



# IL CALCOLO AI LABORATORI DEL GRAN SASSO

Miriam Olmi – PID LNGS 2024

## PERCHÉ UN SERVIZIO DI CALCOLO E RETI AI LNGS?

Come vedremo, gli esperimenti di fisica acquisiscono, elaborano e conservano grandi moli di dati sperimentali!

La raccolta e l'analisi dei dati richiedono **reti veloci** e grande **potenza di calcolo** ma non solo: richiedono una conoscenza profonda dei sistemi informatici!

Sono necessari **specialisti delle reti di trasmissione dati, di calcolatori, di software e di tecnologie innovative** per dare supporto agli esperimenti!

Questo è il compito principale dei servizi di calcolo nei laboratori e nelle sezioni INFN!

# I DATI, COSÌ PREZIOSI!



I dati sono la materia prima della ricerca scientifica!



I dati sono costosi e preziosi!

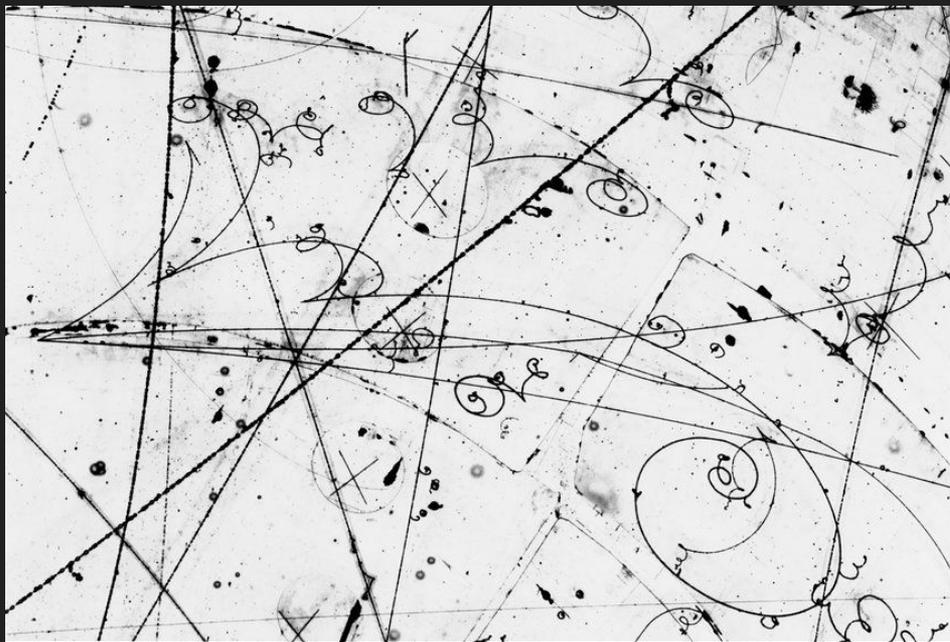


Tutti gli esperimenti di fisica, per arrivare a trovare un risultato, si basano sull'analisi dei dati.

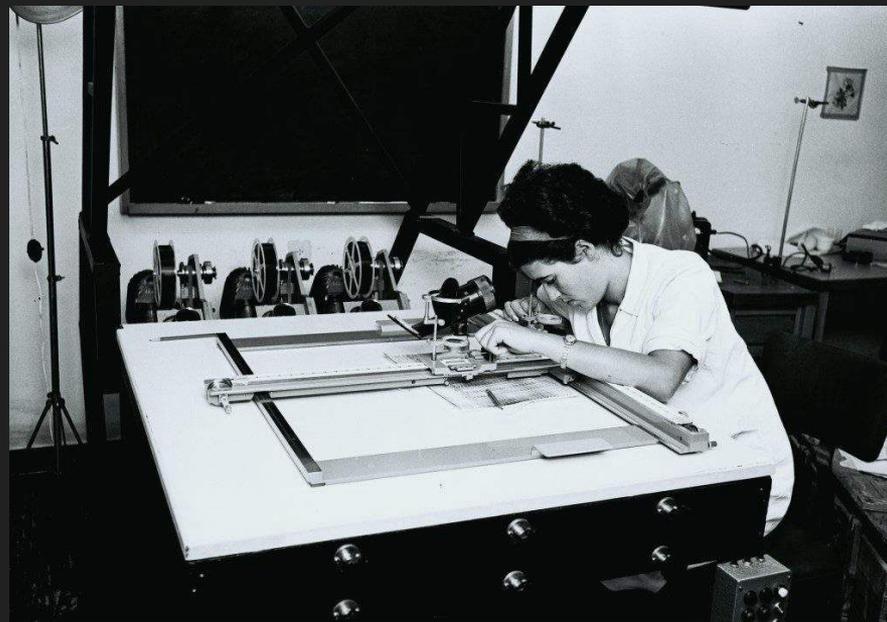


I dati un tempo erano scritti a mano con carta e penna!

