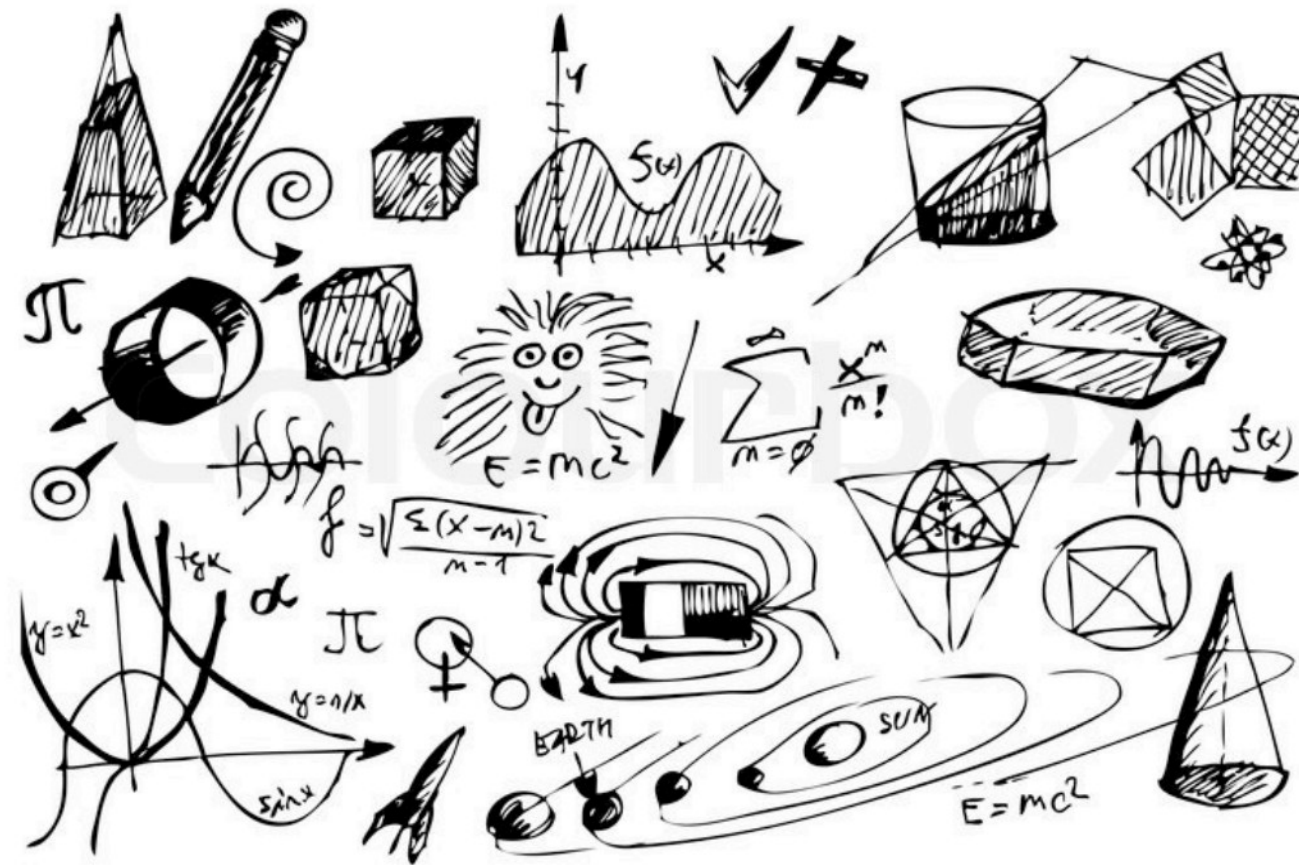




Incontri del Martedì

Lo strano caso dell'esperimento da 3000 fisici

Roberto Ferrari – Gabriella Gaudio
INFN – Sezione di Pavia

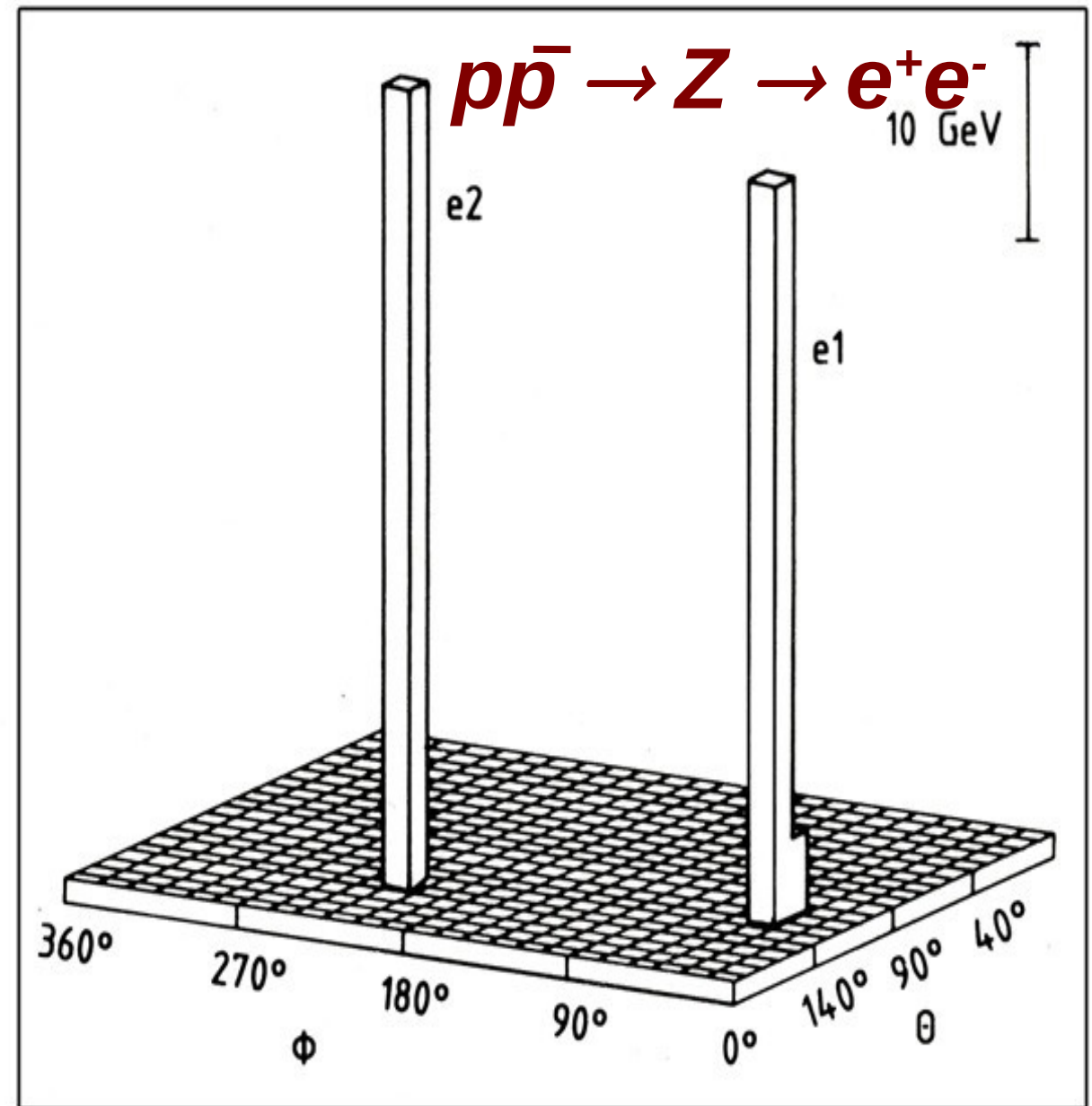
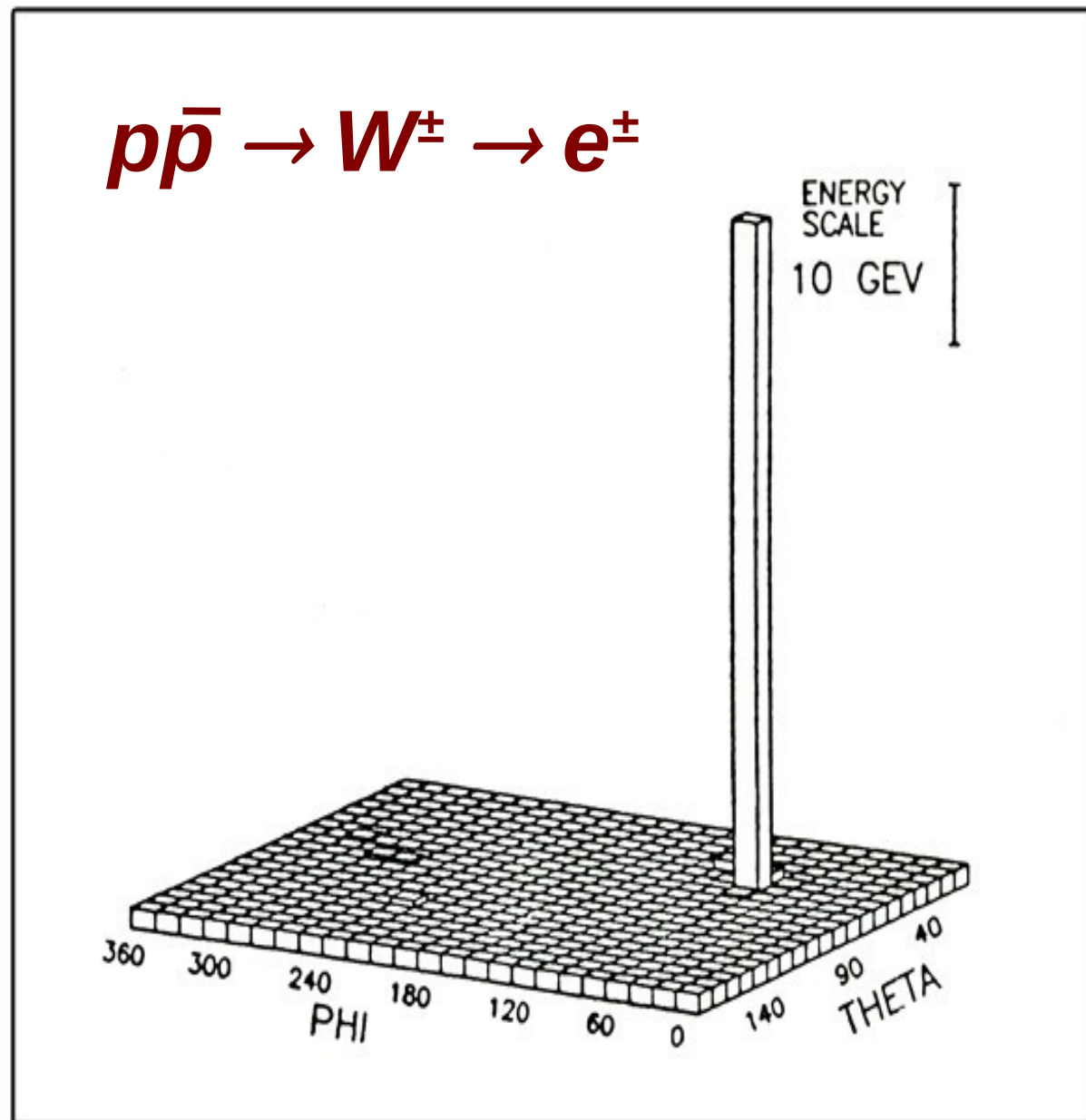
La "tavola periodica" delle particelle elementari

	1 st	2 nd	3 rd		
QUARKS	2.3 M u 2/3 1/2 up	1.27 G c 2/3 1/2 charm	173.1 G t 2/3 1/2 top	Mass: eV/c ² Charge Spin Name strong nuclear force	126 G H 0 0 higgs electromagnetic force weak nuclear force
	4.8 M d -1/3 1/2 down	95 M s -1/3 1/2 strange	4.2 G b -1/3 1/2 bottom		
	0.511 M e -1 1/2 electron	105.7 M μ -1 1/2 muon	1.78 G τ -1 1/2 tau	0 g 0 1 gluon	
LEPTONS	<2.2 ν_e 0 1/2 e neutrino	0.17 M ν_μ 0 1/2 μ neutrino	<15.5 M ν_τ 0 1/2 τ neutrino	0 γ 0 1 photon	
				80.4 G W ±1 1 W boson	
				91.2 G Z 0 1 Z boson	
	FERMIONS			GAUGE BOSONS	

statistica di Fermi-Dirac
(principio di esclusione di Pauli)

statistica di Bose-Einstein

i bosoni vettoriali $W^\pm/Z$ (1983)



CERN $p\bar{p}$ Collider

il meccanismo di Brout-Englert-Higgs

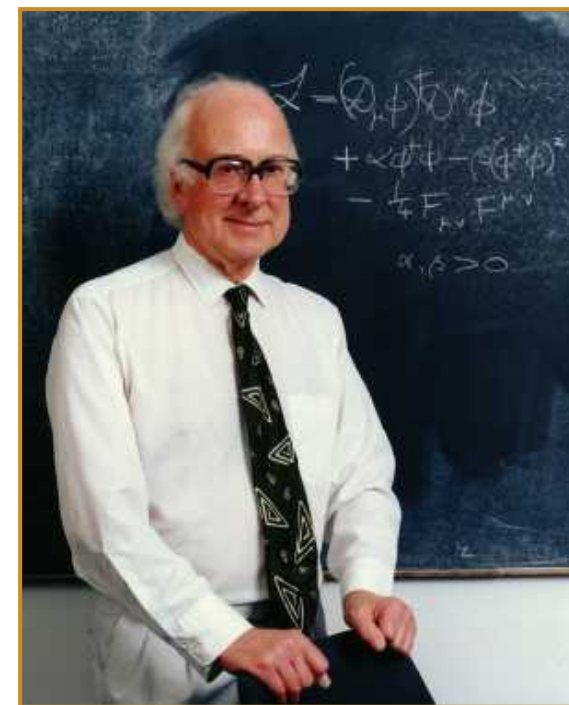
un campo frena le particelle, come la gelatina frena un proiettile



- rallentare una particella equivale a farle acquisire una massa
- particelle indifferenti a questo campo di forza restano di massa zero

- la “forza” è trasportata da una particella nuova (mediatore):

il bosone di Higgs



folia = campo di Higgs



personaggio famoso che entra = particella massiva



più è famoso → più viene rallentato → più massa acquista



c'è vita oltre il modello standard ?

a) Quantizzazione carica elettrica ?

$Q(n) = Q(\nu) = 0 ! ??$

b) Masse ?

Come mai sono così diverse ?

c) Famiglie ?

Sono 3 o di più ? Perché ?

d) Antimateria ?

Perché è scomparsa ?

e) Materia oscura ?

Da cosa è composta ?

f) Energia oscura ?

