



Incontri sulla Fisica delle Alte Energie
XIV - IFAE Parma 2002
3-5 Aprile 2002

ATLAS & CMS



Dai progetti alla realtà
(gioie e dolori)

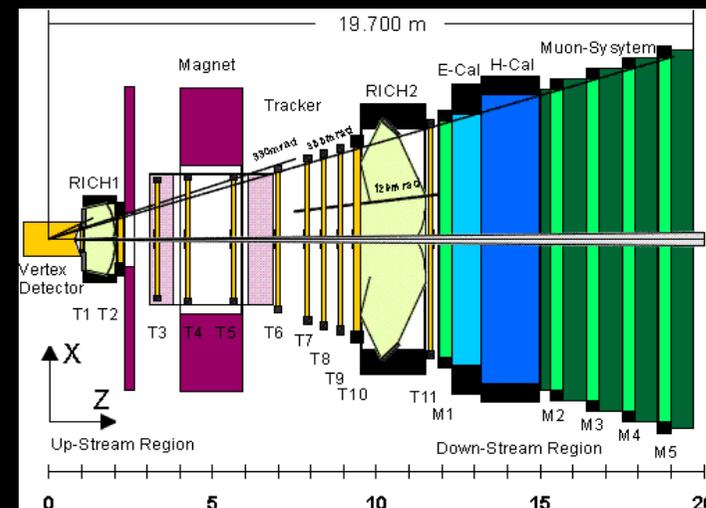
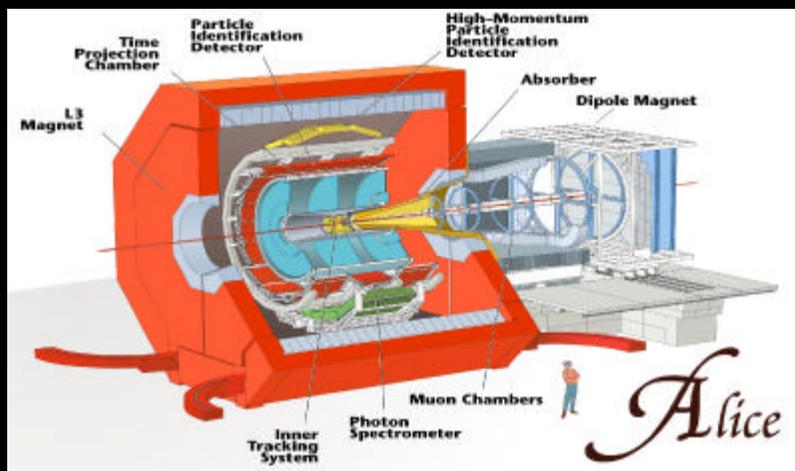


S. Patricelli
Università "Federico II" e INFN - Napoli

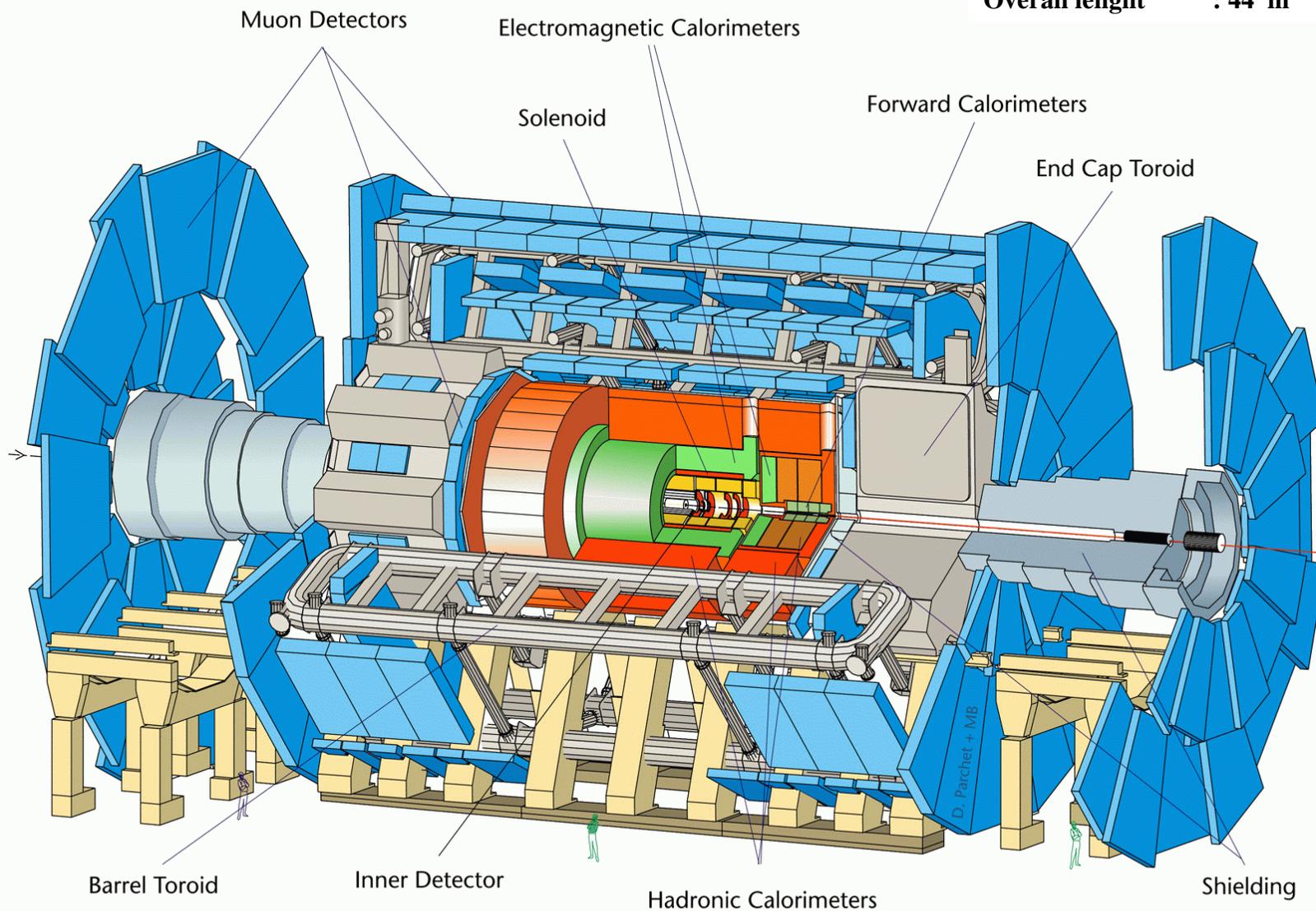


Premessa

- Il programma sperimentale al Large Hadron Collider sarà completato da altri esperimenti di grande interesse scientifico e complessità costruttiva come **ALICE**, **LHCb** e **TOTEM**.
- Per motivi di omogeneità e di tempo questi esperimenti non sono oggetto di questa presentazione.
- Sono certo che in una delle prossime edizioni di IFAE verrà loro riservato lo spazio che meritano per il loro interesse.



Overall diameter : 24 m
Overall length : 44 m



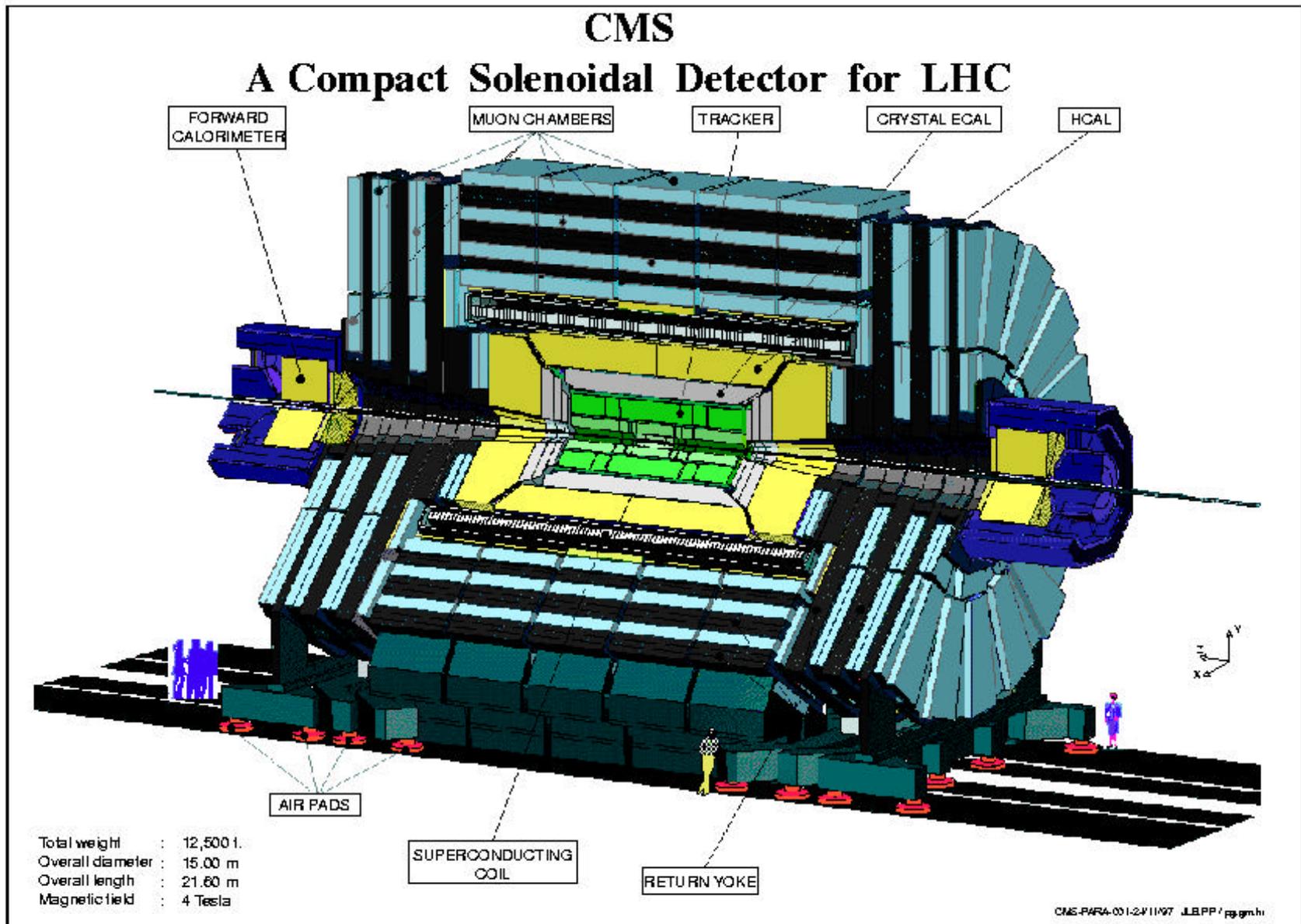


Fig. 1.1.1(color): View of the CMS detector:

Sommario

- Considerazioni generali
- Gli obiettivi di Fisica (del primo run)
- ATLAS e CMS
 - Magneti
 - Tracciatori
 - Calorimetria
 - Rivelazione e trigger di μ
 - Trigger e DAQ
- Computing
- Conclusioni

Un po' di storia (per i più giovani)

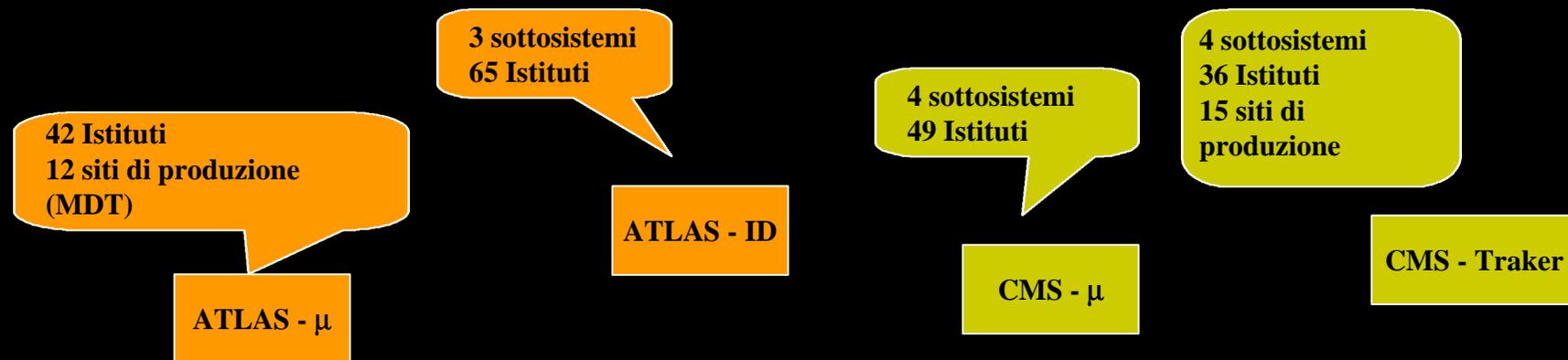
- 1992 Lettere di Intenzione di ATLAS & CMS
- 1994 Approvazione del progetto LHC
- 1994 Proposte Tecniche di ATLAS & CMS
- 1996 Approvazione di ATLAS & CMS
- 1996 - 2002 TDR dei sottosistemi di ATLAS & CMS
- 1998 - 1999 Fine dell' R&D ed inizio della costruzione dei principali componenti
- 2001 - 2002 I progetti cominciano a diventare realtà
- Marzo 02 LHC ritarda ancora!

Una sfida sociologica

- Ad ognuna delle collaborazioni partecipano:
 - ◆ > 30 Nazioni
 - ◆ > 150 Gruppi di Istituzioni o Università
 - ◆ >1800 Fisici
- La collaborazione non sempre è facile, a volte dispersiva, i *background* culturali ed economici diversi, ma si impara molto.