# CARTA, PENNA E TANTA PAZIENZA



An example of tracks captured by a bubble chamber. These images were typically manually reconstructed by trained human scanners. Illustration courtesy of Fermilab.



Scanning, circa 1963. Image: Weizmann Institute Archives



## I DATI, I COMPUTER E LE RETI

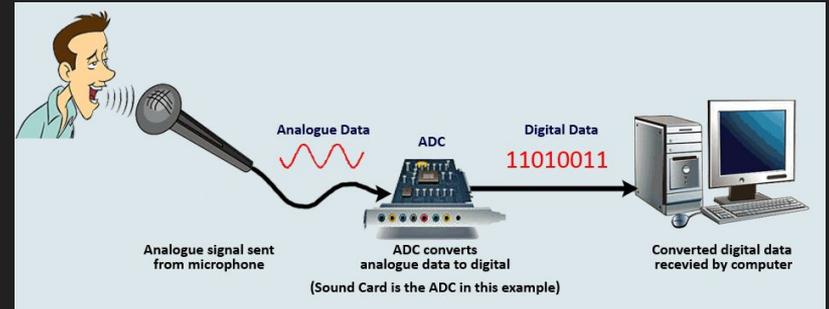
Fin dagli anni '60 in fisica delle particelle si sono usati i computer: dal sistema di **acquisizione** dell'apparato sperimentale, alla **rappresentazione grafica** dei dati, all'**analisi** complessiva dei dati acquisiti, alla scoperta scientifica e alla pubblicazione degli articoli su riviste specializzate:

TUTTO QUESTO NON SAREBBE POSSIBILE SENZA I CALCOLATORI E LE RETI!

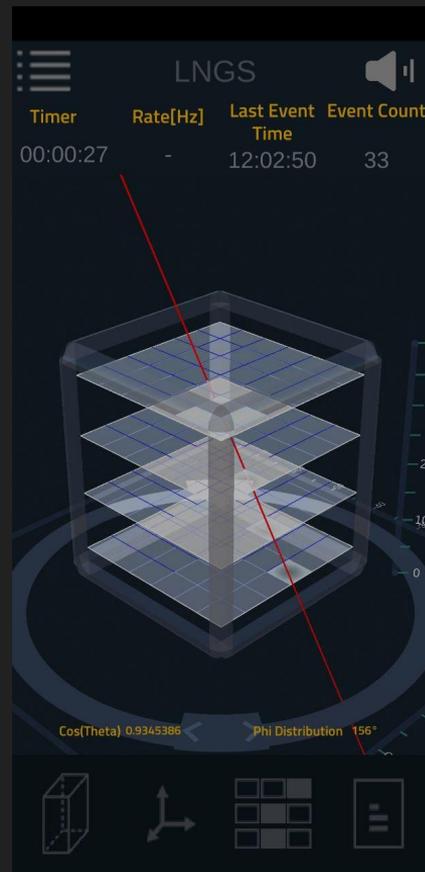
**La necessità di potenza di calcolo per gli esperimenti ha portato l'INFN ad essere uno degli attori principali nel campo delle infrastrutture di calcolo e dell'evoluzione tecnologica!**