????

g) Forza di gravità → non pervenuta

la mamma di tutti i problemi

Universo (interazioni gravitazionali):

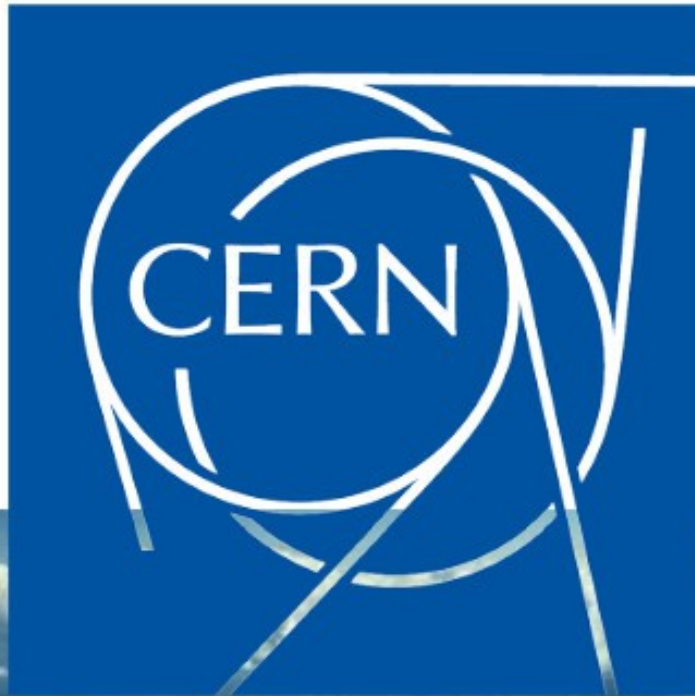
Relatività Generale

Particelle (interazioni elettrodeboli e forti):

Meccanica Quantistica Relativistica

1. entrambe le teorie funzionano alla grande (fin troppo) nei rispettivi campi
2. purtroppo, ad oggi sono * INCONCILIABILI *

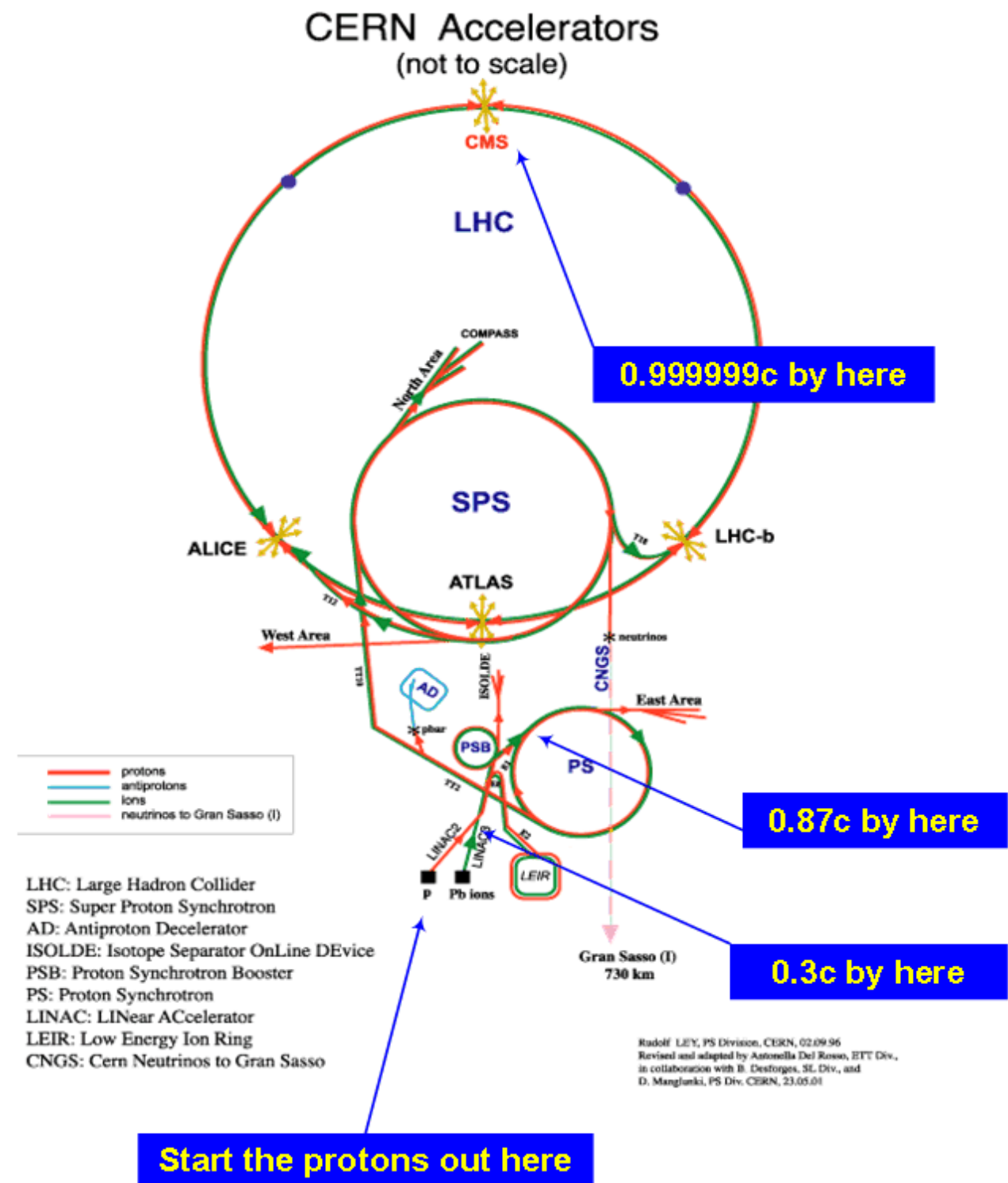
CERN: European Organization for Nuclear Research



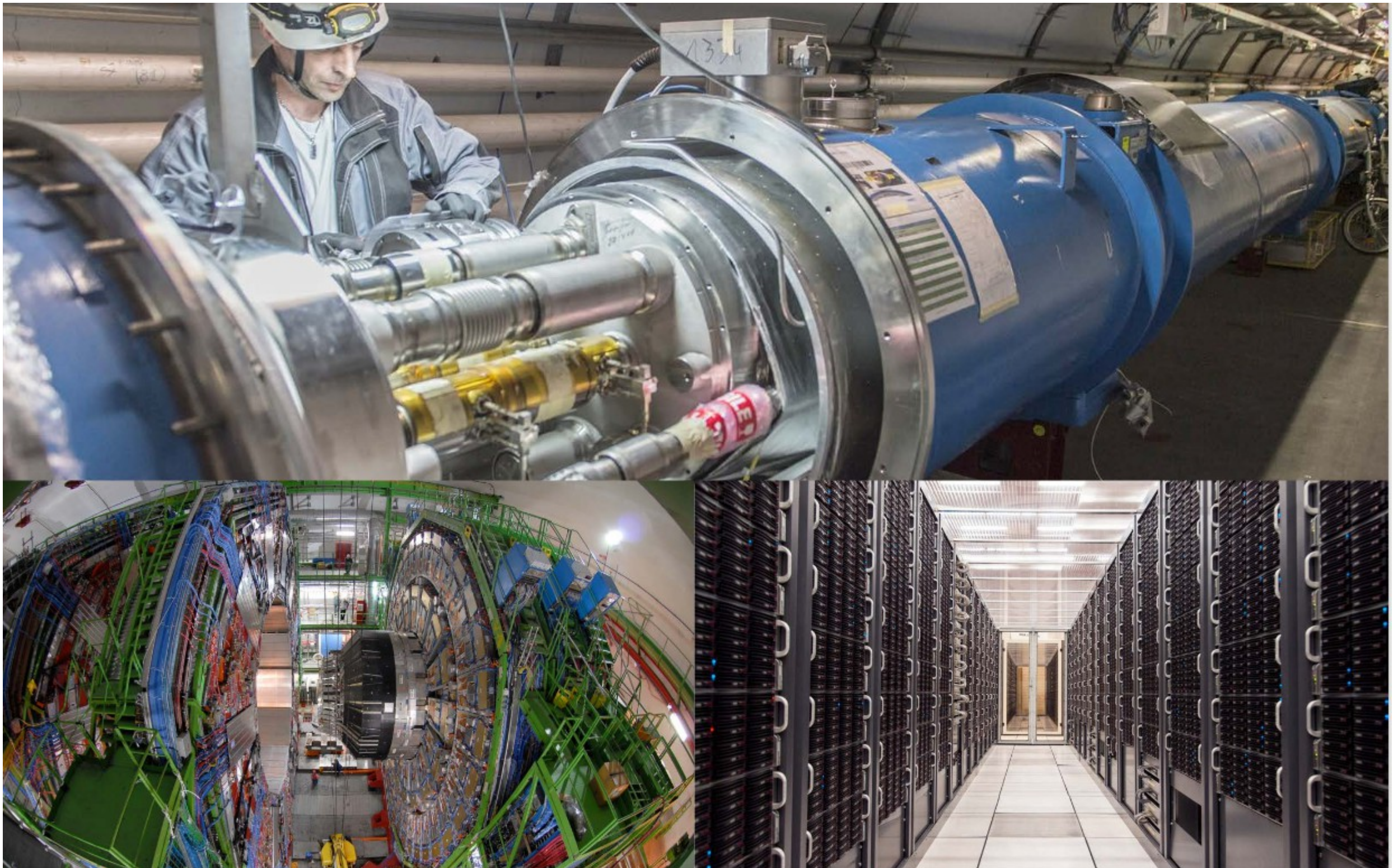
CERN: European Organization for Nuclear Research

laboratorio europeo per la
fisica delle particelle
elementari

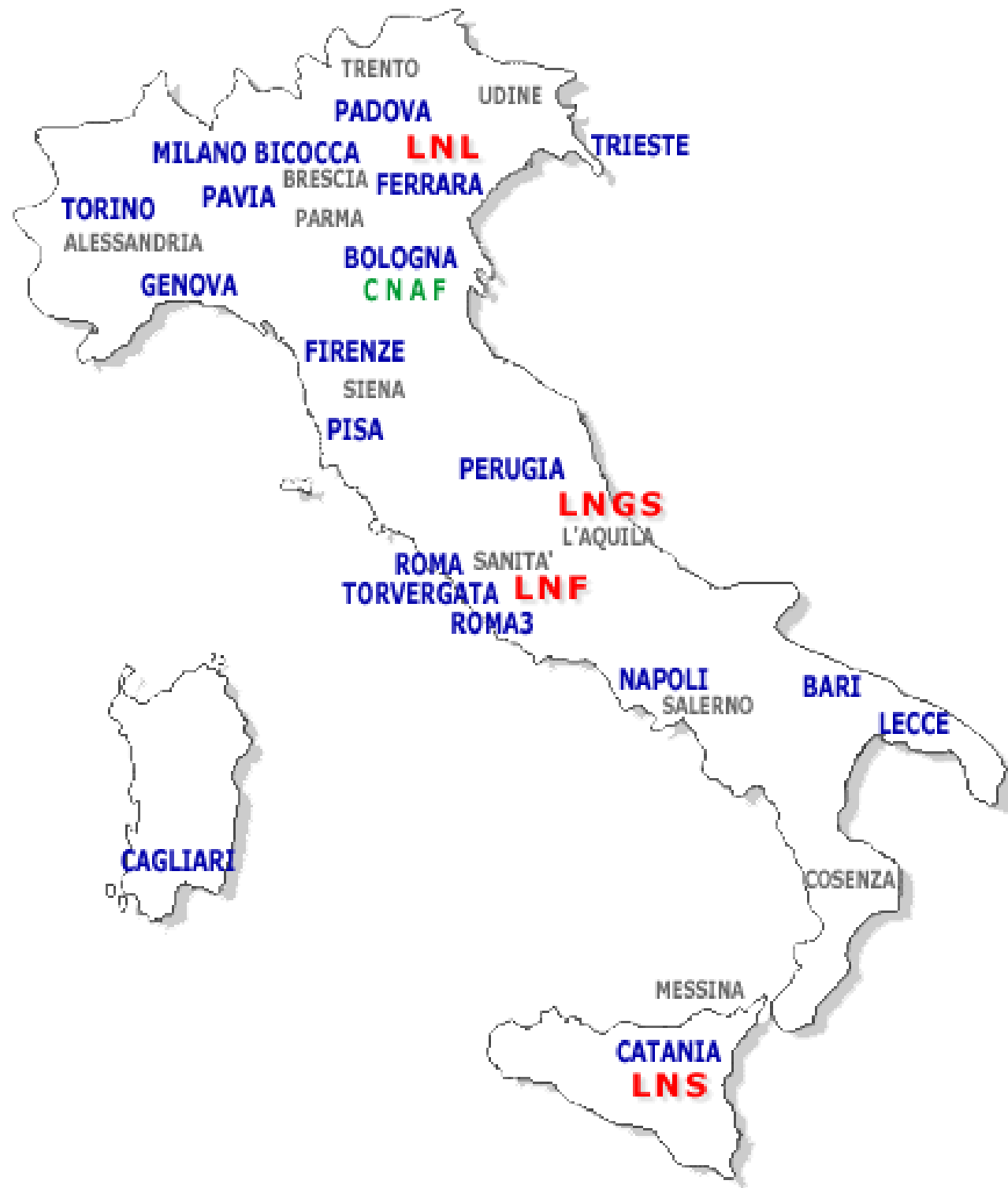
Utenti: più di 10000 scienziati
di tutto il mondo (dei quali
circa 1900 italiani)



CERN: le tre colonne



l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (I.N.F.N.)

