

Il calcolo e le reti a supporto della ricerca scientifica!





I dati, così preziosi!

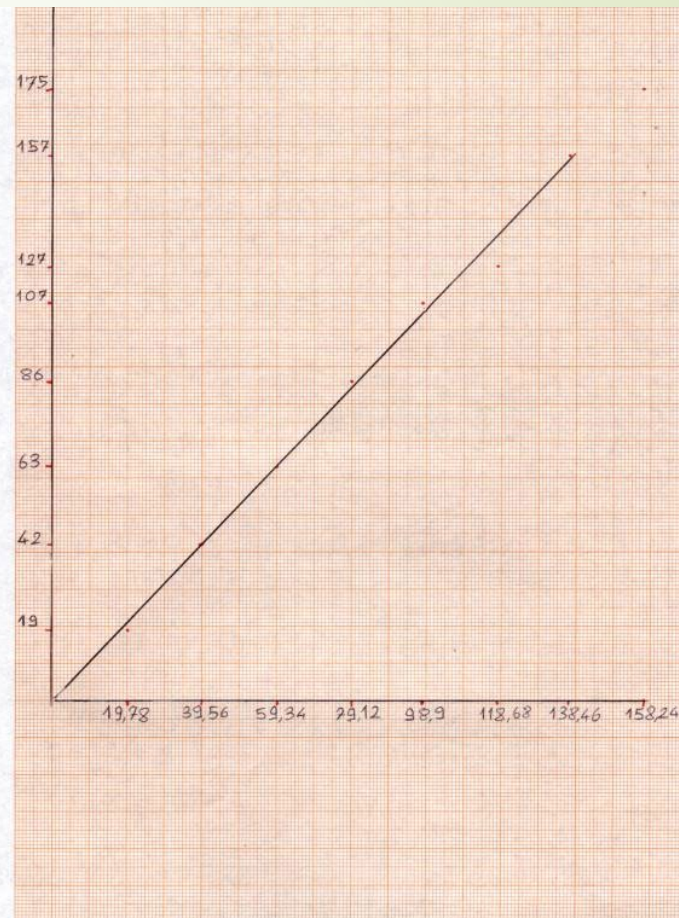
- **I dati sono la materia prima della ricerca scientifica!**
- **Sono costosi e preziosi!**
- Tutti gli esperimenti di fisica, per arrivare a trovare un risultato, si basano sull'analisi dei dati.
- I dati un tempo erano scritti a mano con carta e penna!

Carta, penna, carta millimetrata...

West Point Ozone Project

Sheet 43 Operator J. Doe

Date	Time	Wind Dir	Wind Spd	Ozone
08/01/93	1000	359	2.68	53
08/01/93	1100	1	1.11	55
08/01/93	1200	103	2.46	59
08/01/93	1300	209	1.11	65
08/01/93	1400	307	1.78	74
08/01/93	1500	164	3.13	80
08/01/93	1600	167	4.47	80
08/01/93	1700	127	6.26	93, 702
08/01/93	1800	177	6.48	100
08/01/93	1900	157	4.02	81
08/01/93	2000	158	1.78	61
08/01/93	2100	189	1.34	74
08/01/93	2200	348	0.67	37
08/01/93	2300	316	0.67	30
08/01/93	2400	310	0.44	26
08/02/93	100	290	0.22	24
08/03/93	200	316	0.22	21
08/04/93	300	15	0.22	20
08/05/93	400	5	4.47	15
08/07/93	400	16	0.44	11
08/02/93	600	49	0.44	5
08/02/93	700	137	0.44	8