# I DATI IN FORMATO DIGITALE

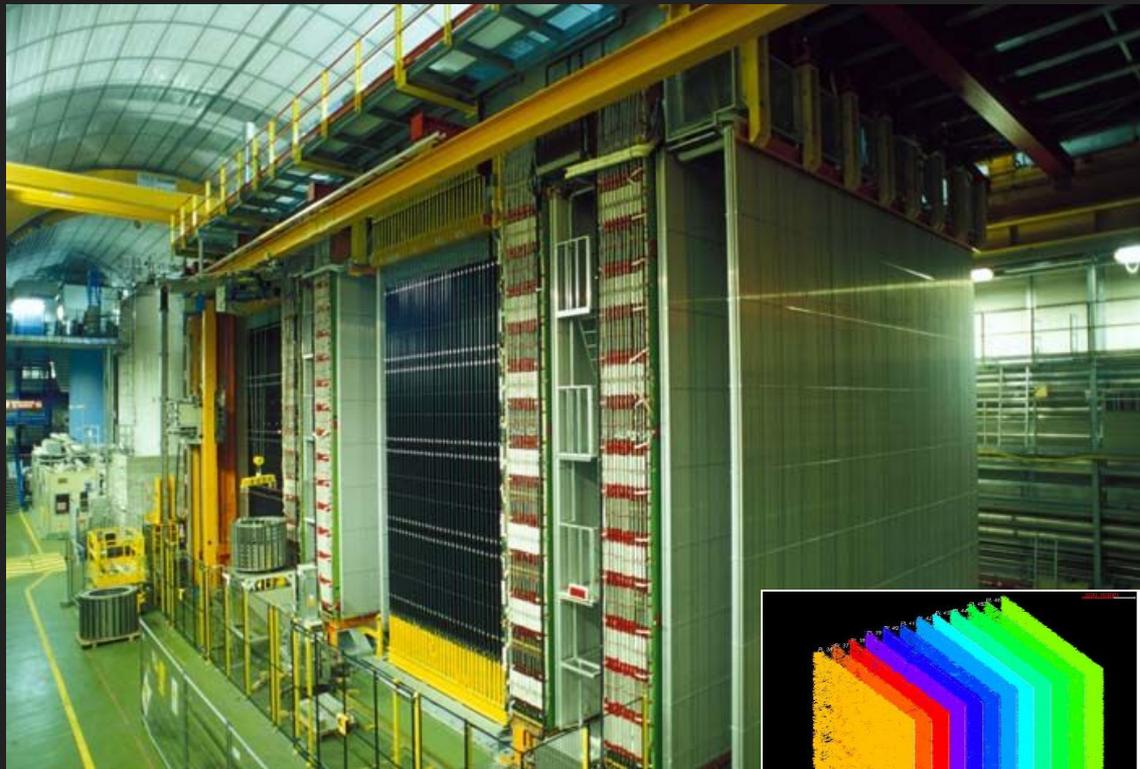
- Tutti i rivelatori di particelle quindi sono progettati per produrre un segnale in uscita che sia convertibile in un dato digitale.
- Generalmente un rivelatore converte il segnale lasciato da una particella (luce, temperatura,..) in un segnale elettrico analogico il quale viene successivamente trasformato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



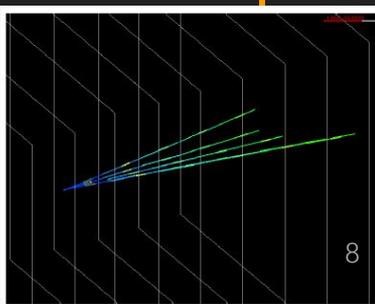
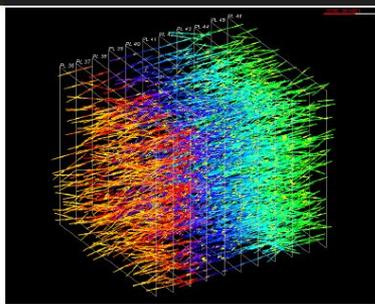
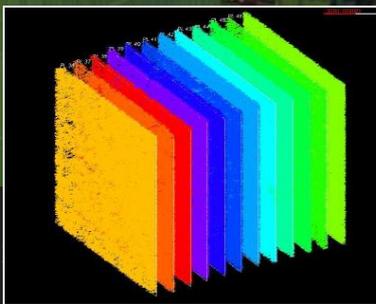
# UN SEMPLICE RIVELATORE DI RAGGI COSMICI...



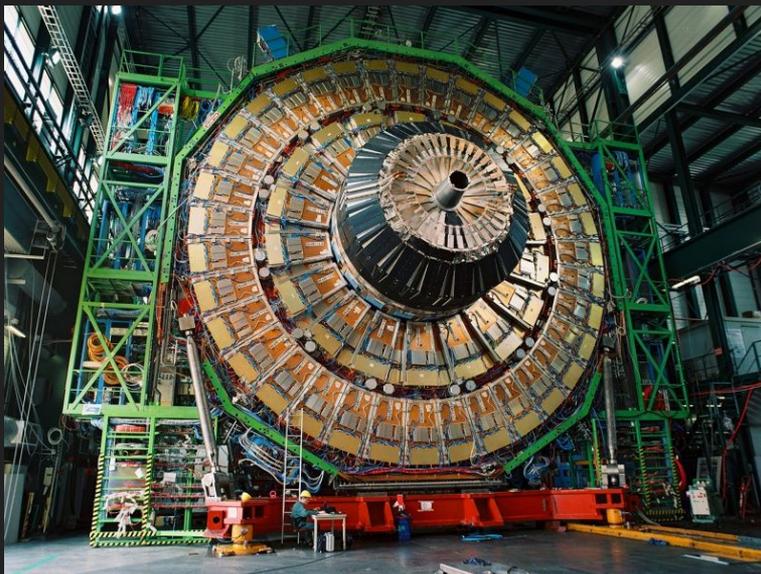
## ...UN GRANDE ESPERIMENTO AI LNGS...