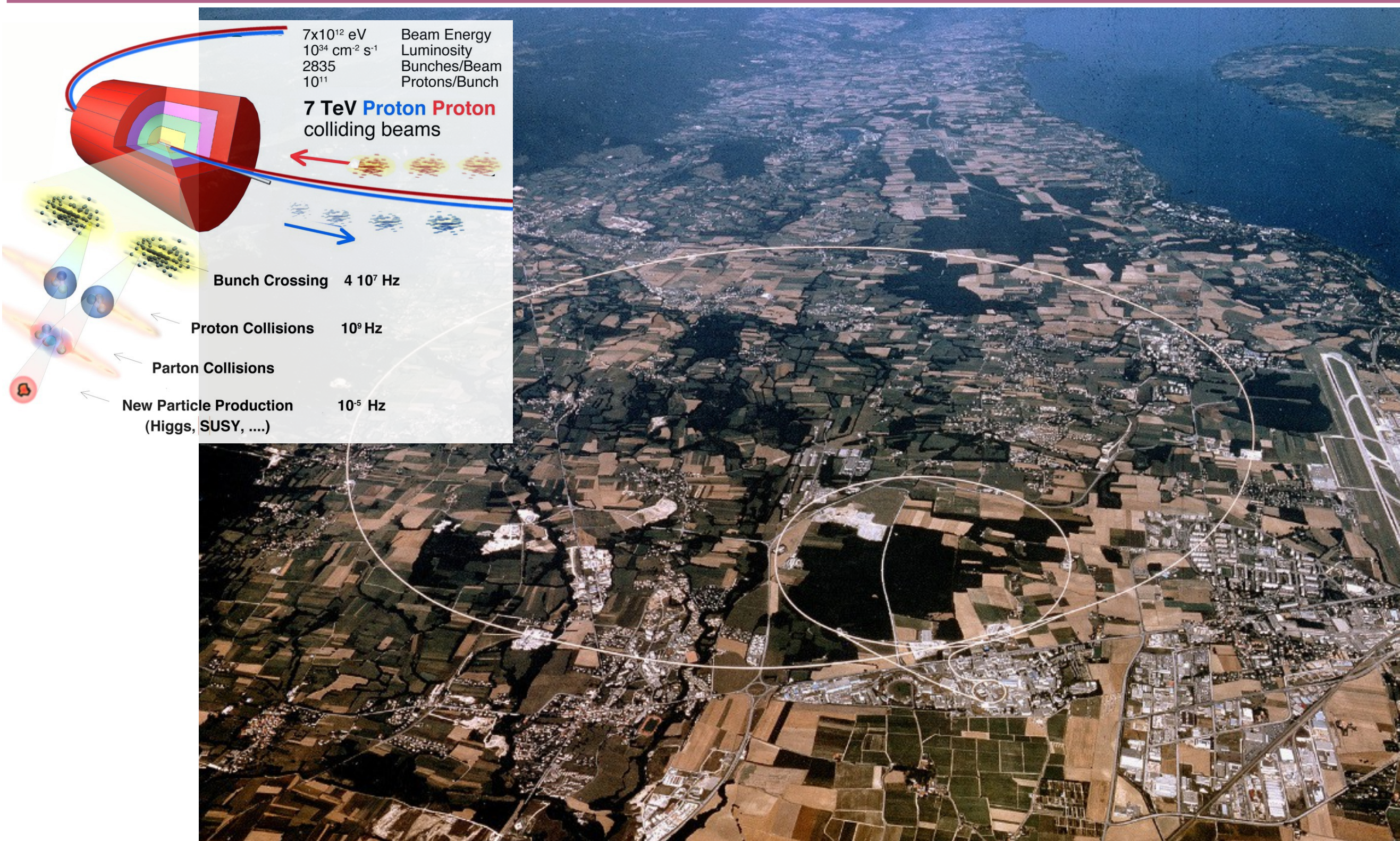


*19 sezioni, 11 gruppi,
4 laboratori nazionali,
1850 dipendenti.*

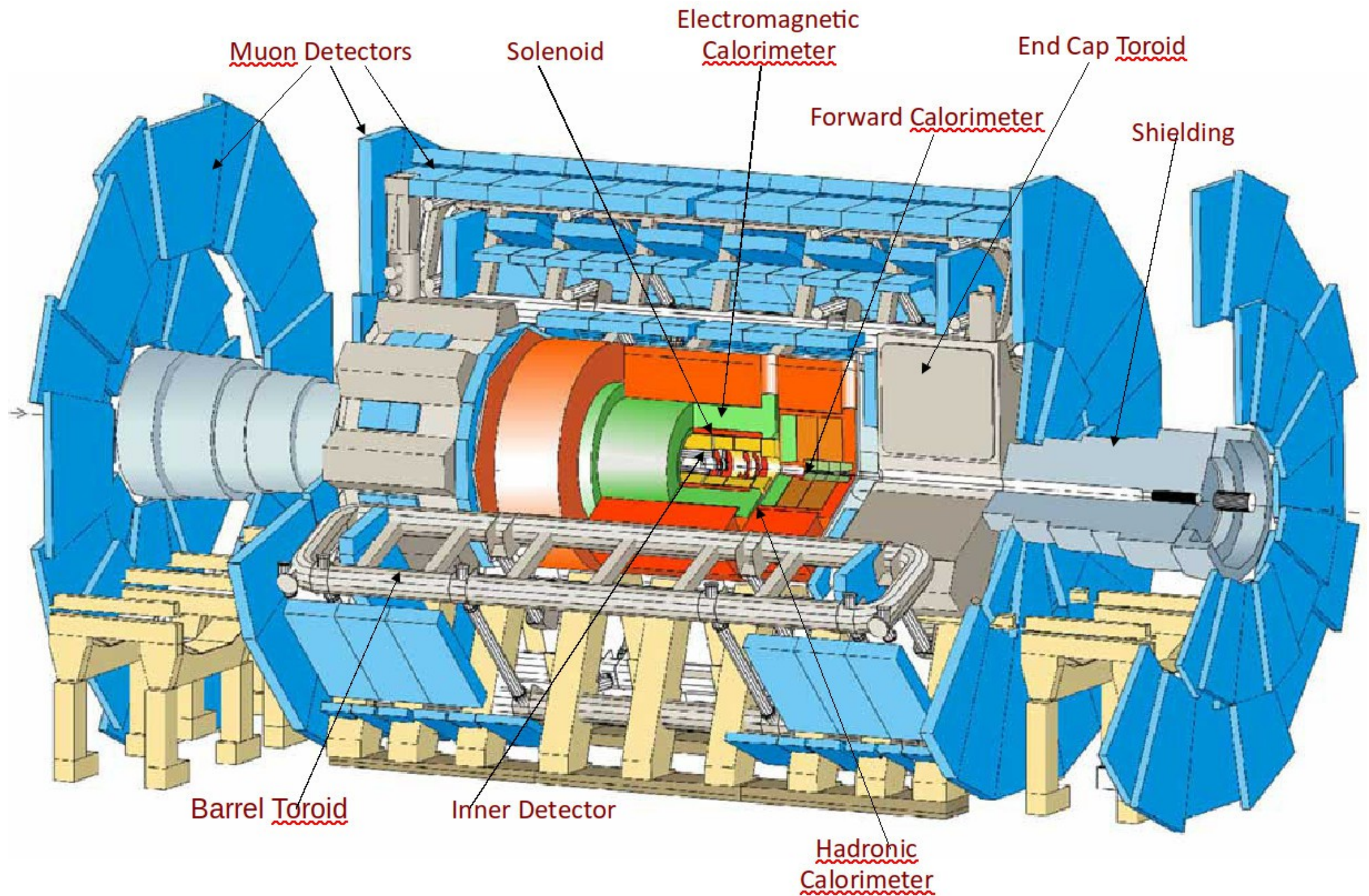
*~ 5000 ricercatori, la
maggior parte universitari,
distribuiti in 16 regioni
diverse*

**promuove, coordina ed
effettua la ricerca in fisica
delle particelle elementari
in Italia**

LHC: il Large Hadron Collider

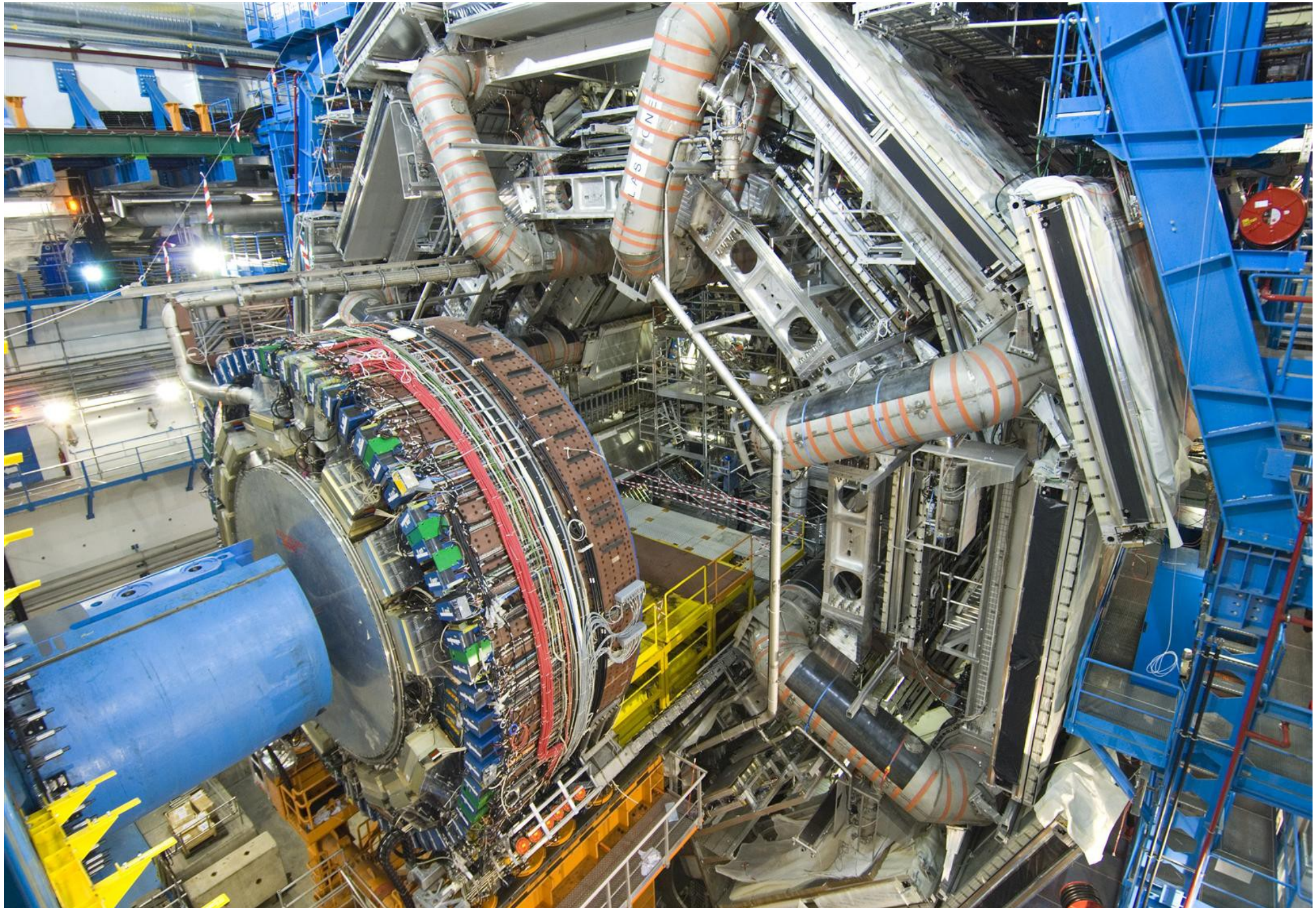


ATLAS: un microscopio da 7000 tonnellate

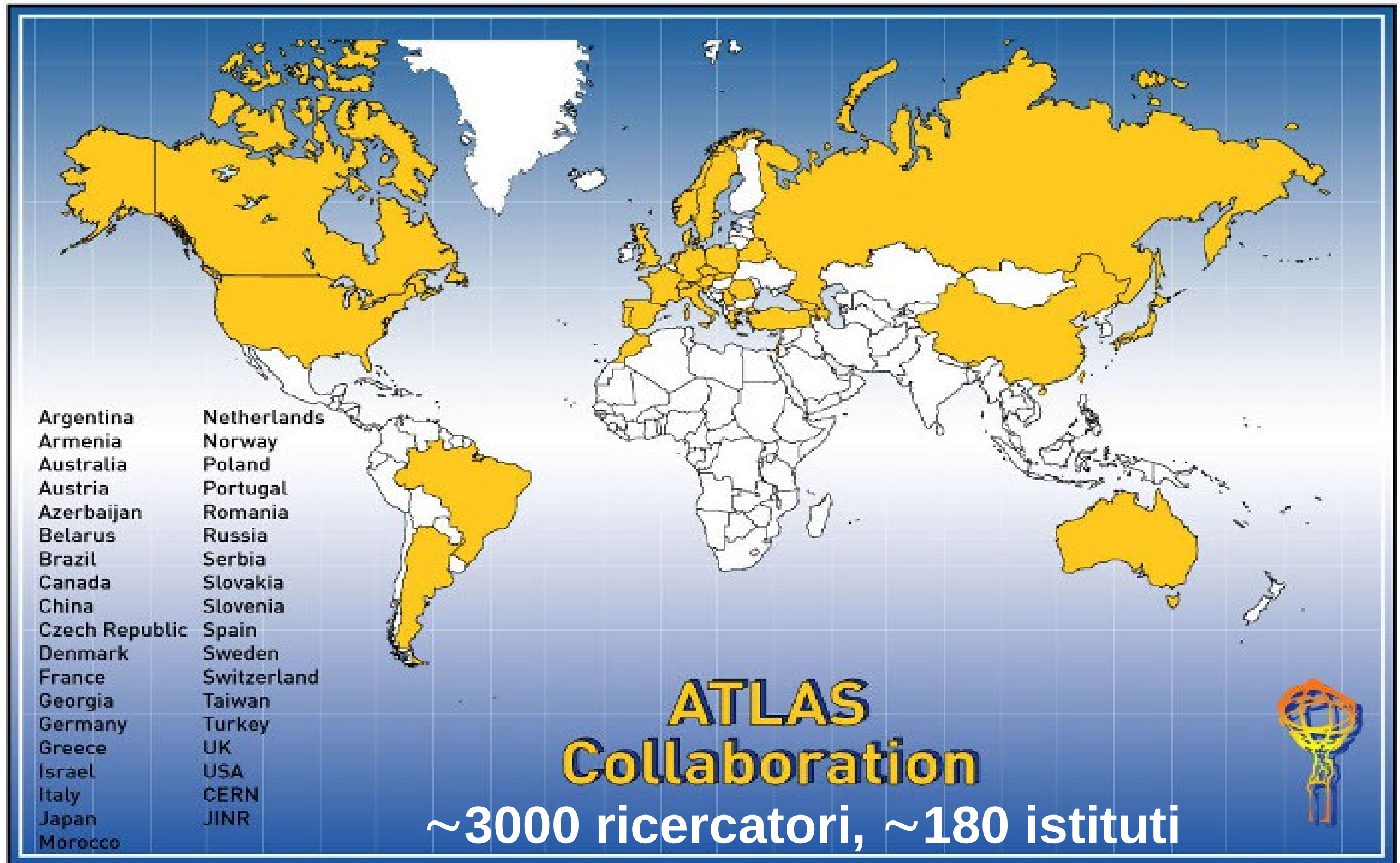


... o anche: una macchina fotografica, alta 25 metri e lunga 46, che scatta 40 M di foto al secondo (con 100 M di pixel)

ATLAS: tante diverse macchine fotografiche



La collaborazione ATLAS



ATLAS Pavia: the Bright and the Dark Sides



Michele



Adele



Andrea



Daniela



Gianluca

Università



Agostino



Valerio



Roberto



Giacomo



Gabriella

INFN

energie più fresche



Athina

Post-doc



Edoardo



Simone

Dottorandi



Riccardo



Maria
Cristina



Giulia



Lorenzo

Laureandi

cosa facciamo ?