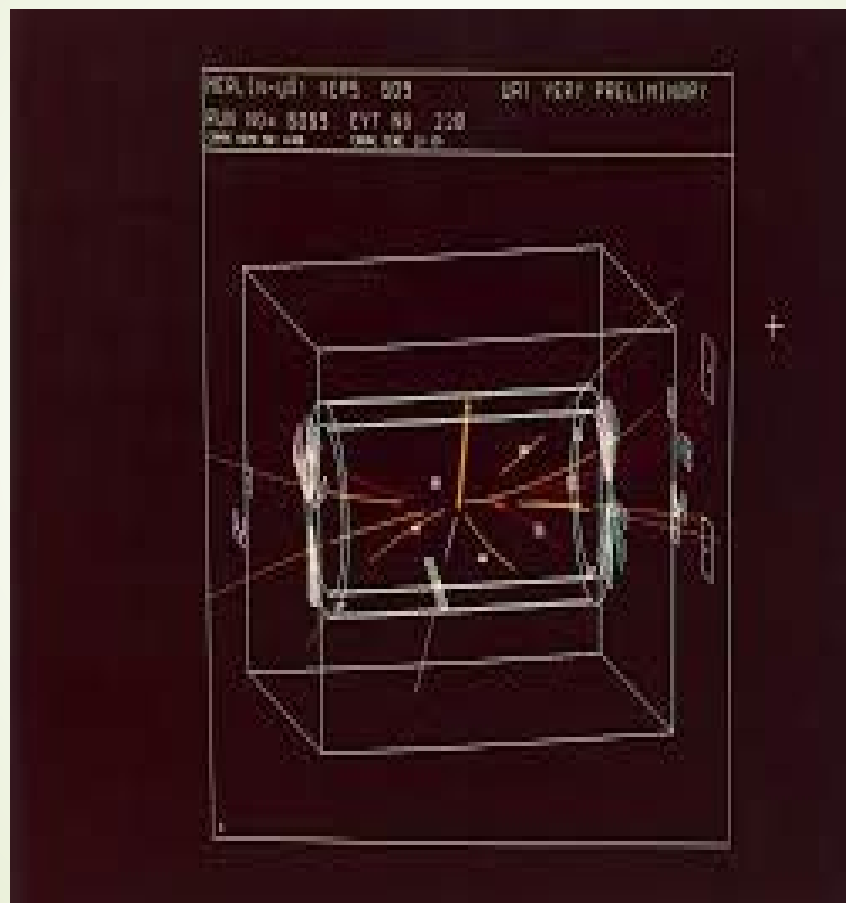


I dati, i computer e le reti

- Nella fisica delle particelle elementari e delle astroparticelle i dati sono TANTI !
- Fin dagli anni '60 in fisica delle particelle si sono usati i computer: dal sistema di **acquisizione** sull'apparato sperimentale, alla **selezione** dei dati interessanti, alla **rappresentazione grafica** dei dati, all'**analisi** complessiva dei dati acquisiti, alla scoperta scientifica e alla pubblicazione degli articoli su riviste specializzate:

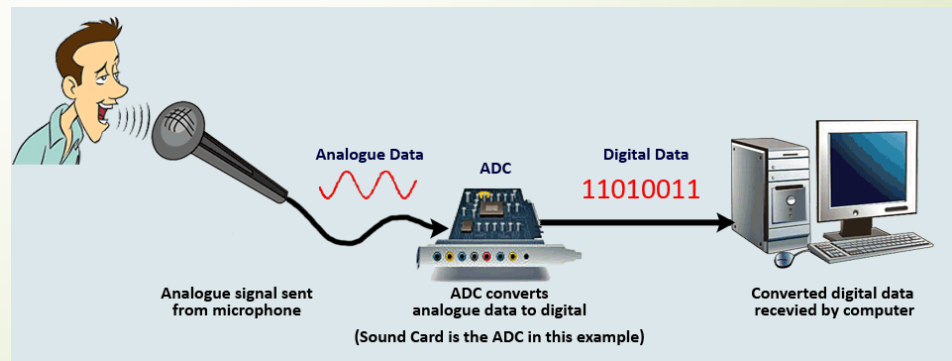
**TUTTO QUESTO NON SAREBBE POSSIBILE SENZA I
CALCOLATORI e le RETI!**

1981 – Esperimento UA1 al CERN



I dati in formato digitale

- ▶ Tutti i rivelatori di particelle quindi sono progettati per produrre un segnale in uscita che sia convertibile in un dato digitale.
- ▶ Generalmente un rivelatore converte il segnale lasciato da una particella (luce, temperatura,..) in un segnale elettrico analogico il quale viene successivamente trasformato in un segnale digitale pronto per essere salvato e analizzato con un computer

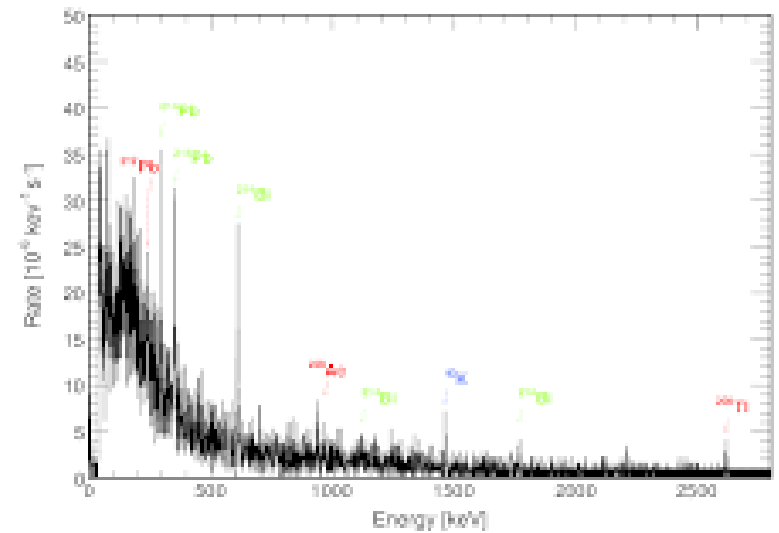
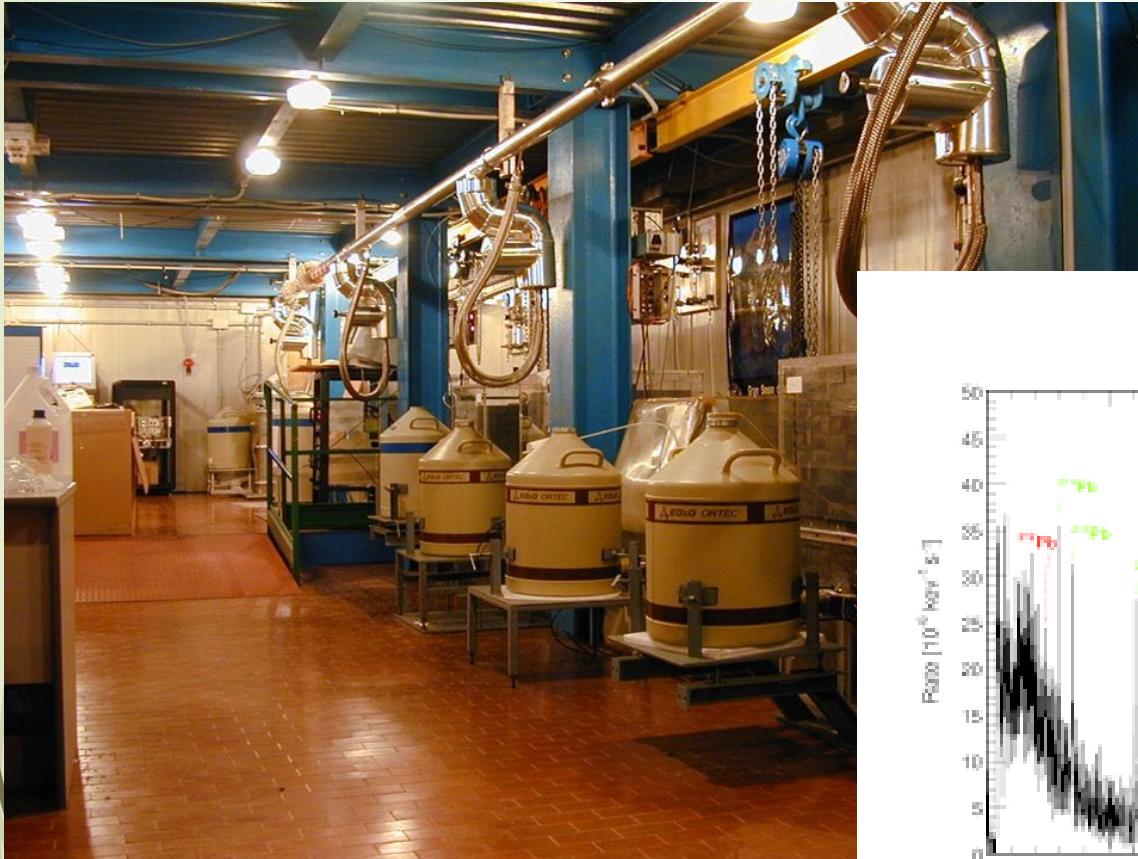