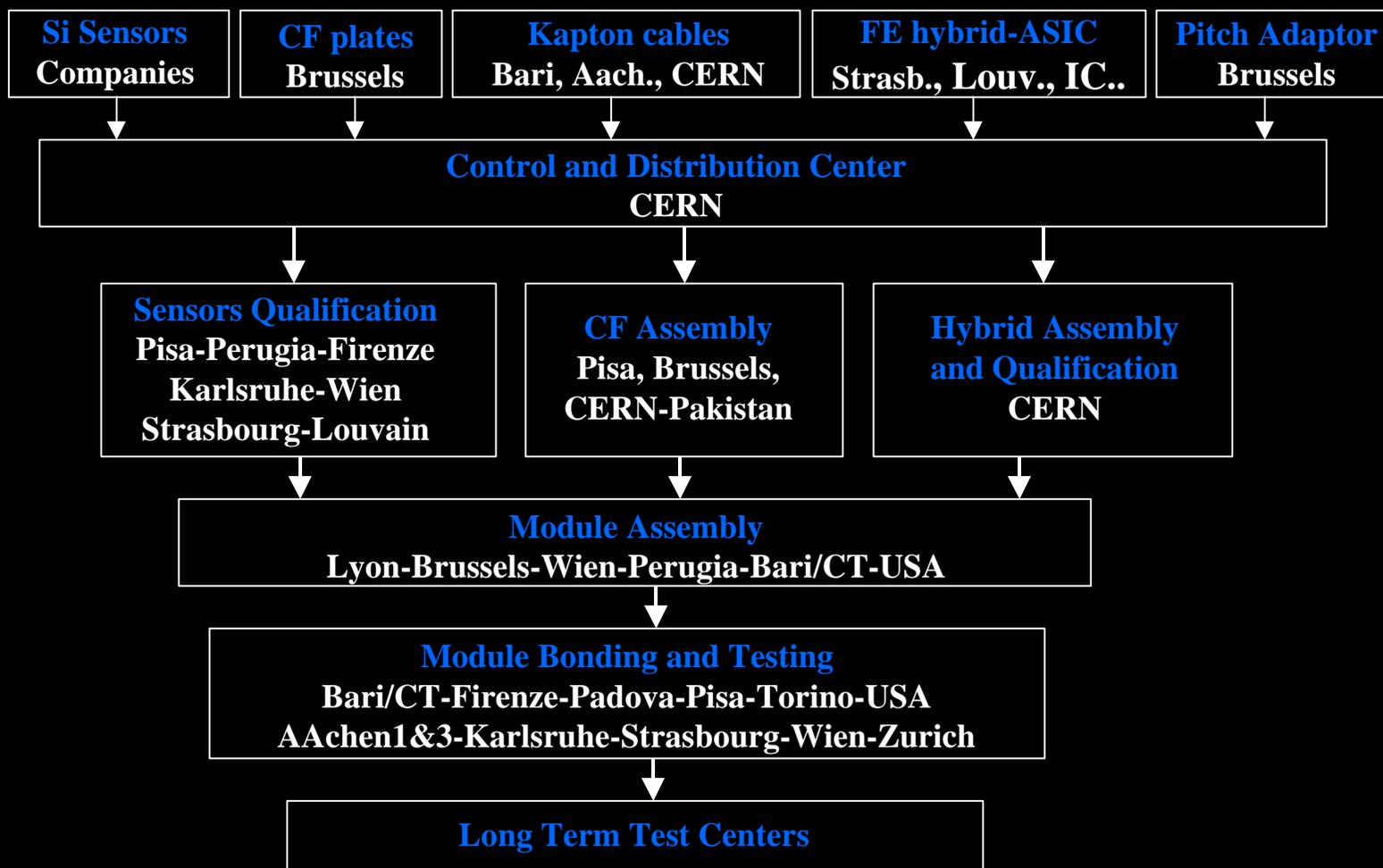
.... organizzativa

- Di norma, nelle collaborazioni LEP, la realizzazione dei sottorivelatori era affidata a pochi gruppi di ricerca geograficamente omogenei.
- La complessità ed i costi dei sottorivelatori degli esperimenti ad LHC hanno reso ciò impossibile.



.... organizzativa

CMS Silicon tracker production network



.... industriale

- Le industrie partecipano alla produzione della maggior parte dei componenti dei rivelatori. Il loro coinvolgimento in questo campo non è mai stato così intenso.
- Anche gli istituti si sono organizzati come piccole imprese....



CMS - DT (Legnaro)

ATLAS - MDT (Frascati)

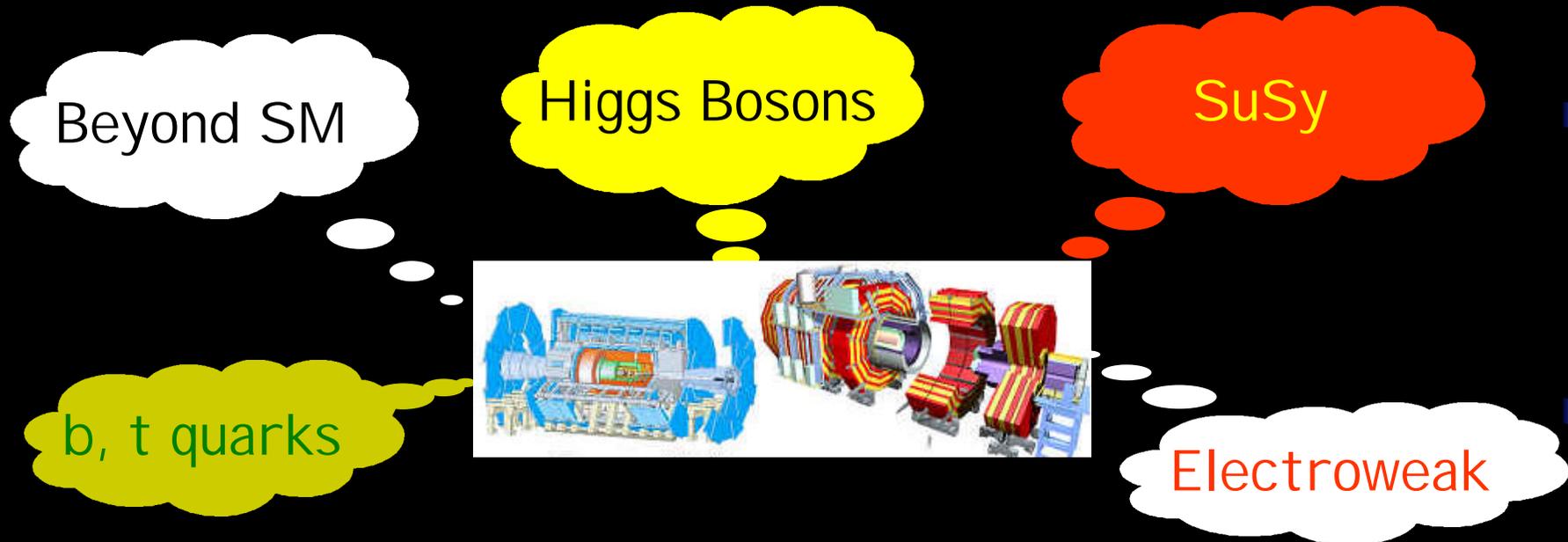


CMS - Tracker (Pisa)

.... ed economica

- L'approvazione di ATLAS e CMS è stata data con un vincolo superiore al loro costo CORE (475 MCHF nel 1995) e senza alcuna contingenza prevista.
- Oggi è necessario reperire i fondi per coprire gli inevitabili aumenti di costo dovuti al miglioramento dei detectors, inflazione, variazioni dei cambi.

Gli obiettivi di fisica



- **Presentazioni a XIV IFAE**
 - Fisica elettrodebole 4
 - Nuova Fisica 2
 - Progetti Futuri e Nuove tecnologie 2

Gli obiettivi di fisica (10 fb^{-1})

Pilot run Aprile 2007 (Commissioning)

$\sim 10^5 Z \rightarrow \ell\ell, W \rightarrow \ell\nu, tt$ events

Primo run di fisica Luglio 2007

$L = 2 \cdot 10^{33} \rightarrow 10 \text{ fb}^{-1}$

SM Higgs

Due regioni:

-- $m_H \leq 130 \text{ GeV}$: principalmente $H \rightarrow \gamma\gamma, ttH \rightarrow ttbb$

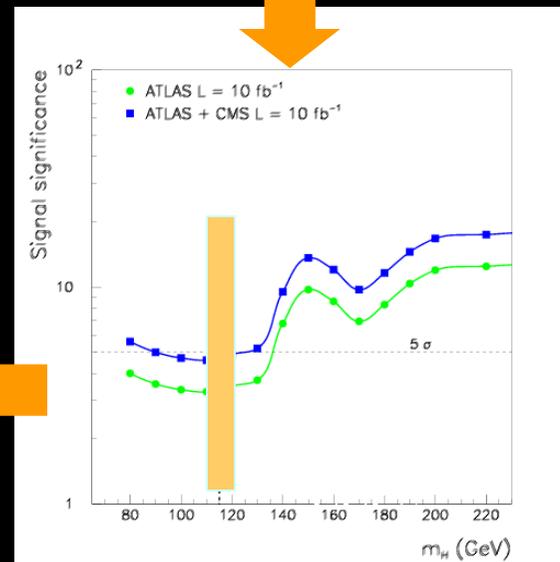
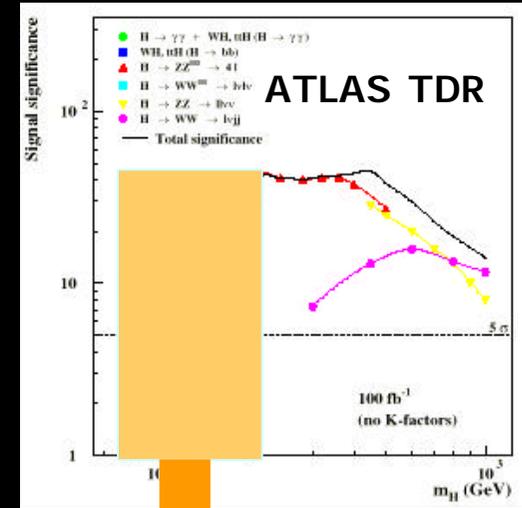
ATLAS e CMS insieme misurano un segnale a $\sim 5\sigma$

-- $m_H > 130 \text{ GeV}$: principalmente $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$

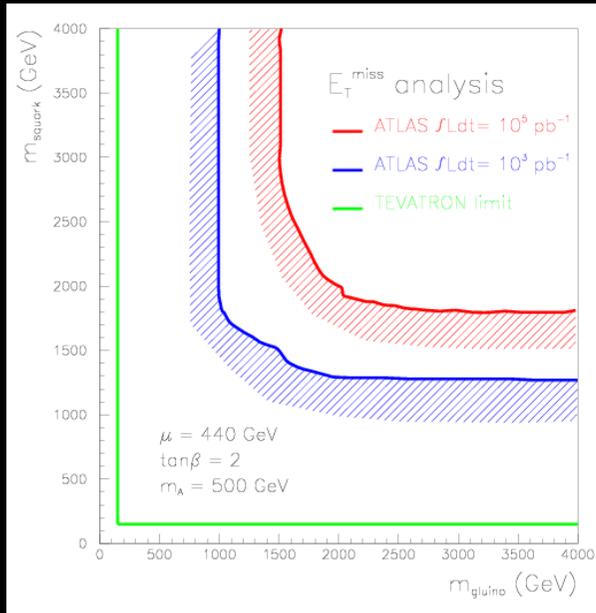
I singoli esperimenti misurano un segnale $> 5\sigma$

ATLAS $10 \text{ fb}^{-1} m_H = 115 \text{ GeV}$

	$H \rightarrow \gamma\gamma$	$ttH \rightarrow ttbb$	Both
S	150	15	
B	3900	45	
S/B	0.04	0.33	
S/\sqrt{B}	2.4	2.2	3.2
ATLAS + CMS			4.7



Gli obiettivi di fisica (10 fb^{-1})



SuSy

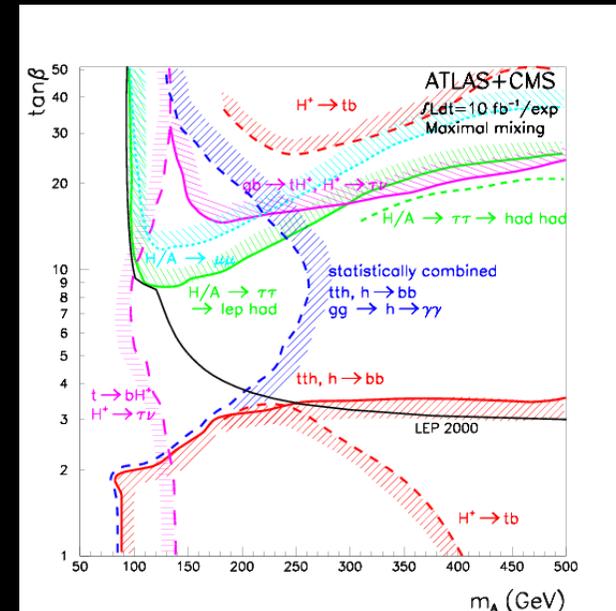
Sezioni d'urto elevate:

$$\sigma(\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q}\tilde{g}, \tilde{g}\tilde{g}) \approx 1 \text{ pb} \quad m_{\tilde{q}, \tilde{g}} \approx 1 \text{ TeV}$$

