# il calcolo nella fisica delle particelle elementari

**Roberto Ferrari**

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

**ITIS Leonardo da Vinci**

Parma, 15 novembre 2014

# Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

## INFN


finanzia e coordina
la ricerca in fisica
delle particelle
elementari in Italia

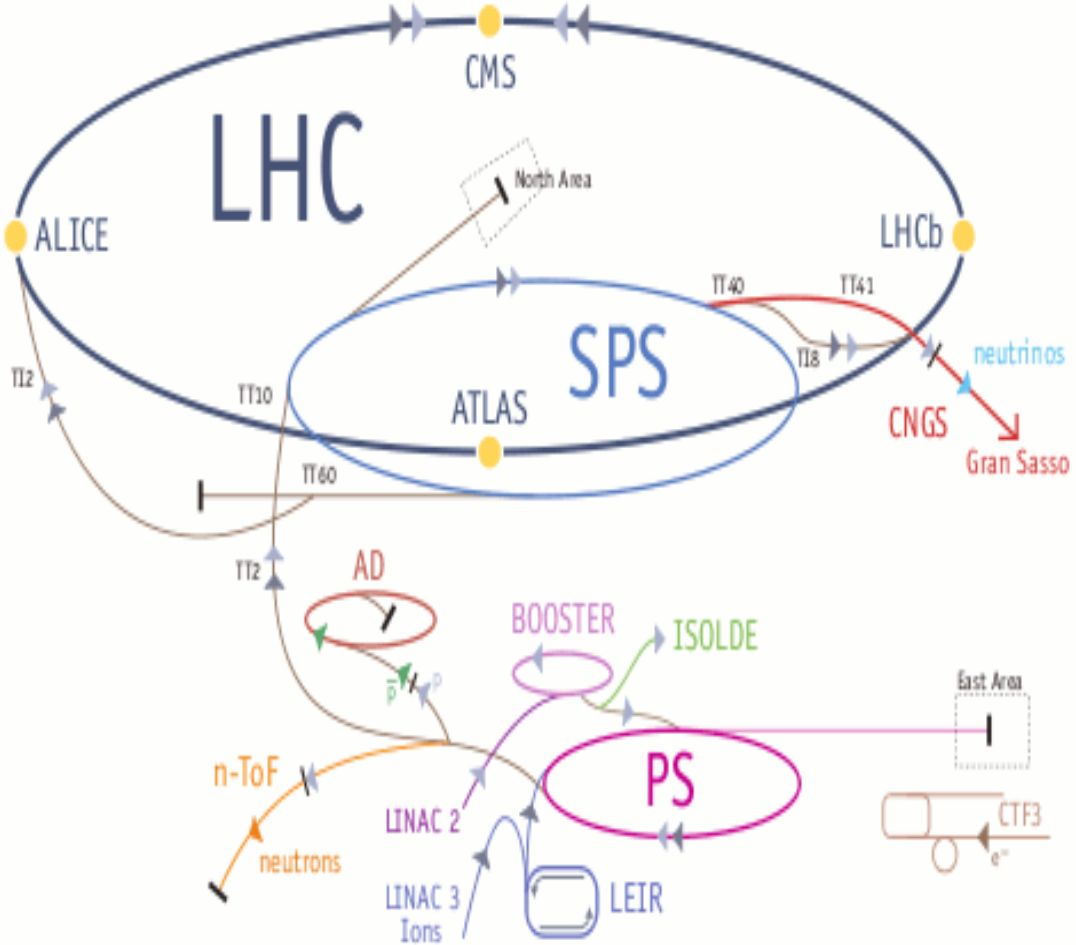
19 sezioni, 11 gruppi,
4 laboratori nazionali,
1850 dipendenti.

~ 5000 ricercatori, la maggior parte universitari, distribuiti in 16 regioni diverse

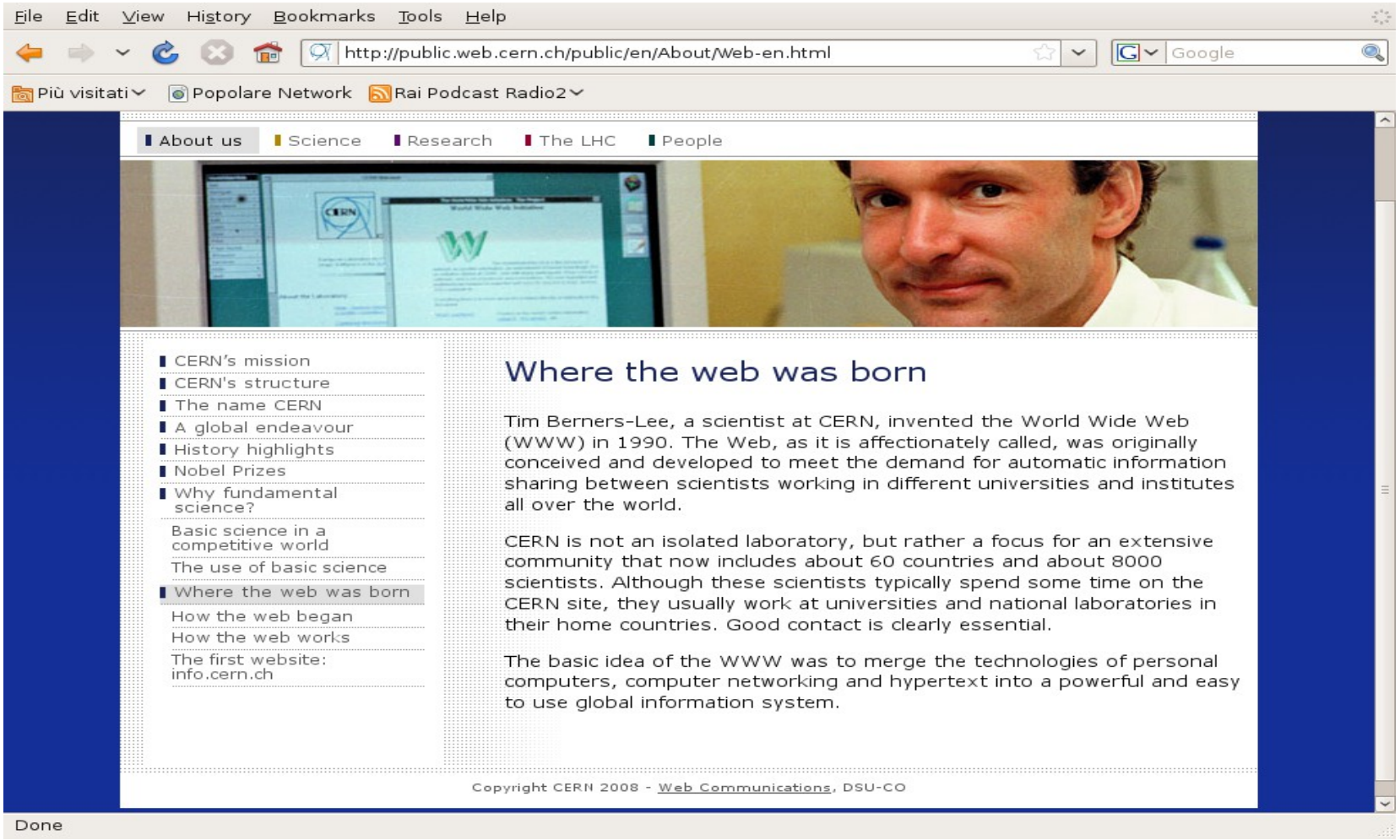
# CERN

## European Organization for Nuclear Research

Laboratorio europeo per la fisica delle particelle elementari



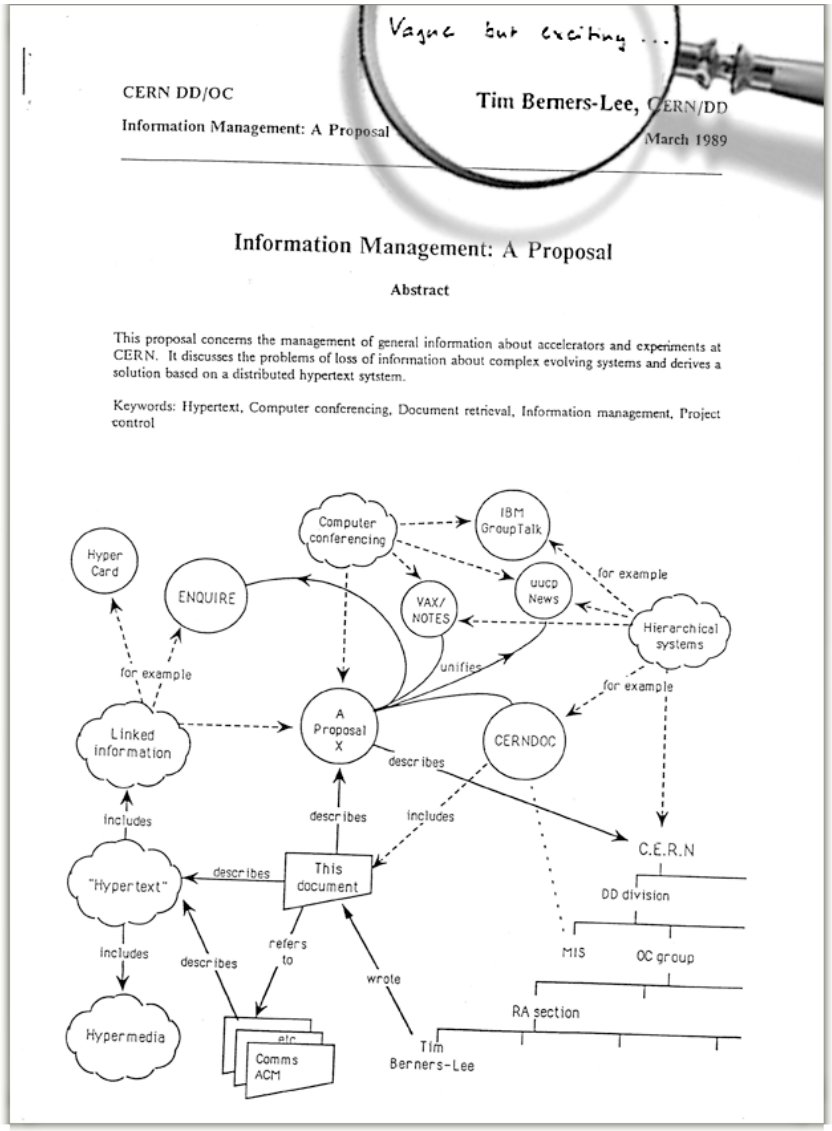
# dove è nato il Web ?




nel 2009 ha festeggiato i 20 anni

http://info.cern.ch/www20

# la proposta iniziale ...




1989

"vague but exciting"

**http://first-website.web.cern.ch/**

30 aprile 2013:

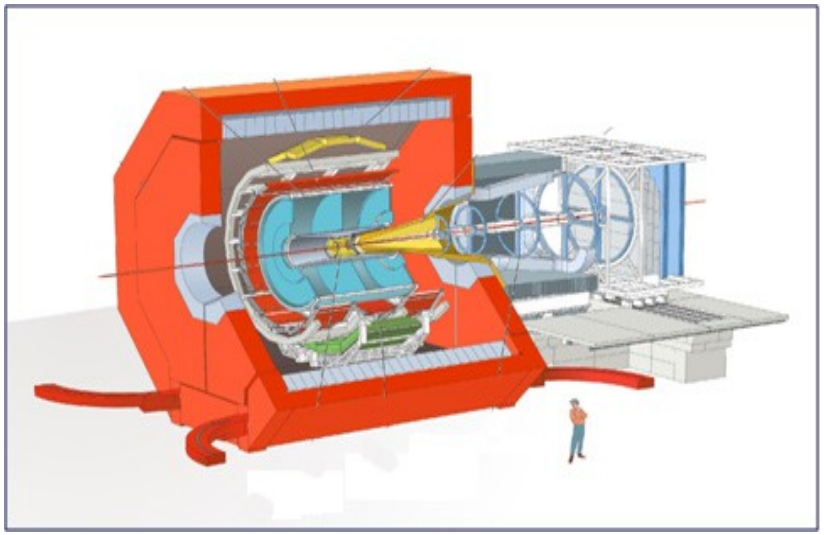
**Vent'anni di web aperto e libero:**

"On 30 April 1993 CERN published a statement that made World Wide Web technology available on a royalty free basis, allowing the web to flourish"