In ATLAS:

- ♦ *Sviluppo rivelatori per muoni*
- ♦ *Acquisizione, selezione, monitoraggio online dati*
- ♦ *Analisi*
- ♦ *Simulazioni*
- ♦ *Alimentazioni e raffreddamento elettronica*

Al di fuori di ATLAS:

- ♦ *sviluppo calorimetria per futuri esperimenti (simulazioni, costruzione prototipi, acquisizione dati)*

“Home Made” detectors



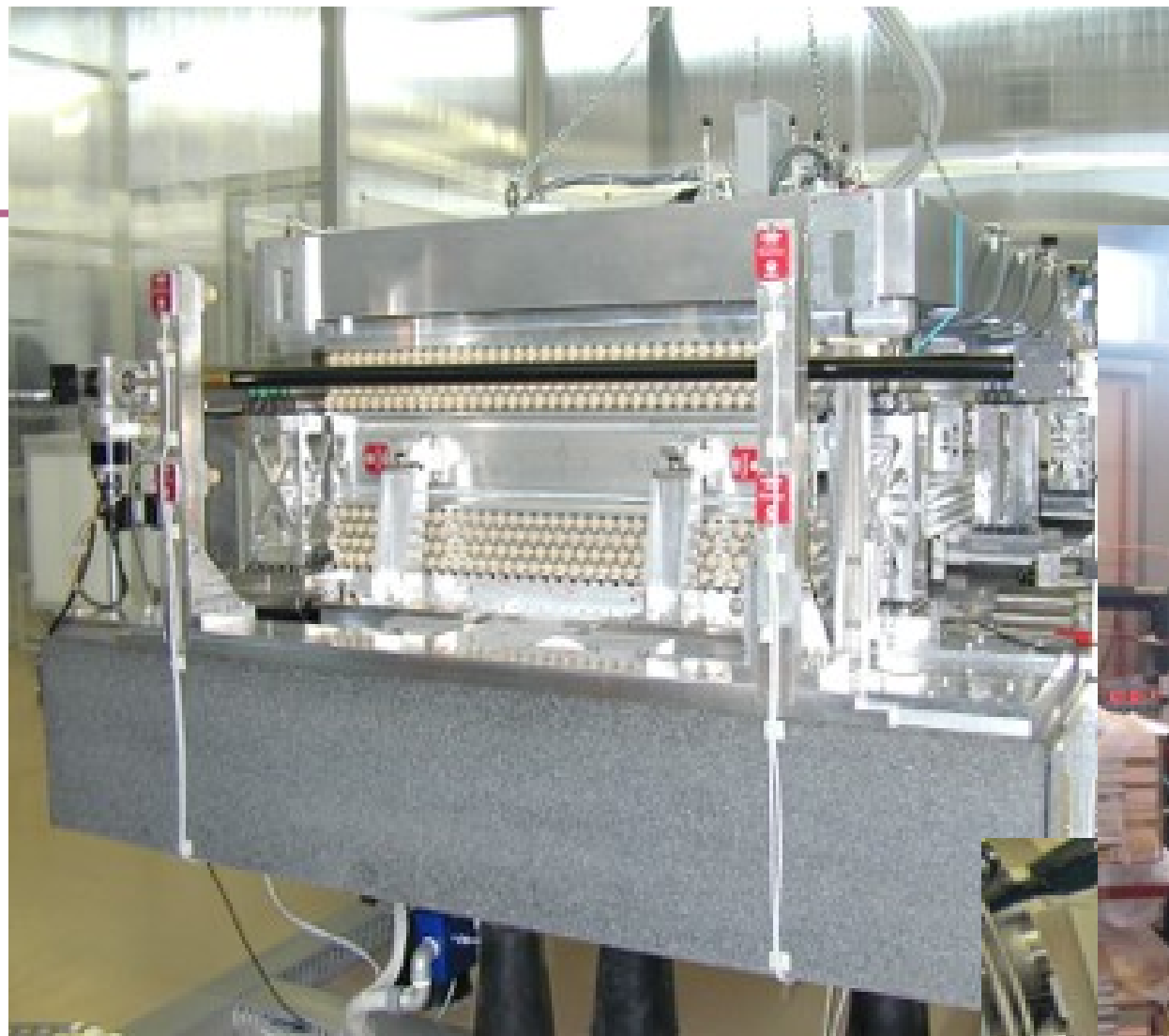
I rivelatori di particelle sono ideati, progettati,
costruiti, testati nei nostri laboratori

Quale rivelatore?

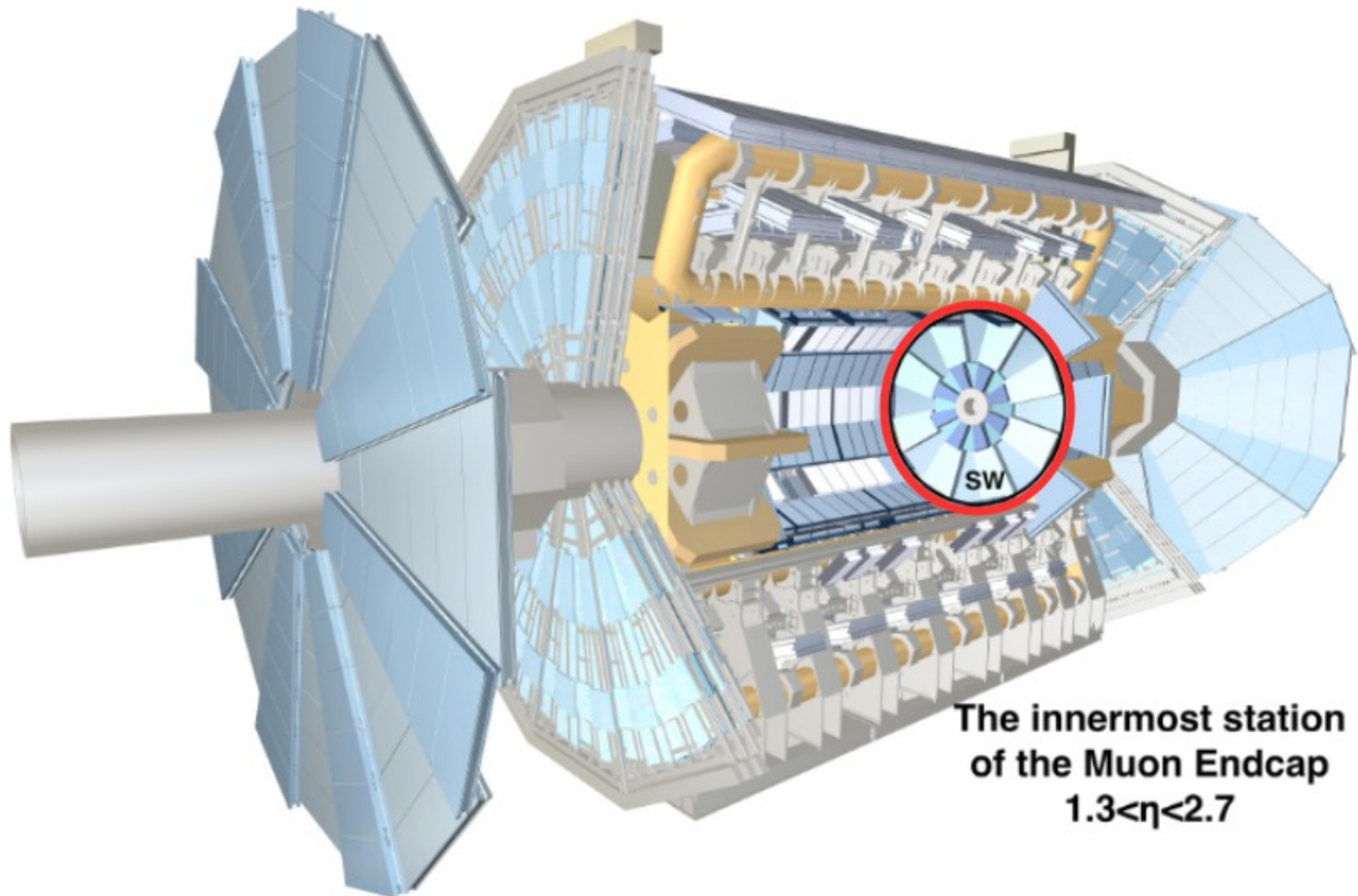
- Cosa voglio misurare?
 - quale particella e quale proprietà della particelle
- Con che risoluzione?
- In che ambiente? (rate, fondo...)
- Quanto è grande il mio esperimento?
-

