa sia composta la materia oscura
 - analizzare le anisotropie della radiazione cosmica di fondo
 - **analizzare la mappa della radiazione gamma che proviene dal cosmo per identificare sorgenti molto deboli, tra cui la radiazione che si attende sia emessa dalla materia oscura: recentemente il gruppo di Torino ha identificato la presenza di 20000 nuove sorgenti gamma**

ANSA > Scienza&Tecnica > Spazio & Astronomia > Si allarga il catalogo dell'universo 'violento'

Si allarga il catalogo dell'universo 'violento'

Scoperte 20.000 nuove sorgenti di raggi gamma

27 luglio, 09:59

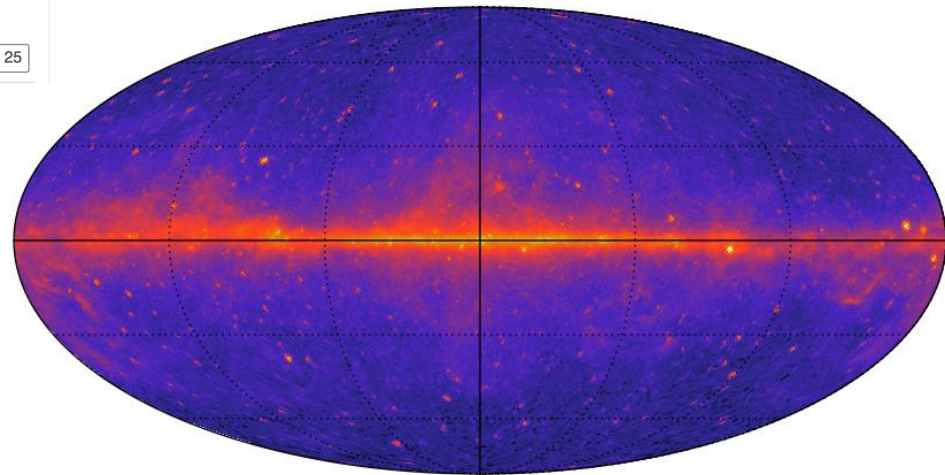


0

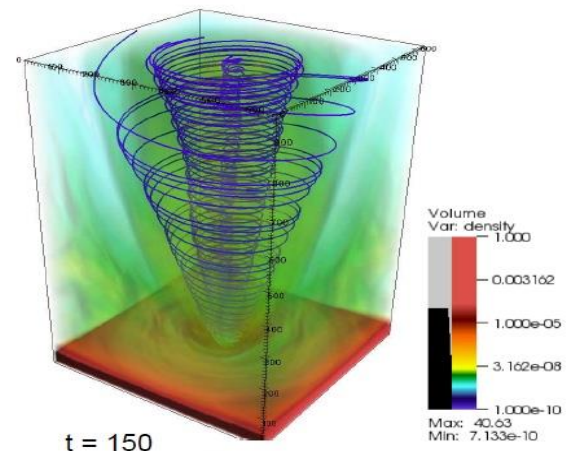
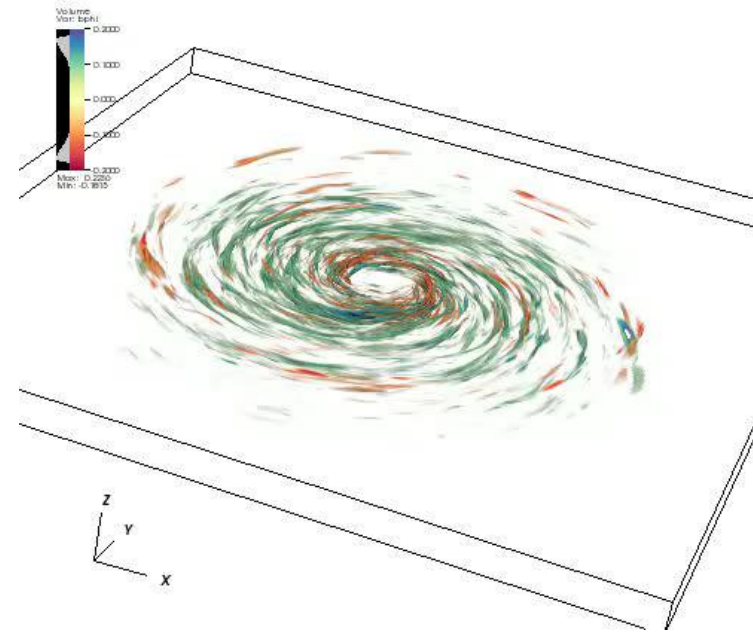


25

Risultati ottenuti analizzando sei anni di dati raccolti dal **Large Area Telescope (LAT)**, il rivelatore per i raggi gamma di alta e altissima energia, presente a bordo del **telescopio spaziale della NASA Fermi**.