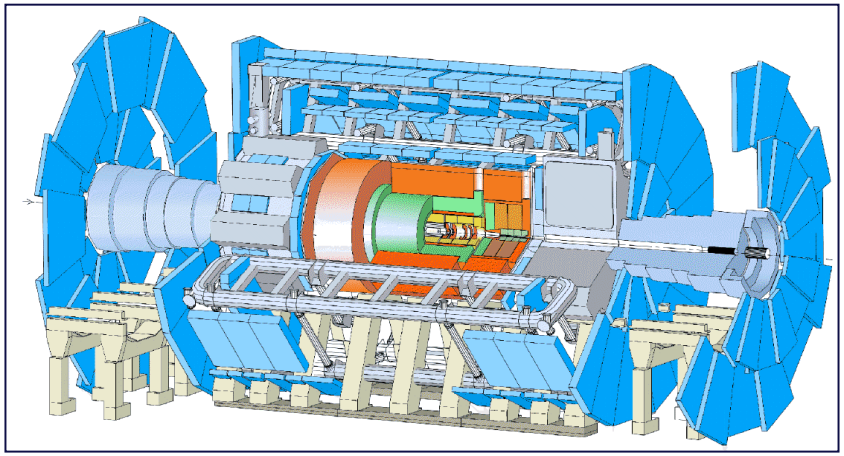
# giostra "europea" per protoni

# esperimenti @ LHC [ portavoce 2011 ]

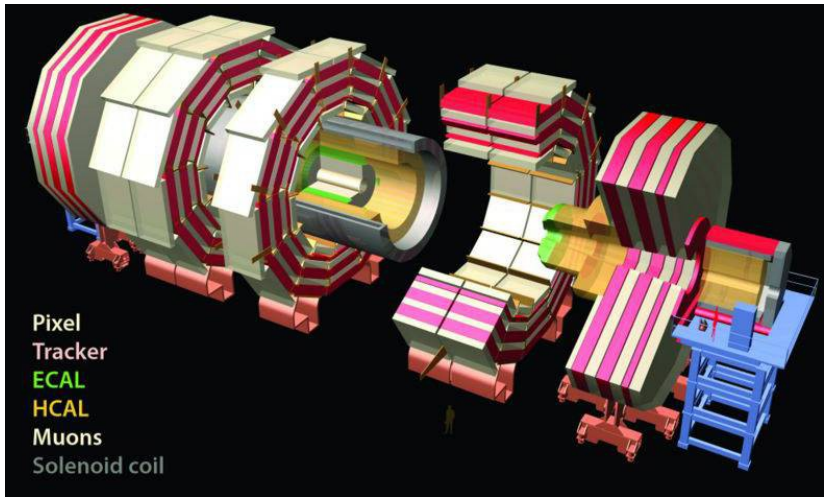
## ALICE [ Paolo Giubellino ]



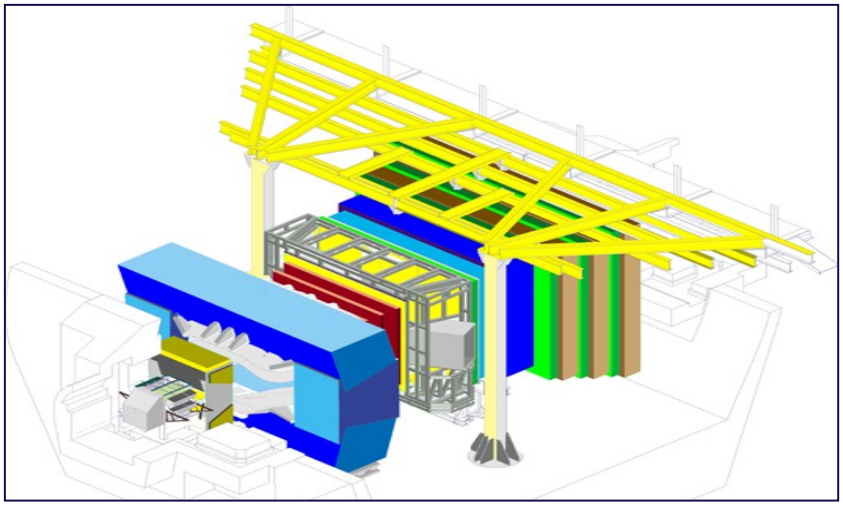
## ATLAS [ Fabiola Gianotti ]



## CMS [ Guido Tonelli ]




## LHCb [ Pierluigi Campana ]



## più Totem e LHCf

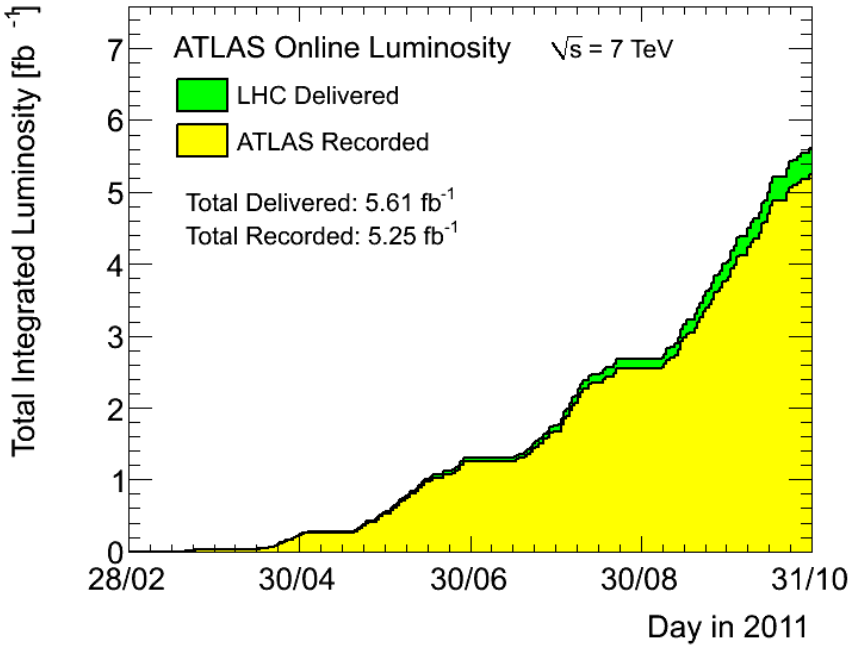
# il calcolo in ATLAS @ LHC

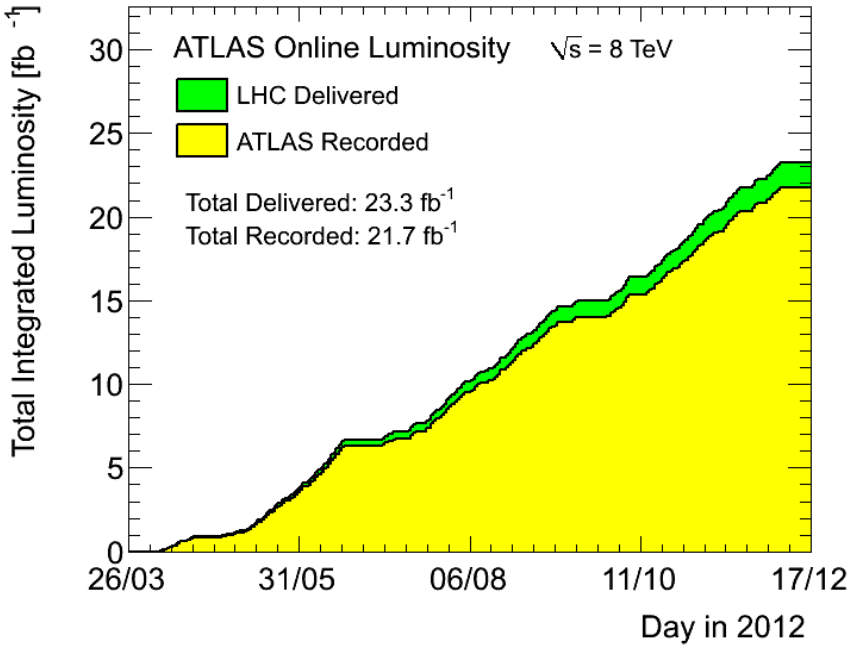
ATLAS: un microscopio alto 25 e lungo 46 m

- ONLINE: interattivo / in tempo reale (?)
  1. selezione e acquisizione dati (DAQ)
  2. trasferimento e storaggio

- OFFLINE: ~ non interattivo (code batch)
  3. ricostruzione eventi
  4. analisi
  5. simulazione

# dati 2011-2012




1.5 MB/evento × 400 eventi/s × 50% (compr.)

→ 1 TB/ora × 1/3 (live time)

→ 3 PB/anno (→ 10 → 50 → >100)

[ 4 miliardi di eventi ]

# problematiche

- ONLINE (acquisizione dei dati):

a) controllo strumentazione

b) selezione, controllo e spostamento dati in **tempo reale**

→ efficienza, velocità, robustezza, stabilità

- OFFLINE (ricostruzione e analisi dei dati):

→ precisione, ripetibilità

rete, storage, database, fogli elettronici, …

versioning, documentazione … "event display"

Condivisione e discussione di dati/informazioni/idee !

# [ parentesi ] … tempo reale ?

Sistema operativo "real-time" :

massimo ritardo di risposta definito

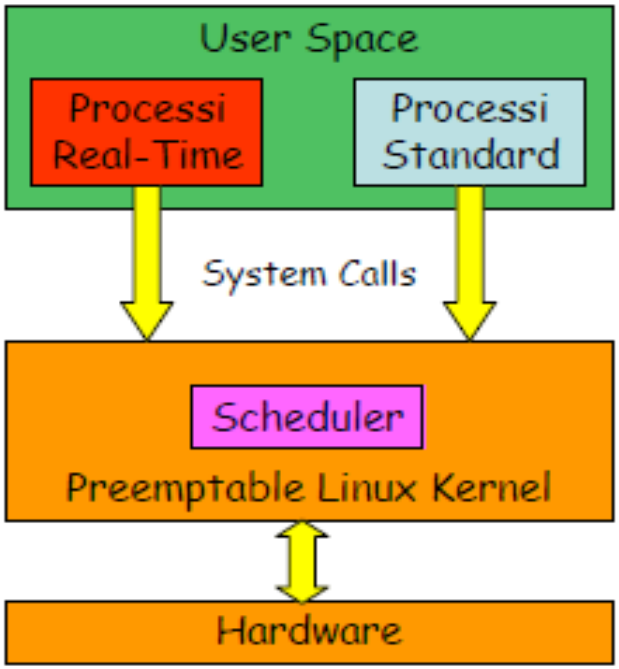
(comportamento del sistema ~deterministico)

UNIX (e linux) "standard" non sono real-time:

una chiamata di sistema può richiedere un tempo lungo a piacere …

# Estensioni real-time (a linux)

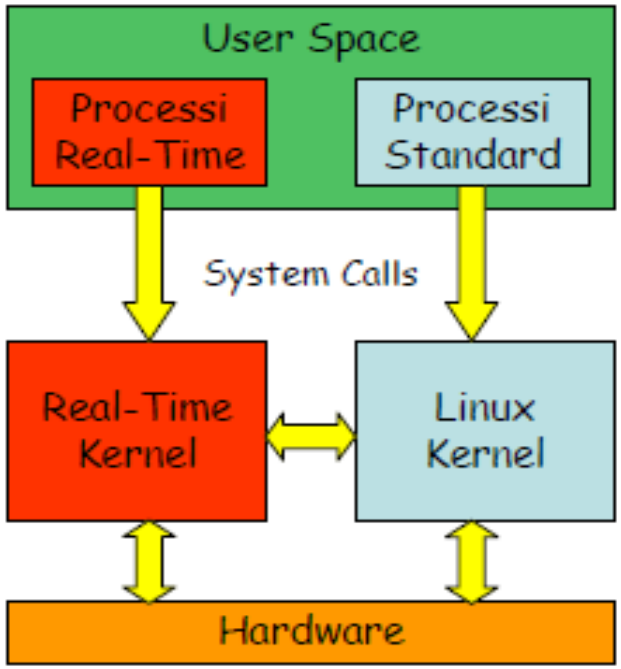
esempi di distribuzioni oggi disponibili:




kernel linux interrompibile e deterministico

(low-latency patch:

Ubuntu studio)