I dati e i computer

- Tutti gli esperimenti di fisica delle particelle hanno quindi una serie di apparati elettronici e programmi che servono a leggere i segnali dei rivelatori, trasformarli in dati digitali, scriverli sul disco di un computer affinché' siano successivamente analizzati!

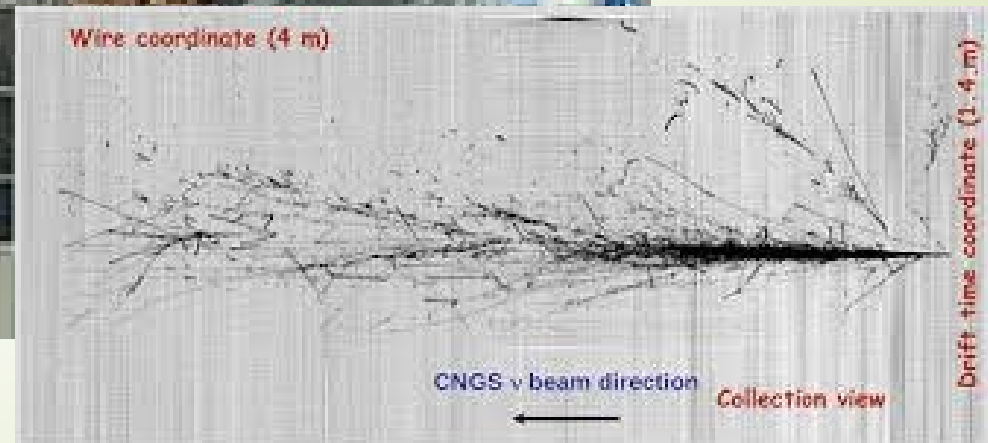
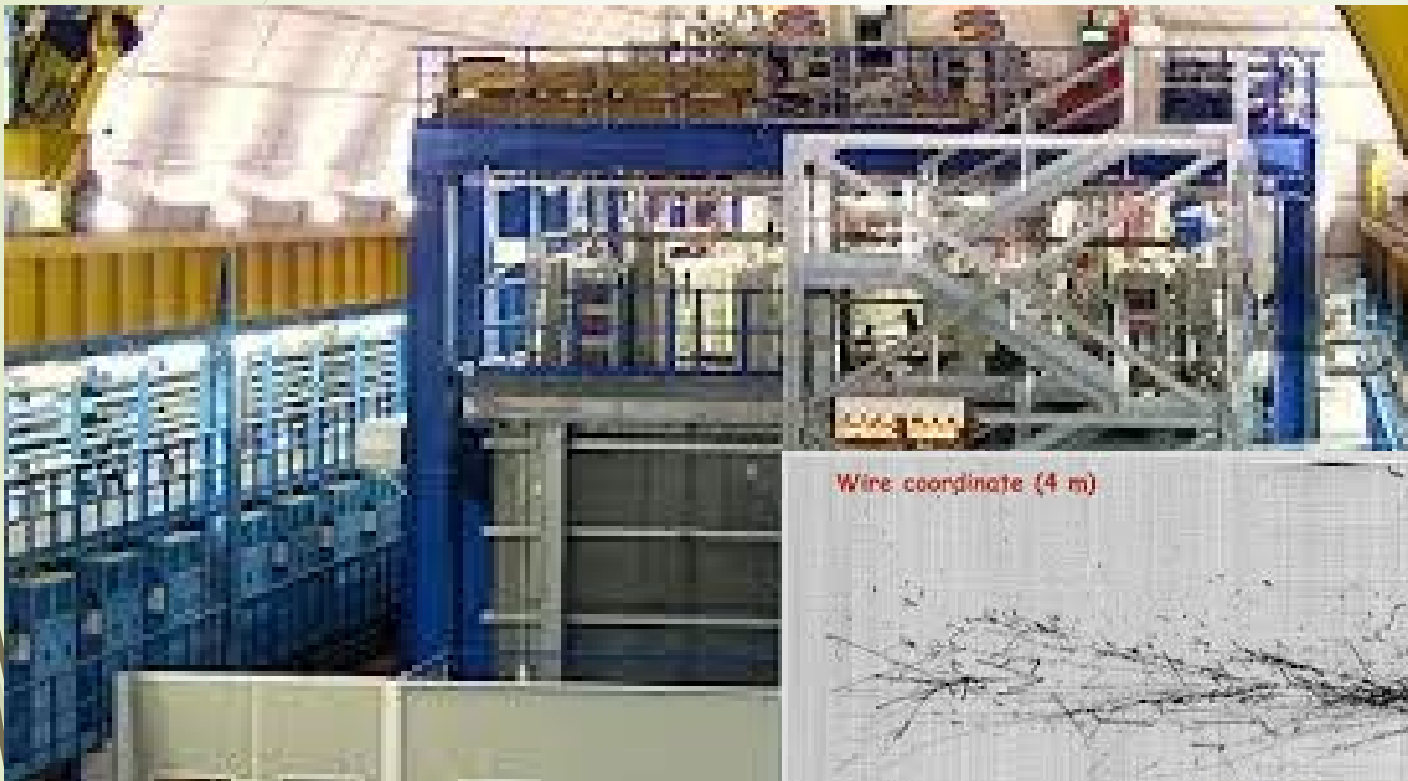
Un rivelatore per la spettroscopia gamma