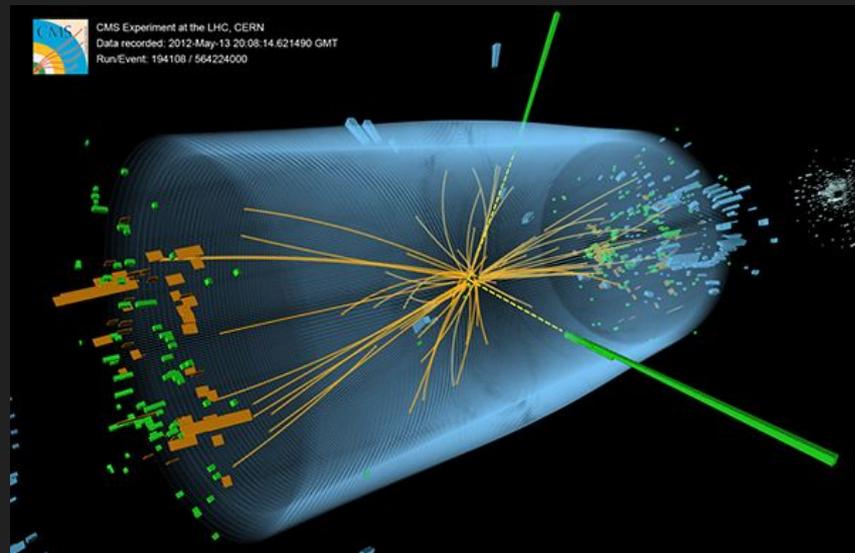
OPERA. Different steps of the emulsion data processing.  
(Left) All base-tracks in 11 films of the volume under study are reconstructed; they participate in the alignment process from which tracks are reconstructed (middle); passing-through tracks are discarded and the interaction vertex is reconstructed (right).



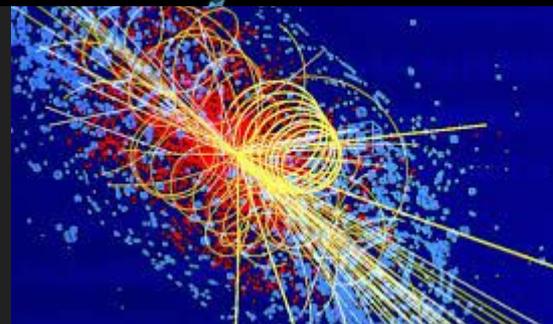
# ...UN ESPERIMENTO COMPLESSO AL CERN



CMS experiment at CERN. Event reconstruction in CMQ viewer (top right) and picture of a Higgs event (bottom right)



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT  
Run/Event: 194108 / 564224000



## TANTE FASI PER ARRIVARE AL RISULTATO





## 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, rate di eventi, può essere di migliaia di eventi al secondo: **1GByte/s**

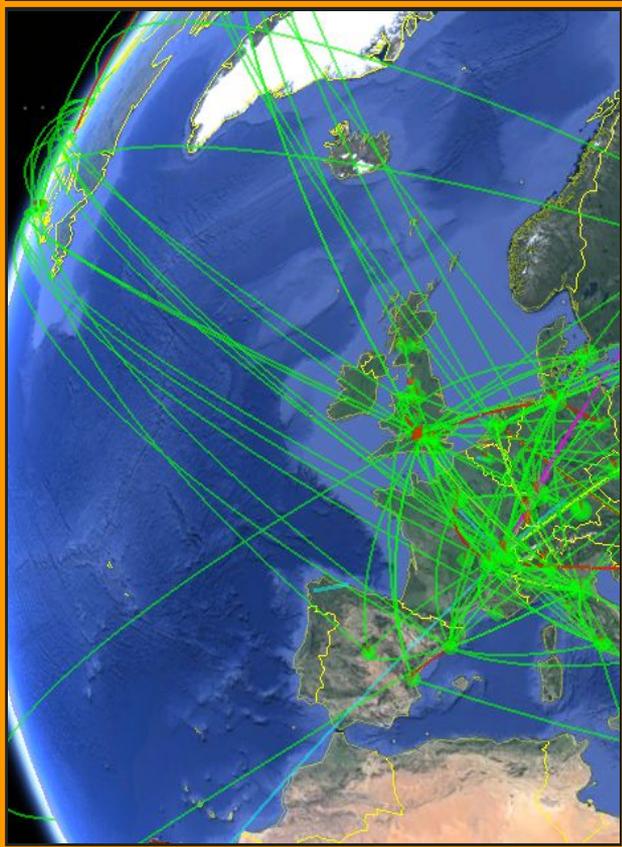
Sono tantissimi dati, ma non tutti portano informazioni utili!