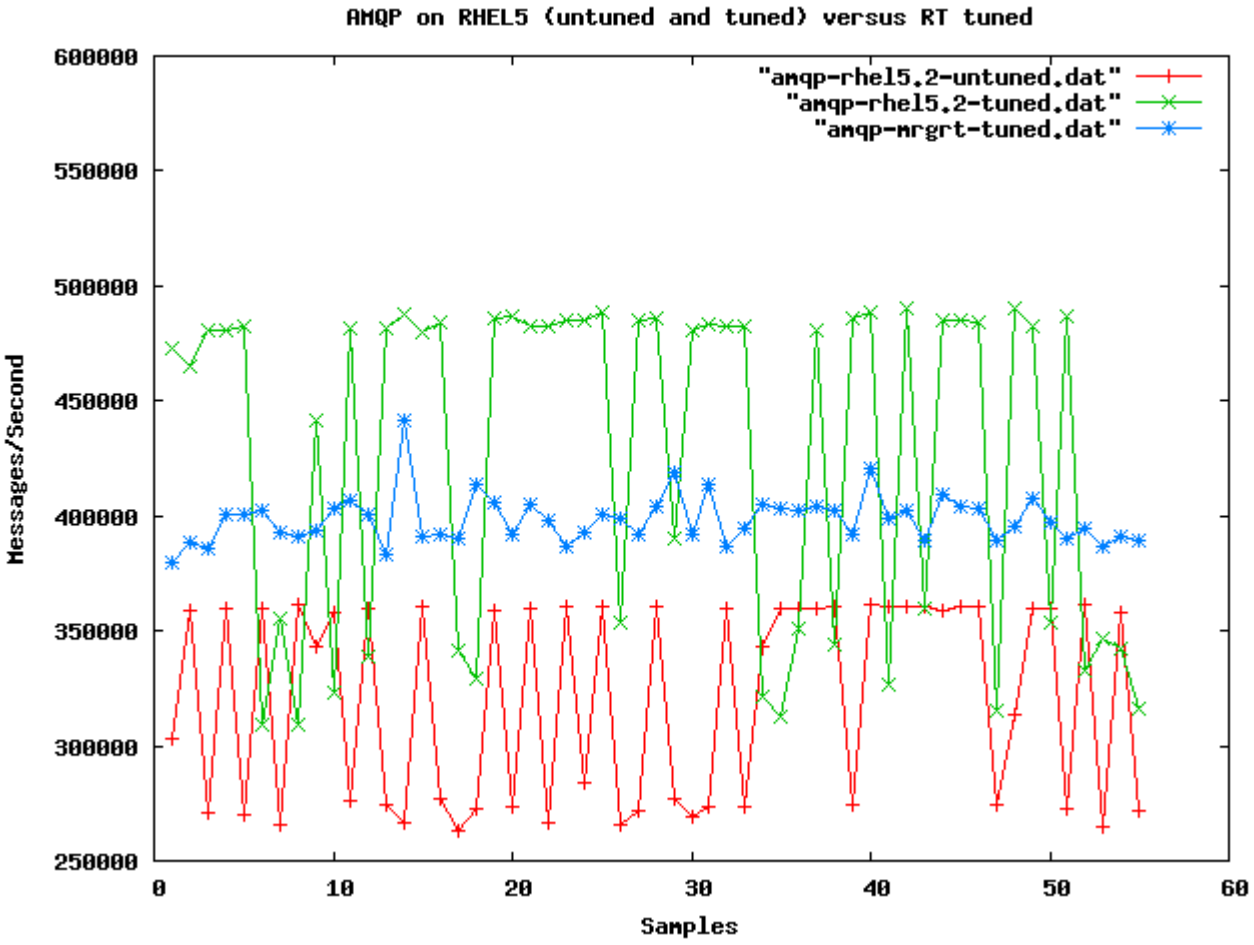



un kernel real-time gestisce il kernel linux come un processo a bassa priorità

(RTAI, Red Hat MRG)

# Differenza ?

## Confronto fra diversi kernel (Red Hat 5): numero di messaggi gestiti / secondo




__ RHEL untuned
__ RHEL tuned
__ RH MRG tuned

a) media circa uguale
b) fluttuazioni molto diverse

# da dove siamo partiti ? (anni 80) ...

minicomputer: PDP e VAX con VAX/VMS (real-time)

- acquisizione dati, calcolo interattivo, ...

mainframe: IBM 379 con MVS e VM/CMS (code batch)

- grossi "job" di ricostruzione e simulazione dati

supercomputer: CRAY X-MP 48 con UNICOS

- calcolo vettoriale

rete: - DECNET, BITNET, X.25

+ CERN INTERLINK (bridge)

linguaggio: FORTRAN 77

CRAY X-MP 48 con UNICOS (1988)

- calcolo vettoriale
- UNIX con code batch (sviluppate in casa)
- clock ~ 118 MHz, RAM 128 MB
- costo ~10 M$
- potenza di calcolo **enorme** [ <~ ½ Xbox ]

# … di colpo qualcosa cambia …

Calcolo offline, fine anni 80 – primi anni 90:

rete: internet (TCP/IP) inizia a prendere il sopravvento

progresso nei compilatori, memorie sempre meno costose:

processori **RISC** (Mips, Sparc, Alpha, …) basati su Unix & C

molto aggressivi e competitivi …

da grossi mainframe → mini/microcomputer (calcolo distribuito su farm con limitati costi unitari), workstation con capacità di calcolo significative

parole chiave: **Unix**, **C**, **RISC**, **TCP/IP**, * **SCALABILITA'** *

prima macchina: Apollo DN10000 (CERN 1989)

# architettura cpu

prima metà anni '90 transizione:

CISC → RISC (Motorola: 68000 → PowerPC)

CISC: chiusura del "gap semantico" fra istruzioni di alto livello e microcodice (molti registri, molte istruzioni complesse, molti modi di accedere la memoria)

RISC: il contrario → complessità nel software (unix & C), semplicità nell'hardware, velocità sempre in aumento

(migliori compilatori, memorie meno costose)

intel x86 ?

# babilonia di dialetti

SGI: processore MIPS con sistema operativo IRIX (1)

SUN: SPARC con SunOS-4 (2) e poi SOLARIS (1)

Apollo: Domain/OS (3)

HP: PA-RISC con HP-UX (1)

DEC: ALPHA con Ultrix (2) e poi Digital Unix (3)

IBM: RS/6000 e PPC con AIX (1)

(1) UNIX System V; (2) UNIX BSD; (3) UNIX ibrido;

comunque vita molto più semplice di prima ...

... a cavallo del 2000 inizia la transizione a **Linux** (e **i686**):

→ **Red Hat Linux** (!) → **Scientific Linux Cern**

**termina la corsa del clock, inizia la moltiplicazione dei core**

# Red Hat → S.L.C. (x86/x86_64)

**Scientific Linux**: release creata nel 2004 da FermiLab

http://www.scientificlinux.org/

**Scientific Linux Cern**: sottovariante CERN

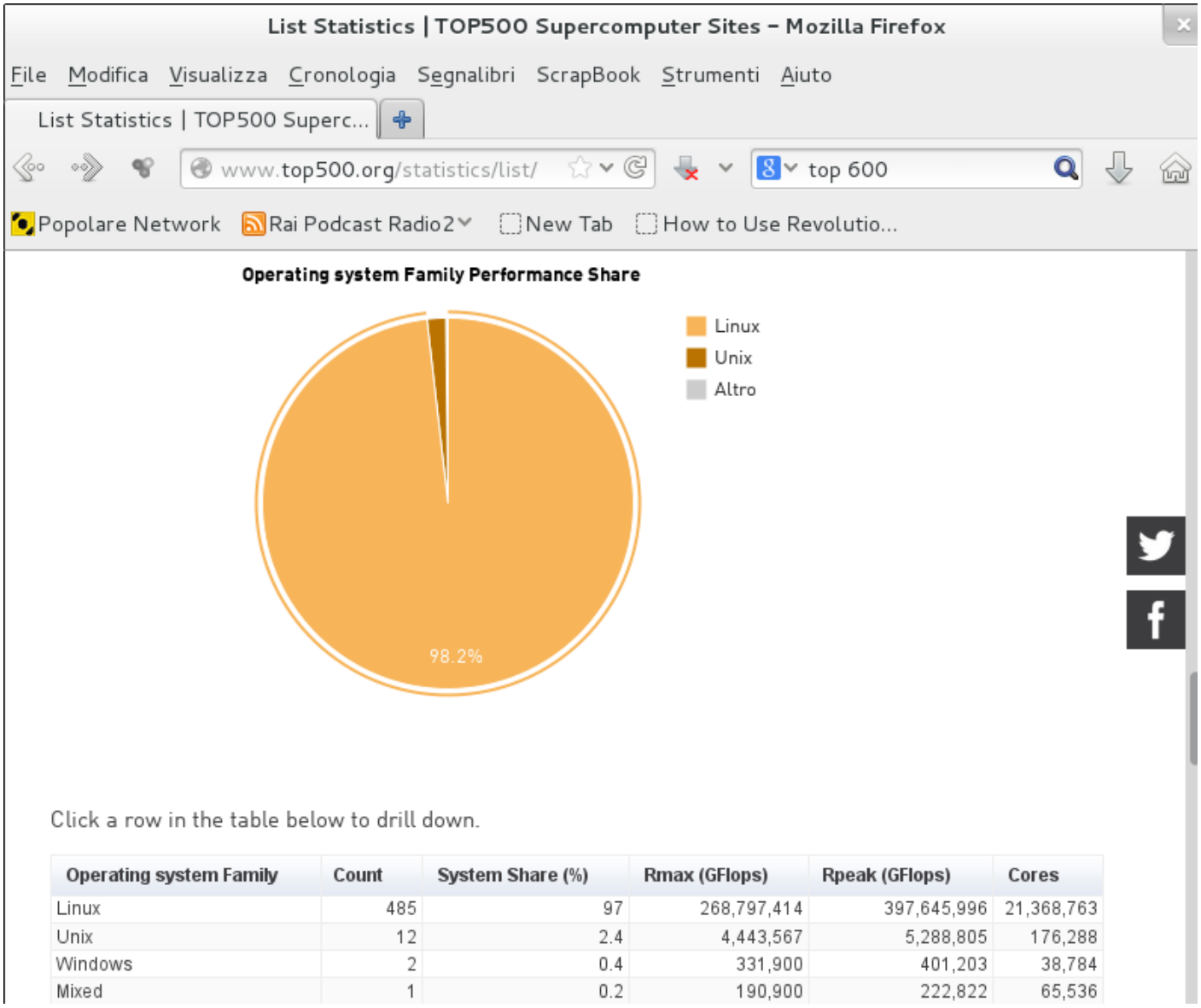
http://linux.web.cern.ch/

- "Red Hat Enterprise Linux" ricompilata e integrata con pacchetti specifici

- disponibili versioni con kernel real-time

  basate su Red Hat MRG ("Messaging, Real-time, Grid")

# High Performance Supercomputing (giugno 2014)




| Operating system Family | Count | System Share (%) | Rmax (GFlops) | Rpeak (GFlops) | Cores |
|---|---|---|---|---|---|
| Linux | 485 | 97 | 268,797,414 | 397,645,996 | 21,368,763 |
| Unix | 12 | 2.4 | 4,443,567 | 5,288,805 | 176,288 |
| Windows | 2 | 0.4 | 331,900 | 401,203 | 38,784 |
| Mixed | 1 | 0.2 | 190,900 | 222,822 | 65,536 |

# acquisizione dati (DAQ)

Verso la metà degli anni 80:

da VAX/VMS → Single Board Computer (**SBC**)

- sistemi modulari, processori Motorola 68000 (CISC)
- sistema operativo real-time OS-9

Inizi anni 90 – R&D per LHC:

da CISC → RISC, da OS-9 → real-time Unix

parole chiave: **VME**, **rt-Unix**, **C**, **RISC**, **TCP/IP**, * **SCALABILITA'** *

**!!!**

# DAQ → LHC

Seconda meta' anni 90:

front-end (SBC): powerPc+ LynxOs (ma anche test con windows NT)

back-end: Solaris/HP-UX/... (→ pc con linux)

necessità di "real time" diminuisce rapidamente ...

rimangono diffidenze verso mondo "open source"

Nei primi anni 2000, graduale convergenza:

Red Hat linux !

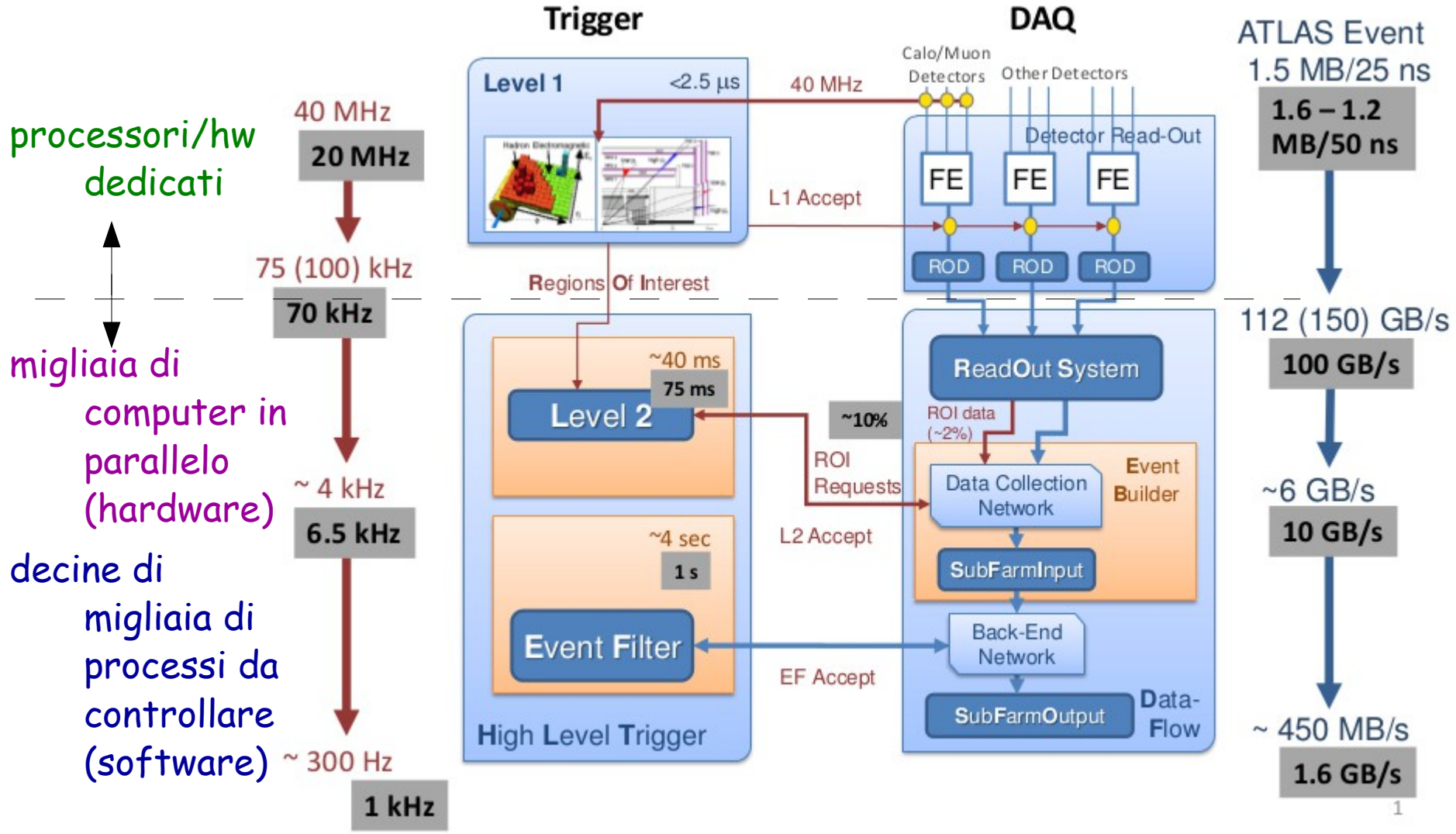
front-end (SBC): 80x86 + linux (Red Hat linux → S.L.C.)

back-end: rack di macchine linux (Red Hat linux → S.L.C.)