- I buchi neri super-massivi acquisiscono materia attraverso *un disco di accrescimento*. **Simulazioni numeriche 3D** aiutano a comprendere come il momento angolare sia trasportato mediante turbolenze magneto-idrodinamiche.
- Potenti **getti relativistici** sono espulsi dal disco, propagandosi a enormi distanze. **Simulazioni numeriche** possono far luce su come i jet siano emessi, su cosa determini la loro interazione con il mezzo intergalattico e su come le particelle siano accelerate a energie estremamente grandi.
- Il codice gira su **MPI** ed esiste un prototipo su **GPU** (PLUTO: <http://plutocode.ph.unito.it>)



PLUTO

A modular code for computational astrophysics



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TORINO
ALMA
UNIVERSITAS
TAURINENSIS

What is PLUTO ?

- Home
- Code Overview
- Download
- Documentation
- Gallery
- Publications

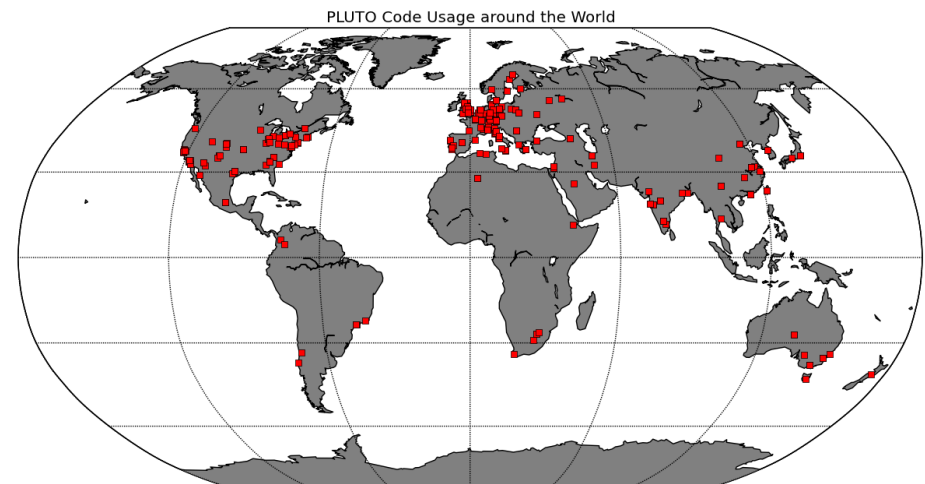
PLUTO is a freely-distributed software for the numerical solution of mixed hyperbolic/parabolic systems of partial differential equations (conservation laws) targeting high Mach number flows in astrophysical fluid dynamics. The code uses different numerical schemes and is implemented using the finite volume method.

Equations are discretized using a second-order AMR interface that relies on refined grids.

The code is written in C++ and Fortran.

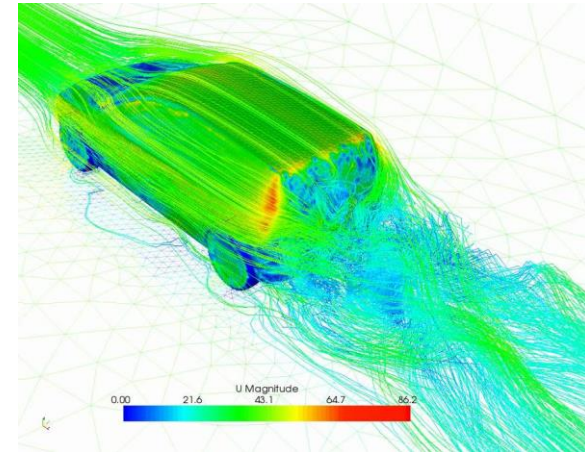
PLUTO is a highly portable code that runs on different processors using OpenMP for parallel performance.

The software is developed and maintained by the [INAF, Osservatorio Astronomico di Torino](#).



La turbolenza nei sistemi fisici è presente su molti ordini di grandezza: dalla formazione delle galassie ai film di sapone.