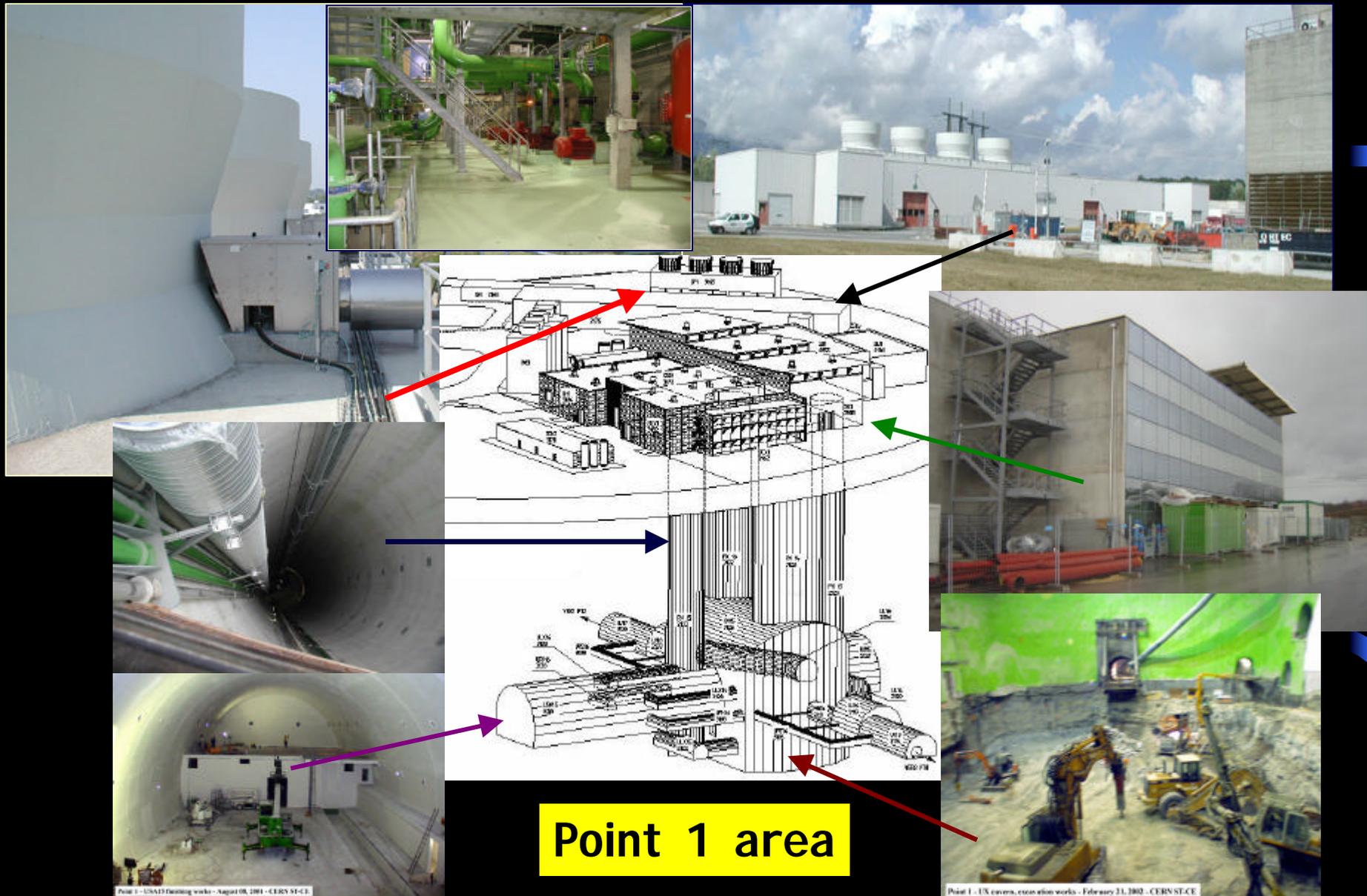
- Produzione attesa ~ 100 eventi/giorno a 10^{33}
- Il segnale potrebbe essere visto in 10 giorni (1 fb^{-1}) fino a $m \sim 1.3 \text{ TeV}$ usando jet (s) + E_T^{miss}

MSSM Higgs

Già con primo run di fisica ATLAS e CMS insieme hanno una buona sensibilità per la scoperta di un Higgs MSSM nella regione non esclusa da LEP.



L'ingegneria civile (ATLAS)



Point 1 - USA13 finishing works - August 08, 2001 - CERST-CE

Point 1 - US cavern, excavation works - February 11, 2002 - CERST-CE

3 aprile 2002

S. Patricelli - XIV IFAE Parma 2002

15

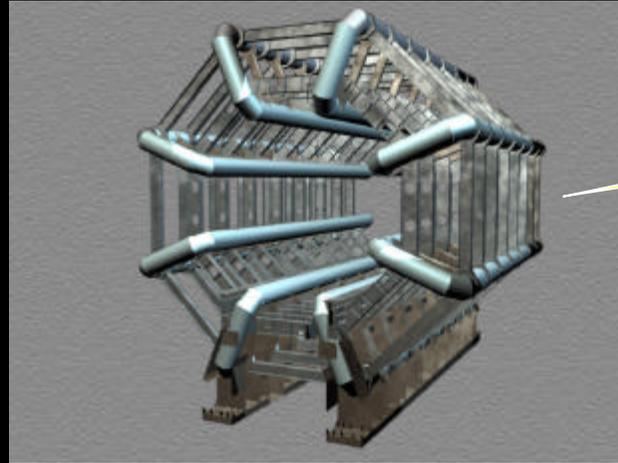
Rivelatori utilizzati

	ATLAS	CMS
Magnets(s)	Air-core toroids + solenoid in inner cavity Calorimeters outside field 4 magnets	Solenoid Calorimeters inside field 1 magnet
Inner Detector	Si layers (pixels and strips) TRD → particle identification B = 2 T $\sigma/p_T \sim 5 \times 10^{-4} p_T(\text{GeV}) \oplus 0.01$	Si layers (pixels and strips) No particle identification B = 4 T $\sigma/p_T \sim 1.5 \times 10^{-4} p_T(\text{GeV}) \oplus 0.005$
EM calorimeter	Lead-liquid argon $\sigma/E \sim 10\%/\sqrt{E(\text{GeV})}$ Longitudinal segmentation	PbWO ₄ crystals $\sigma/E \sim 2 - 5\%/\sqrt{E(\text{GeV})}$ No longitudinal segmentation
HAD calorimeter	Fe-scintillator + Cu-liquid argon > 10 λ $\sigma/E \sim 50\%/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 0.03$	Cu-scintillator > 5.8 λ + tail catcher $\sigma/E \sim 65\%/\sqrt{E(\text{GeV})} \oplus 0.05$
Muon spectrometer	Air $\sigma/p_T \sim 7\%$ at 1 TeV achieved by spectrometer alone	Fe $\sigma/p_T \sim 5\%$ at 1 TeV achieved by combining with inner det.

Il magnete toroidale di ATLAS

Energia immagazzinata
 $B + EC \sim 1.5 \text{ GJ}$
 $B_{\text{max}} 4 \text{ Tesla}$

Una delle 16 bobine
(25 x 5 m)



Il progetto

Prototipo B0 (9 x 5 m)
provato a 24 kA



Il solenoide centrale di ATLAS

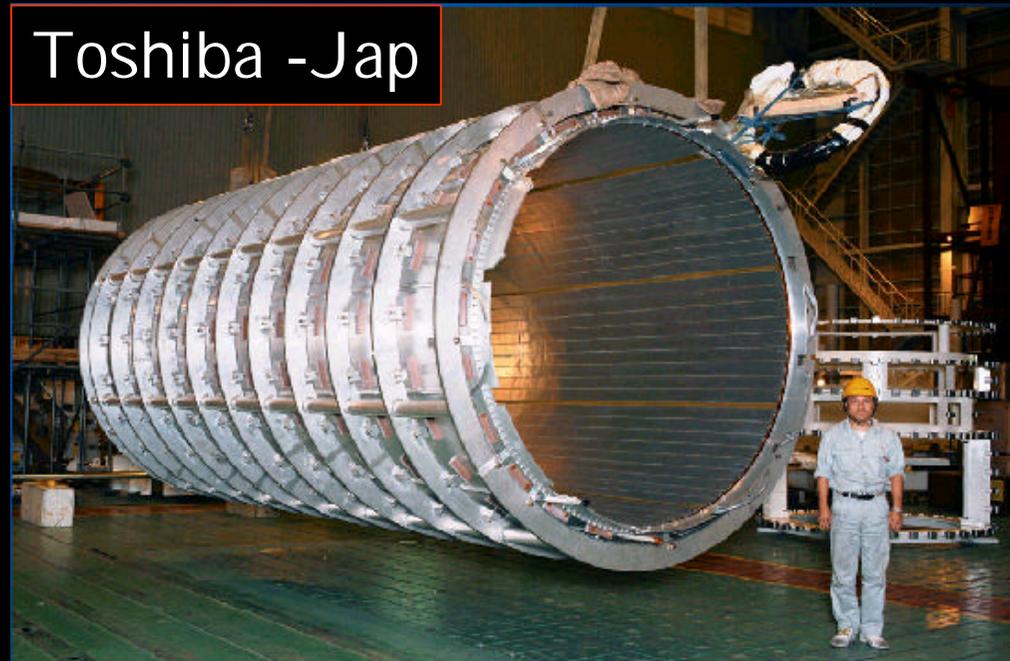


Integrato con il criostato
barrel del calorimetro e.m.
per minimizzare i materiali.

B_{centr}	2 T
Lunghezza	5 m
Diametro	2.44 m
Corrente	7.6 kA
Energia	38 MJ

Già al CERN

Toshiba - Jap



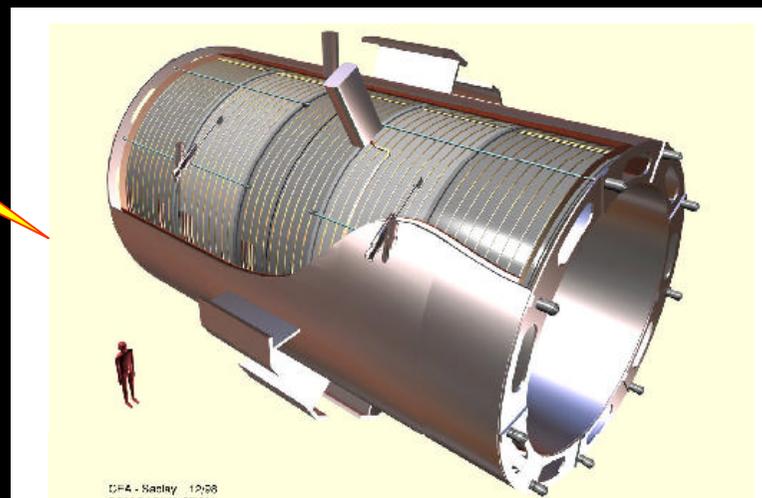
Il solenoide di CMS



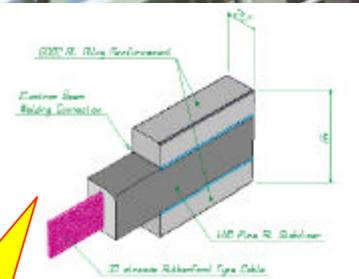
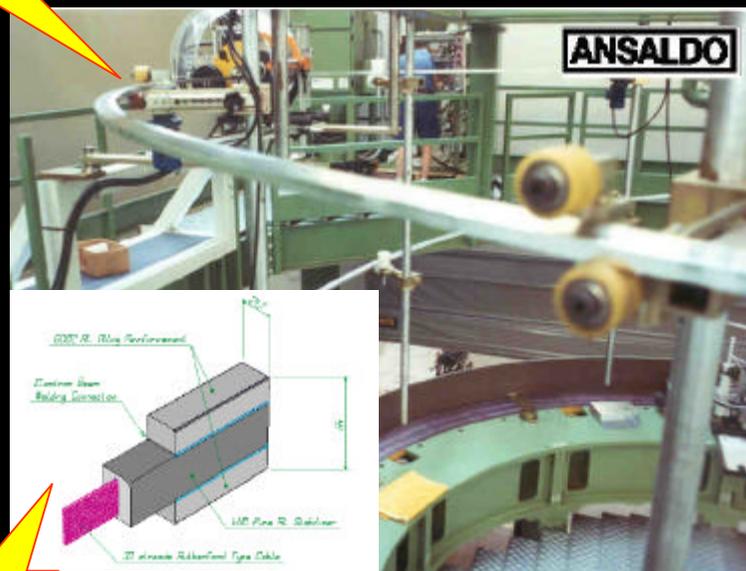
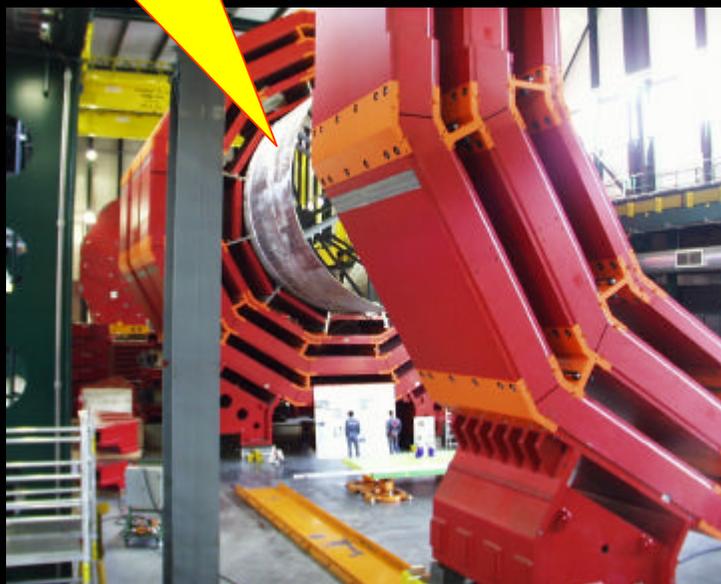
Il ferro di ritorno

I progetti

Avvolgimento di una delle 5 bobine

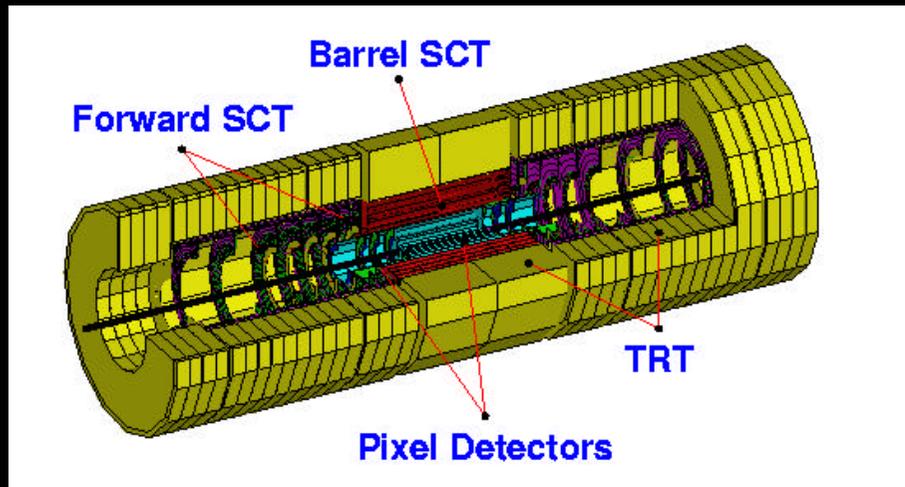


DFA - Saclay 1998
D013.04.0113.01004

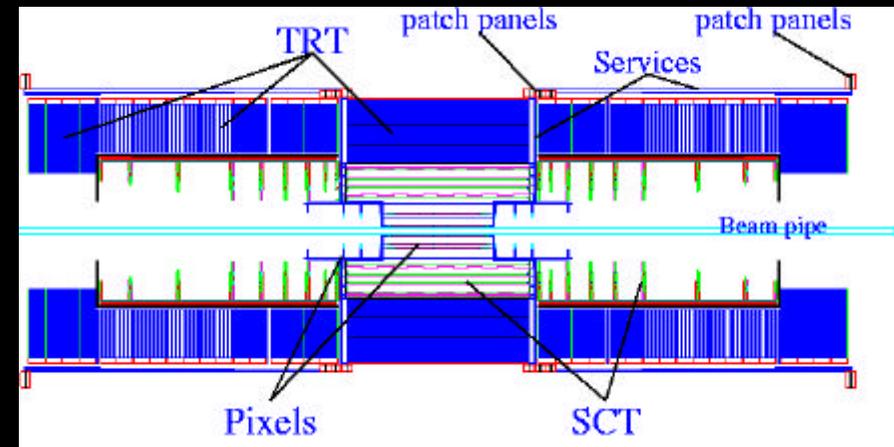


Il cavo

Il sistema di tracciamento di ATLAS



Diametro 2.3 m
 Lunghezza 7 m
 Copertura $|\eta| < 2.5$

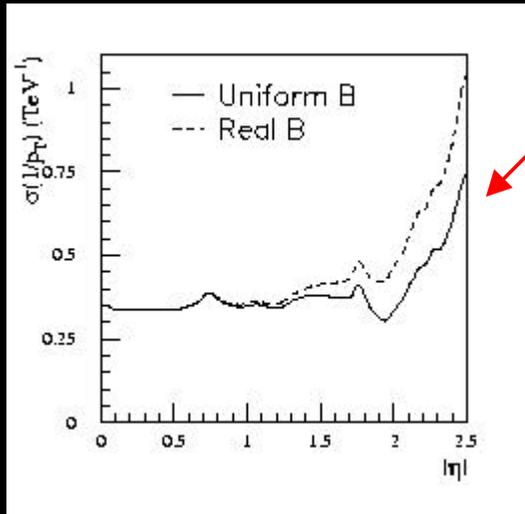


B (2 T) del SC scende a 0.5 T all'estremità dell'I D

- Pixel: 3 piani nella regione barrel
5 dischi nelle due regioni end-cap
- SCT: 4 piani nella regione barrel
9 dischi nelle due regioni end-cap
- TRT: Tubi straw (4 mm diam.)
radiatore (poli/propilene-etilene)
36 misure per traccia (in media)