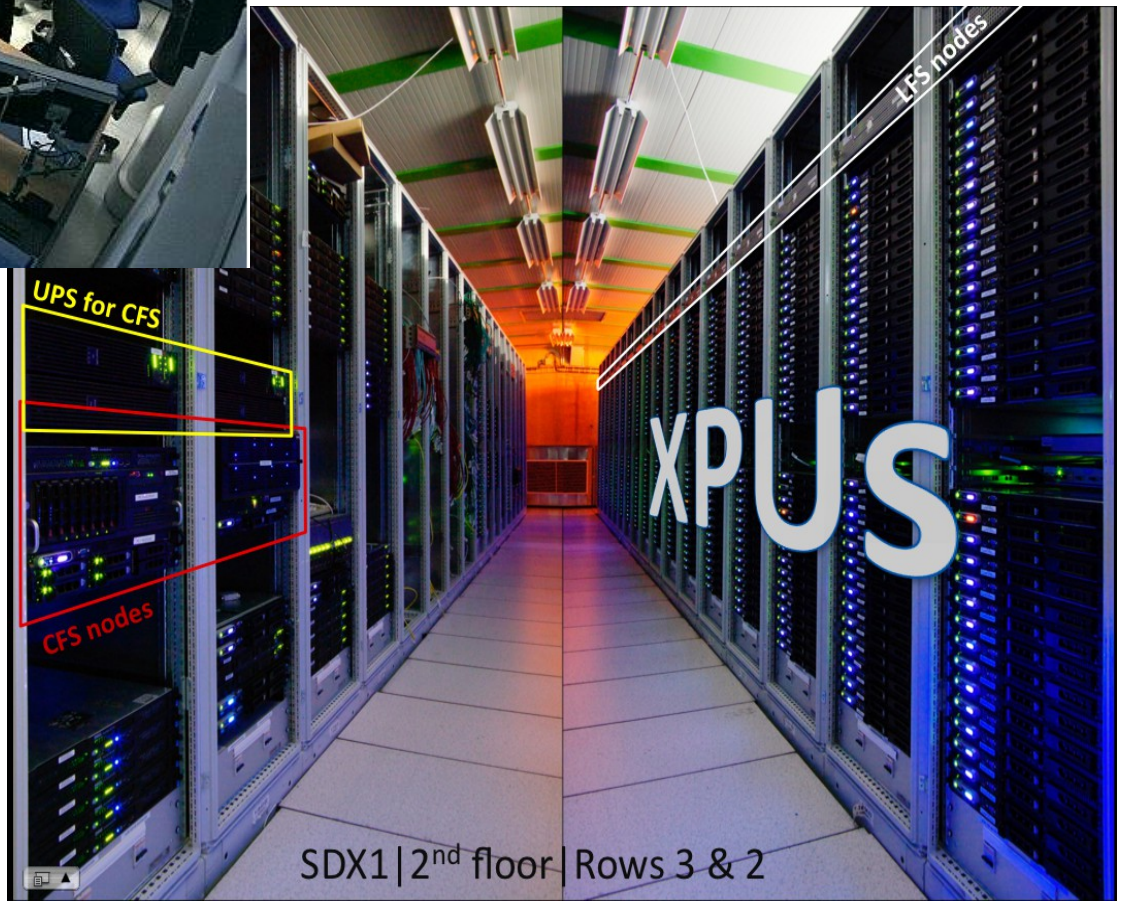
# ATLAS Trigger & DAQ - 2012

## Selezione eventi "online"

## Flusso dati




sala di controllo di ATLAS



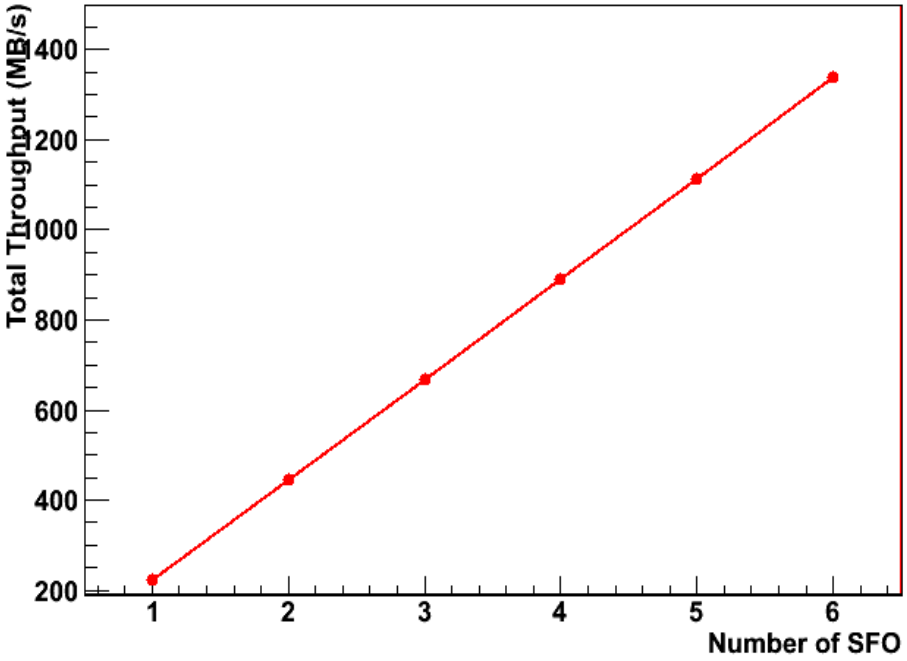

farm processori online

Parma, 15 novembre 2014

# SFO = Online Storage (cache)

6 macchine:

- 24 dischi 1 TB = 144 TB
- 2x4 core (16 "processori" ind.)
- 24 GB RAM




# fra la via Emilia e il West

## E4 Computer Engineering - Scandiano

http://www.e4company.com/

# 500 sistemi di calcolo HPC all'INFN

*Aggiudicandosi questa importante fornitura, E4 si riconferma ancora una volta come realtà di riferimento nell'ambito dei supercomputer a livello nazionale, ma anche internazionale*

E4 Computer Engineering, Azienda specializzata nella produzione di sistemi informatici d'alta fascia e a elevate performance per l'industria e i centri di calcolo e ricerca scientifica, ha vinto l'ultima gara di appalto di II procurement dell'INFN – CNAF, il Centro Nazionale per la Ricerca e Sviluppo nelle Tecnologie Informatiche e Telematiche.

Aggiudicandosi questa nuova fornitura di quasi 500 High Performance PC (HPC), E4 ha dimostrato ancora una volta sul campo la bontà del proprio modello di business e l'elevata professionalità del proprio team, in gran parte ingegneri provenienti dalle università emiliane, che le hanno consentito di competere ad armi pari e superare anche in questo caso i più importanti player della tecnologia a livello mondiale.

Vincenzo Nuti.

Aggiudicandosi quest'ultima gara, la dinamica azienda emiliana può oggi vantare all'interno dell'INFN circa 2.300 computer ad alte prestazioni, che contribuiscono quotidianamente al lavoro dell'ente di ricerca, ai quali si aggiungono sistemi storage in grado di immagazzinare sui loro 6.700 dischi rigidi informazioni per oltre 14 Petabyte, ossia 14.000 Terabyte.

Le esperienze e il know-how accumulato sul campo, anche grazie al CNAF dell'INFN, hanno consentito all'azienda di diventare da qualche anno fornitore di sistemi ad alte prestazioni anche per il prestigioso CERN di Ginevra, il più importante e famoso centro di ricerca mondiale. In questo "tempio" della ricerca, i sistemi di E4 costituiscono dal 25 al 33% dei sistemi di calcolo e d'immagazzinamento dei dati del data center e, a oggi, l'azienda è l'unica realtà tutta italiana che riesce a competere con successo con i "big" internazionali.

"I sistemi di calcolo e supercalcolo sono spesso totalmente sconosciuti al grande pubblico, ma i supercomputer giocano, in realtà, un ruolo straordinariamente importante quando si ragiona in termini di competitività e sviluppo di un paese, poiché permettono di effettuare, ad esempio, simulazioni e test su nuovi prodotti, prima ancora di averli realizzati, con evidenti vantaggi in termini di tempo e denaro.", ha affermato Vincenzo Nuti, Amministratore Delegato di E4 Computer Engineering, che ha poi proseguito: "Ritengo, in ogni caso, che i livelli di eccellenza che abbiamo raggiunto vadano in parte sicuramente ricercati nel tessuto dell'Emilia Romagna, regione in cui abbiamo sede e dove abbiamo avuto modo di trovare sia professionalità, che opportunità, due ingredienti che hanno certamente contribuito al nostro successo anche in campo internazionale."

Per informazioni:
www.e4company.com

Settembre 2011

Pagina 25

- PC / WS INTEL ENTRY
- WORKSTATION INTEL
- SERVER INTEL 1U RACK
- SERVER INTEL 2U/3U RACK
- SERVER INTEL 4U/TOWER
- SISTEMI EMBEDDED
- HIGH DENSITY
- SERVER AMD 1U/2U RACK
- GPU SOLUTIONS
- SISTEMI DI STORAGE
- SWITCH ETH / FC / IB
- ARMADI
- CPU-HD-RAM-SW-VGA
- Componenti ed accessori
- Supermicro - chassis M/B
- Adapter HBA / HCA
- Networking - KVM - UPS

# Software ...

Trasferimento, processamento, monitoraggio dati:

C/C++ (protocolli di rete: UDP, TCP)

GUI: Java / JS / Qt / Python (tk/tcl)

Sistema Esperto: Common Lisp

Inter Process Communication: CORBA

Configurazioni/Calibrazioni/Allineamenti/Geometrie:

file, OKS (xml), COOL, ORACLE, SQLITE, Python ...

largo uso di Proxy

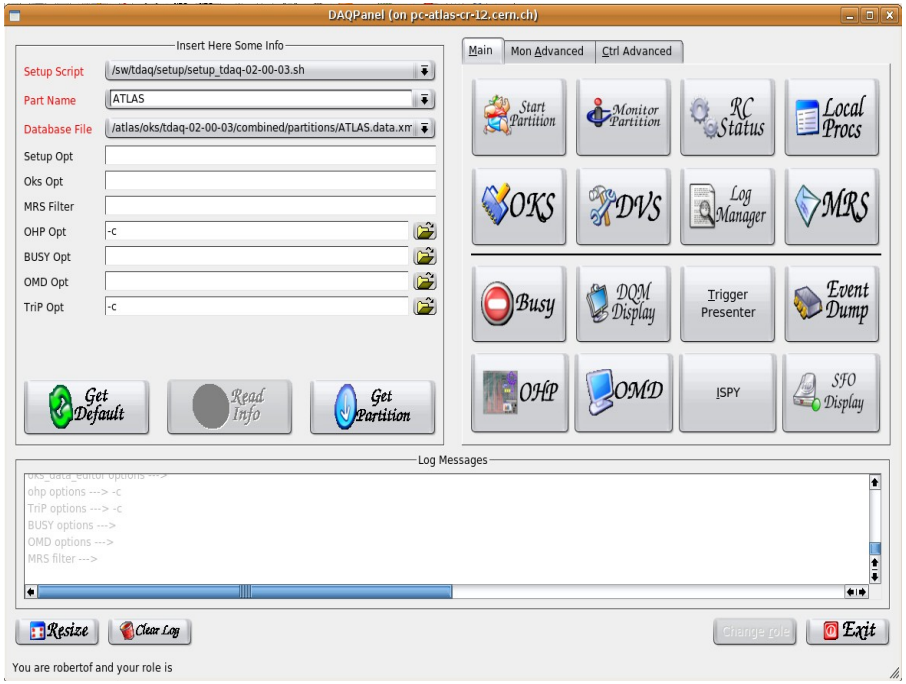
Documentazione, gestione problemi: WWW, Twiki, Savannah

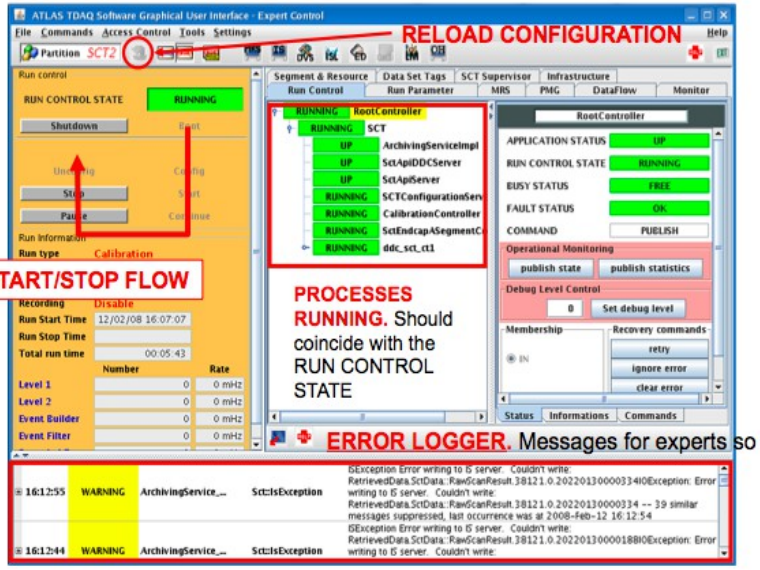
... Nagios (monitoraggio !), IPMI (controllo !) ...