Ogni esperimento ha i suoi rivelatori

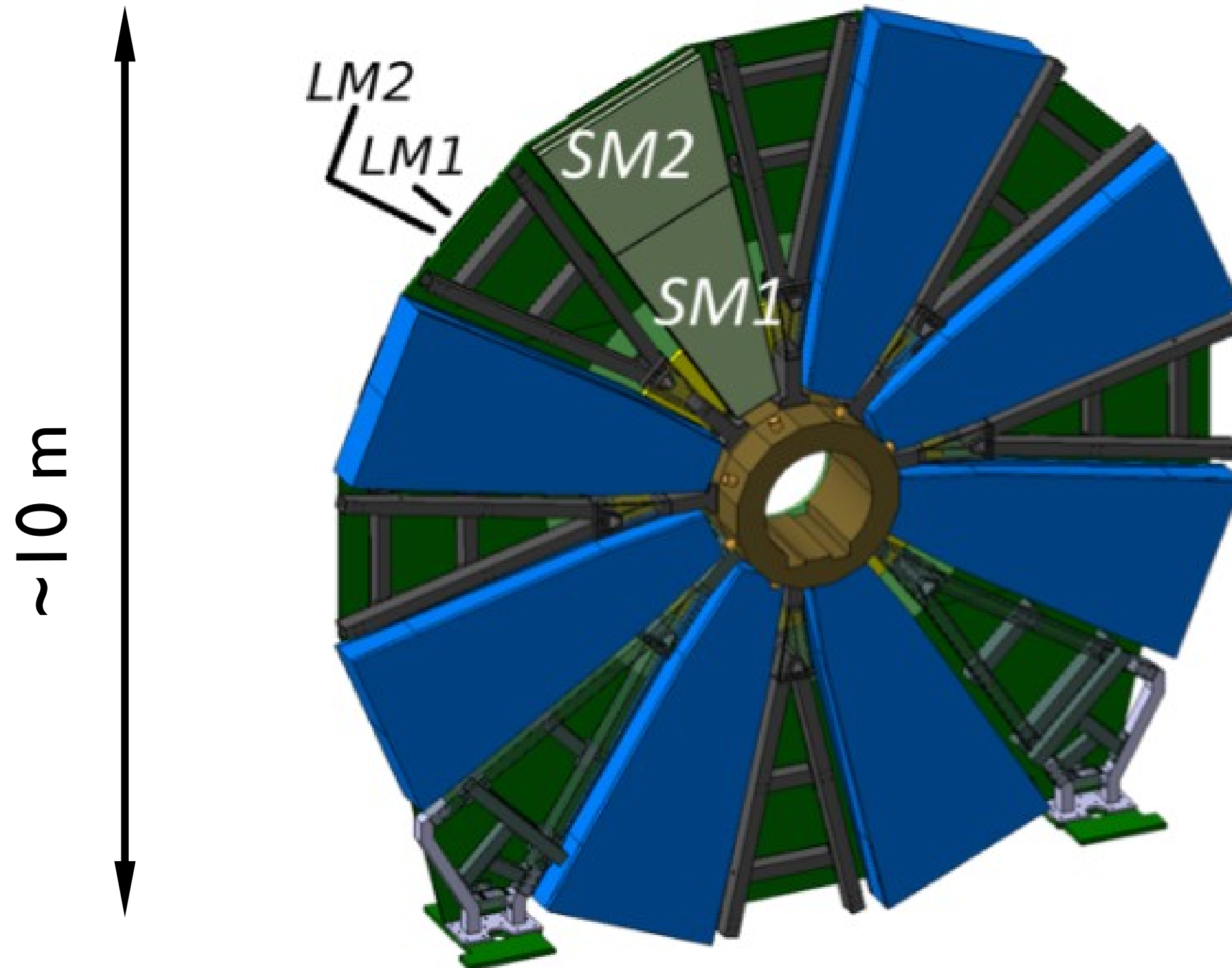
MDT per ATLAS



Il caso delle New Small Wheel di ATLAS



New Small Wheel Wedge

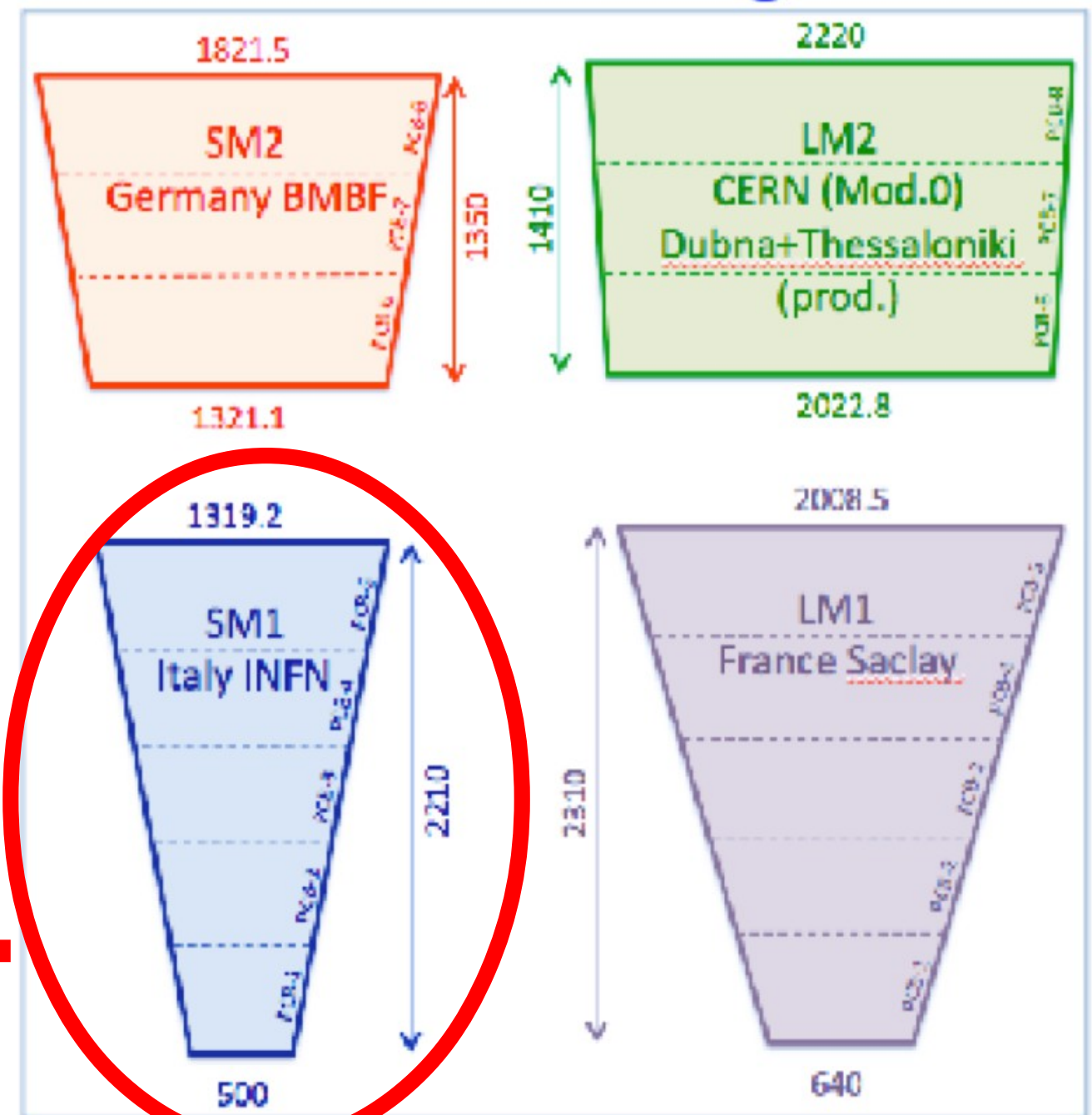


MM Modules – SM1 by INFN

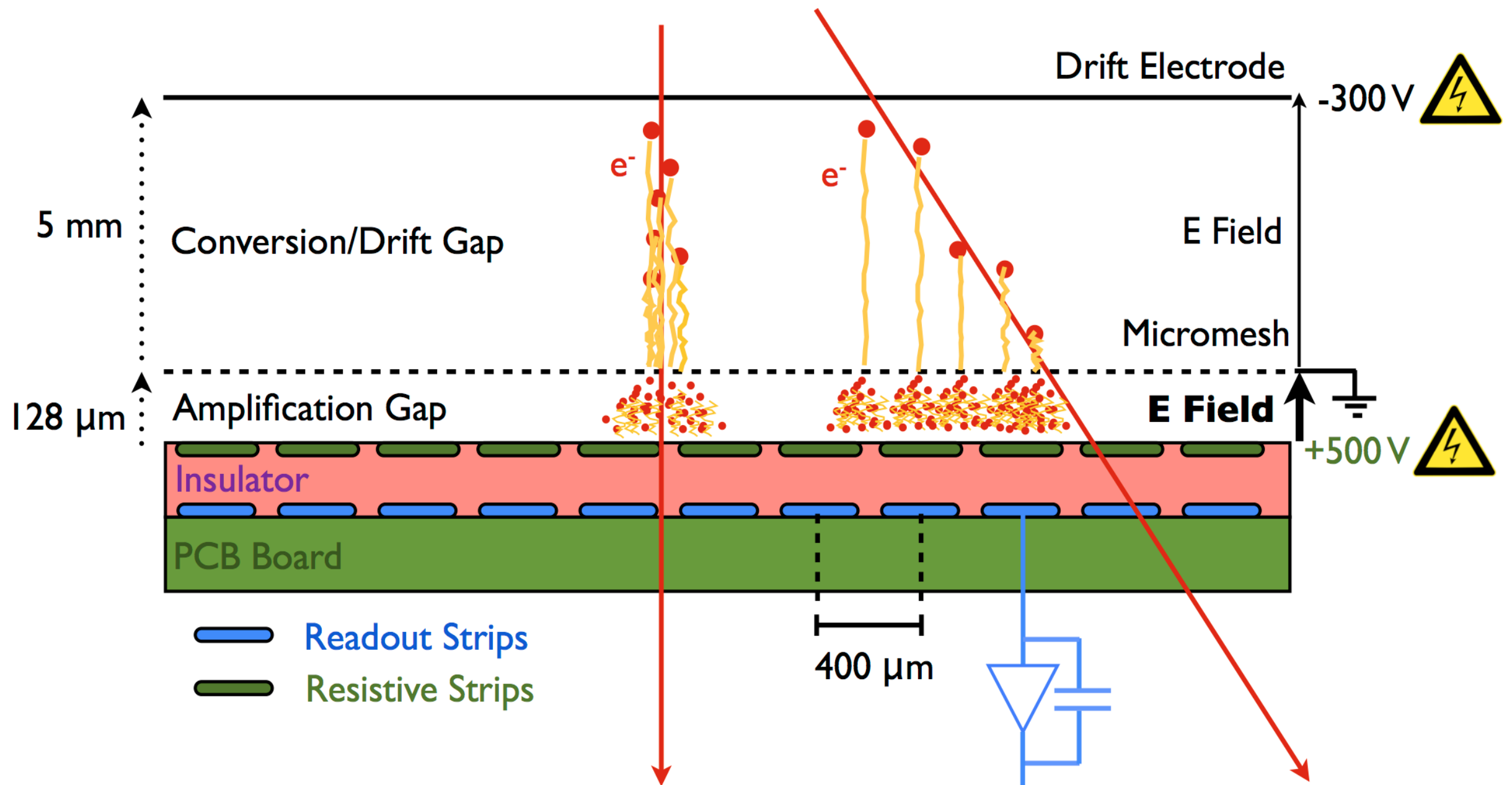
MM Sharing

Pavia
Lab. Naz. Frascati
Roma “La Sapienza”
Roma 3
Napoli
Lecce
Cosenza

32 Quadruplet / Site

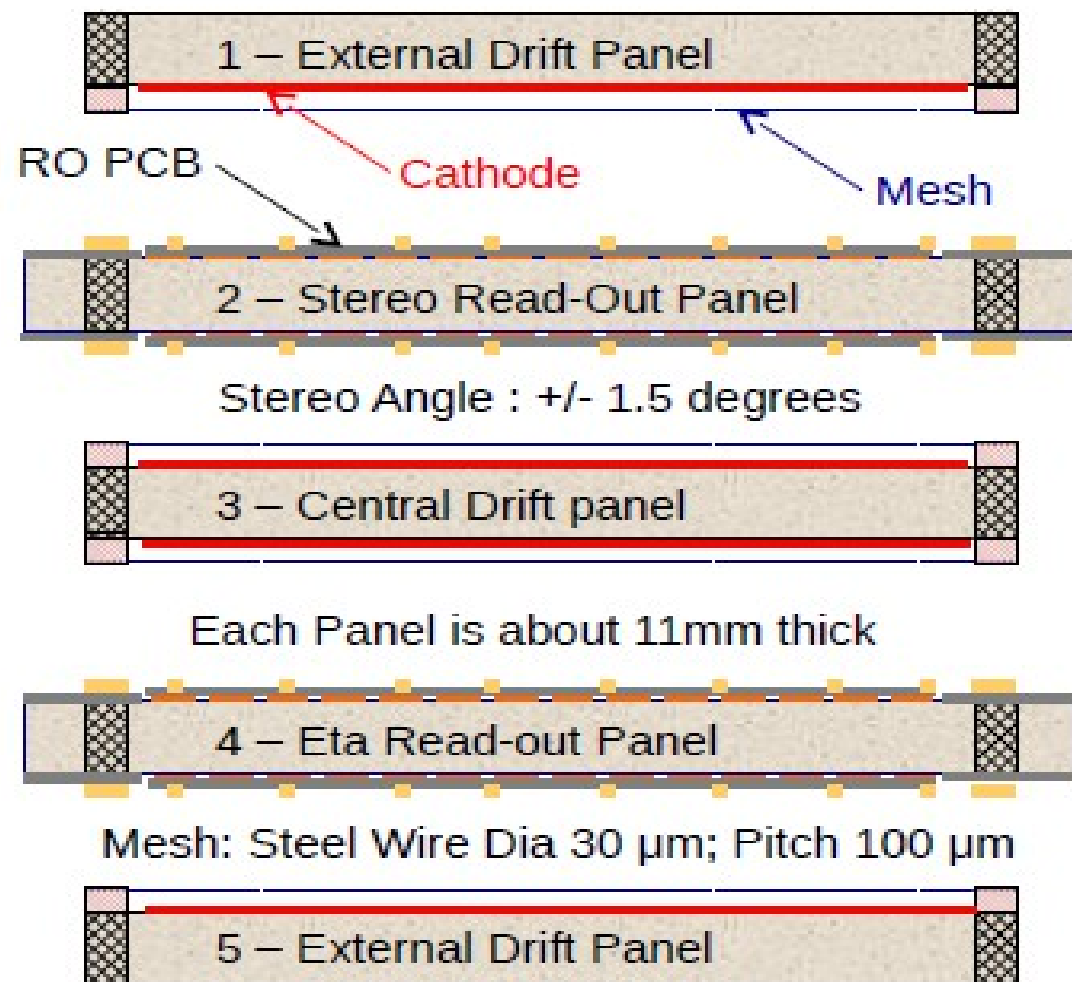


MicroMegas

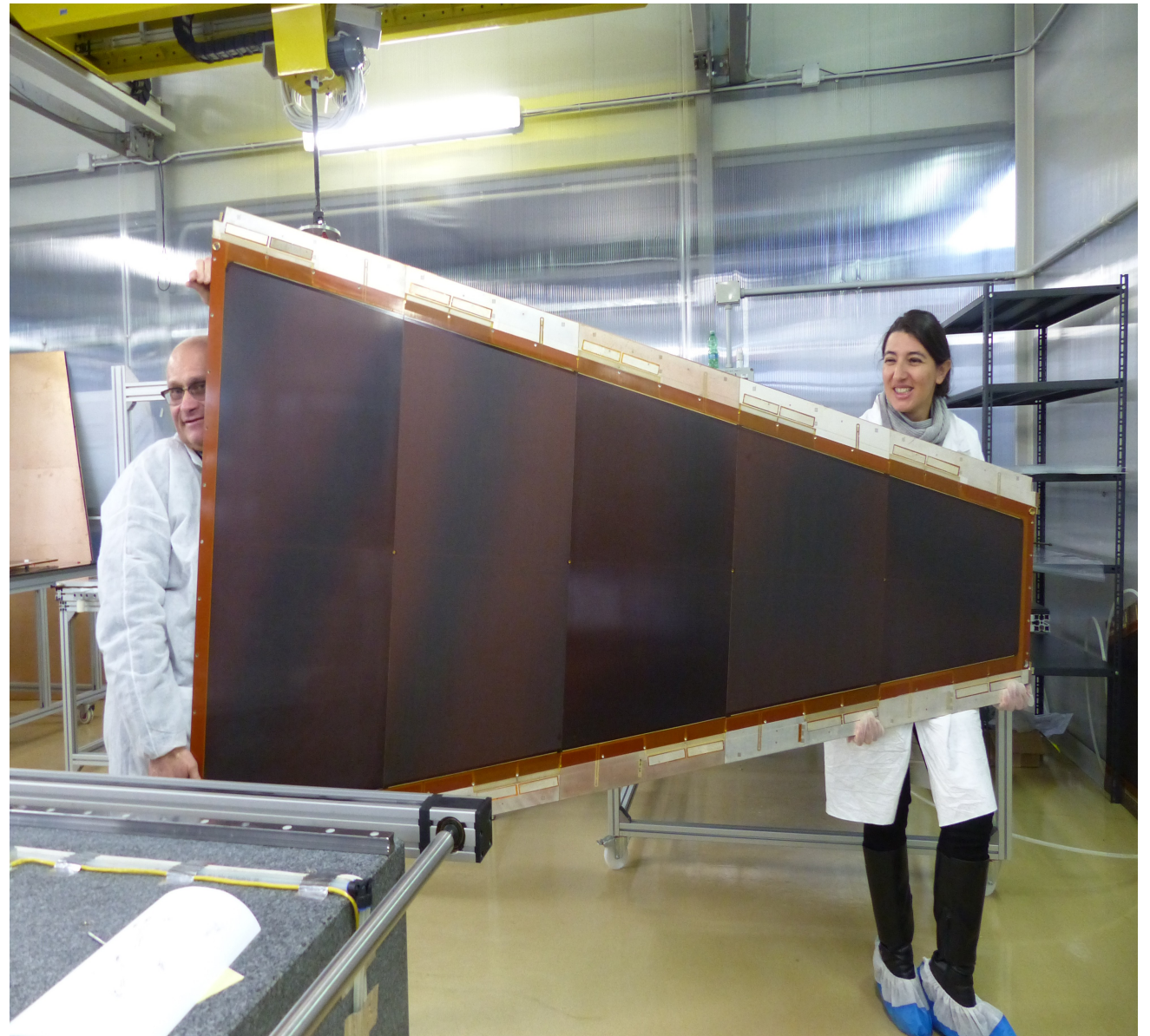


Micromegas Readout Panel in Pavia

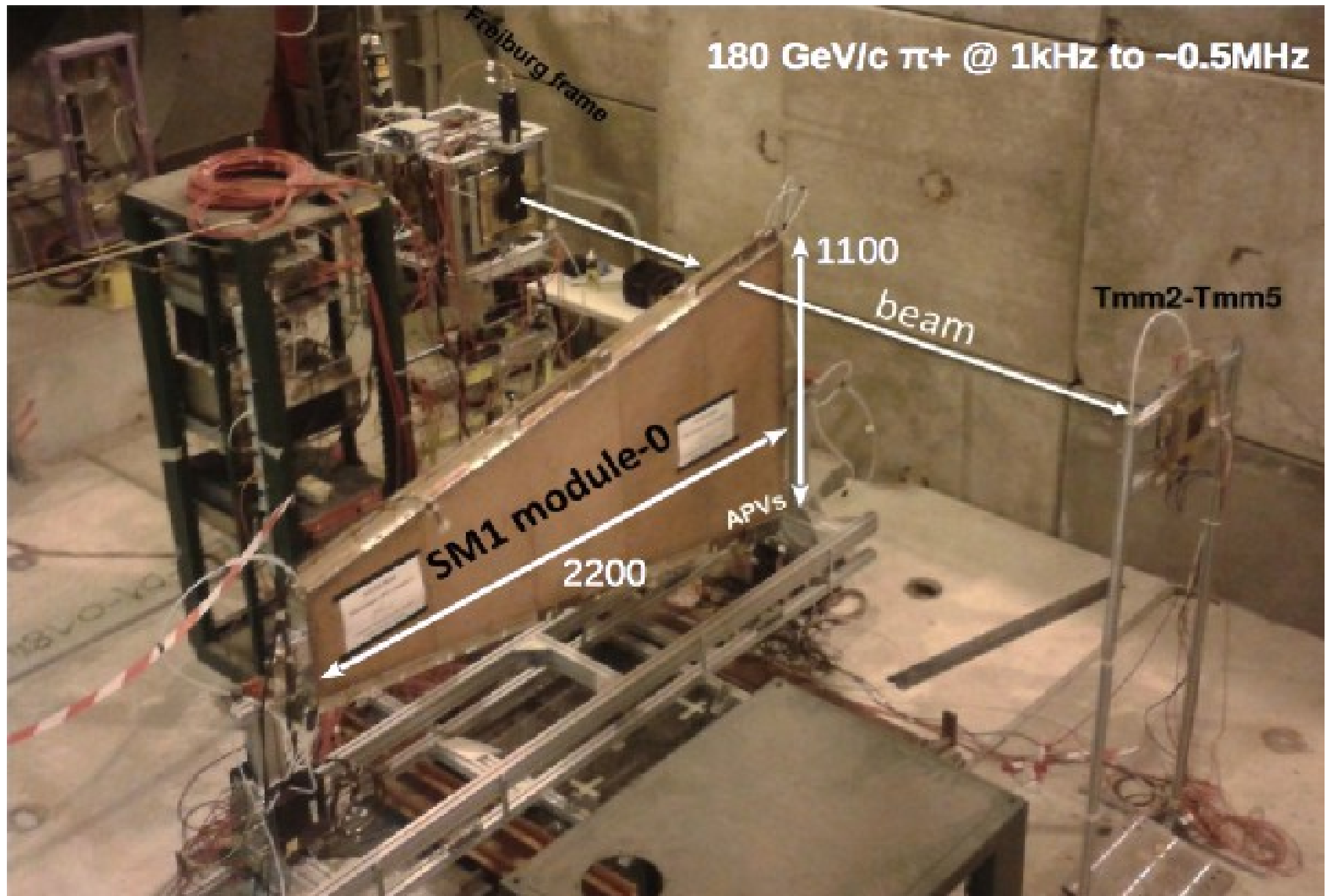
MM Quadruplet Exploded View