# SELEZIONARE EVENTI INTERESSANTI È FONDAMENTALE

- ❑ 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 può 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 quantità di dati è ridotta di un fattore significativo

## QUAL È LA SITUAZIONE AI LNGS?

- ❑ Gli esperimenti ai LNGS tipicamente studiano fenomeni prodotti naturalmente e hanno rate di eventi decisamente inferiori
- ❑ I dati complessivamente prodotti sono dell'ordine di **qualche PB/anno**
- ❑ In parte i dati sono analizzati ai LNGS su farm di server installate in sala calcolo e in parte prendono una strada differente..
- ❑ ...ma in ogni caso vanno analizzati!



## I DATI SONO SALVI... E ORA?

- ❑ 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.
- ❑ Nei prossimi anni le risorse di calcolo distribuite saranno accessibili con interfacce **CLOUD** semplificate rispetto alla GRID.

# GARR NETWORK

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

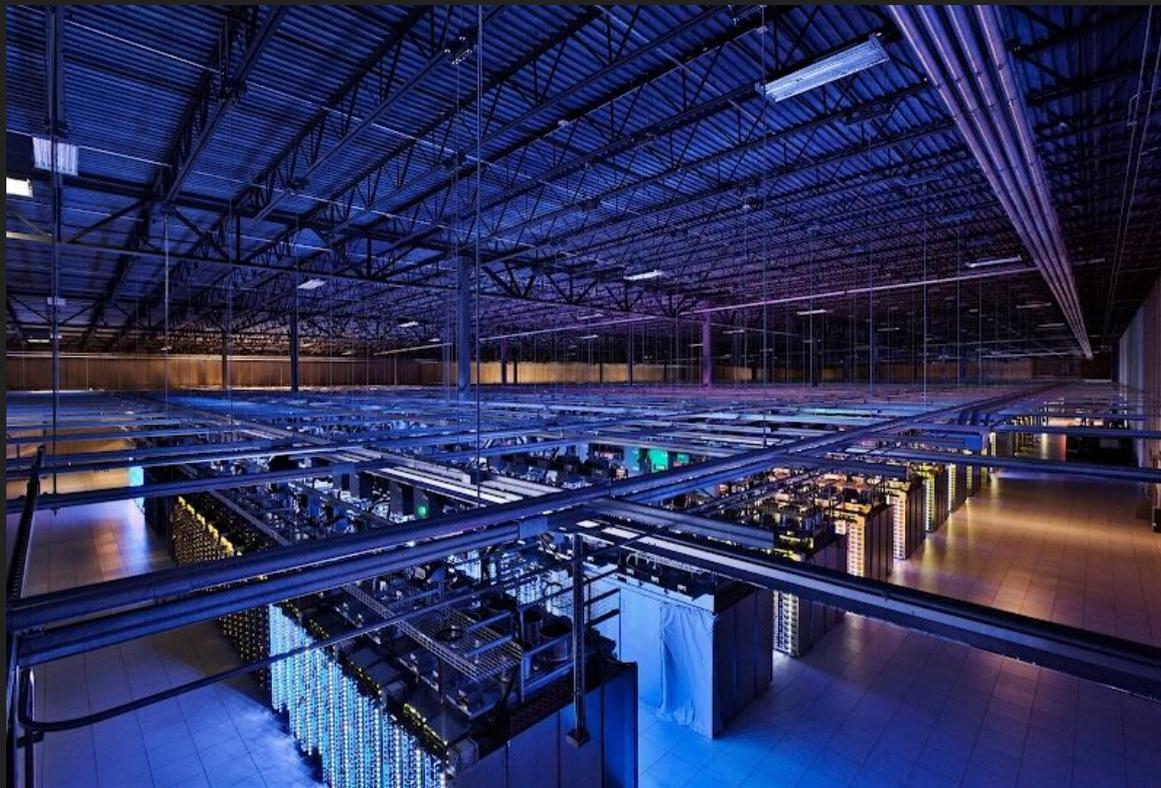




## I DATA-CENTER PER IL CALCOLO SCIENTIFICO

- ❑ 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
- ❑ Sistemi di raffreddamento
- ❑ Alimentazione elettrica