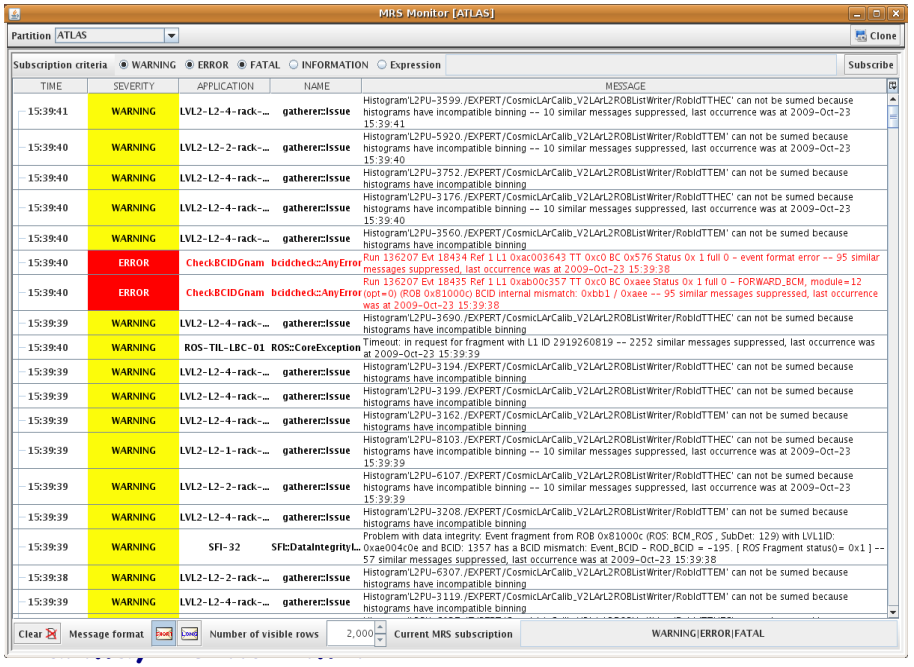
Parole chiave: Macchine a Stati Finiti, Scalabilità,

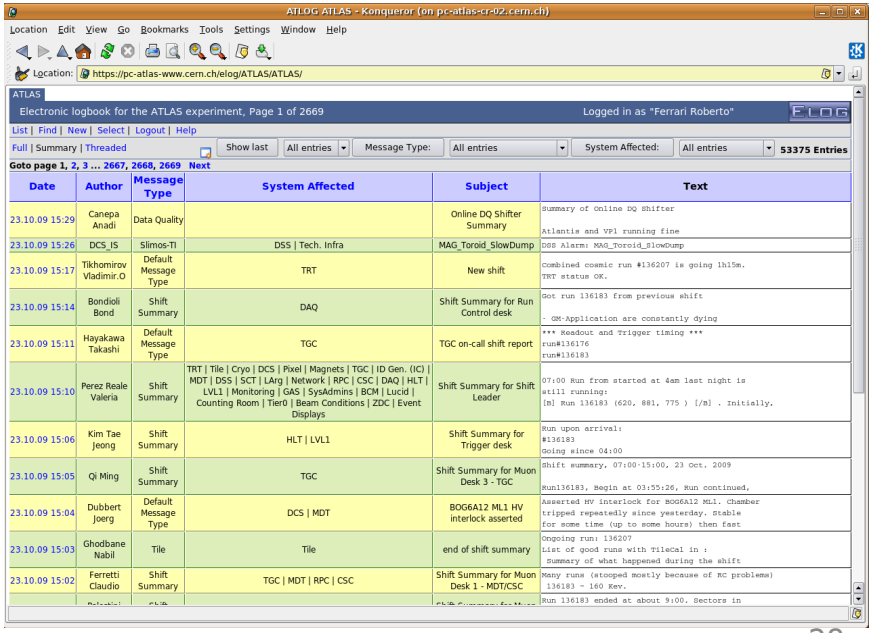
Partizionabilità, Configurabilità, Sicurezza

# Run Control
# Macchina a Stati Finiti



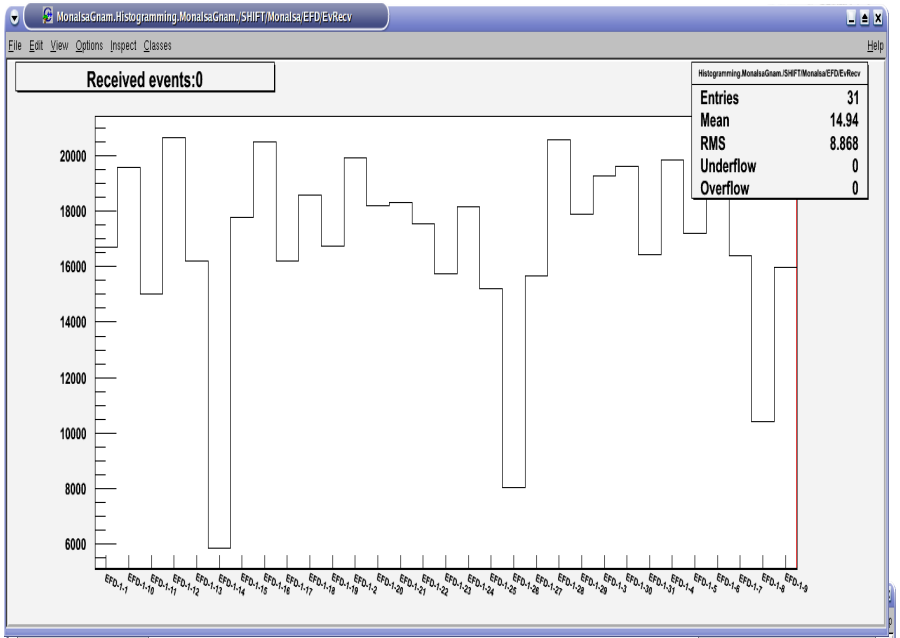



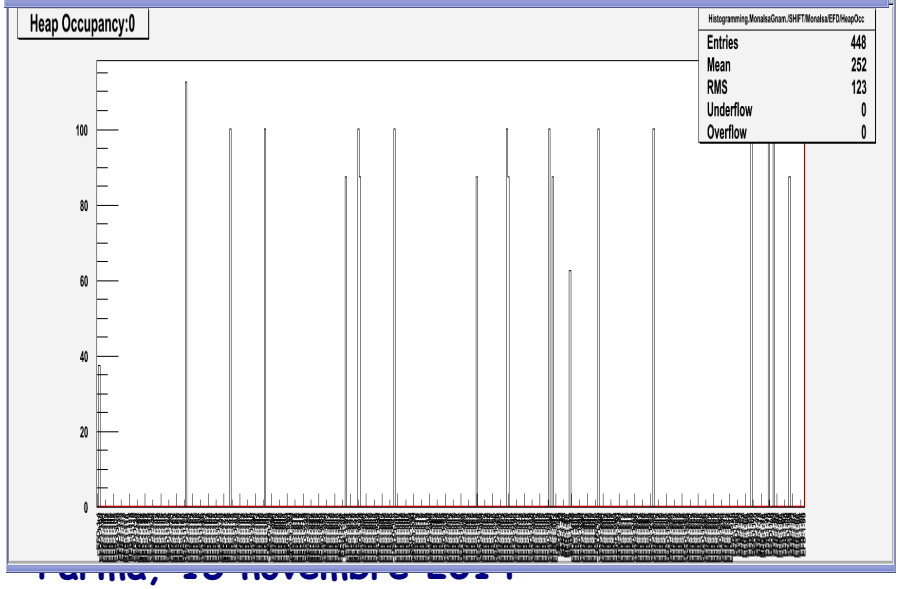



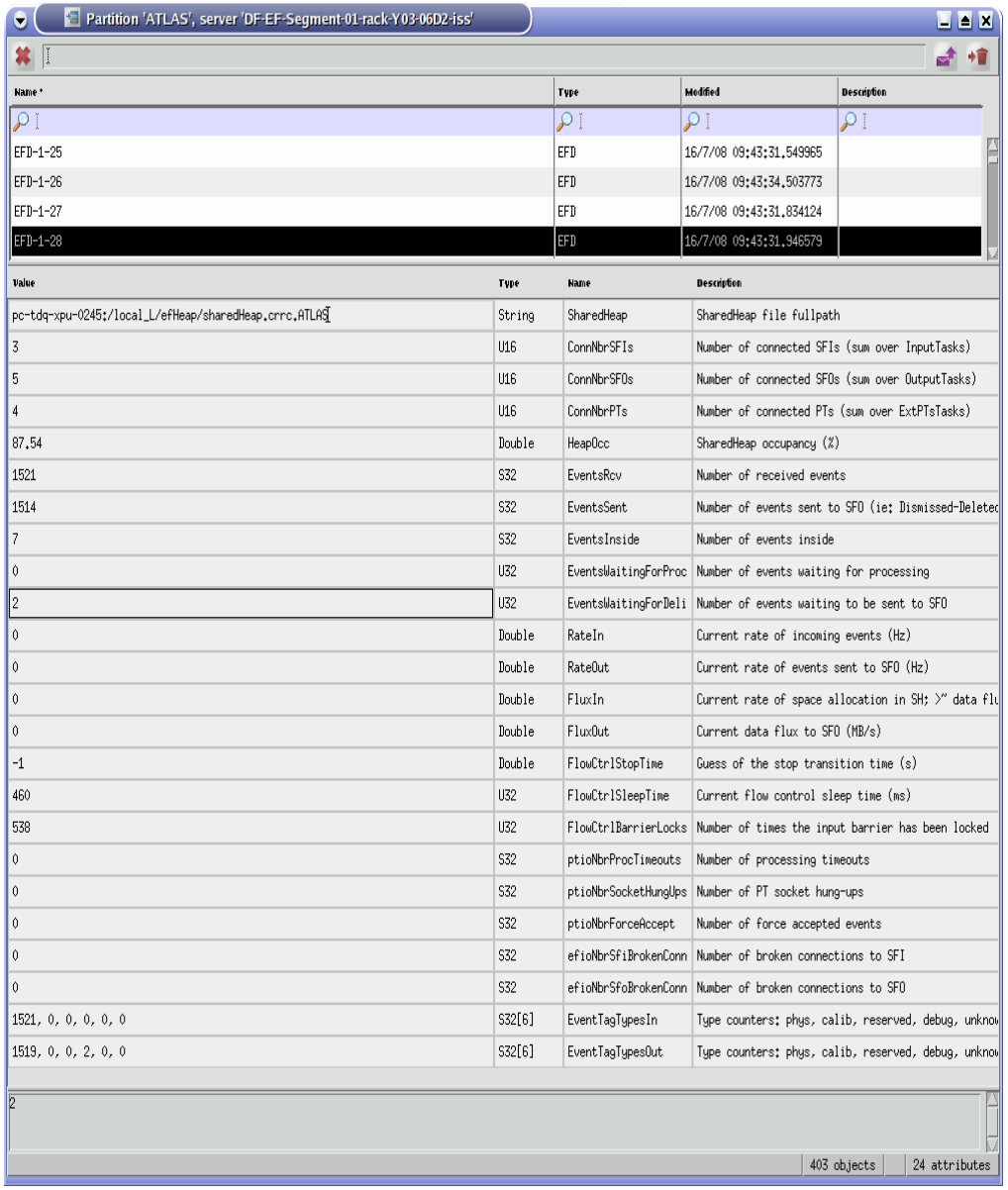



# Monitoraggio Online

# Information Service



# JavaScript + Web

## Web Interface to Atlas Online Information Service

The WebIS service complements the Web Monitoring Interface by providing generic access to any object and histogram in the Atlas online Information Service. This allows to build simple HTML and/or Javascript based web pages that show up-to-date online information from Point 1.