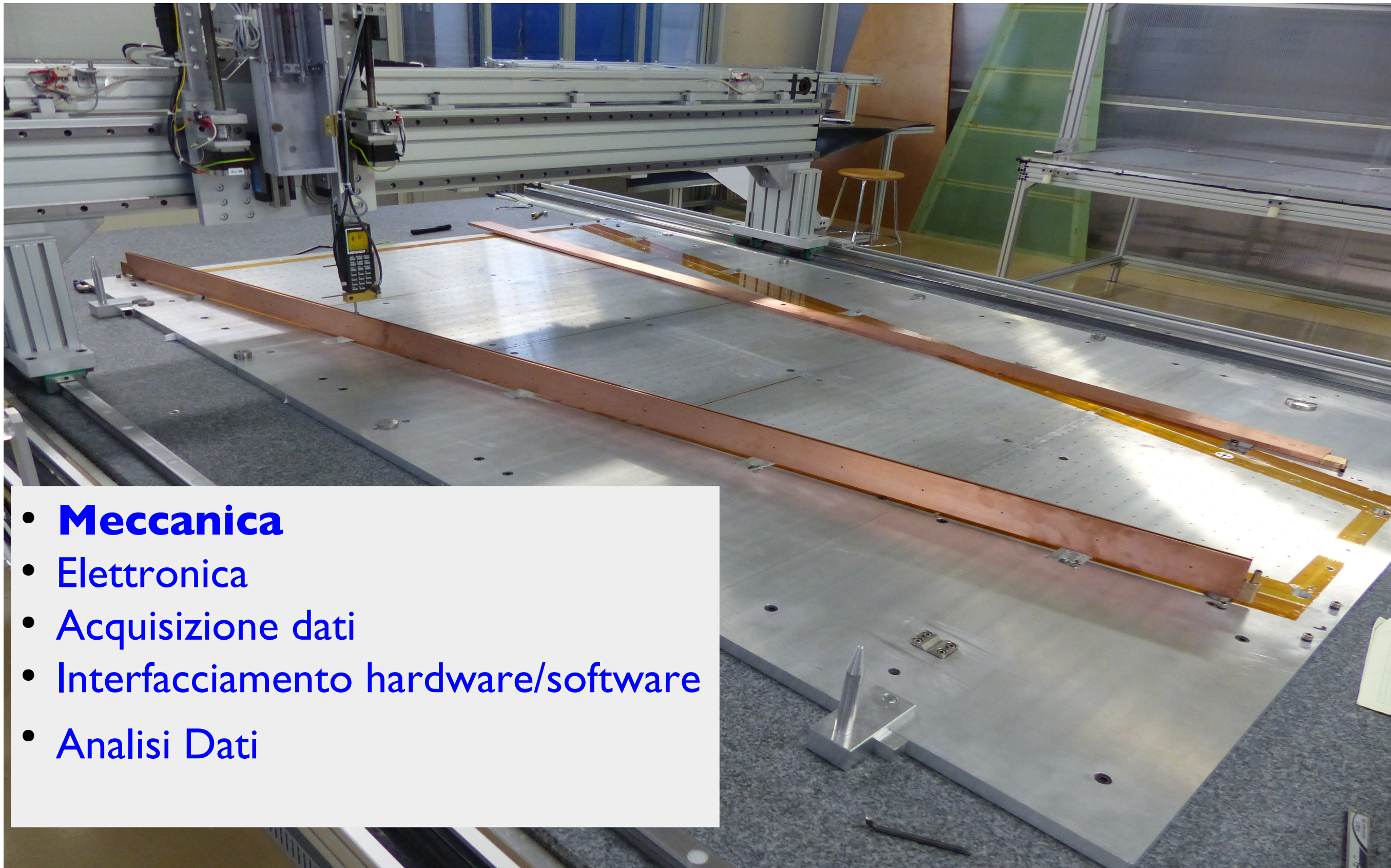
Five panels joined to make a detector unit (Quadruplet) with 4 gas layers.



M0 Beam Test at CERN – June 2016



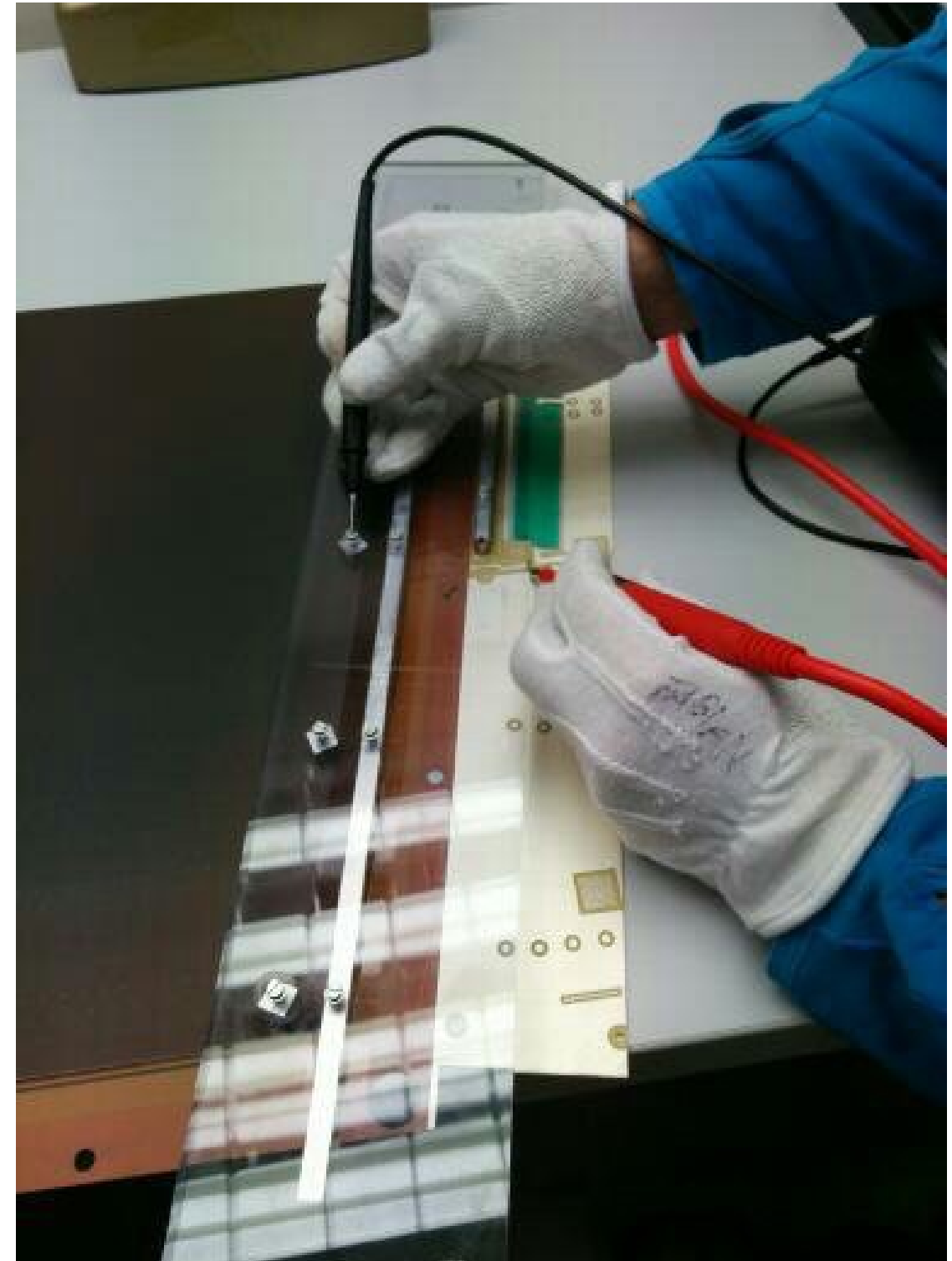
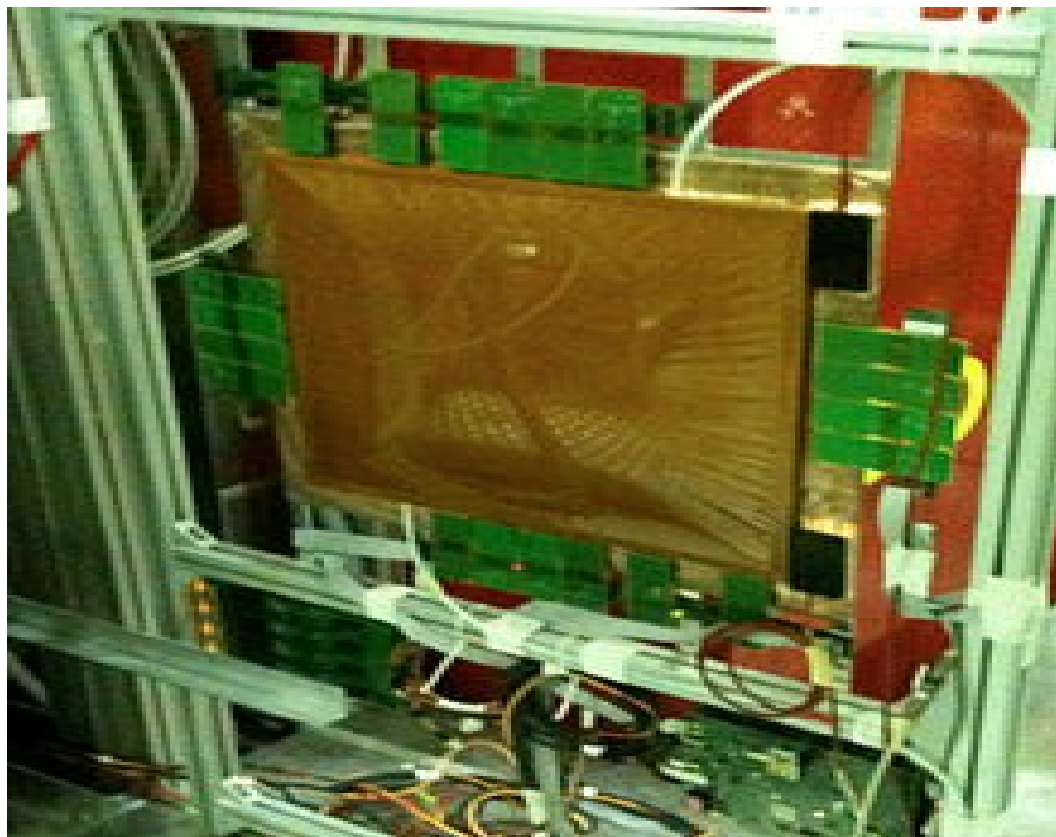
Cosa vuol dire sviluppare un rivelatore?



- **Meccanica**
- Elettronica
- Acquisizione dati
- Interfacciamento hardware/software
- Analisi Dati

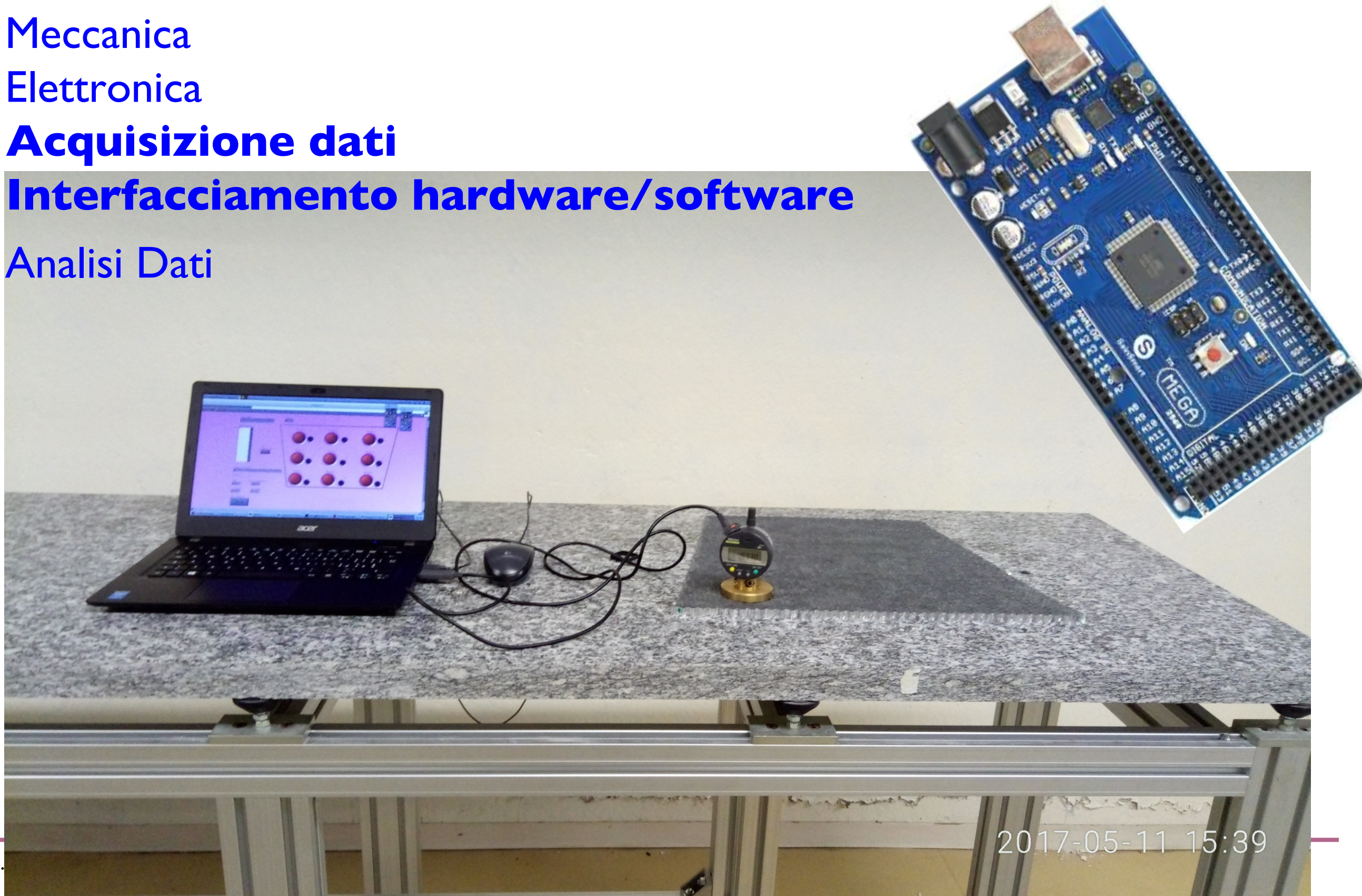
Cosa vuol dire sviluppare un rivelatore?

- Meccanica
- **Elettronica**
- Acquisizione dati
- Interfacciamento hardware/software
- Analisi Dati



Cosa vuol dire sviluppare un rivelatore?