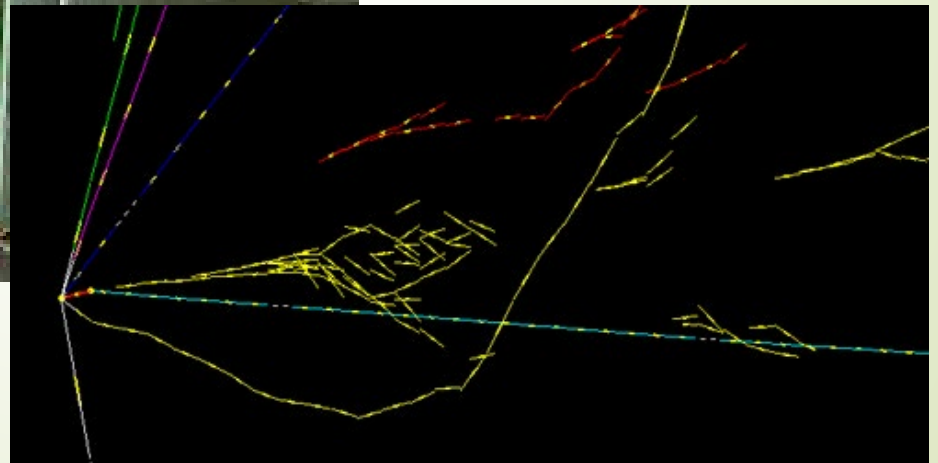
Un semplice rivelatore di raggi cosmici



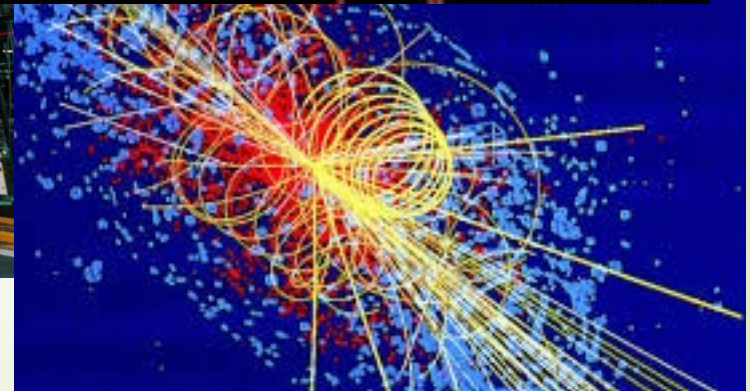
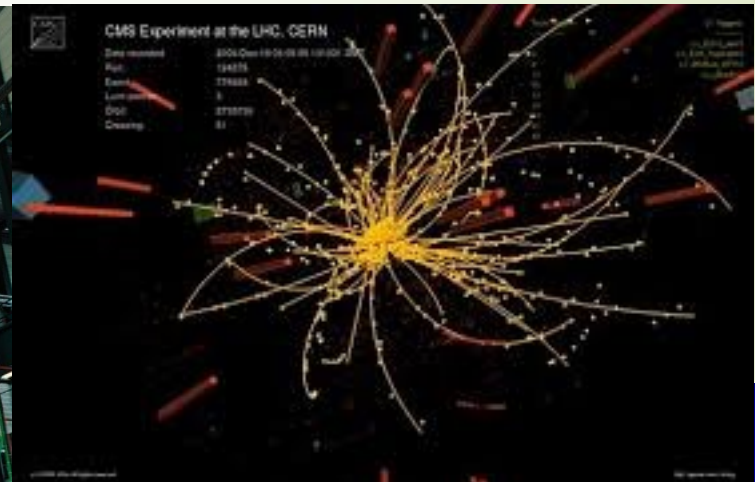
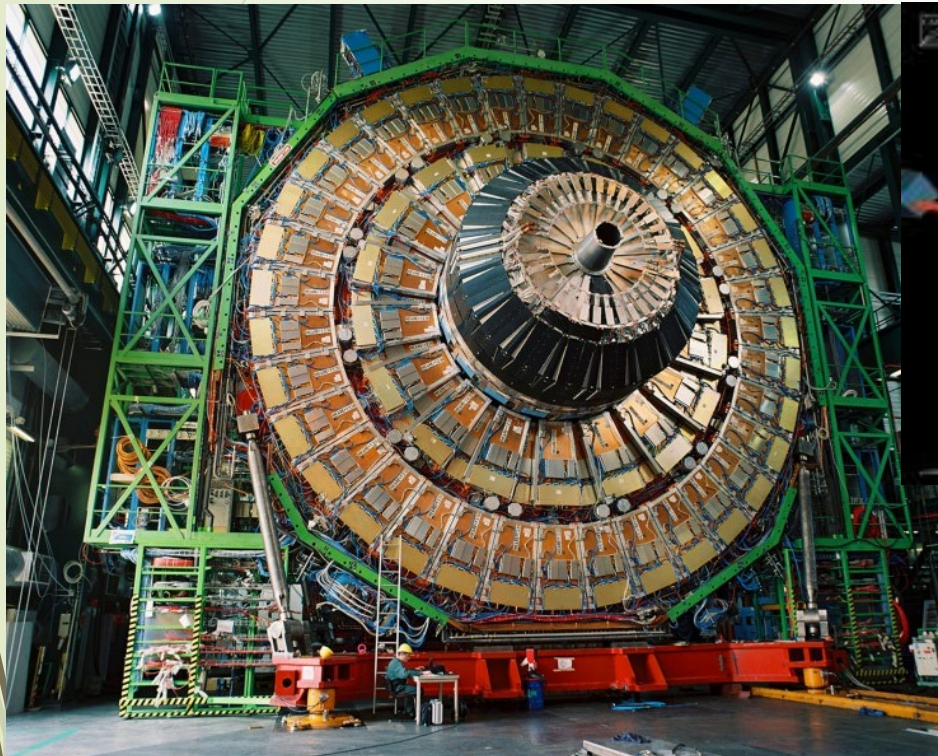
...un grande esperimento ai LNGS