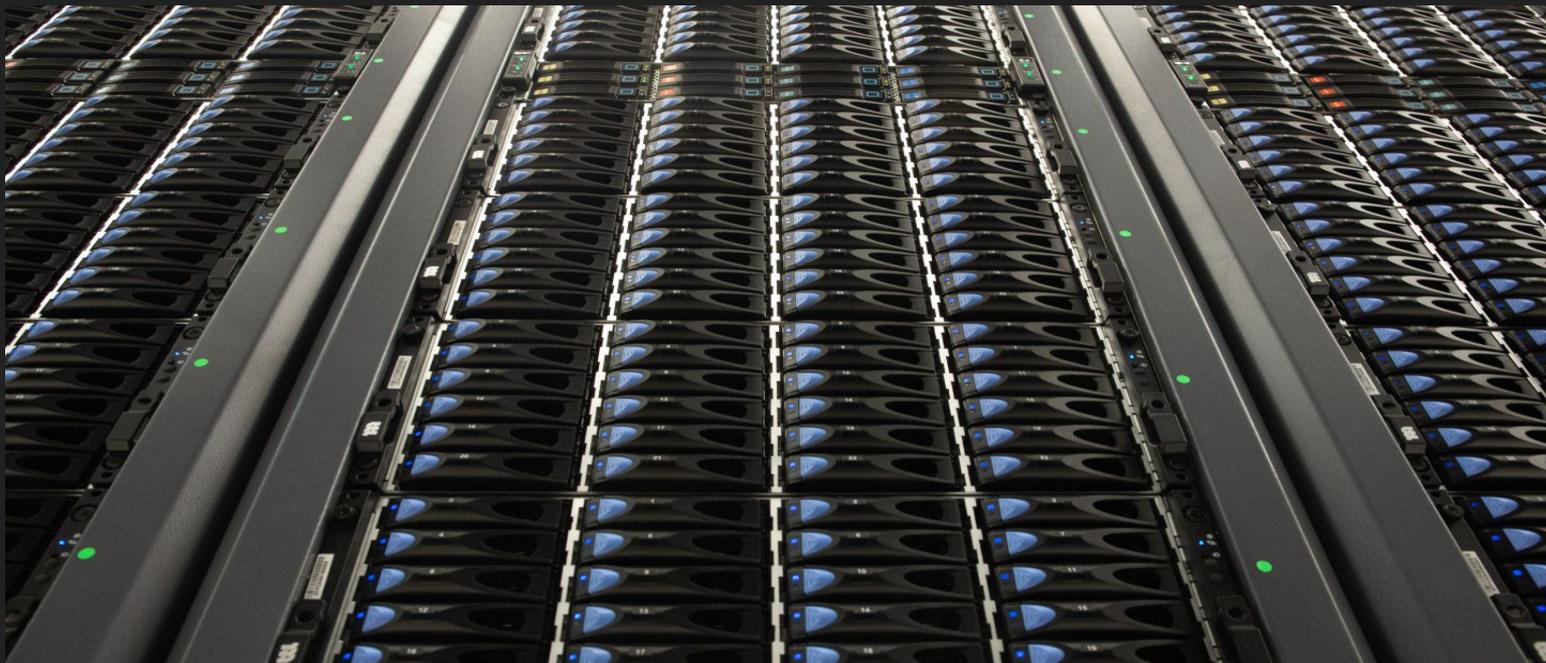
# DATA-CENTER



# SERVER NEGLI ARMADI RACK



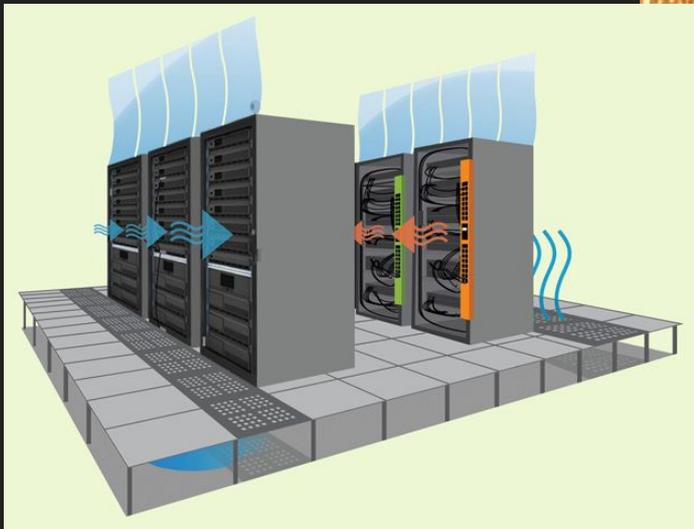
# STORAGE



# NASTRI MAGNETICI



# RAFFREDDAMENTO DEL DATA-CENTER



# ALIMENTAZIONE DEL DATA-CENTER





## QUALCHE NUMERO SUL DATA-CENTER LNGS

- ❑ Circa **2PB** di dati distribuiti tra vari sistemi di storage (i dischi più moderni acquistati ai LNGS hanno una capacità di 16TB)
- ❑ Circa **1000 core** per l'analisi dati, tra server gestiti dal servizio calcolo e server degli esperimenti (i server più nuovi acquistati ai LNGS hanno doppio processore 2.7GHz, 16C/32T e 128 GB RAM)
- ❑ 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

# MA LE RICHIESTE DI POTENZA DI CALCOLO DEGLI ESPERIMENTI ESPLODONO!

- ❑ L'evoluzione delle CPU dei calcolatori, impressionante fino a qualche anno fa, ora segna il passo..
- ❑ Nuove soluzione tecnologiche, idonee a soddisfare le richieste di potenza
- ❑ Big player del mercato dell'hardware (INTEL, NVIDIA, AMD) stanno investendo miliardi di dollari su queste nuove tecnologie!!!

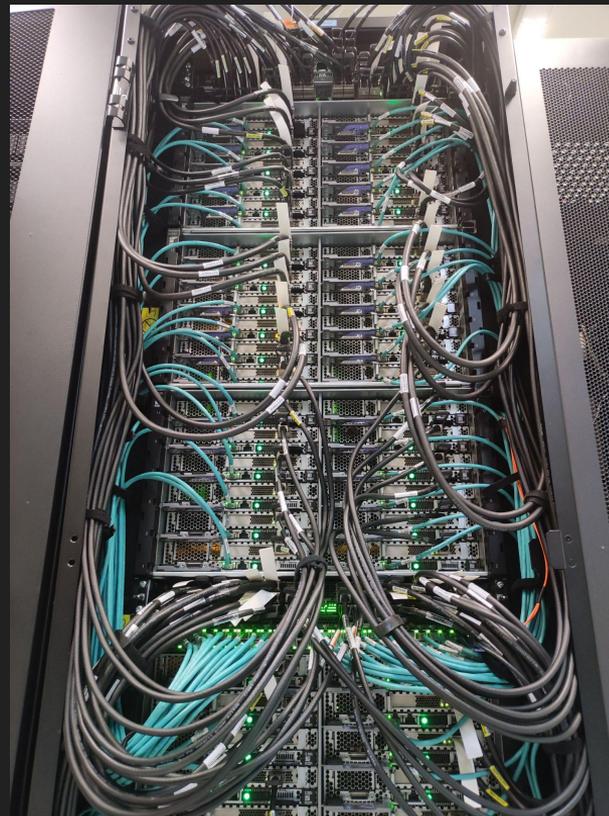
**HPC**  
(calcolo ad alte prestazioni)