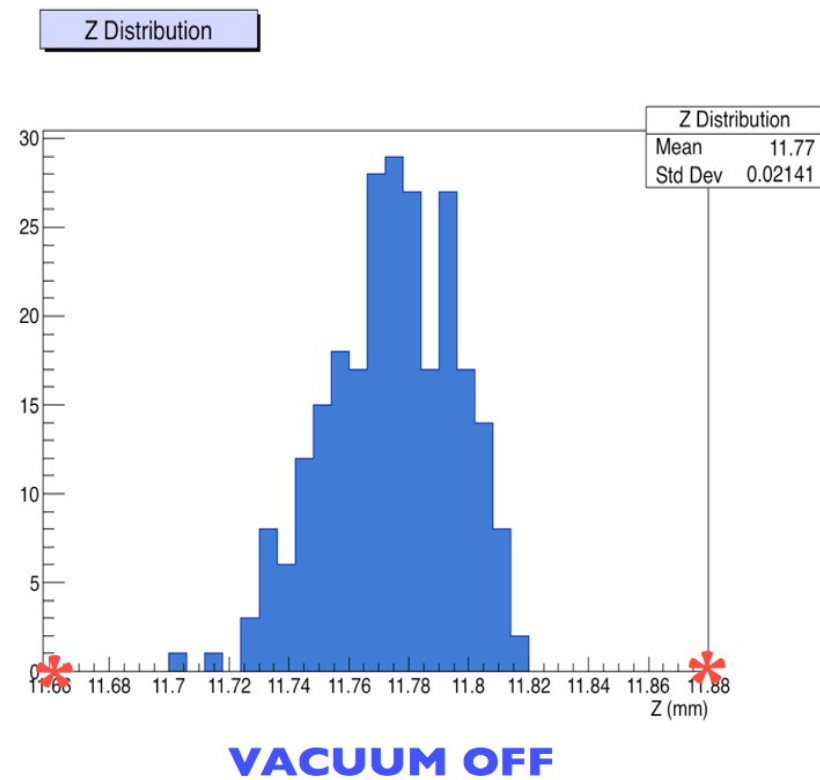
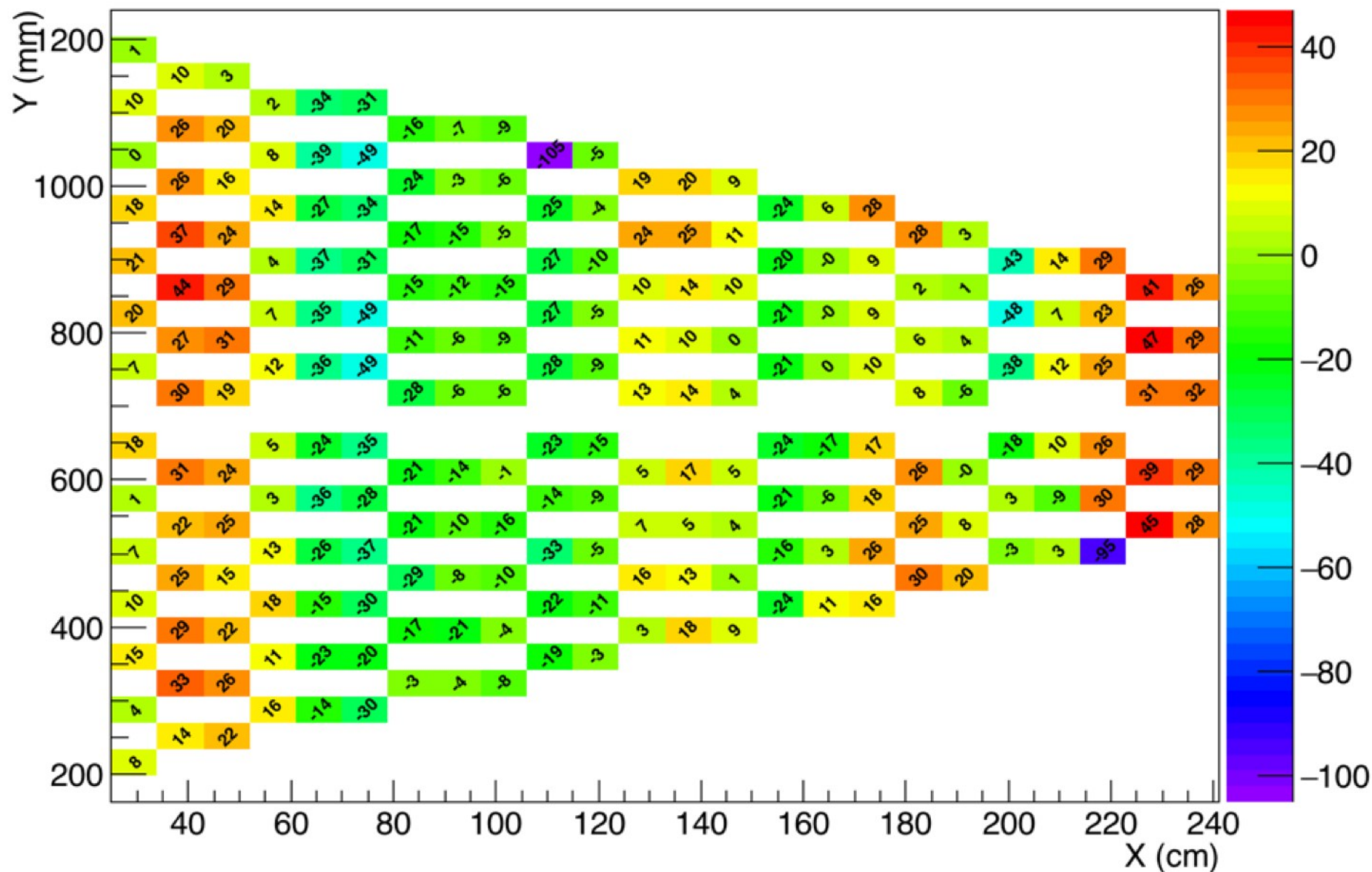
- Meccanica
- Elettronica
- **Acquisizione dati**
- **Interfacciamento hardware/software**
- Analisi Dati



2017-05-11 15:39

Cosa vuol dire sviluppare un rivelatore?

- Meccanica
- Elettronica
- Acquisizione dati
- Interfacciamento hardware/software
- **Analisi Dati**

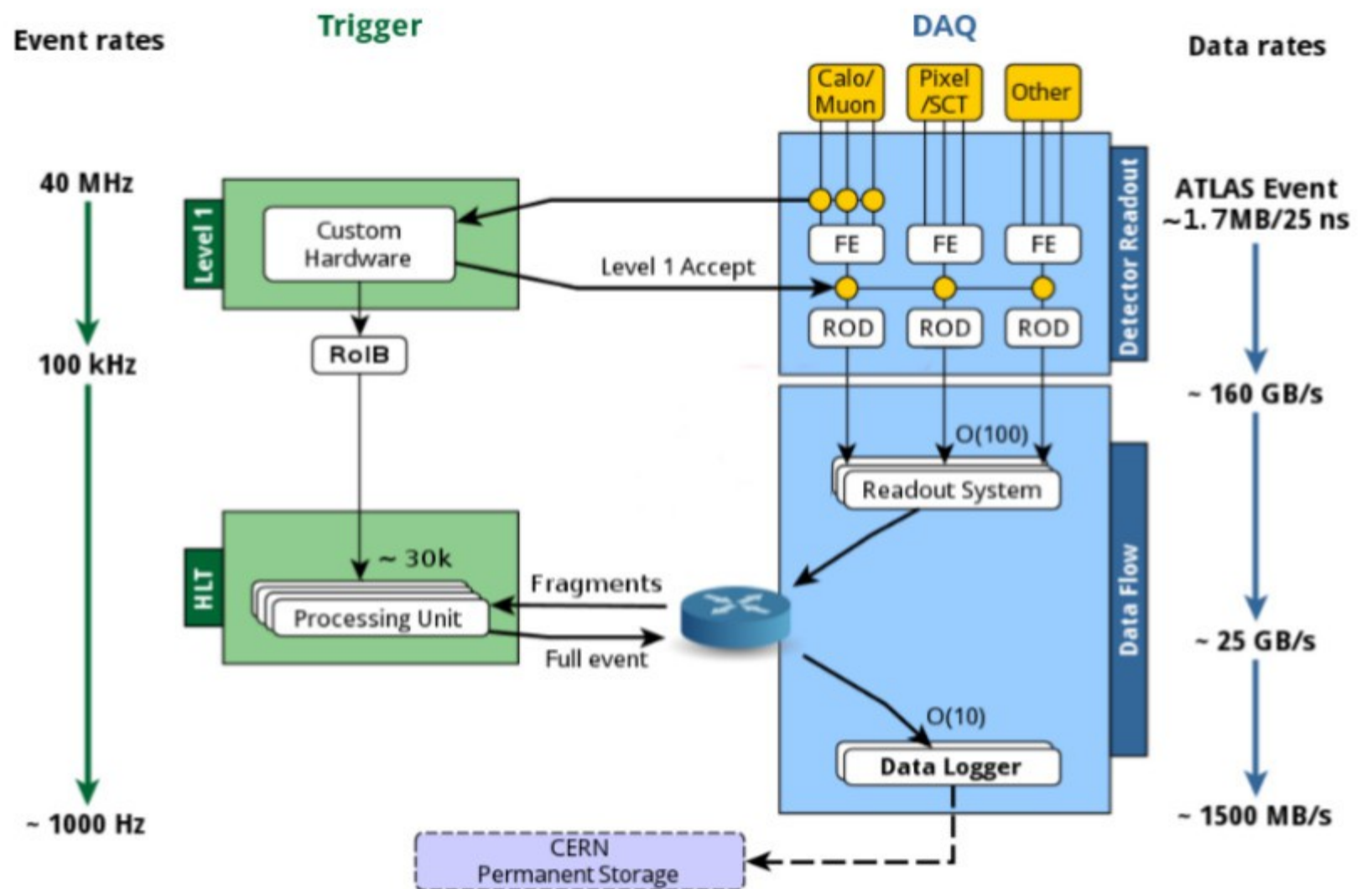
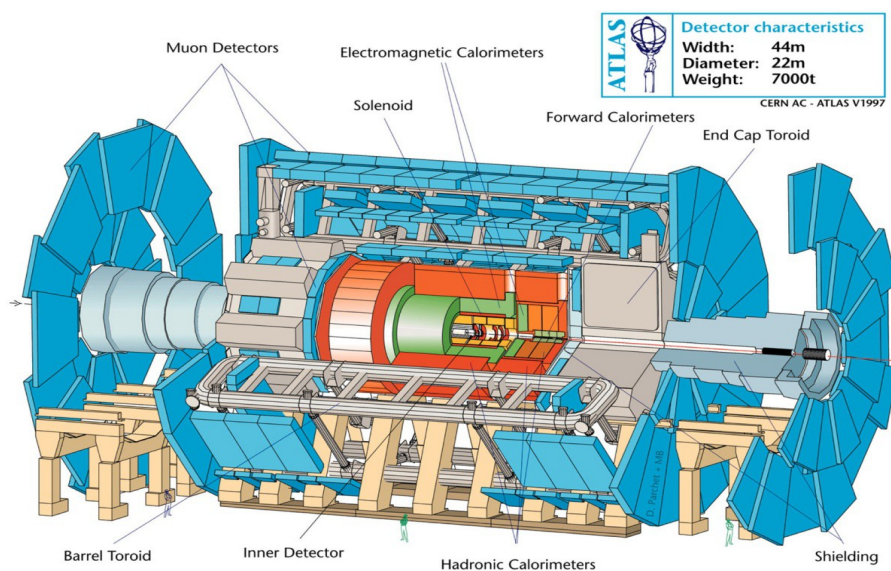


Selezione e Acquisizione Dati

Selezione dati su due livelli:

1) trigger di primo livello con hardware specializzato

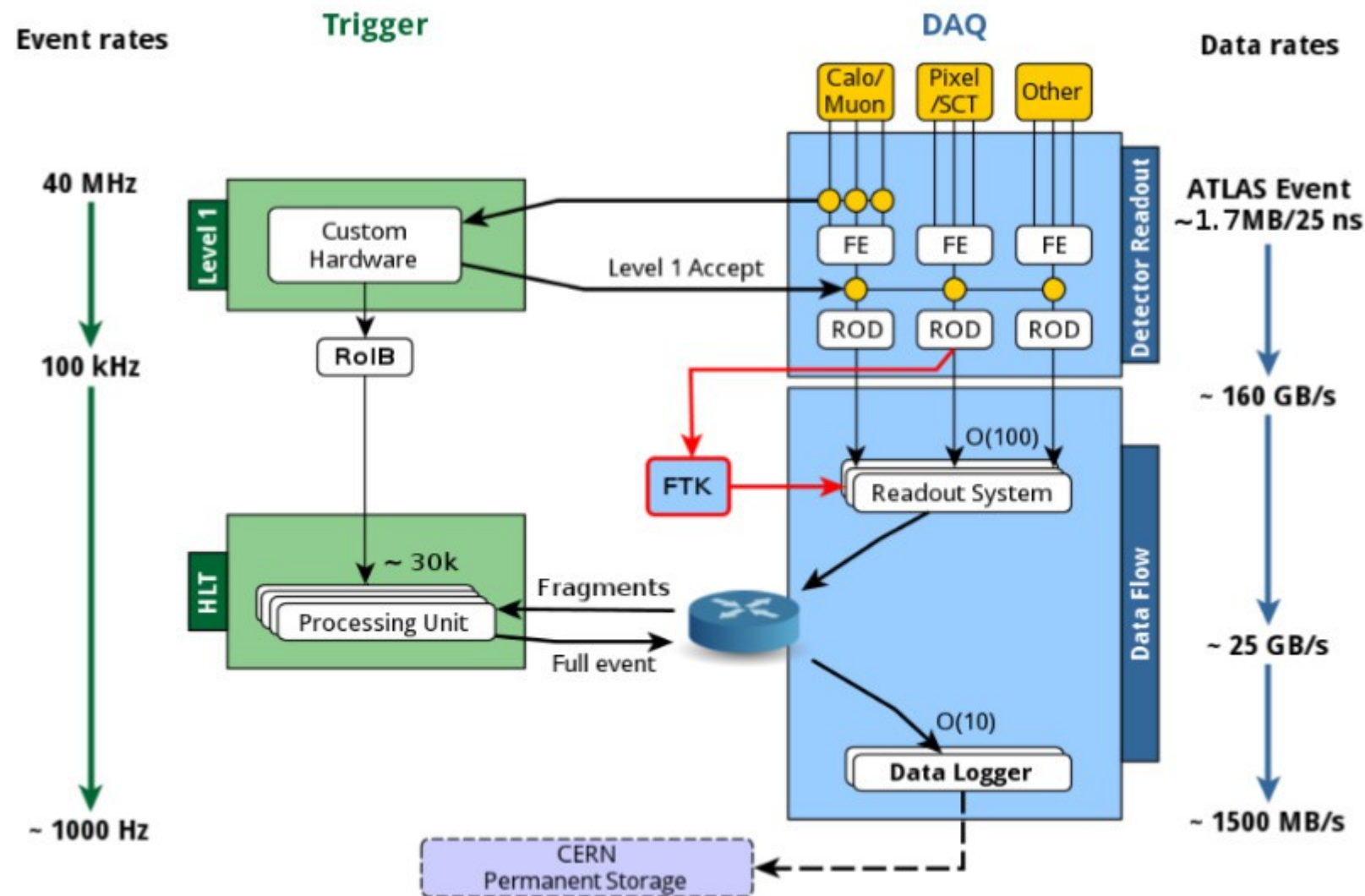
2) trigger di alto livello (HLT) con software su computer commerciali