...un altro esperimento ai LNGS



..un esperimento complesso al CERN



Tante fasi per arrivare al risultato!

Acquisizione dati e primo processamento



Memorizzazione su disco/nastro



Analisi dati



Visualizzazione degli dati



Risultato/scoperta



Pubblicazione

Ma quanti dati!!!!

- Un esperimento di fisica delle particelle può essere molto complesso e formato da migliaia di rivelatori indipendenti
- Facciamo un semplice esempio:
 - Ogni singolo rivelatore, un canale di elettronica, può generare un segnale da 1KByte
 - Ogni 'evento' può coinvolgere migliaia di canali 1MByte
 - La frequenza di eventi al secondo, *rate* di eventi, può essere di migliaia di eventi: 1GByte/s
- Sono tantissimi dati, ma non tutti portano informazioni utili!

(una parentesi per ricordare)

- Byte – 8 bit unità fondamentale di memorizzazione
- KB – 10^3 byte
- MB – 10^6 byte
- GB – 10^9 byte
- TB – 10^{12} byte
- PB – 10^{15} byte
- EB – 10^{18} byte

... selezionare i dati interessanti

- L'elettronica di acquisizione raccoglie i dati provenienti da ogni singolo elemento di un rivelatore e li convoglia verso un punto di raccolta; in questa fase puo' essere operata una prima scrematura dei dati (**L1 trigger**), ad opera di hardware dedicato, a volte con fattori di riduzione drammatici
- Successivamente i dati sono indirizzati attraverso la rete (cavi in rame e fibre ottiche) a *farm* di calcolatori commerciali che immagazzinano temporaneamente i dati e operano una seconda scrematura (**L2 trigger**) per selezionare solo gli eventi interessanti; anche in questa fase la quantita' di dati e' ridotta di un fattore significativo



Il percorso del dato

- Successivamente i dati 'raw' interessanti sono
 - memorizzati come files su sistemi di storage per essere successivamente analizzati
 - Scritti su tape, nastro magnetico, per backup o per essere conservati a lungo termine
 - Riletti e trasformati in dati di formato differente; in questa fase la '**compressione**' dei dati riduce ulteriormente la dimensione dei files di dati.
 - Copiati su rete geografica in altri centri di ricerca

Facciamo un esempio: ATLAS

(i dati sono presi da pubblicazioni; possono variare negli anni)