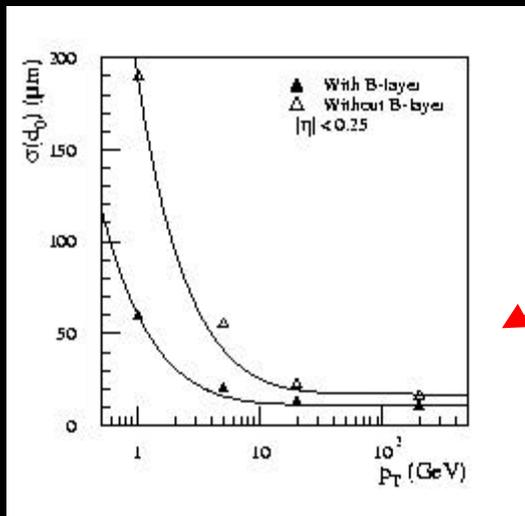
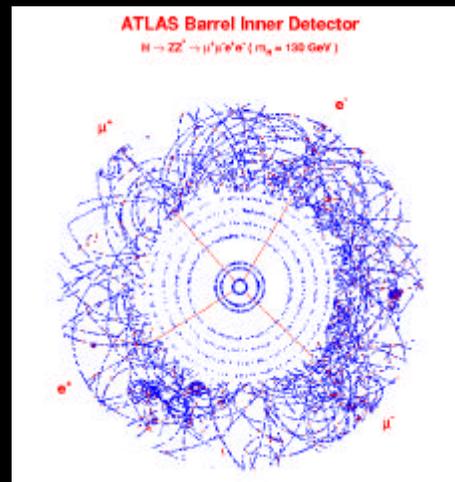
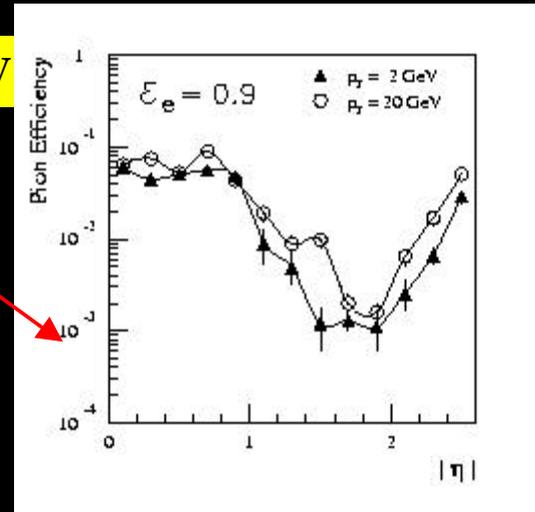
$R\phi = 12 \mu\text{m}$ $z = 70 \mu\text{m}$
 $R\phi = 16 \mu\text{m}$ $z = 580 \mu\text{m}$ (stereo)
 $\sigma = 170 \mu\text{m}$

Il sistema di tracciamento di ATLAS



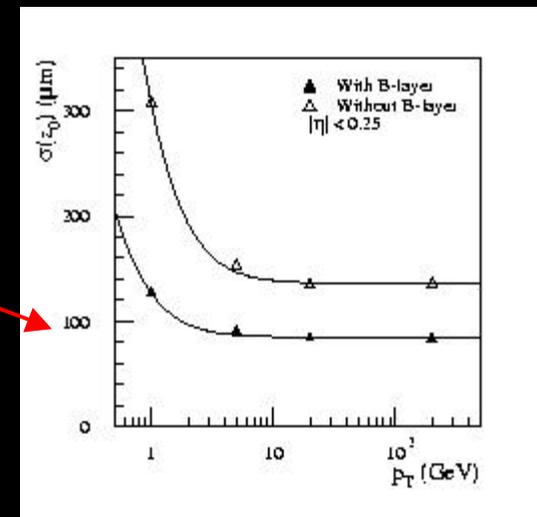
Risoluzione in impulso a $p_T = 500 \text{ GeV}$

Efficienza per pioni ad efficienza fissata (90 %) per elettroni

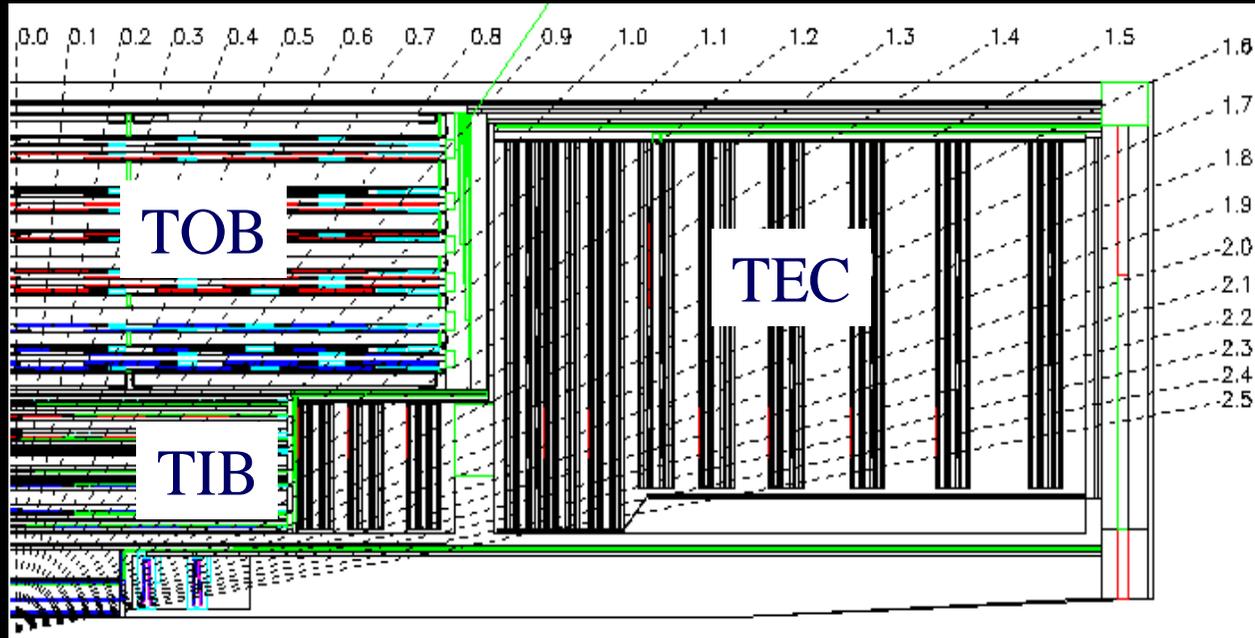


Parametro d'impatto a $\eta = 0$

Ricostruzione del vertice primario
 $\sigma_x \sim 30 \mu\text{m}$ $\sigma_y \sim 30 \mu\text{m}$ $\sigma_z \sim 45 \mu\text{m}$



Il sistema di tracciamento di CMS



All Silicon Tracker

Diametro 2.4 m
 Lunghezza 5.6 m
 Copertura $|\eta| < 2.5$

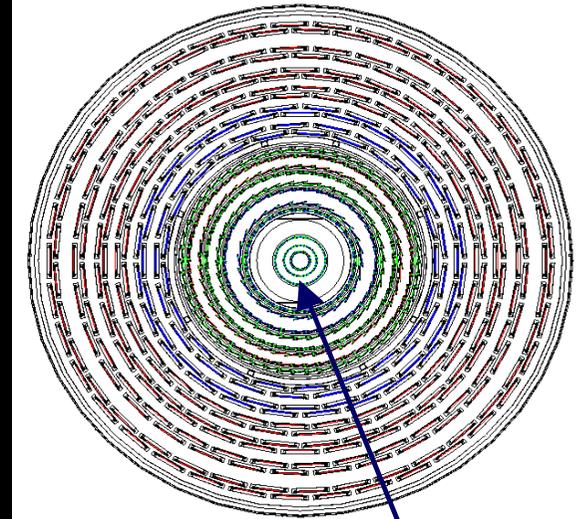
Inner Barrel: 4 piani + 3 dischi

Outer Barrel: 6 piani

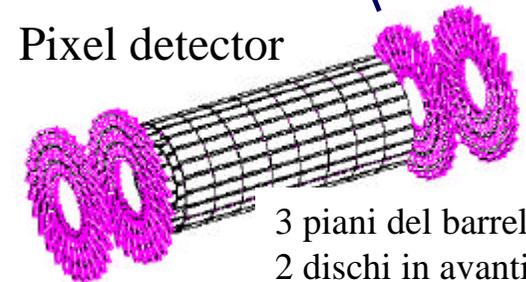
5 con doppia lettura

End Cap: 9 dischi

15.592 moduli



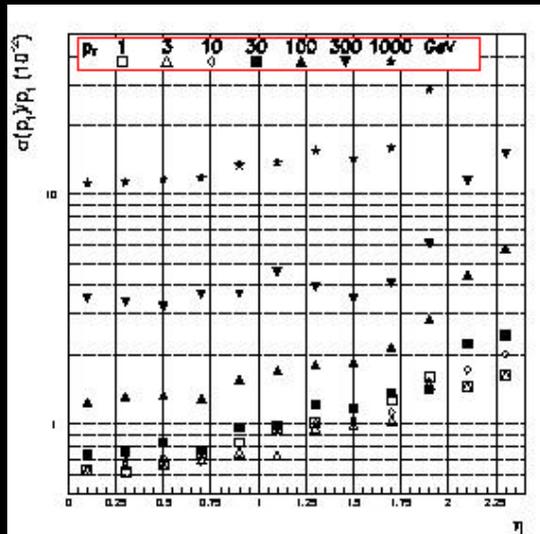
Pixel detector



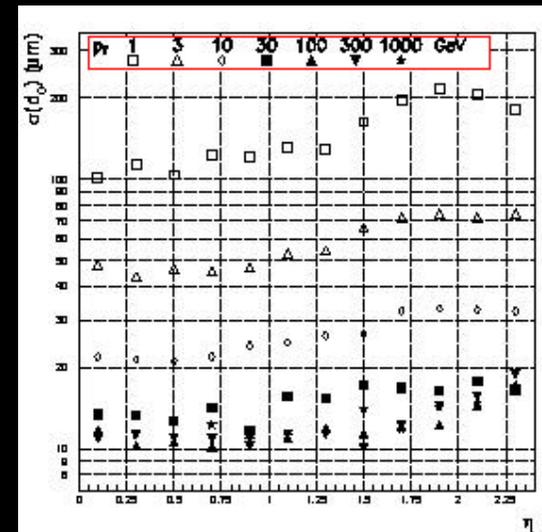
3 piani del barrel
2 dischi in avanti

Il sistema di tracciamento di CMS

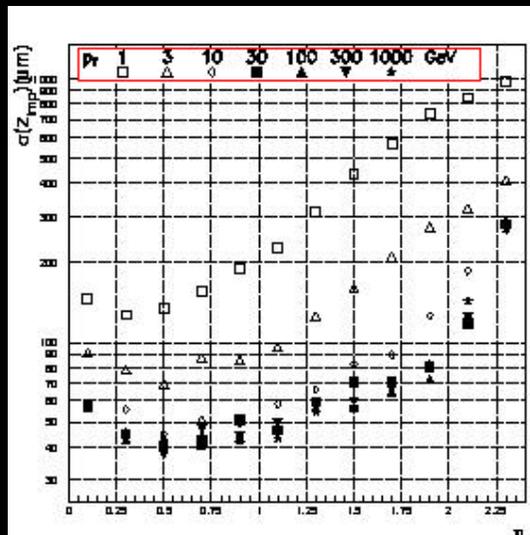
Risoluzione nella misura di impulso trasverso



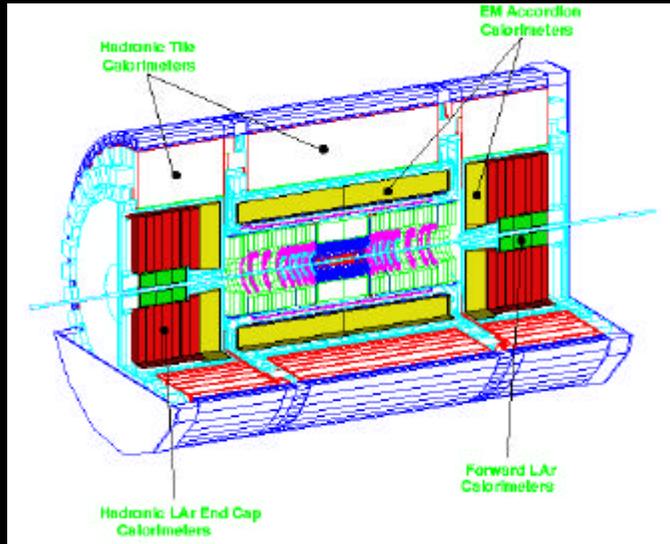
Risoluzione nella misura del parametro d'impatto