Comprendere meglio la turbolenza è utile per molte **applicazioni** ma è anche per la **fisica di base**: è infatti l'*ultimo problema classico non risolto*



La comprensione della turbolenza è uno dei *Millenium Problems* del Clay Institute (1 milione \$)

Simulazioni numeriche di turbolenza

Turbolenza è un sistema dinamico con **molti** gradi di libertà

$$N \simeq Re^{9/4}$$

numero di Reynolds $Re=10^6$ (auto), 10^9 (nave), 10^{12} (moti in atmosfera): per simulare direttamente la turbolenza attorno ad un automobile in corsa ci vorrebbe una griglia di circa 10^5 punti per lato (totale 10^{15} punti griglia)

Turbolenza

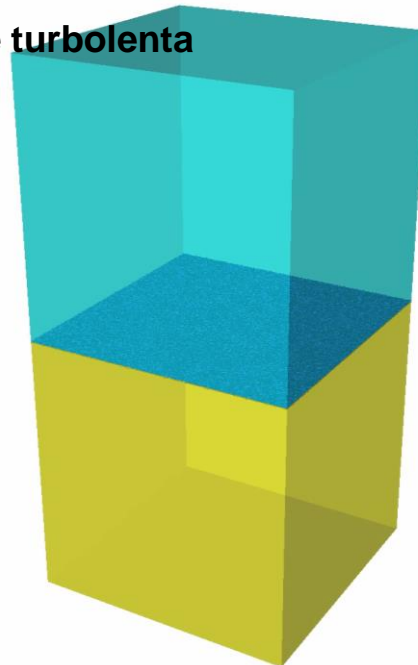
Le simulazioni numeriche di turbolenza hanno seguito lo sviluppo dei supercomputer (Moore's law):

- velocita' raddoppia ogni 1.1 anni
- memoria raddoppia ogni 1.8 anni

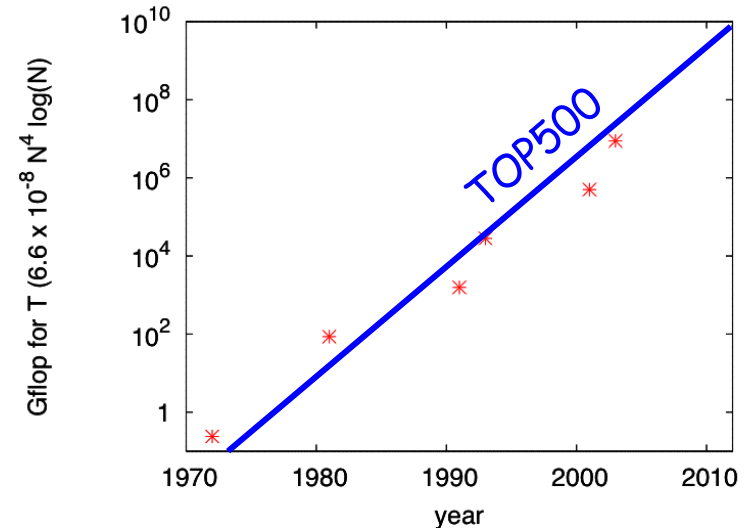
questo porta a raddoppiare la risoluzione delle simulazioni ogni 4.3 anni (limite velocita') o 5.4 anni (limite memoria)

Le simulazioni di turbolenza permettono di **accedere a tutte le variabili** (non possibile in esperimento) per molte applicazioni:

Convezione turbolenta

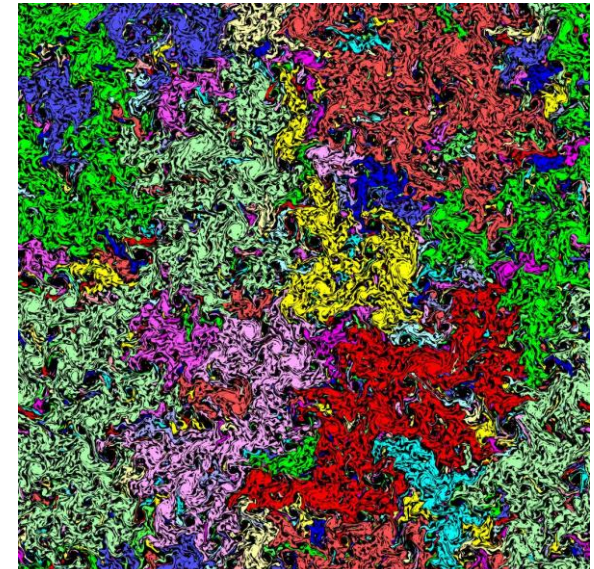


Moto del plankton in oceano



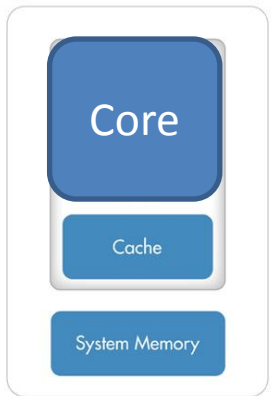
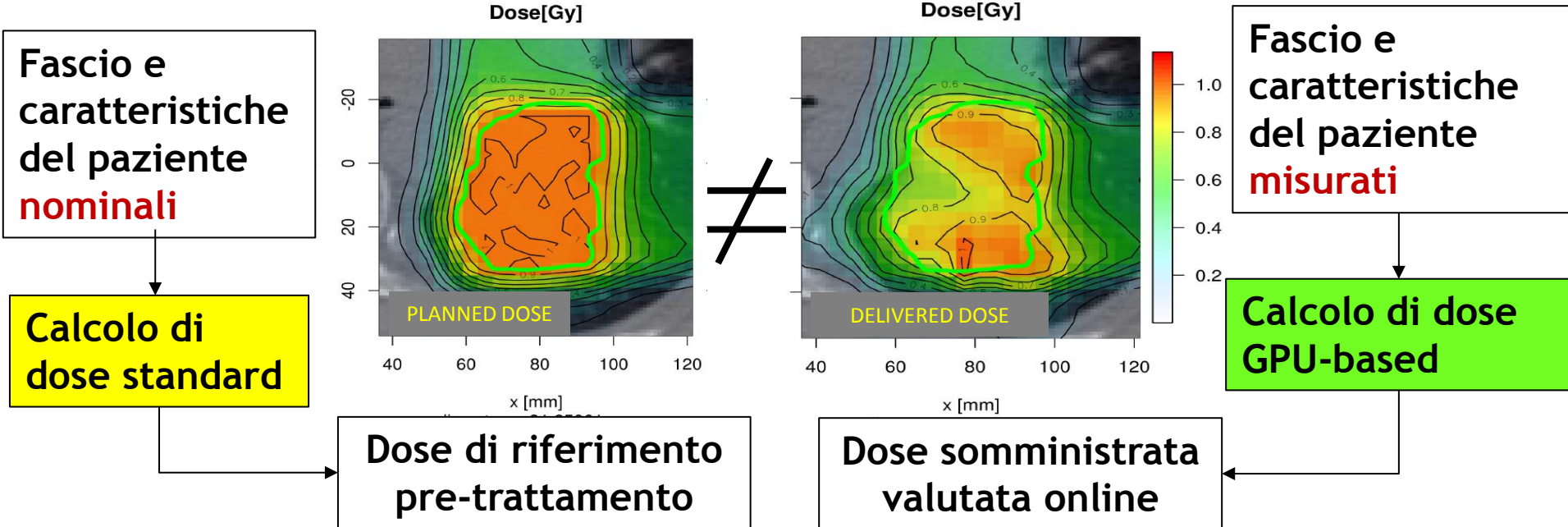
Negli ultimi 30 anni le simulazioni di turbolenza han seguito l'evoluzione dei supercomputer

Turbolenza bidimensionale



Scoperta di invarianza conforme sulla base di simulazioni numeriche

Adroterapia: controllo online di dose

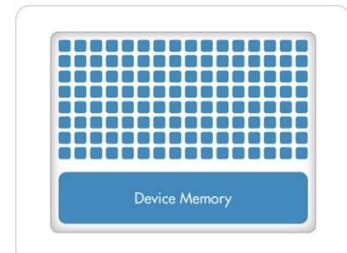


500 sec

Tempo di calcolo troppo lungo per essere usato per il controllo durante la terapia

2 sec

Verifiche online possibili: miglioramento delle potenzialità del trattamento adroterapico



GPU Hundreds of cores



Nvidia Tesla K40

Conclusioni

- I computer in fisica si sono usati da subito.
- Siamo stati i primi, ma non siamo i primi della classe.
- Noi fisici abbiamo bisogno di strumenti di avanguardia e di aggiornare continuamente le nostre competenze per poter sfruttare al meglio le soluzioni di calcolo disponibili.
- Il C3S è per noi non soltanto uno strumento di calcolo, ma un'opportunità culturale.
- Ho fatto una brevissima carrellata di alcune attività di calcolo che si fanno in dipartimento.
- **Sono in debito con: A. Beraudo, G. Boffetta, P. Cerello, N. Fornengo, L. Manganaro, A. Mignone, V. Monaco, M. Panero, H. Zechlin**