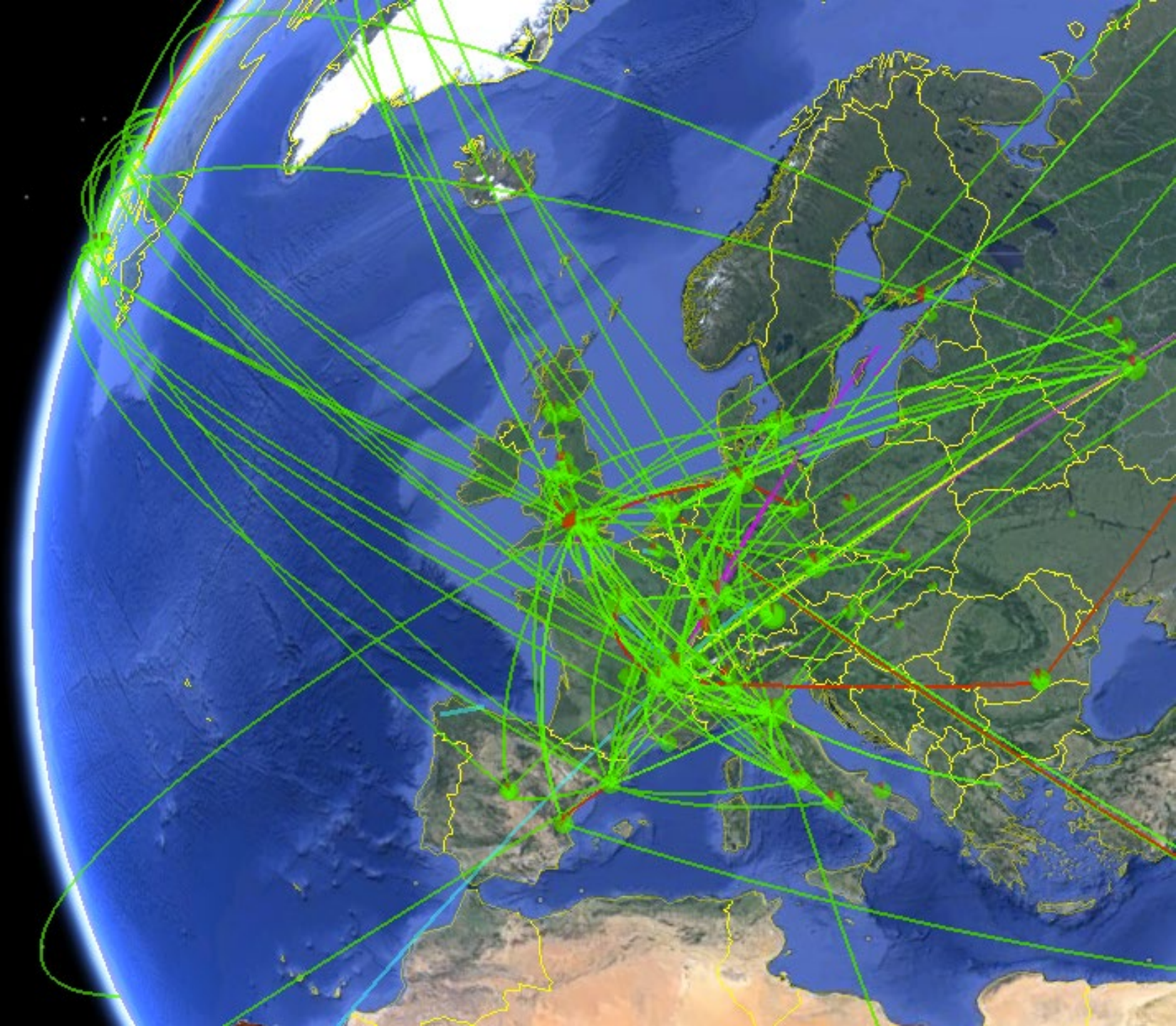
- Esperimento LHC al CERN di Ginevra
- Rate di eventi: 10^9 interazioni/s
- 10^8 canali di lettura
- In media un evento produce 1-10MB di dati 'raw' e i dati acquisiti in un secondo ammontano a TB
- Dopo le prime due selezioni, rimangono circa 100-200 eventi/secondo, per un totale di circa **1GB/s!**
- **Ossia circa 30PB di dati l'anno!**
- Questi dati 'sopravvissuti ai tagli' vanno quindi analizzati

Ai LNGS

- I dati prodotti dagli esperimenti dei LNGS non sono tanti quanto quelli prodotti agli acceleratori
- Gli esperimenti ai LNGS tipicamente studiano fenomeni prodotti naturalmente e hanno *rate* di eventi decisamente inferiori
- In ogni caso i dati complessivamente prodotti sono dell'ordine di **qualche PB/anno**
- ...vanno analizzati!
- In parte i dati sono analizzati ai LNGS su *farm* di server installate in sala calcolo e in parte prendono una strada differente.. **Vedremo dove e come!**

I dati sono salvi...e ora?

- E poi come analizzo i dati?
- L'analisi offline e' molto piu' pesante dell'analisi online di II livello
- Quando la potenza di calcolo offerta da un singolo computer o una singola sala calcolo non e' sufficiente ad analizzare i dati, si ricorre ad una **griglia di computer** collegati in rete tra di loro: la **GRID**
- La GRID e' costituita da data center che contengono **storage** per i dati e **server** per il loro processamento; i datacenter sono interconnessi da **reti** di trasmissione dati dedicate.
- I dati sulla GRID sono organizzati in maniera gerarchica



GARR NETWORK



La rete e il calcolo distribuito

- Collegamenti di rete ad alta capacita' sono fondamentali per l'esecuzione dei job sulla GRID
- Il modello della GRID e del calcolo distribuito si e' potuto sviluppare solo quando le reti di trasmissione dati hanno raggiunto la maturita'
- Collegamenti attuali tra centri della GRID variano tra multipli di **10Gb/s** di centri Tier2 al Tier1 e multipli di **100Gb/s** per i Tier1
- La connessione dei LNGS alla rete GARR e alla GRID e' attualmente di 10Gb/s.

I dati sono salvi...e ora?