**GPU**  
(processore grafico)

**FPGA**  
(Field Programmable Gate Arrays)

## HPC @ LNGS

Nel corso del 2022 i LNGS hanno acquisito dal CINECA, il più importante centro di supercalcolo in Italia, **400 server di calcolo HPC**, interconnessi da una rete ad alta velocità (100Gb/s), per il calcolo parallelo!!!

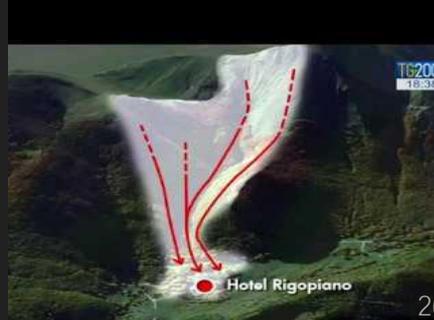


## HPC4DR @ LNGS

La comunità scientifica che utilizzerà l'HPC sarà quella degli esperimenti dei LNGS e anche quella di un consorzio, HPC4DR

Il progetto HPC4DR nasce nel 2020 da Università e centri di ricerca delle regioni Abruzzo, Marche e Molise, duramente colpite dai terremoti e da altri eventi catastrofici

L'idea è quella di realizzare un centro di competenze per la riduzione dei rischi connessi ai disastri dovuti a fenomeni naturali e di origine umana, dotato di un'infrastruttura tecnologica di calcolo ad alte prestazioni



# HPC E AI PER CAPIRE IL RISCHIO

## FAIR e Open BIG DATA

- ❑ IoT per raccolta dati di monitoraggio da sensori
- ❑ Raccolta immagini da satellite, droni, street level
- ❑ Immagini e informazioni da smartphone applications
- ❑ Dati su infrastrutture, edilizia civile,..