The following list shows some general applications that will be useful for experts who are outside of P1 as well as some examples on how the information can be processed and presented with some simple Javascript code.

Simply look a the HTML source to see how to include e.g. the status display or a histogram into your own page.

### Generic Applications

#### Based on the ExtJS framework

These are best viewed with a modern browser with a fast Javascript implementation (Firefox > 3.0, Opera > 10.0, Google Chrome, Internet Explorer 8.x). Older browsers will be either very slow or not work at all (e.g. Konqueror). In fact, in many cases IE will not work properly either, I suggest to use any other browser instead...

- Histogram Browser
- Information Service
- Process Manager
- OKS Configuration Browser
- Combined Browser

#### Simple HTML plus some Javascript

- A simple example on how to integrate histograms into a web page
- Simple Browser

### DAQ Examples

- Status Display for other partition Status message only

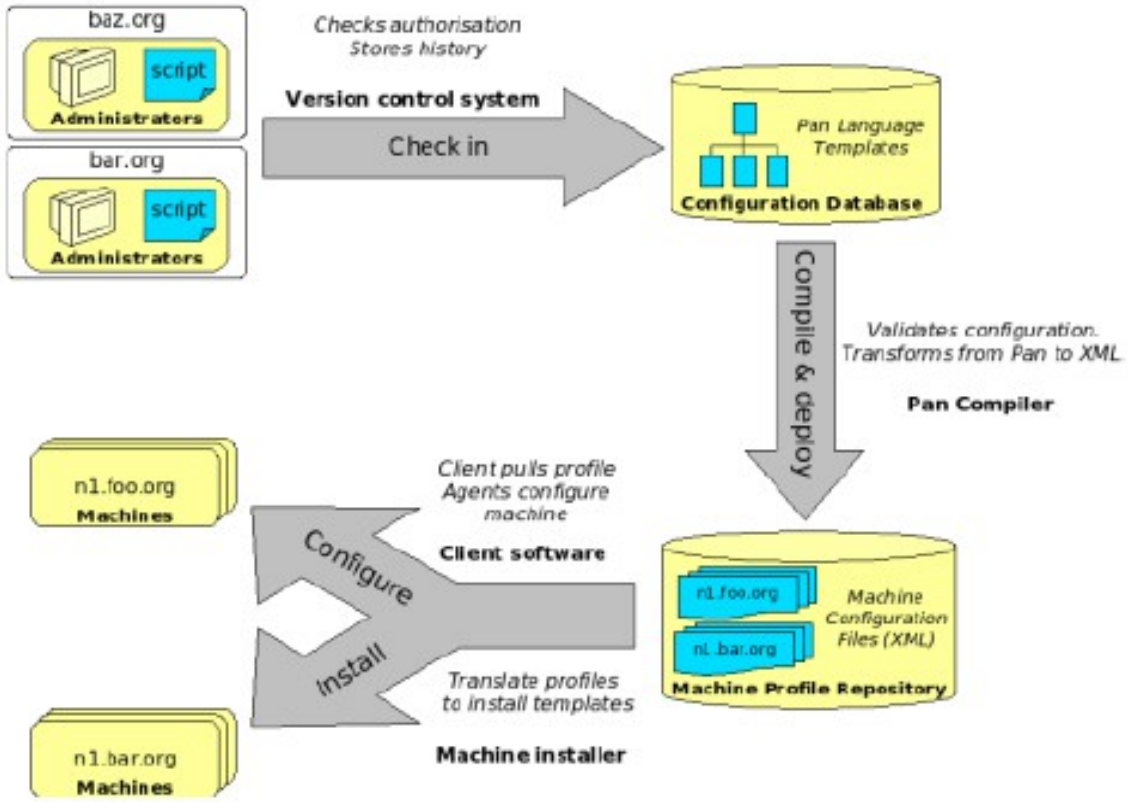
  **ATLAS:** RUNNING **Run Number:** 167521 **Run Type:** Physics **Start:** 22/10/10 23:08:14 **End:** 1/1/70 01:00:00

- Run Status

# System Management

## Quattor Workflow

The quattor toolsuite caters for every stage of a typical system management workflow, from specification and management of configurations, to installation of new machines from scratch, to ongoing maintenance of software and services.



# Offline

O(1 miliardo) di eventi all'anno da ricostruire e analizzare

~ Altrettanti da simulare

STORAGE

~3 PB/anno

CPU

~ 7000 kSi2k*anno

# Analisi Eventi

Ambiente complesso … ogni livello richiede competenze specifiche:

Dall'online arrivano informazioni "grezze" (numeri):

→ misure di tempi, cariche elettriche, tensioni

Ricostruzione a più stadi (attività centralizzata):

→ informazioni fisiche (posizioni, velocità)

→ identificazione particelle, energia, quantità di moto

Analisi fisica (attività caotica):

→ criteri di separazione fondo / segnale (selezione eventi)

→ analisi statistica

# Simulazione, Ricostruzione e Analisi Dati

Attività distribuita verticalmente e orizzontalmente::

Tier-0 (CERN) → Tier-1 (grossi centri nazionali)

→ Tier-2 (centri regionali) → Tier-3 (istituti)

Ampio uso della virtualizzazione (→ cloud computing)

Dati distribuiti con ridondanza (almeno due copie di ogni dataset)

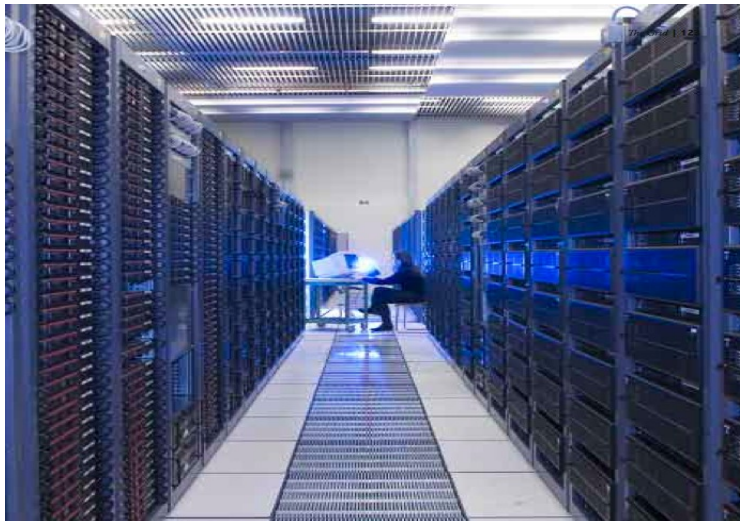
Cataloghi (database) per tenerne traccia

Esecuzione delocalizzata: nuovo strato software (middleware) che indirizza gli eseguibili dove si trovano i dati, raccoglie e assembla i risultati

la GRID

# la Griglia (GRID)

Dati LHC equivalenti a ~20 milioni di CD (una pila alta 20 km) all'anno



Per l'analisi necessari ~100mila dei più veloci processori odierni

WWW: accesso a informazione archiviata in diverse località geografiche

GRID: accesso a risorse di calcolo e di archiviazione dati distribuite su tutto il pianeta

# il Middleware

un ulteriore livello di astrazione:

connette applicazioni, componenti, sistemi, su scale regionali, nazionali, internazionali

hardware → software → middleware

permette di analizzare dati o eseguire applicazioni su macchine distribuite in tutta la rete → cloud

# il Calcolo LHC in Italia

Tier-1: CNAF (Bologna) unico per tutti gli esperimenti LHC (e non solo)

Tier-2: ~10 (Roma, Legnaro, Torino, Napoli, Catania, CNAF, Pisa, Milano)

Investimento (ad oggi) ~ 30 M Euro (incluse infrastrutture CNAF)

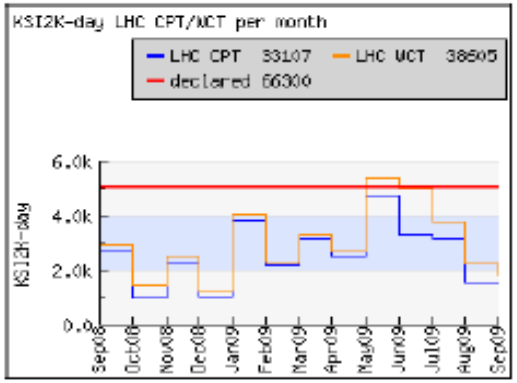
+ molti anni uomo di sviluppo sw (anche grazie a finanziamenti europei)

# il Portale di Monitoring

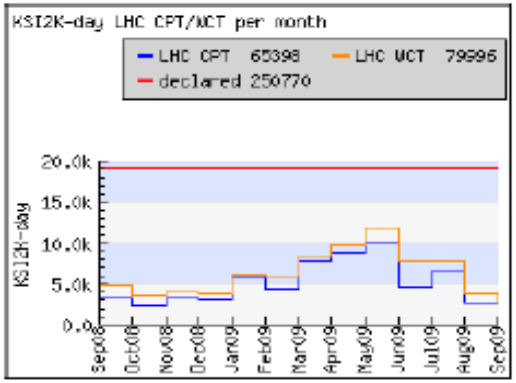
HLRmon Distributed Grid Accounting System

## Uso CPU T2 ATLAS

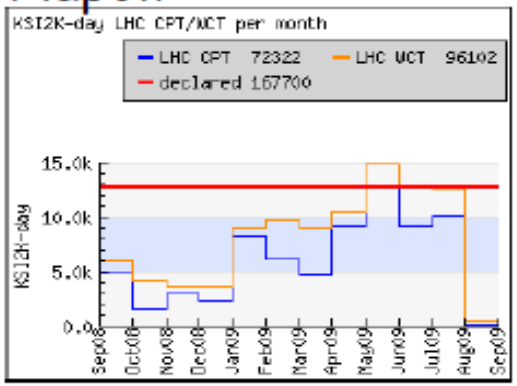
"Frascati"



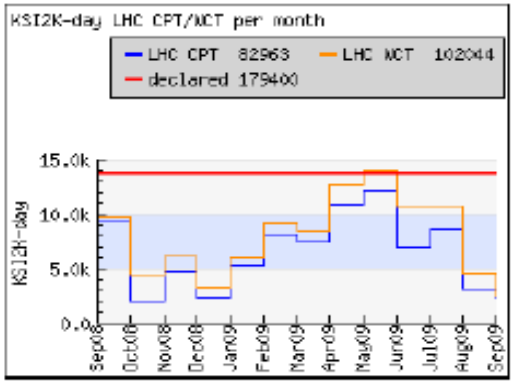

Milano



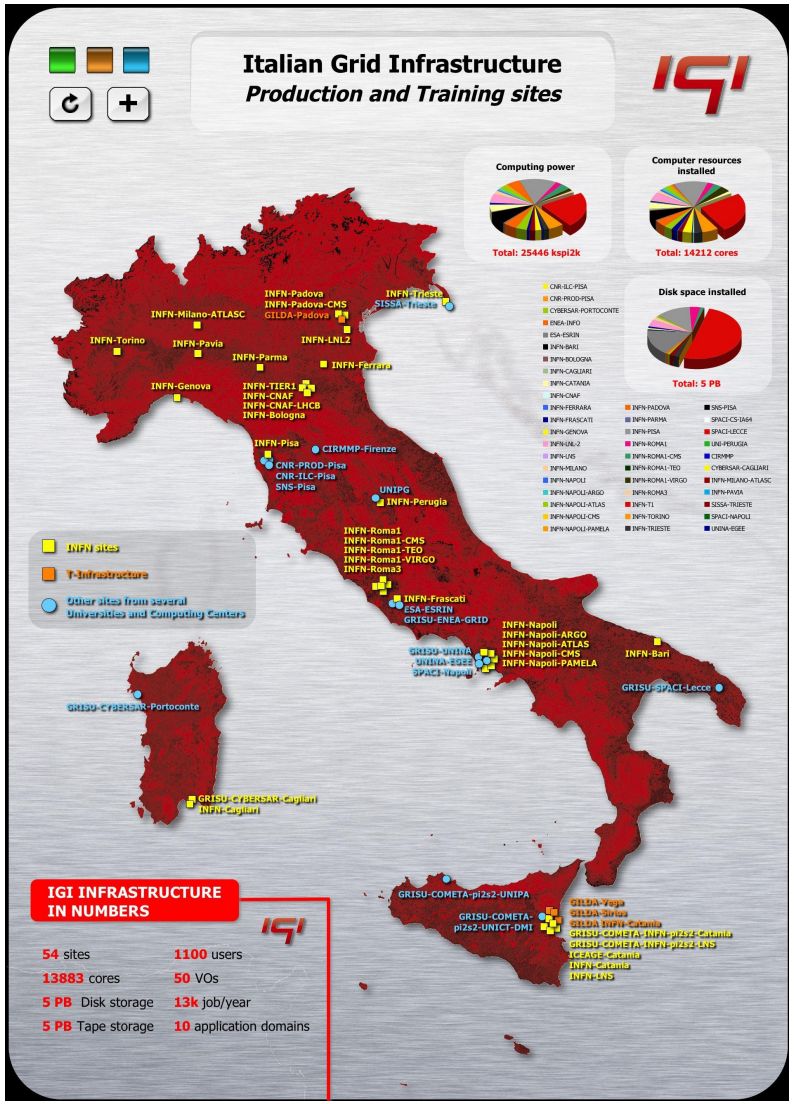

Napoli




Roma



# Italian Grid Infrastructure




http://www.italiangrid.org

# la GRID in casa

## BOINC : http://boinc.berkeley.edu/

Open-source software for volunteer computing and grid computing.