- L'analisi dei dati viene spezzettata in tanti **Job**, singoli lavori
- Quando sottometto un *job* sulla GRID, questo in esecuzione in uno dei centri di calcolo della GRID, la' dove i computer in quel momento sono piu' scarichi
- Sulla GRID, cosi' come su un cluster di calcolo *batch* locale, l'esecuzione dei job non e' interattiva, l'utente non conosce i dettagli dell'esecuzione del job e vede solo il risultato finale.
- Questa modalita' permette l'esecuzione di grandi quantita' di job senza la presenza e l'interazione umana.
- LNGS sono un nodo della GRID, non forniscono risorse ma posso sottomettere Job sulla GRID

I datacenter per il calcolo scientifico

- Migliaia di **server** montati su armadi rack
- Migliaia di dischi organizzati in sistemi di **storage**
- Migliaia di Km cavi in **fibra ottica** per connettere server e storage tra loro
- Apparati di **rete** per il trasporto dei dati
- Librerie di nastri magnetici o **tape** per il backup e la conservazione a lungo termine dei dati
- Alimentazione elettrica ridondata: **UPS**, generatori diesel
- Sistemi di **raffreddamento**
- (durante i laboratori didattici visiteremo la sala calcolo dei LNGS)



Sandra Parlati - PID LNGS 2019 - 21-25 ottobre 2019

Server negli armadi rack



Storage



Nastri magnetici



Sandra Parlati - PID LNGS 2019 - 21-25 ottobre 2019

Raffreddamento del data center



Alimentazione elettrica



Data center in moduli: la nuova tendenza





Datacenter – l'esempio di ALICE e LHCb

- Ogni modulo include 18 racks, per una potenza elettrica di 2.1 MW.
- Ogni modulo ospita fino a 750 server con CPU e GPU.
- Più di 14 000 fibre ottiche collegano l'apparato sperimentale al modulo. Portano circa 40 terabit/s di raw data per il processamento.

Qualche numero data center LNGS

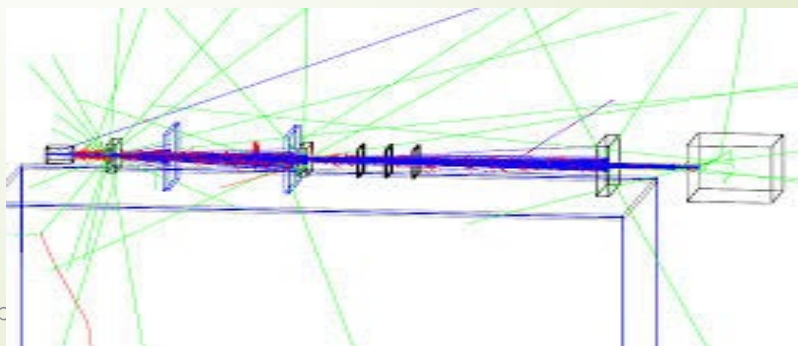
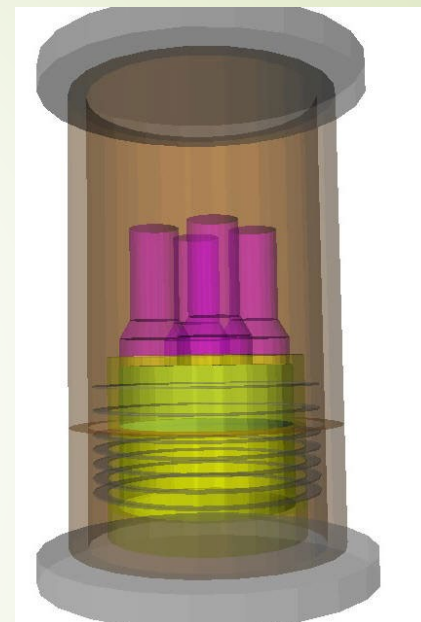
- Circa **2PB** di dati distribuiti tra vari sistemi di storage (i dischi piu' moderni acquistati ai LNGS hanno una capacita' di 12TB)
- Circa **1000 core** per l'analisi dati, tra server gestiti dal servizio calcolo e server degli esperimenti (i server piu' nuovi acquistati ai LNGS hanno doppio processore 2.7GHz, 16C/32T e 128 GB RAM)
- Libreria di nastri LTO7 (~15TB di dati su ciacusun tape)
- Collegamento a 10Gb/s con la rete GARR
- Circa 40KW di potenza assorbita e protetta da un sistema di 3 UPS
- Sistema di raffreddamento ridondato

Il software: Linux e ROOT, GEANT4

- **Linux**, nelle sue varie distribuzioni, e' il sistema operativo utilizzato per l'acquisizione e l'analisi dei dati degli esperimenti di fisica particelle
- Software specifico sviluppato dalle collaborazioni per l'acquisizione dati, il processamento e per l'analisi
- **ROOT** e' un pacchetto software scritto in C++ per l'acquisizione e l'analisi dei dati. Include funzionalita' per la persistenza dei dati, la loro visualizzazione, strumenti statistici, funzioni matematiche, fitting...
- **Geant4** è una piattaforma per la "simulazione del passaggio di particelle attraverso la materia"

Già..ci sono anche i dati simulati!