## ML, AI e HPC

- ❑ Generare analisi su rischio, vulnerabilita' ed esposizione
- ❑ Simulazioni per produrre possibili scenari
- ❑ Early warning per eventi catastrofici
- ❑ ...



# HPC4DR @ LNGS

L'infrastruttura tecnologica di calcolo ad alte prestazioni ospitata ai LNGS richiede l'adeguamento del CED dei LNGS

- Potenza fino a 400KW
- Acquisizione di GPU e storage fino a 5PB

I lavori per l'adeguamento del CED e l'acquisizione di nuove risorse di calcolo sono inseriti nel PNRR



### Le LINEE GUIDA

Le Linee Guida contengono indicazioni chiave per **4 Misure** della Componente 2 «Dalla ricerca all'impresa» della Missione 4 «Istruzione e ricerca» del PNRR:

INVESTIMENTO	DURATA	RISORSE IN MILIONI DI €	BENEFICIARI
1.3 Partenariati allargati estesi a Università, centri di ricerca, imprese e finanziamento progetti di ricerca di base	2022-2026	1610	Università, enti pubblici di ricerca, imprese
1.4 Potenziamento strutture di ricerca e creazione di «campioni nazionali di R&S» su alcune KET	2022-2026	1600	Università, enti pubblici di ricerca, imprese
1.5 Creazione e rafforzamento di «ecosistemi dell'innovazione», costruzione di «leader territoriali di R&S»	2022-2026	1300	Università, enti pubblici di ricerca, imprese
3.1 Fondo per la costruzione di un sistema integrato di infrastrutture di ricerca e di innovazione	2022-2026	1580	Università, enti pubblici di ricerca, imprese

INTEGROINFORMATICA

Ministero dell'Università e della Ricerca

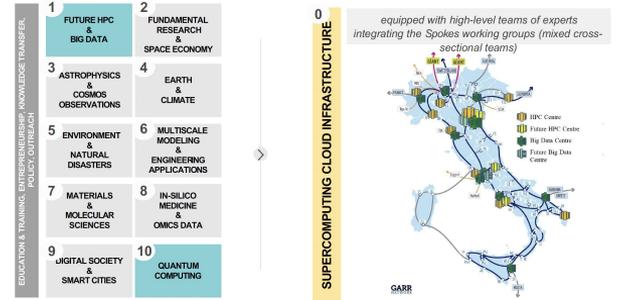
# HPC4DR @ LNGS

I LNGS sono stati inclusi nel Centro Nazionale HPC, Big Data e Quantum Computing finanziato dal PNRR

Oltre alle risorse finanziarie per il datacenter e per i calcolatori, il PNRR ha creato opportunità di lavoro per giovani diplomati e laureati!



The ICSC will include ten thematic Spokes and one *Infrastructure* spoke



## PCTO E BORSE DI STUDIO @ LNGS

Il Servizio Calcolo e Reti dei LNGS ospita studenti delle scuole superiori della Regione Abruzzo per percorsi PCTO: l'ultimo, il 12 settembre 2022.

Borse di studio per diplomati e laureati sono emesse regolarmente dai LNGS per la formazione di giovani!



# LA FISICA È SEMPRE AL PASSO CON LE NUOVE TECNOLOGIE

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

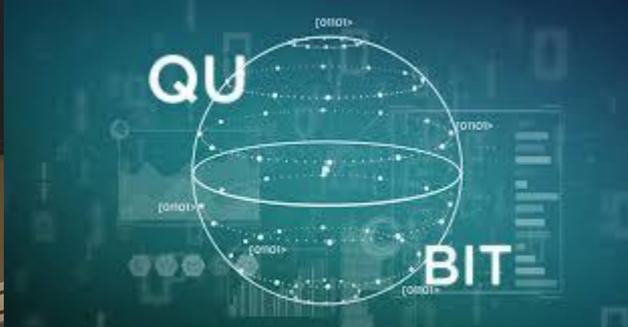


## FUTURO PROSSIMO: AI

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



# FUTURO NON COSÌ 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 senza di essi non ci sarebbero risultati e scoperte scientifiche!**



**GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE**

[miriam.olmi@lngs.infn.it](mailto:miriam.olmi@lngs.infn.it)

# SPARE



## “RIPASSO”

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