**Note: if your computer is equipped with a Graphics Processing Unit (GPU), you may be able to use it to compute faster.**

| Projects | Windows | | Linux | | Mac OS X | | Solaris | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 95/98/ME | XP/2000/2003/Vista/7 | x86 | x86-64 | PowerPC | x86 | SPARC | x86 |
| climateprediction.net | No | Yes | Yes | | | Yes | | |
| Einstein@home | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | |
| Leiden Classical | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | No | No |
| Rosetta@home | Yes | Yes | Yes | Yes | limited | Yes | No | No |
| SETI@home | 98 only | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| SIMAP | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| Spinhenge@home | Yes | Yes | Yes | No | No | No | No | No |
| The Lattice Project | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes | No | No |
| World Community Grid | No | Yes | Yes | | Yes | Yes | No | No |

# il valore aggiunto della collettività …

Risultati altrimenti impensabili possono essere raggiunti grazie a tanti piccoli contributi …

BOINC Berkeley Open Infrastructure for Network Computing

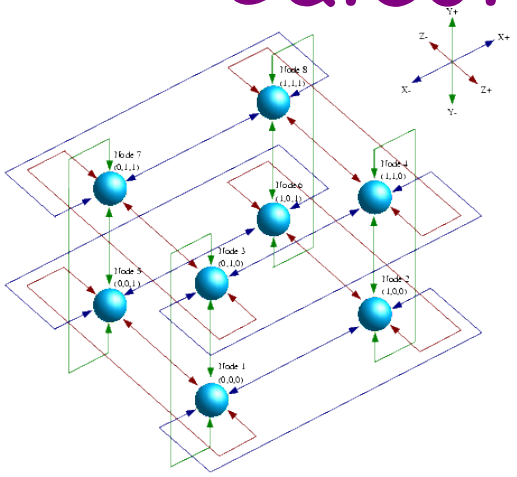
es:

http://milkyway.cs.rpi.edu/milkyway/

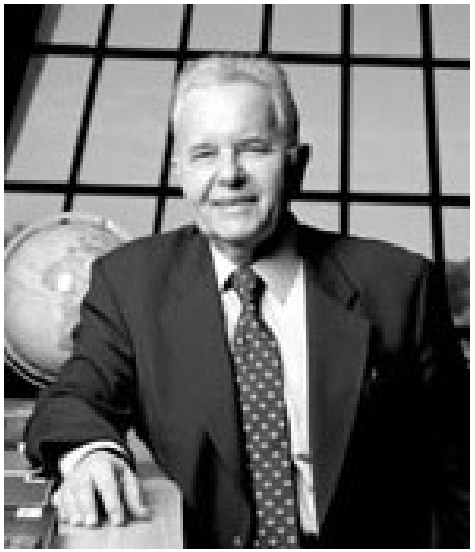
http://einstein.phys.uwm.edu/

… ricerche in campo medico, farmacologico, …

# Calcolo Parallelo …



dalla Fisica Teorica
al Super-Computing
ovvero il progetto APE



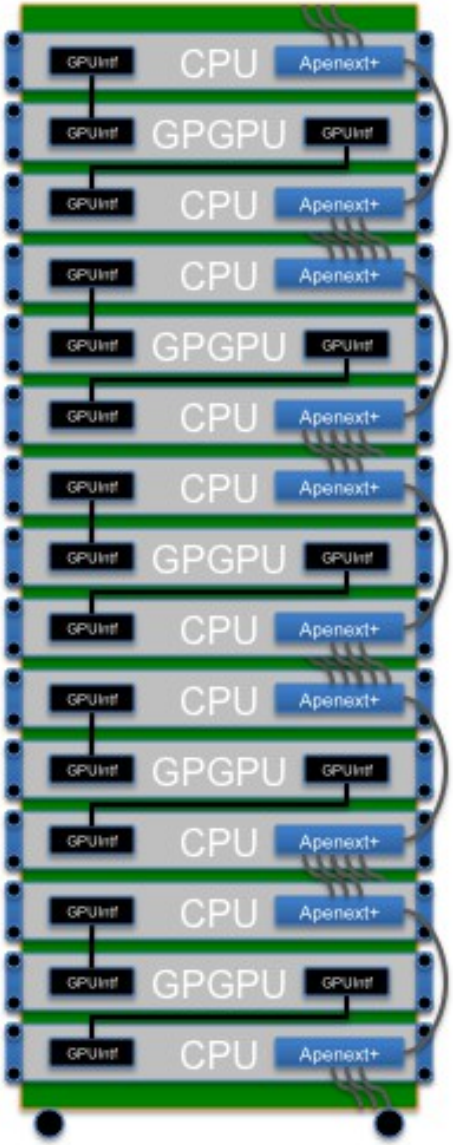
N. Cabibbo

## APE Group Projects

Here we collect past and present APE Group projects:

- The NaNet project (2012-2014).
- The QUonG initiative (2011-2014).
- The APEnet+ project (2009-2014).
- The EURETILE project (2010-2014).
- The SHAPES project (2006-2010).
- The APEnet (formerly Apelink) project (2003-2006).
- The apeNEXT project (2001-2006).
- The APEmille project (1995-2000).
- The APE100 project (1989-1994).
- The first APE project (1984-1988).

# QUOnG: GPU-based HPC system



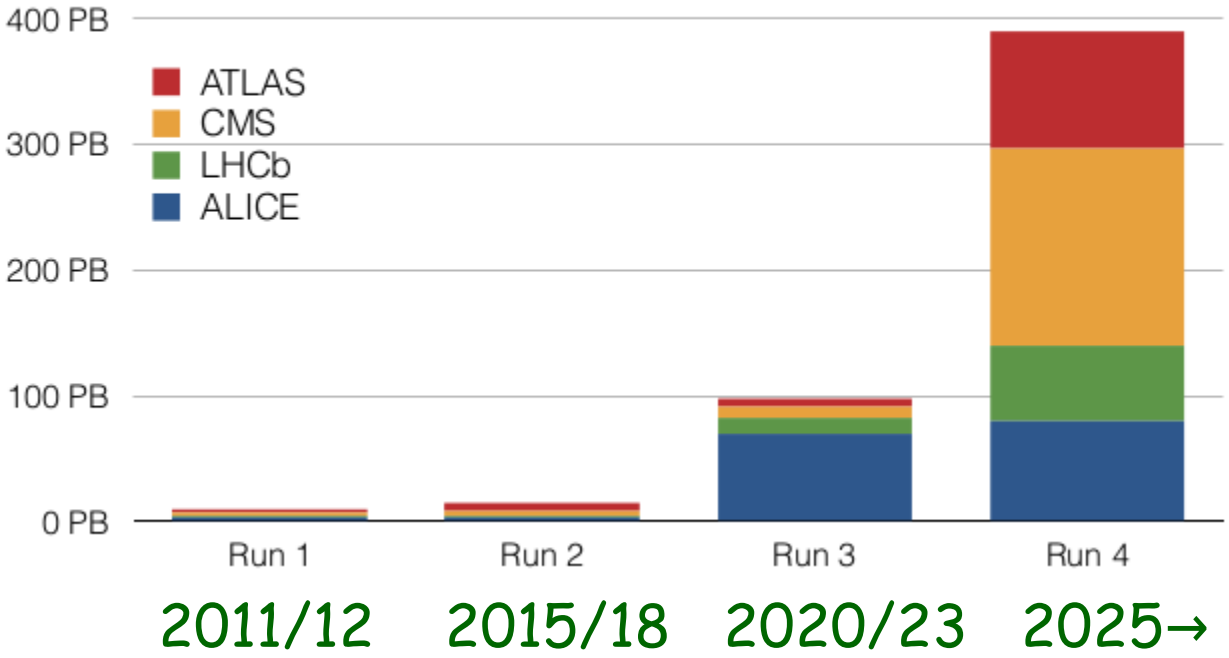

- QUantum chromodynamics ON Gpu

PC clusters + GPU + 3D network
APEnet+ boards

- 42U rack system:
- 60 TFlops/rack peak
- 25 kW/rack (i.e. 0.4 kW/TFlops)
- 300 k€/rack (i.e. 5 k€/TFlops)

# Futuro di LHC

**previsioni dati/anno**




Processori: ARM64, PowerPC, Nvida CUDA, AMD GPUs, ecc.

… di nuovo fuori dalla monocultura x86

# … naturalmente, tanti problemi in vista …

finanziamenti (!!) … ma non solo …

già ora - ad es. - grosso problema:

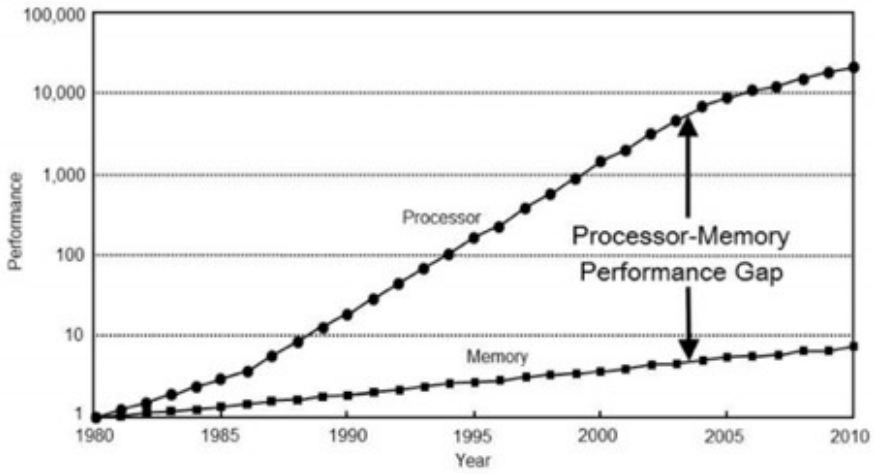
performance processori (multicore) .vs. densità memoria (cache)

Xeon Phi: 16 GB / 60 core

→ ~256 MB / core

Tesla K40: 12 GB / 2880

→ ~ 4 MB / core




necessità di una ristrutturazione e riscrittura del sw ("Data Oriented Design")

a) ottimizzazione multi-threading (!)

b) ottimizzazione multi-piattaforma (CPU, GPU, …)

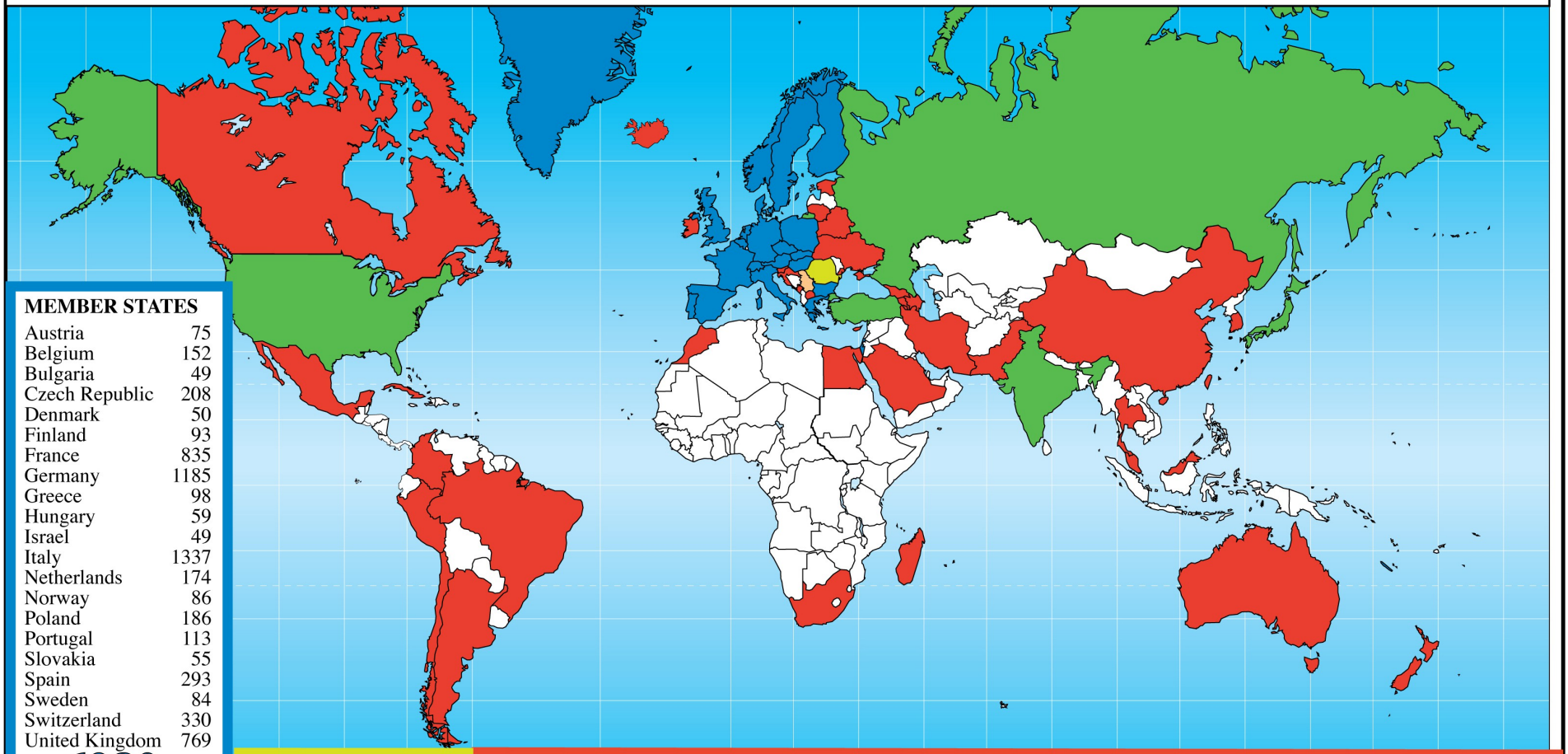
~ 3000 scienziati di 174 istituti da 38 paesi diversi
più di 1000 studenti di dottorato!