- Prima della costruzione di un rivelatore, le simulazioni Monte Carlo possono aiutare a ottimizzare il design dell'apparato, a investigare la capacità di distinguere il segnale dal rumore, a capire i processi fisici che avvengono all'interno dell'apparato, etc etc..
- Simulare al computer il passaggio di particelle nel rivelatore e analizzare successivamente i dati simulati e' anch'essa un'attività che necessita di **grandi capacità di storage e di calcolo!!**



Long term data preservation

- I dati sono costosi e preziosi!
- Grande attenzione si sta ponendo negli ultimi anni alla **conservazione a lungo termine dei dati!** (non c'era questa attenzione fino a pochi anni fa)
- Importante renderli disponibili alle future generazioni di fisici
 - Rendere sempre rileggibile e disponibile il dato (prevenire l'obsolescenza tecnologica del supporto su cui e' memorizzato)
 - Conservare la documentazione sul significato del singolo bit del dato
 - Mantenere l'ambiente di calcolo su cui runnare i programmi di analisi, ad esempio attraverso l'uso di macchine virtuali

..si lavora insieme anche da remoto!!!!

- ▶ Videoconferenze quotidiane
- ▶ Streaming di corsi di formazione
- ▶ Strumenti di sviluppo collaborativo
 - ▶ Git repository per lo sviluppo del codice, documentazione
 - ▶ Cloud storage con editing condiviso (Microsoft OneDrive)
 - ▶ Mail, mailing lists
- ▶ Accesso remoto a computer per il controllo dell'apparato sperimentale e del DAQ sistema di acquisizione dati



..la sicurezza...un *must*!

- La disponibilita', la riservatezza, l'integrita' dei dati sono diventati importanti: i dati vanno protetti
- Gli attacchi informatici volti a danneggiare le infrastrutture di calcolo o la loro disponibilita' (Denial Of Service) o a sfruttare in modo parassitario le ingenti risorse di calcolo e la rete della ricerca sono sempre frequenti!!!
- La protezione dei dati personali e il GDPR si applica anche nel normale lavoro di chi fa calcolo scientifico o servizi a supporto.

I servizi di calcolo nell'INFN

- Ogni sezione INFN ha un proprio Servizio di Calcolo e reti
- Gestisce le infrastrutture di rete e l'accesso alla rete GARR
- Il calcolo scientifico per gli utenti ed eventuali Tier2 GRID
- I servizi generali (posta elettronica, gestione dei PC utente, gestione account utenti, ..)
- La sicurezza informatica
- Gli acquisti del materiale informatico
- **Supporto psicologico agli utenti** ☹ ☺

La fisica e' da sempre al passo con le nuove tecnologie..

- Web nato al CERN negli anni '90
- L'INFN aveva una propria rete dati gia' dalla fine degli anni '80 quando la rete non c'era!!!
- I Data Center di GRID sono molto diversi dai data center dei provider commerciali



Il futuro presente: CLOUD

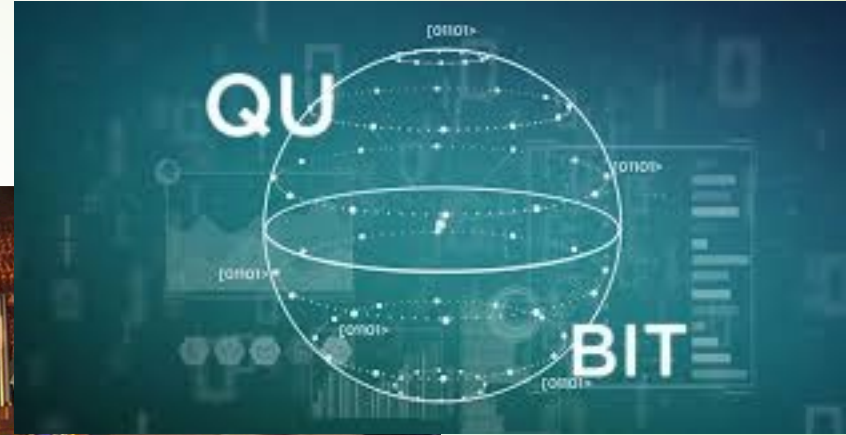
- Cloud già' ampiamente usato dai provide commerciali per i servizi agli utenti
- Nel mondo della ricerca si utilizzano servizi cloud di provider commerciali per servizi all'utente (mail, storage e backup di file, condivisione di files tra piu' utenti,..)
- Si sviluppano servizi cloud per la produttività personale su risorse HW proprie per non dipendere da provide commerciali
- Si sviluppano modelli di calcolo e software per il calcolo scientifico come upgrade della GRID (vedremo un esempio durante le esercitazioni).

Il futuro prossimo: AI

- L' **intelligenza artificiale, AI** e in particolare le tecniche di **Machine Learning** già' applicata dai provider commerciali per la ricerca di informazione all'interno dei Big Data, sarà applicata alla selezione degli eventi interessanti (L1 e L2 trigger) per aumentare la soppressione dei falsi-positivi e la conseguente riduzione dei dati da salvare e analizzare!



Il futuro remoto: quantum computing



La fisica: non solo fisici!!!!

- **Amministratori di sistemi** informatici: gestiscono server, storage, rete, sistemi operativi e applicazioni, sicurezza informatica
- **Tecnologi** che gestiscono Data center
- **Ricercatori/tecnologi** che sviluppano software online DAQ/Trigger 2L
- Ricercatori/tecnologi che sviluppano il modello di calcolo dell'esperimento
- Ricercatori/tecnologi che sviluppano software per l'analisi e la visualizzazione dei dati (qui le nostre esercitazioni)

Lavorano dietro le quinte: non prenderanno mai un Nobel ma di essi non ci sarebbero risultati scoperte scientifiche!



Video interessanti!

➤ <https://www.youtube.com/watch?v=jDC3-QSiLB4>

...e altri link in un file che vi inviero' sulla mailing list!



..grazie!

Per ulteriori info..

sandra.parlati@lngs.infn.it