Risoluzione nella misura di Z



Calorimetria ATLAS

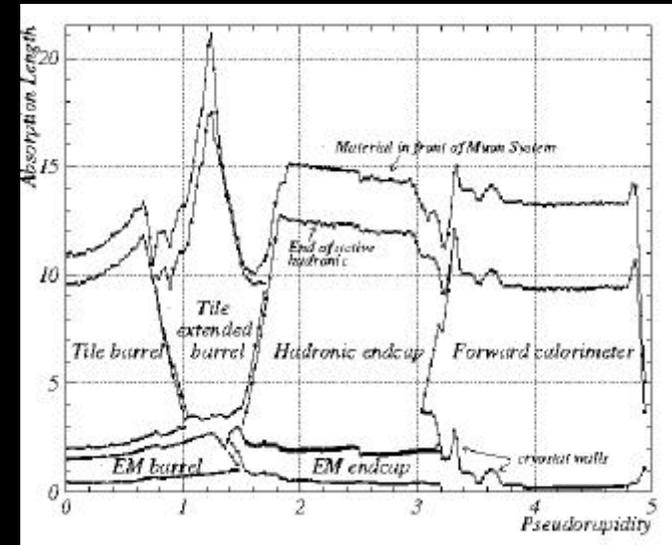
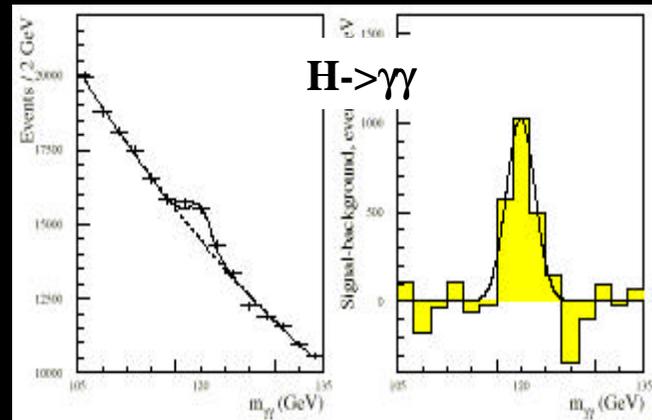
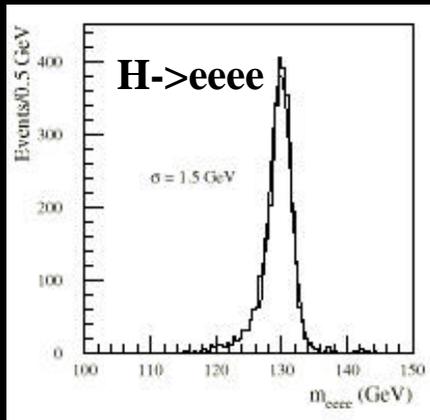


Diametro esterno 4.25 m
 Lunghezza 13.3 m
 Copertura $|\eta| < 4.9$

Calorimetri a campionamento

LAr } e.m. barrel & end cap
 presampler barrel & end cap
 hadronic end cap
 forward
Tile } hadronic barrel

e.m: $\sigma(E)/E$ Sampling 10% / \sqrt{E}
 Costante < 0.7%



Calorimetro e.m. ATLAS

Uno dei 16 moduli barrel



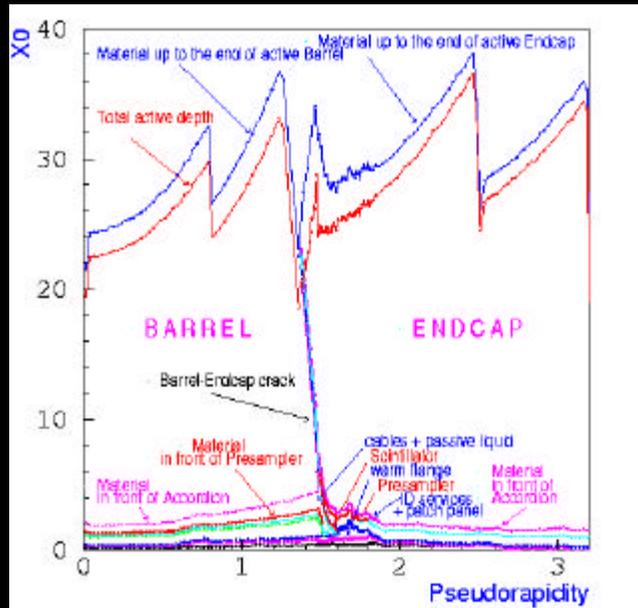
Geometria elettrodi e assorbitore (Pb) a fisarmonica con perfetta simmetria in ϕ .
 Gap di LAr = 2.1 mm nel barrel; variabile nell'end cap (0.9 - 3.1 mm)

Uno degli 8+8 moduli end cap



$$|\eta| < 3.2$$

Barrel $> 24 X_0$
 End cap $> 26 X_0$



Uso di un presampler nelle regioni in cui c'è più di $1.8 X_0$ davanti al calorimetro per correggere le perdite di energia di e e γ

Calorimetro adronico ATLAS

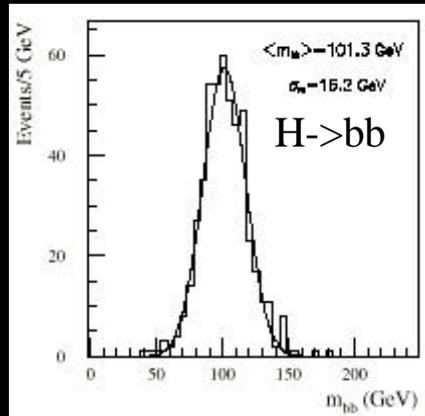
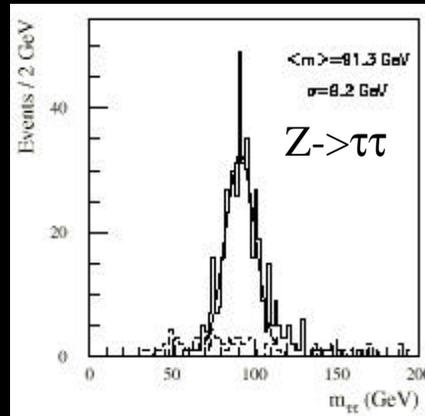
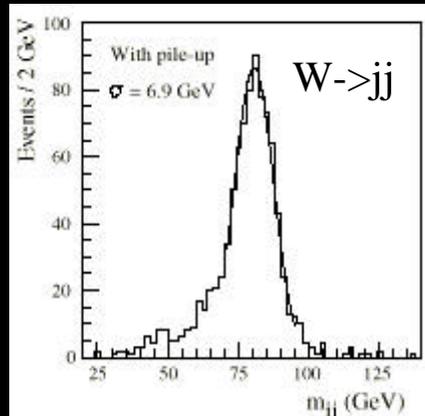
Hadronic barrel: $|\eta| < 1.7$
 Hadronic end cap: $1.5 < |\eta| < 3.2$
 Forward: $3.1 < |\eta| < 4.9$

Fe e scintillatore letto con fibre WLS e PMT
 Cu e LAr (gap di 1.8 mm)
 Cu /W e LAr (gap di 250 μm)

Alcuni dei 64 moduli dell'Hadronic Barrel al CERN

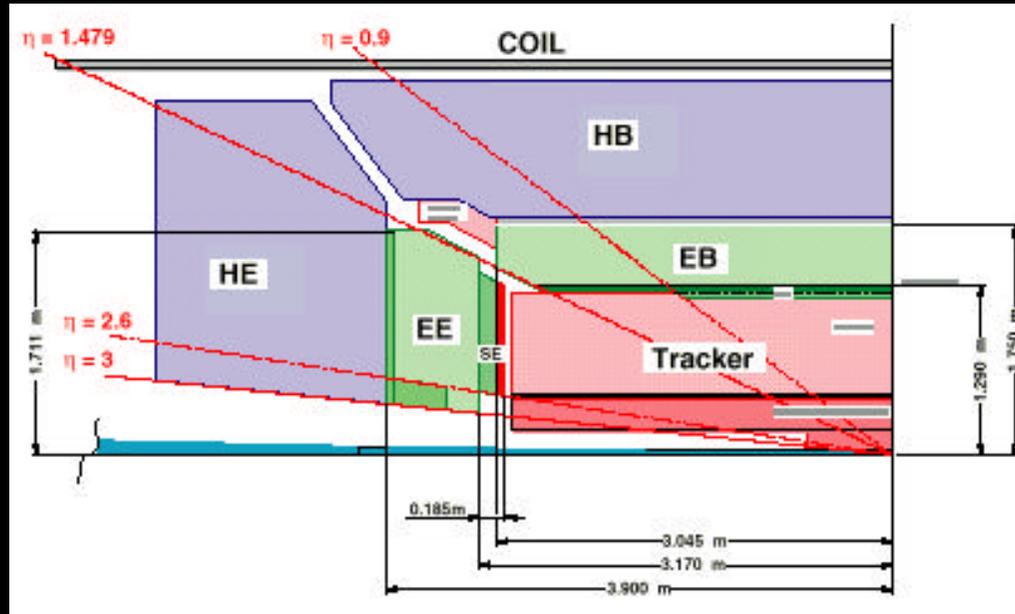


Lavorazione di uno dei dischi forward



Granularità $\Delta\zeta \times \Delta\phi$
 $|\eta| < 2.5:$ **0.1 x 0.1**
 $|\eta| > 2.5:$ **0.2 x 0.2**

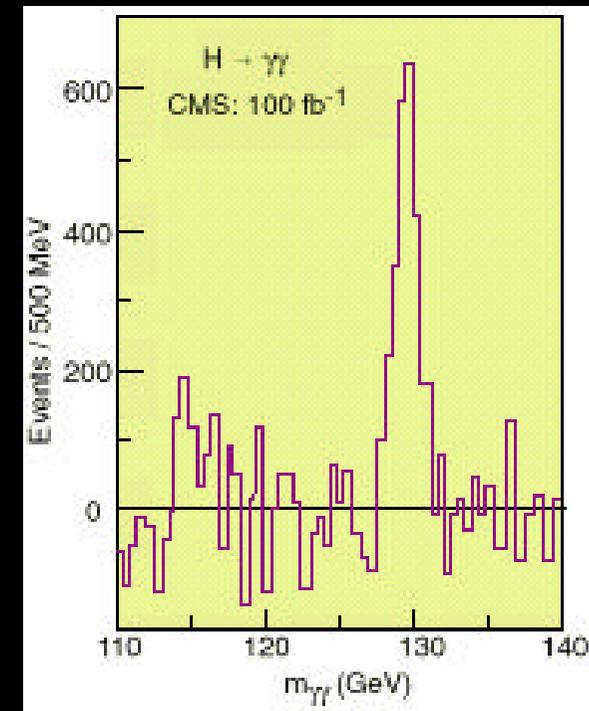
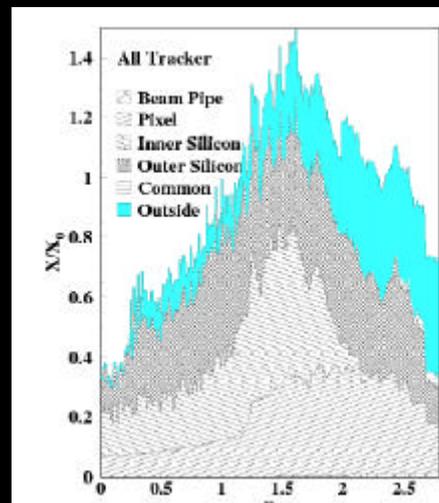
Calorimetria CMS



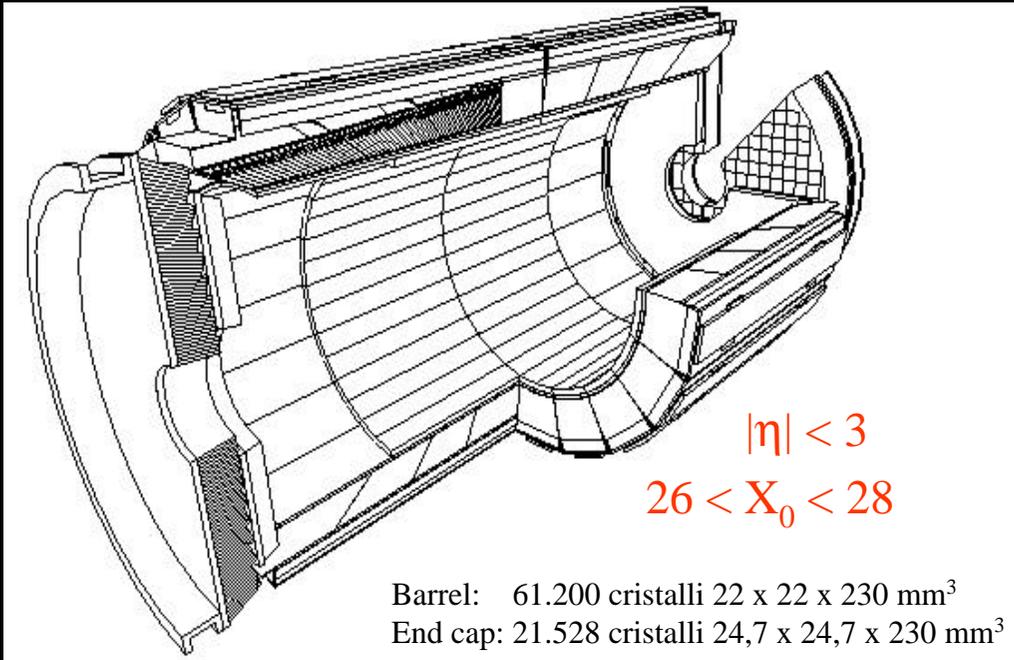
Diametro esterno 4.25 m
 Lunghezza 13.3 m
 Copertura $|\eta| < 4.9$

Calorimetro e.m. omogeneo
 Adronico a campionamento

Sistema molto compatto
 ($26 X_0 + 6 \lambda + \text{tail catcher}$)
 caratterizzato da una quantità di
 materiale contenuta ($< 1.1 X_0$)
 posta davanti al calorimetro
 e.m.