| | |
|---|---|
| Argentina | Morocco |
| Armenia | Netherlands |
| Australia | Norway |
| Austria | Poland |
| Azerbaijan | Portugal |
| Belarus | Romania |
| Brazil | Russia |
| Canada | Serbia |
| Chile | Slovakia |
| China | Slovenia |
| Colombia | South Africa |
| Czech Republic | Spain |
| Denmark | Sweden |
| France | Switzerland |
| Georgia | Taiwan |
| Germany | Turkey |
| Greece | UK |
| Israel | USA |
| Italy | CERN |
| Japan | JINR |

ATLAS
Collaboration

July 2010

# Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 14 January 2014



| MEMBER STATES | |
|---|---|
| Austria | 75 |
| Belgium | 152 |
| Bulgaria | 49 |
| Czech Republic | 208 |
| Denmark | 50 |
| Finland | 93 |
| France | 835 |
| Germany | 1185 |
| Greece | 98 |
| Hungary | 59 |
| Israel | 49 |
| Italy | 1337 |
| Netherlands | 174 |
| Norway | 86 |
| Poland | 186 |
| Portugal | 113 |
| Slovakia | 55 |
| Spain | 293 |
| Sweden | 84 |
| Switzerland | 330 |
| United Kingdom | 769 |

**6280**

| OBSERVERS | |
|---|---|
| India | 153 |
| Japan | 217 |
| Russia | 890 |
| Turkey | 110 |
| USA | 1724 |

**3094**

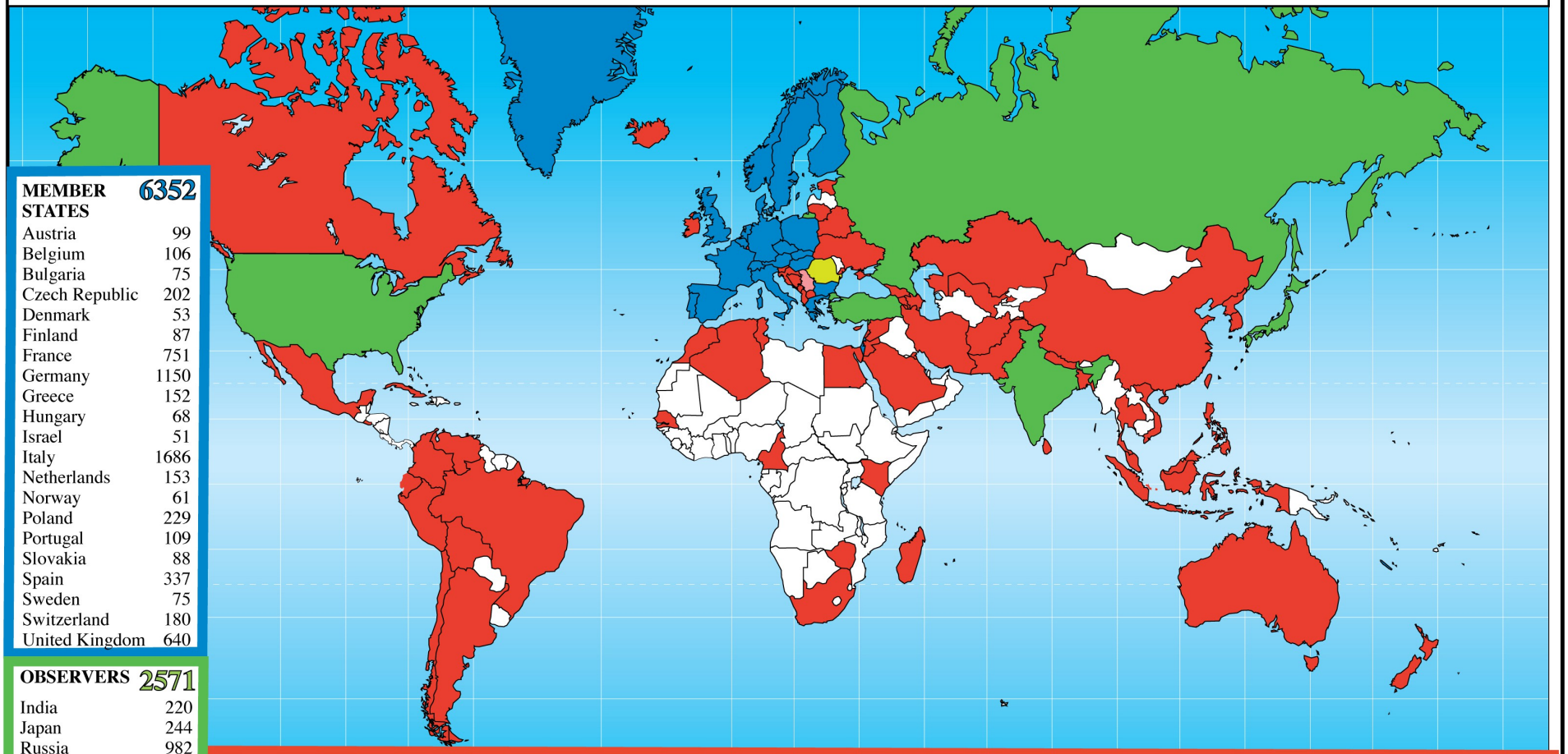
| CANDIDATE FOR ACCESSION | |
|---|---|
| Romania | 86 |

| ASSOCIATE MEMBER IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP | |
|---|---|
| Serbia | 30 |

| OTHERS | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Argentina | 13 | China | 122 | Iran | 20 | Pakistan | 18 | | |
| Armenia | 16 | China (Taipei) | 71 | Ireland | 5 | Peru | 2 | | |
| Australia | 39 | Colombia | 10 | Korea | 105 | Saudi Arabia | 3 | | |
| Azerbaijan | 2 | Croatia | 23 | Lithuania | 13 | Slovenia | 25 | | |
| Belarus | 24 | Cuba | 3 | Madagascar | 3 | South Africa | 32 | | |
| Brazil | 116 | Cyprus | 13 | Malaysia | 8 | Thailand | 8 | | |
| Canada | 147 | Egypt | 18 | Mexico | 46 | T.F.Y.R.O.M. | 1 | | |
| Chile | 8 | Estonia | 17 | Montenegro | 1 | Ukraine | 24 | | |
| | | Georgia | 11 | Morocco | 6 | | | | |
| | | Iceland | 4 | New Zealand | 5 | | | | |

**982**

# Distribution of All CERN Users by Nationality on 14 January 2014



| MEMBER STATES | 6352 |
|---|---|
| Austria | 99 |
| Belgium | 106 |
| Bulgaria | 75 |
| Czech Republic | 202 |
| Denmark | 53 |
| Finland | 87 |
| France | 751 |
| Germany | 1150 |
| Greece | 152 |
| Hungary | 68 |
| Israel | 51 |
| Italy | 1686 |
| Netherlands | 153 |
| Norway | 61 |
| Poland | 229 |
| Portugal | 109 |
| Slovakia | 88 |
| Spain | 337 |
| Sweden | 75 |
| Switzerland | 180 |
| United Kingdom | 640 |

| OBSERVERS | 2571 |
|---|---|
| India | 220 |
| Japan | 244 |
| Russia | 982 |
| Turkey | 146 |
| USA | 979 |

| CANDIDATE FOR ACCESSION | |
|---|---|
| Romania | 118 |

| ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP | |
|---|---|
| Serbia | 41 |

| OTHERS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Afghanistan | 1 | Bolivia | 3 | Cuba | 7 | Iran | 28 | Madagascar | 4 | Philippines | 1 | Tunisia | 6 |
| Albania | 2 | Bosnia & Herzegovina | 1 | Cyprus | 16 | Ireland | 22 | Malaysia | 15 | Saudi Arabia | 3 | Ukraine | 55 |
| Algeria | 8 | Brazil | 108 | Ecuador | 3 | Jordan | 2 | Mauritius | 1 | Senegal | 1 | Uzbekistan | 4 |
| Argentina | 11 | Cameroon | 1 | Egypt | 19 | Kazakhstan | 1 | Mexico | 64 | Singapore | 2 | Venezuela | 9 |
| Armenia | 25 | Canada | 134 | El Salvador | 1 | Kenya | 1 | Montenegro | 3 | Sint Maarten | 2 | Viet Nam | 9 |
| Australia | 25 | Cape Verde | 1 | Estonia | 16 | Korea, D.P.R. | 1 | Morocco | 12 | Slovenia | 27 | Zimbabwe | 2 |
| Azerbaijan | 8 | Chile | 12 | Georgia | 36 | Korea Rep. | 117 | Nepal | 5 | South Africa | 16 | | |
| Bangladesh | 4 | China | 280 | Gibraltar | 1 | Kuwait | 1 | New Zealand | 7 | Sri Lanka | 5 | | |
| Belarus | 47 | China (Taipei) | 45 | Hong Kong | 1 | Lebanon | 12 | Pakistan | 41 | Syria | 2 | 1415 | |
| | | Colombia | 30 | Iceland | 4 | Lithuania | 19 | Palestine (O.T.). | 4 | Thailand | 12 | | |
| | | Croatia | 35 | Indonesia | 1 | Luxembourg | 4 | Peru | 8 | T.F.Y.R.O.M. | 1 | | |

# c'è sempre bisogno di nuove idee e di nuova gente:

https://jobs.web.cern.ch/join-us/students

Stage @ CERN:

1) openlab students (2 months)
2) summer students (2-3 m)
3) technical students (6-12 m)
4) doctoral studens (3-36 m)

Scuole (fra molte altre):

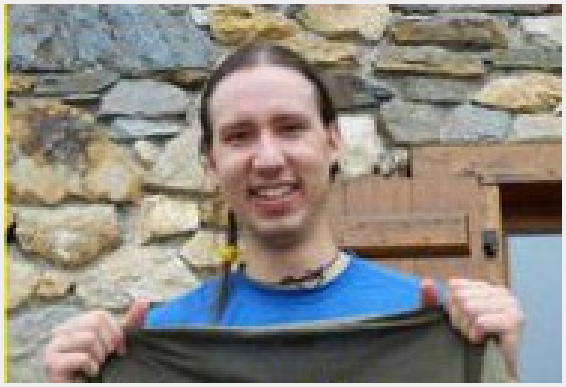
1) European school of high-energy physics (2 weeks)
2) CERN school of computing (2 w)
3) CERN accelerator school (2 w)
4) International School of Trigger and Data Acquisition (1 w)

# qualcuno che l'ha fatto ...

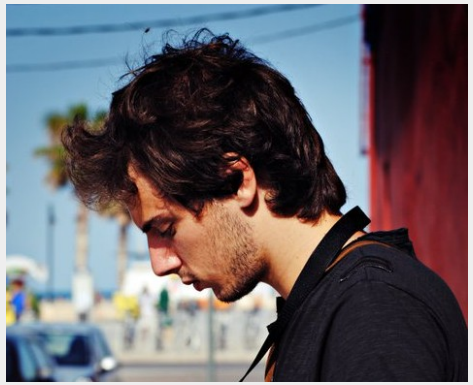
**Giulia** - liceo sc. Ulivi
ingegneria delle
telecomunicazioni (PR)

**Alberto – ITIS Sassuolo**
fisica (PI e SNS)

**Wainer – ITIS Sassuolo**
fisica (PR)



**Leo** – ITC Fossati (SP)
ingegneria
informatica (PR)



**Martino** - liceo sc. Marconi
ingegneria
informatica (PR)