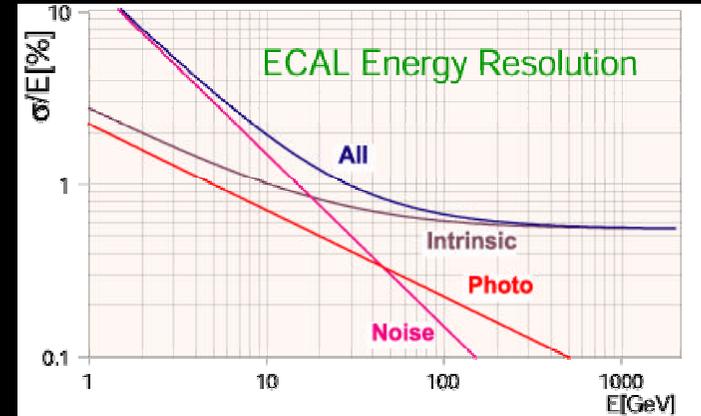


Calorimetro e.m. CMS



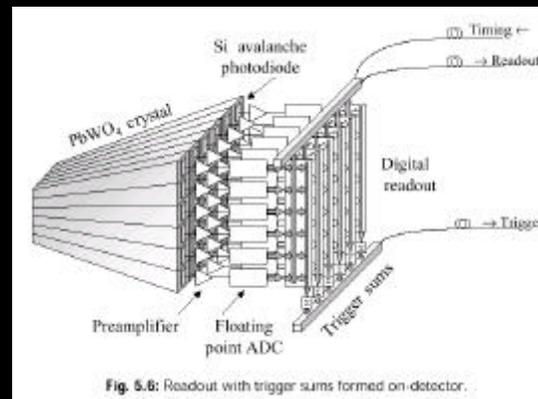
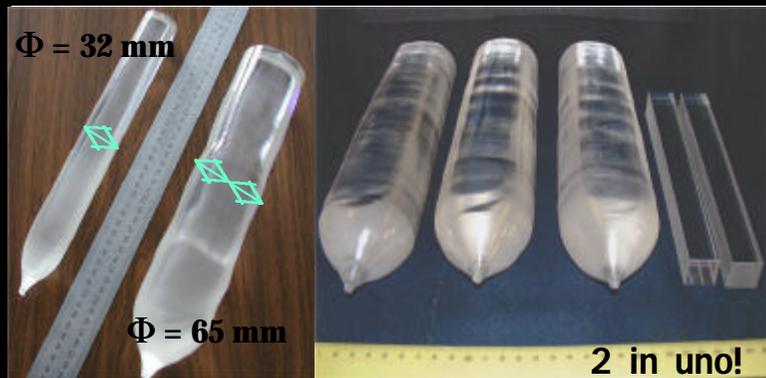
PbWO₄
 ρ 8,28 gr/cm³
 $X_0 = 0,89$ cm
 $\tau \sim 10$ ns

Raccolta luce:
APD barrel
VPT end cap



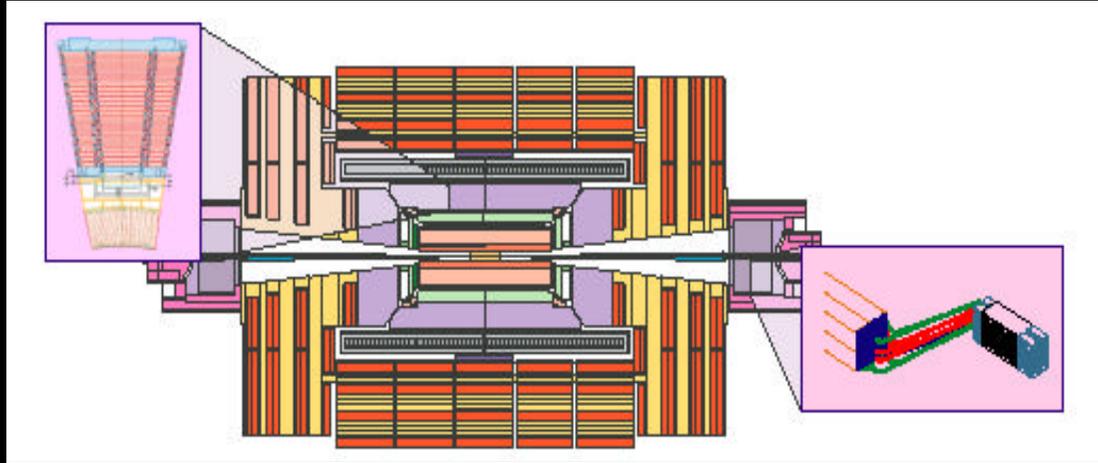
Una sfida vinta

.... ed una da vincere:



Raffreddamento
 $\Delta T < 0.1$ °C !!

Calorimetro adronico CMS



Regione Centrale ($|\eta| < 3$):

Rame/scintillatore, lettura con WLS,
granularità $\Delta\zeta \times \Delta\phi = 0.087 \times 0.087$

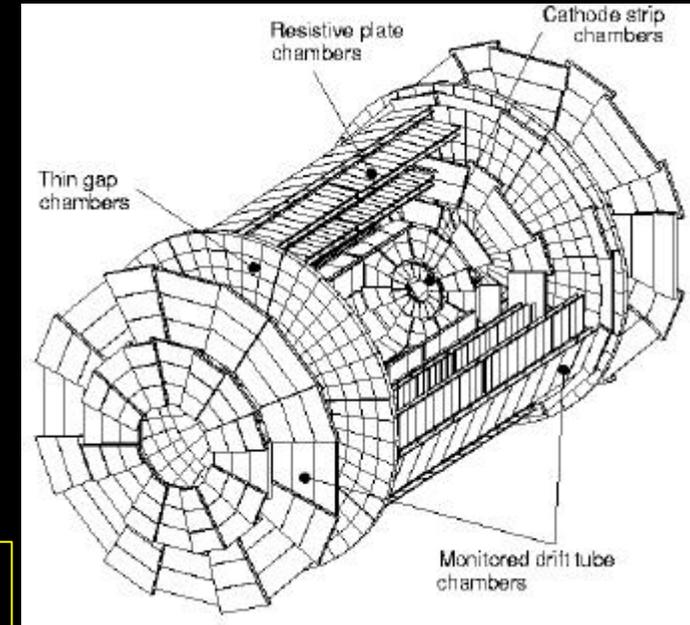
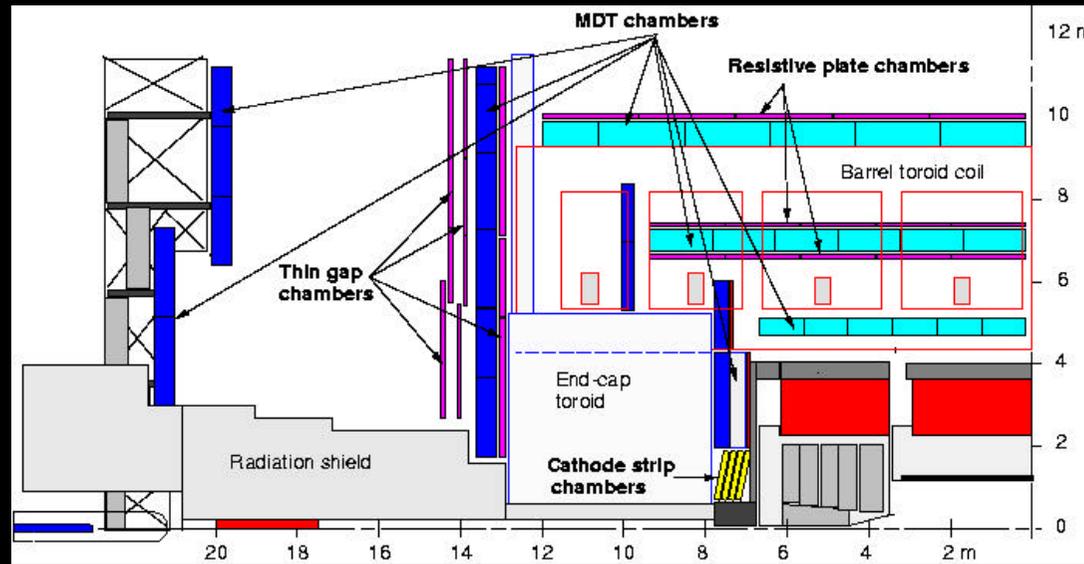
Regione in avanti ($3 < |\eta| < 5$):

Ferro/Fibre di quarzo ($300 \mu\text{m}$), luce Cerenkov
granularità $\Delta\zeta \times \Delta\phi = 0.0175 \times 0.0175$

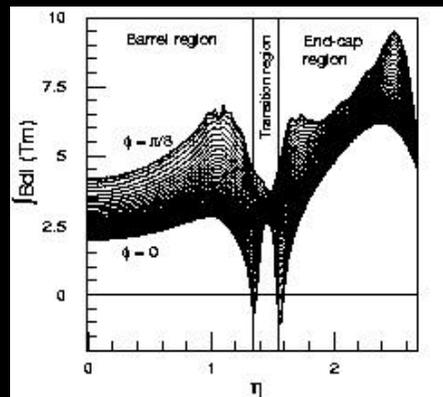


Una metà del barrel al CERN

Misura e trigger di m ATLAS



Deflessione magnetica prodotta da un campo toroidale in aria.
Minimizzazione della diffusione multipla.



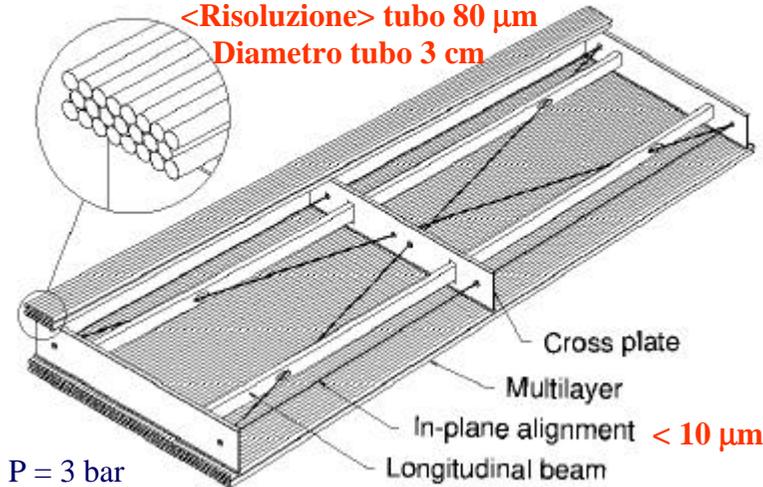
Misura dell'impulso del μ con camere di precisione in 3 stazioni nel piano di deflessione R-z

I rivelatori di trigger forniscono l'identificazione del bunch crossing.

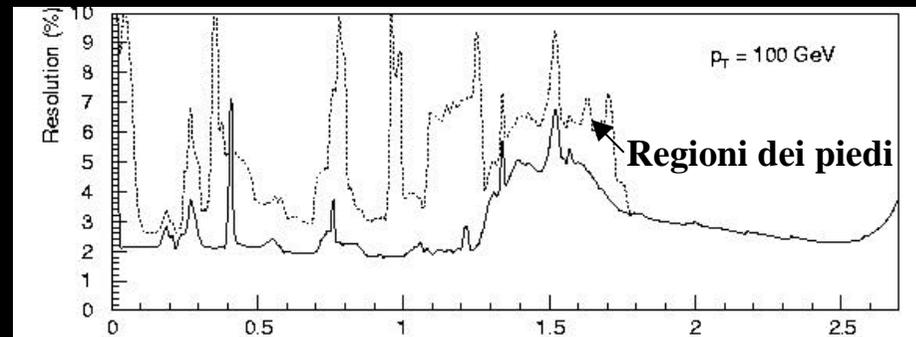
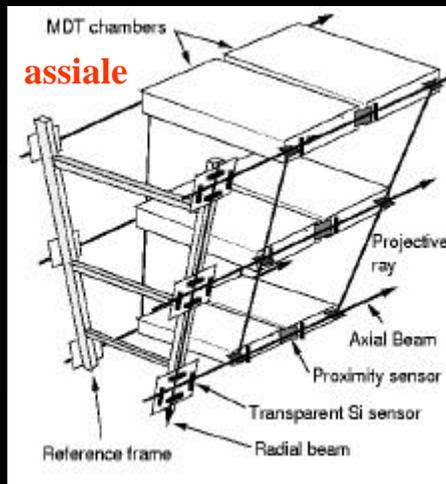
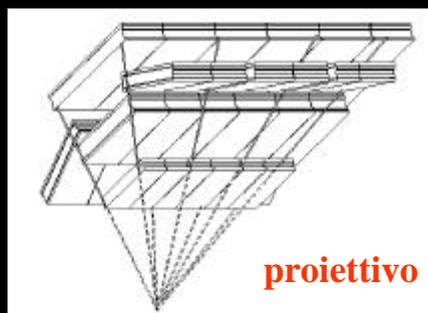
Camere di tracciamento per m ATLAS

Monitored Drift Tubes

<Risoluzione> tubo $80 \mu\text{m}$
 Diametro tubo 3 cm

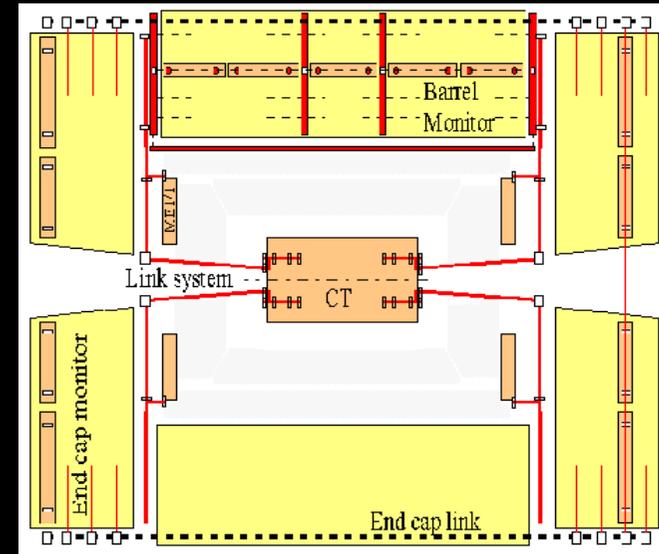
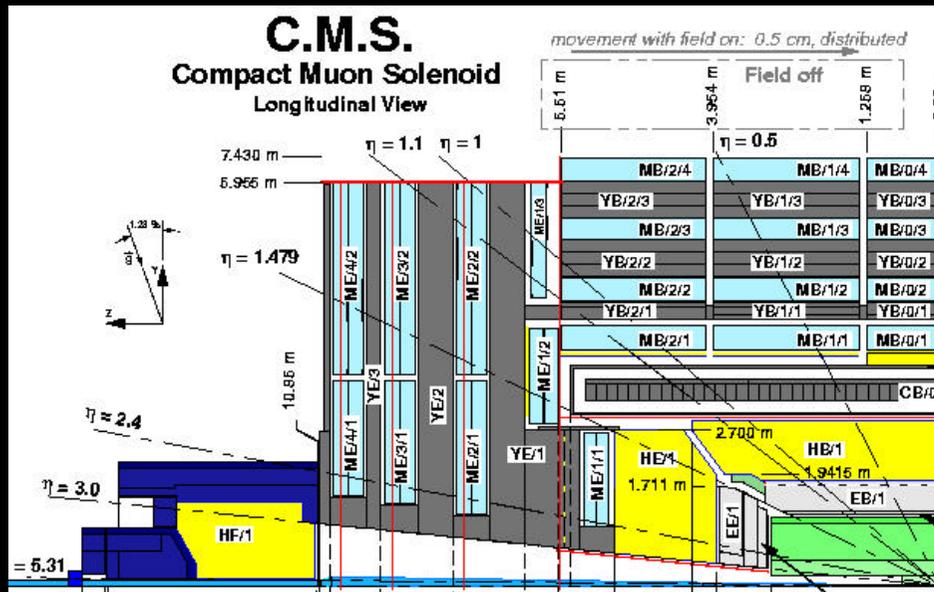


CSC per $2 < |m| < 2.7$



Allineamento relativo delle camere a livello di $30 \mu\text{m}$.
 Il sistema di allineamento basato su RASNIK
 permette di correggere per spostamenti delle camere
 fino ad 1 cm .

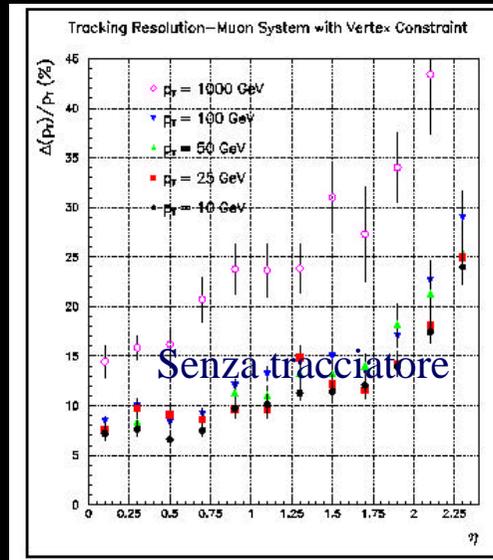
Misura e trigger di m CMS



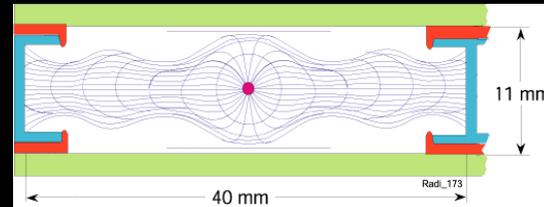
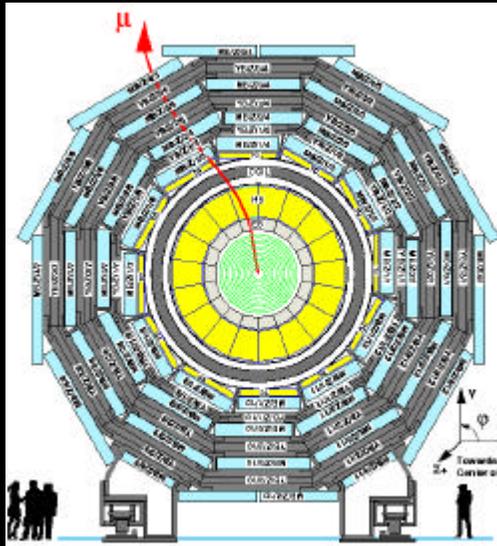
Deflessione magnetica prodotta dal campo solenoidale e nel ferro di ritorno del solenoide.

Misura dell'impulso del μ con camere di precisione in 4 stazioni nel piano di deflessione R- ϕ

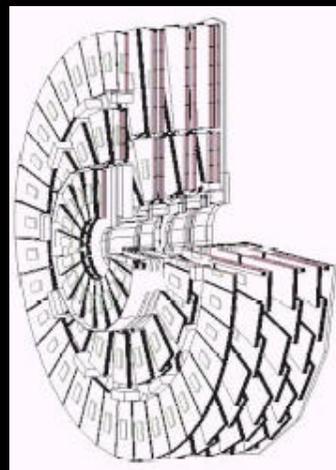
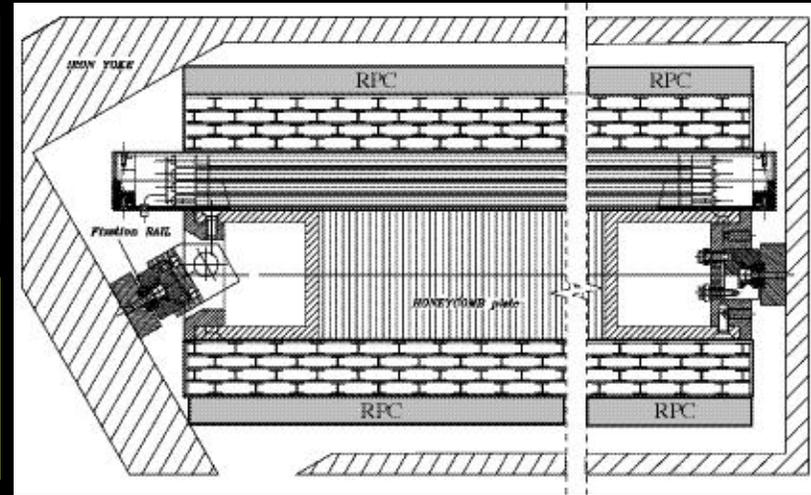
Sistema di allineamento laser ed ottico dei μ collegato al sistema al tracciatore



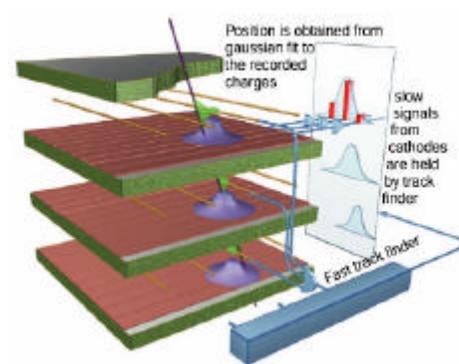
Camere di tracciamento per m CMS



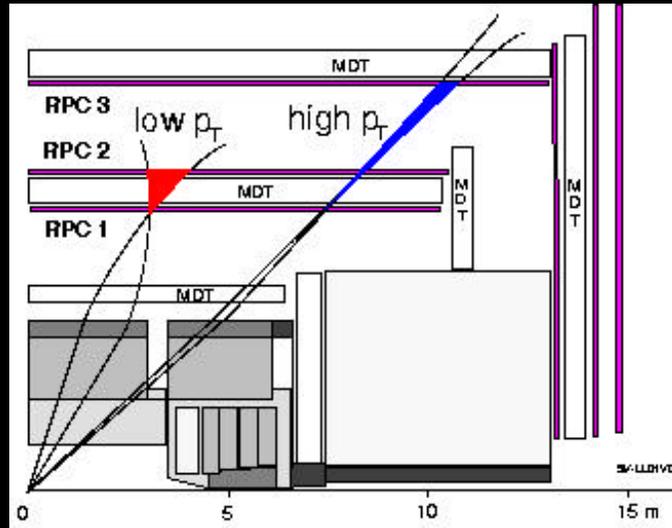
Risoluzione < 200 μm
 Super Layers (4 layers di celle)
Drift Tubes chambers: 2 o 3 SL
 Risoluzione ~ 100 μm



Cathode Strip Chambers



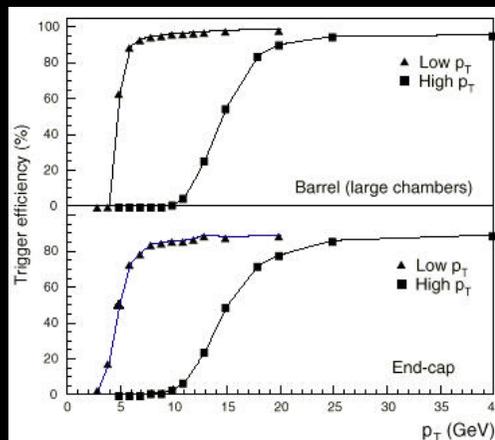
Rivelatori di trigger per m ATLAS



Barrel: Resistive Plate Chambers
End cap: Thin Gap Chambers

Funzioni: LVL1 trigger, misura della “seconda” coordinata del μ , identificazione del BX.

Trigger di primo livello: basso p_T e alto p_T con soglie programmabili variando la larghezza delle finestre di coincidenza in entrambe le coordinate



Soglie a 6 e 20 GeV

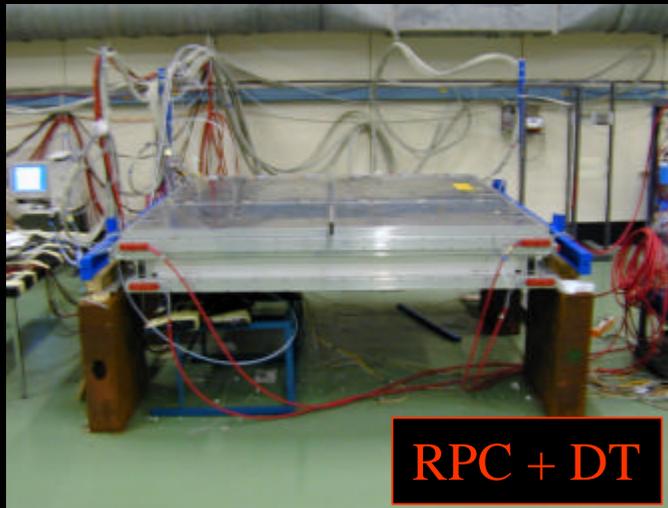
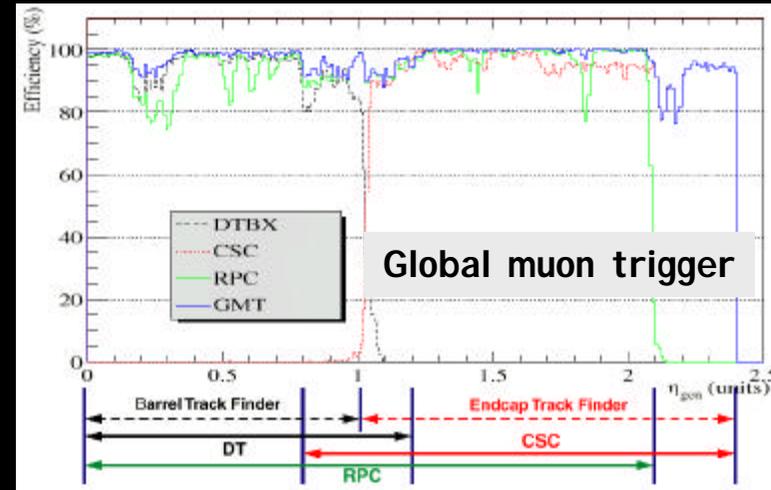
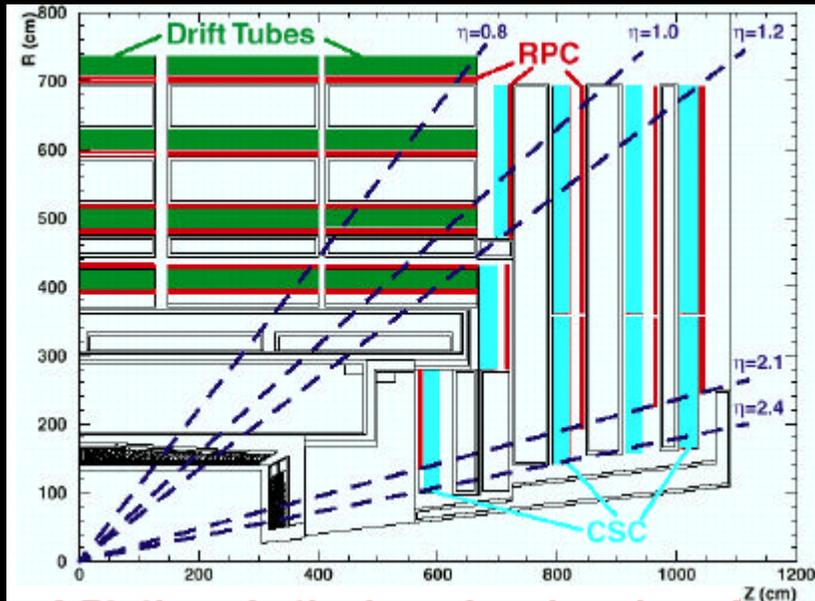
segmentazione ~ 3 cm in η e ϕ

due misure η e due ϕ per ciascuna delle 3 stazioni

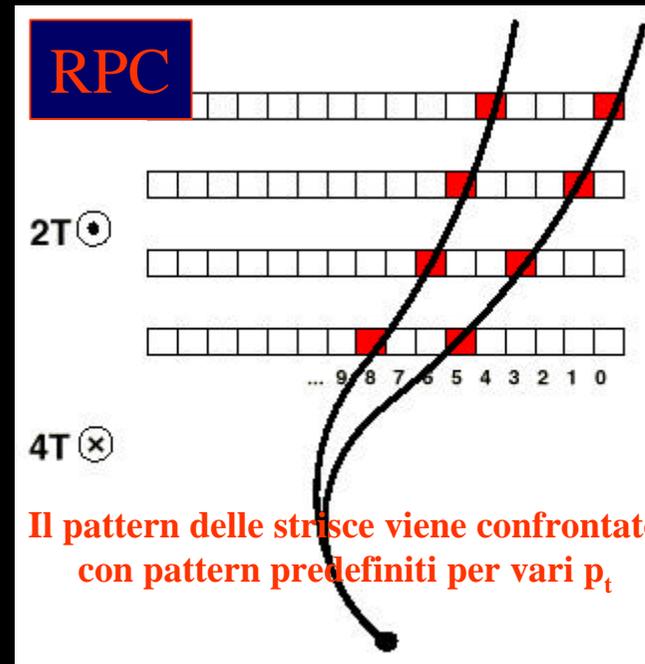
risoluzione temporale ~ 1 ns



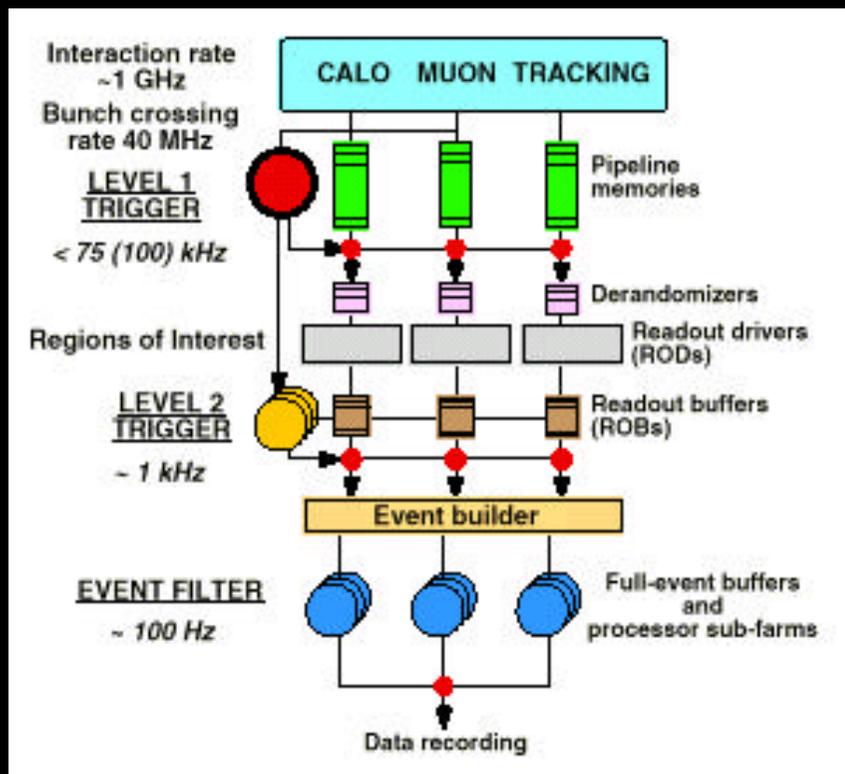
Rivelatori di trigger per m CMS



RPC + DT



Trigger & Data Acquisition ATLAS



Level 1: 2 μ s latenza
Basato su calorimetria e μ

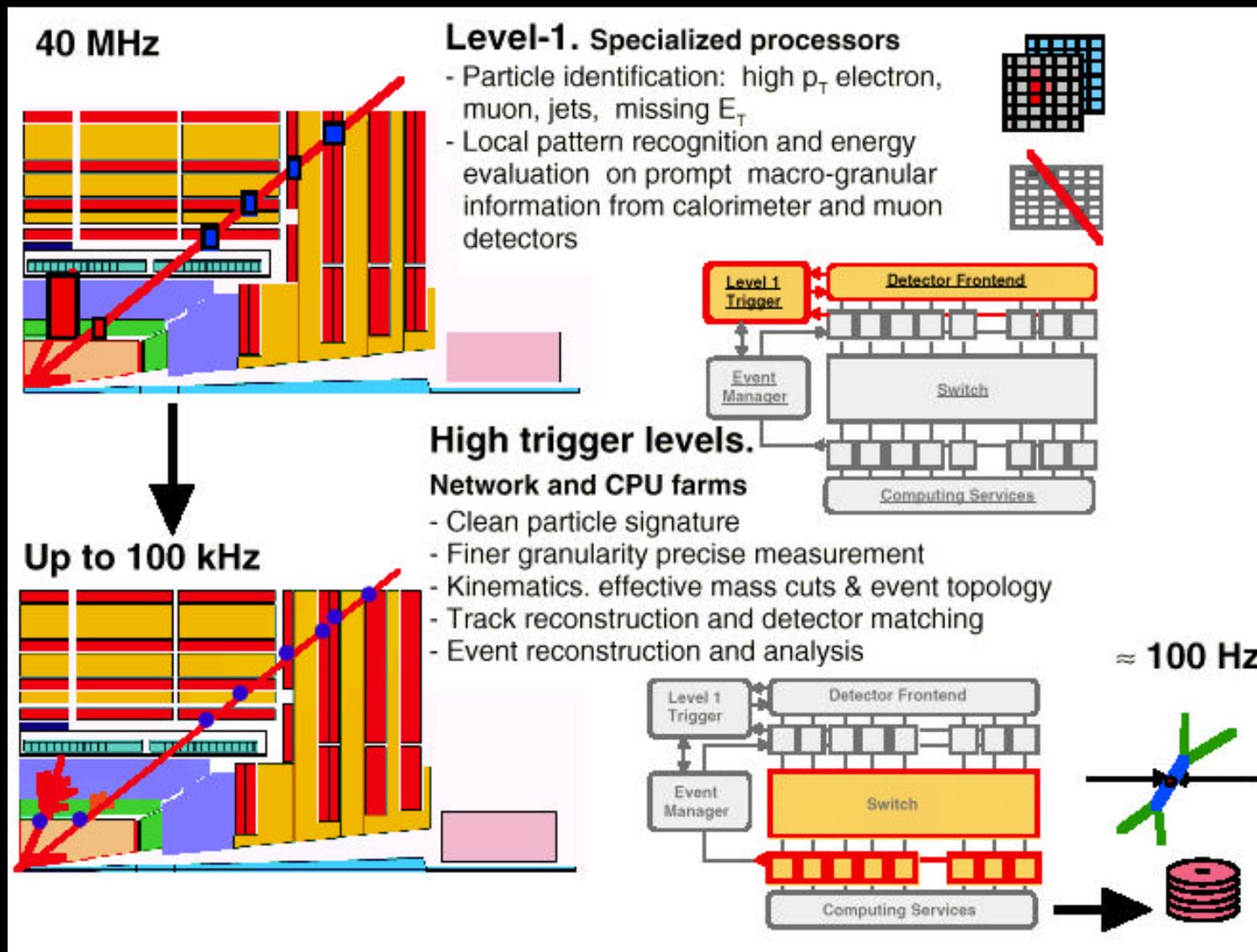
Trigger	Rate (kHz) @ 1*10**33	Rate (kHz) @ 2*10**33	Rate (kHz) @ 1*10**34
Single muon, $p_T > 6$ (8) (20) GeV	23	19	4
Pair of muons, $p_T > 6$ GeV	0	0.2	1
Single isolated EM cluster, $ET > 20$ (25) (30) GeV	11	12	22
Pair of isolated EM clusters, $ET > 15$ (15) (20) GeV	2	4	5
Single jet, $ET > 180$ (200) (290) GeV	0.2	0.2	0.2
Three jets, $ET > 75$ (90) (130) GeV	0.2	0.2	0.2
Four jets, $ET > 55$ (~65) (90) GeV	0.2	0.2	0.2
Jet, $ET > 50$ (~60) (100) GeV & $ET_{miss} > 50$ (~60) (100) GeV	0.4	0.4	0.5
Tau, $ET > 20$ (25) (60) GeV & $ET_{miss} > 30$ (60) GeV	2	2	1
Muon, $p_T > 10$ GeV & isolated EM cluster, $ET > 15$ GeV			0.4
Other triggers (prescaled, etc)	5	5	5
Total (neglecting overlaps)	44	43.2	39.5

Determina le **RoI** su cui il trigger di **Level 2** effettua un'analisi più dettagliata (tutta la granularità dei calorimetri, l'ID) in una zona limitata del detector. Latenza max 10 ms)

L'**Event Filter** funge da Event builder ed usa gli stessi algoritmi di selezione dell'off-line.

Le architetture finali sono ancora in fase di studio. Le difficoltà finanziarie potrebbero avere serie implicazioni nelle fase iniziale.

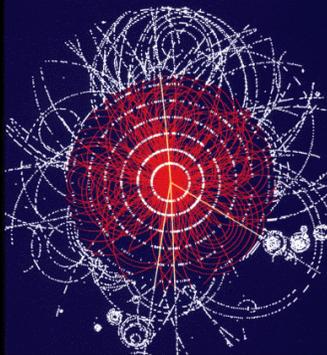
Trigger & Data Acquisition CMS



L'INFN in ATLAS e CMS

- L'INFN partecipa ad ATLAS e CMS con importanti impegni costruttivi:
 - ATLAS: Tracciamento (Pixel), Calorimetria (LAr e Tile), Rivelazione dei μ (MDT, RPC, LVL1 trigger), HLT/DAQ
 - CMS: Tracciamento (Tracciatore al silicio), Calorimetria e.m., Rivelazione dei μ (DT, RPC, trigger), TriDAS
- L'impegno economico è di 100 MCHF (10.5 % del costo) ATLAS e CMS sperano che possa aumentare!
- Partecipano 16 Sezioni e 2 Gruppi collegati con oltre 370 ricercatori

Computing



*Storage –
Raw recording rate 0.1 – 1 GByte/sec
Accumulating at 5-8 PetaBytes/year
10 PetaBytes of disk*

*Processing –
200,000 of today's(2001) fastest PCs*



270 istituti in Europa, 4100 fisici;
210 istituti altrove, 1600 fisici

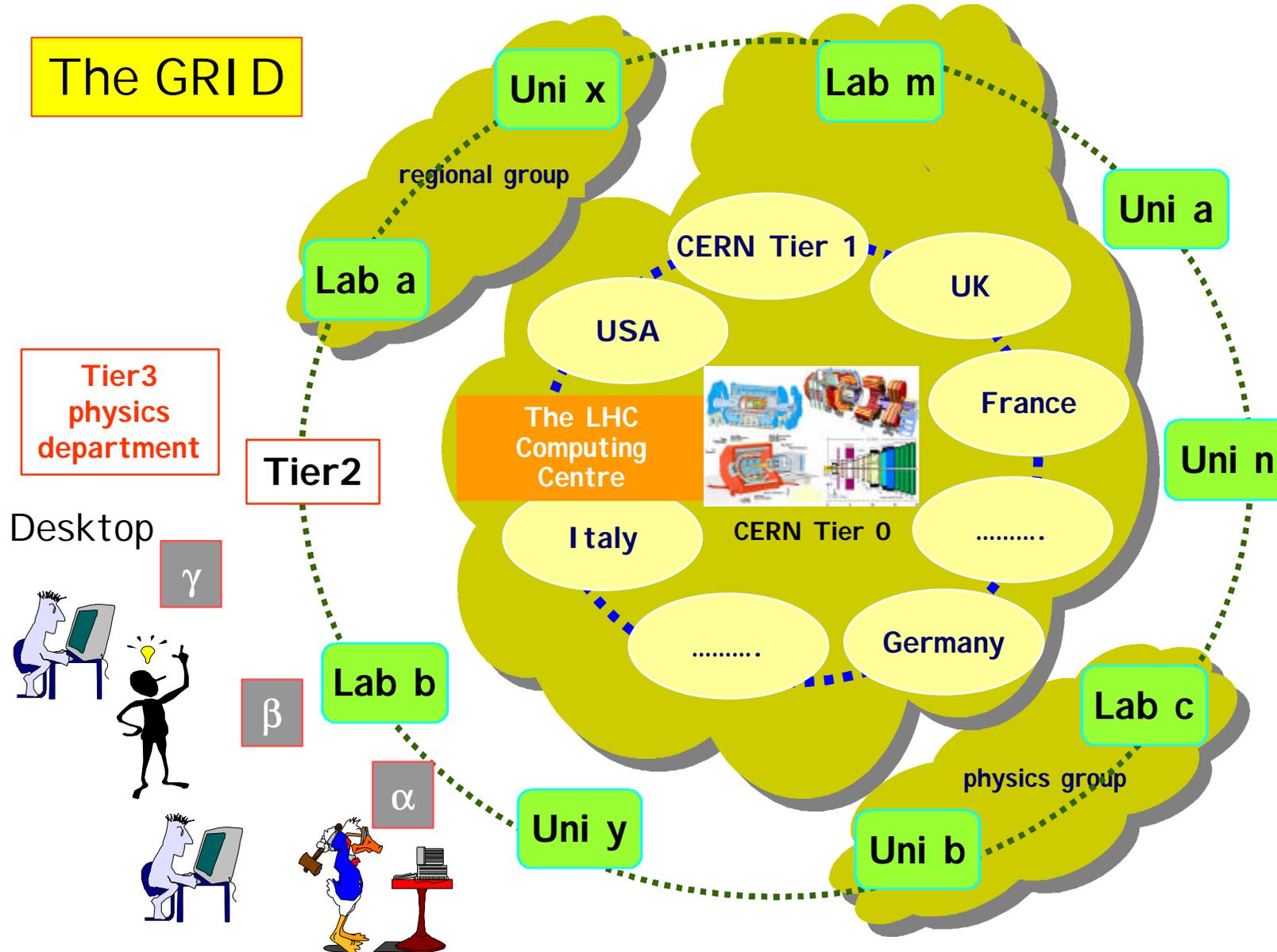
Progetto speciale del CERN per tutto il computing di LHC

LHC Computing Grid

Integrazione di grandi fabbriche di computing distribuite geograficamente

Computing

The GRID



Computing

- **Progetto molto ambizioso che coinvolge:**
 - Istituti scientifici
 - Industrie
- **Obiettivo del progetto:**
 - Realizzare entro il 2003/04 un prototipo che abbia una complessità del 50% di uno degli esperimenti LHC (18 MCH)
- **In collaborazione con:**
 - Progetti Grid Nazionali (**GridPP - UK, INFNGrid - I**)
 - Progetti Grid Europei (**GEANT, DataGrid, DataTag**)
 - Progetti Grid Americani (**GriPhyN, Globus, iVDGL, PPDG**)
- **Attraverso i progetti Europei ed Americani:**
 - Collegamento con altri campi scientifici (**Osservazione della Terra e Biologia**)

Conclusioni (gioie)

- L'enorme quantità di R&D ha permesso di trovare risposte positive a (quasi) tutte le grandi sfide tecnologiche. Fiducia nel funzionamento dei detectors.
- Le foto mostrate dimostrano che ATLAS e CMS sono in avanzata fase di costruzione.
- Molti giovani ricercatori si sono “rimpossessati” dell'hardware

Conclusioni (dolori)

- Ritardi del Large Hadron Collider (ma non nascondiamo che hanno coperto anche ritardi degli esperimenti).
- Spietata validità della legge di Murphy.
- Difficoltà finanziarie.
- L'attesa dei giovani per i risultati di fisica.

Conclusioni

- La situazione è, allo stesso tempo, stimolante e difficile.
- Dobbiamo fare tutti un grande sforzo.
- Dal successo del progetto LHC e dal buon funzionamento degli esperimenti dipende, in gran parte, il destino futuro della fisica delle alte energie.