Fast Tracker (FTK)

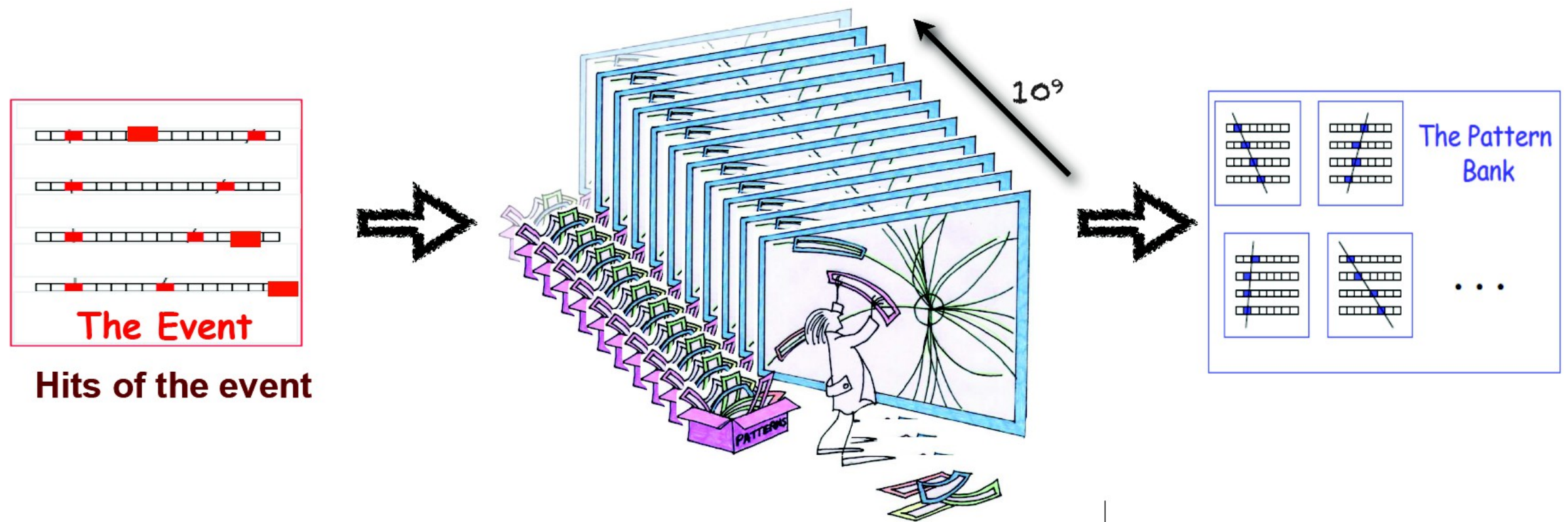
Aumenta la luminosità di LHC -> sempre più eventi sovrapposti (urti in contemporanea):

- 1) ricostruzione di tracce con elettronica dedicata (circa un miliardo di tracce al secondo)*
- 2) informazione aggiunta all'evento in memoria nel sistem di readout*



FTK

- 1) tutti i possibili pattern vengono salvati in banchi di memorie
- 2) ogni pattern che arriva viene confrontato in parallelo con tutti quelli memorizzati
- 3) se viene identificato, si procede alla interpolazione dei dati (f t)



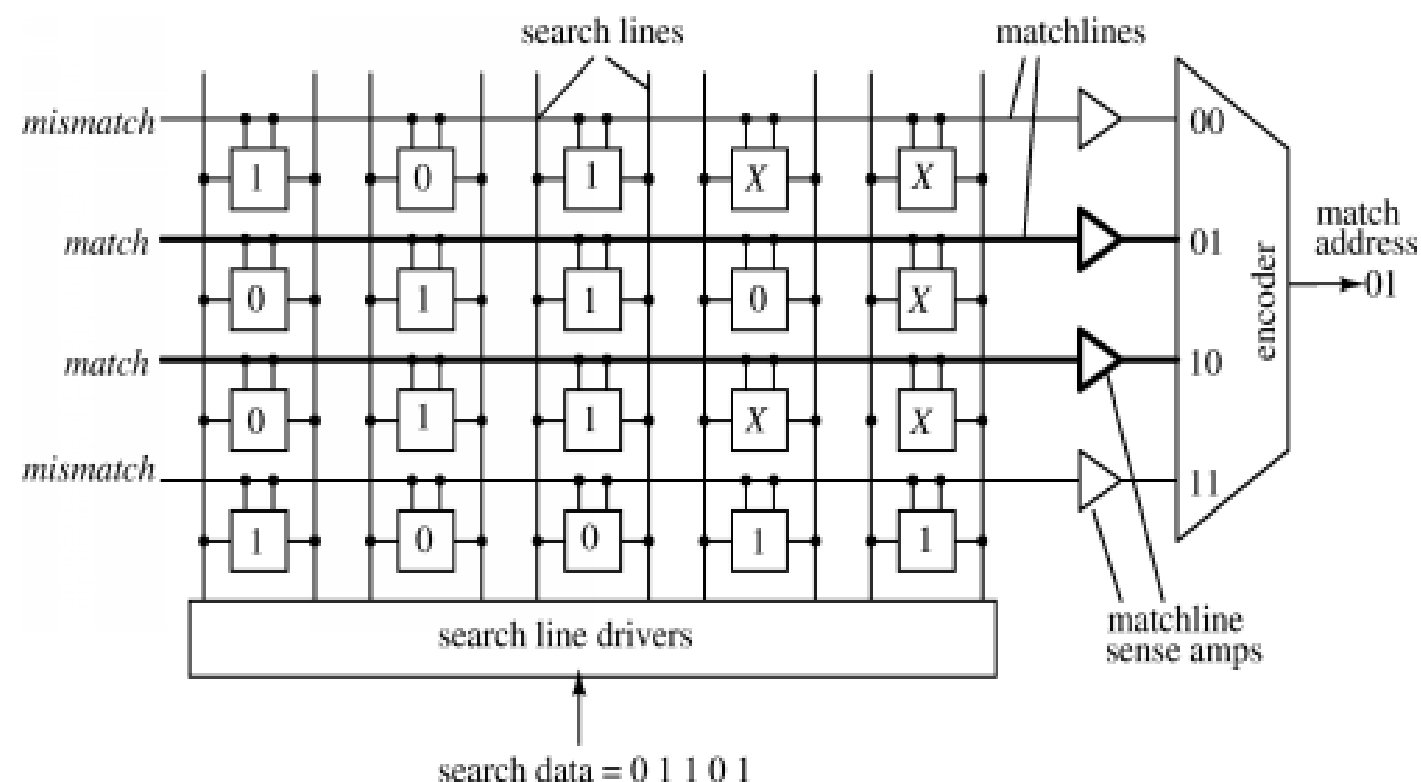
Le memorie associative

Random Access Memory

- *Dati ricercabili per indirizzo: dall'indirizzo ai dati*

Content Addressable Memory

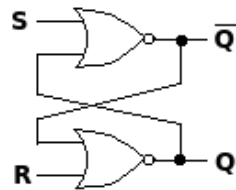
- *Dati ricercabili per contenuto*
- *Dai dati all'indirizzo: massimo livello possibile di parallelismo*



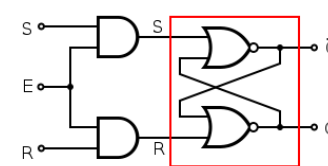
qualche flash di botanica digitale

Latch e Flip-Flop

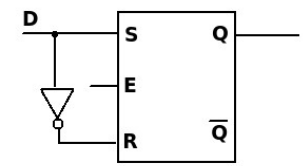
*Set/Reset
Latch:*



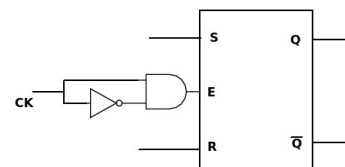
*Gated S/R
Latch:*



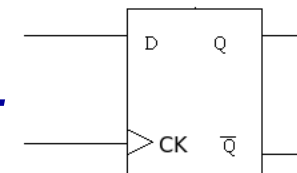
Gated D Latch:



S/R Flip-Flop:



D FF (1-bit memory):

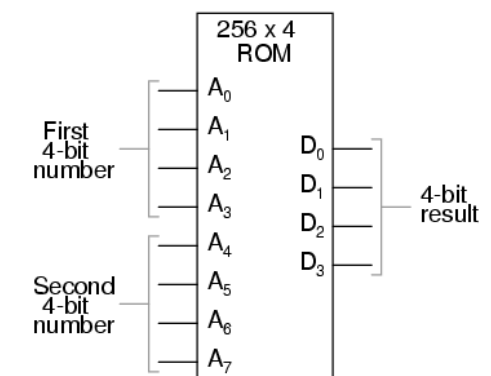


Look-Up Table (LUT)

Memorie Read-Only in cui l'INPUT è costituito dalle linee di indirizzamento e l'OUTPUT dalle linee di dati

Usate per implementare funzioni logiche anche complesse

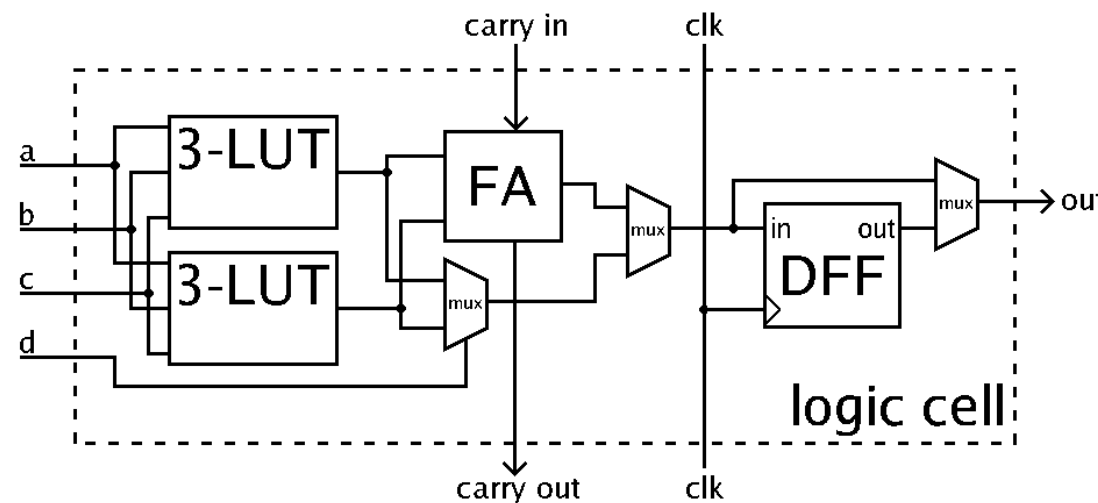
Tutti i risultati devono essere caricati in memoria



FPGA: Field-Programmable Gate Array

Matrici di blocchi logici programmabili con milioni di unità interconnesse composte

- *look-up table (per eseguire calcoli logici combinatori)*
- *multiplexer (per selezionare un risultato in particolare)*
- *flip-flop (per memorizzare il risultato in momenti ben definiti)*

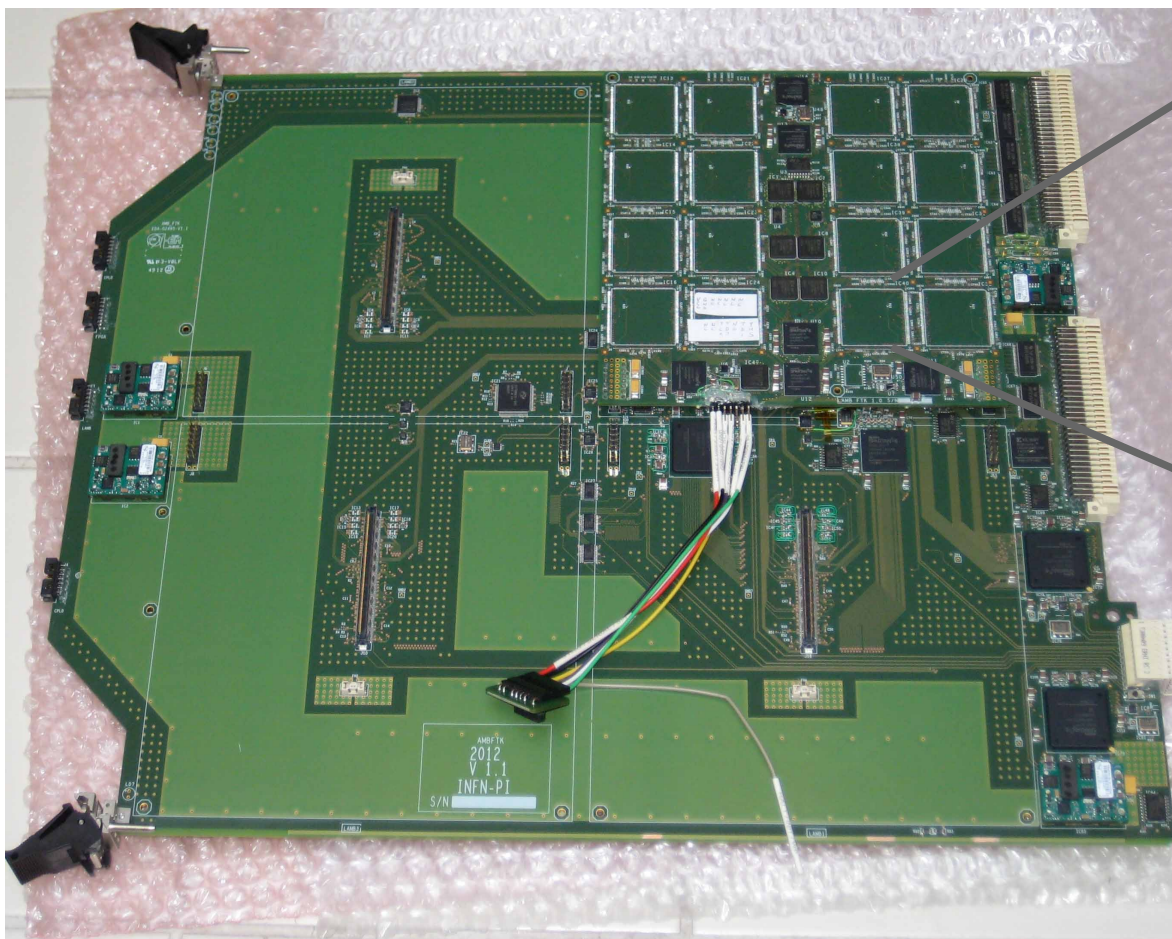


Incredibilmente versatili ed efficienti, utilizzate in FTK per le interpolazioni

FTK: l'hardware

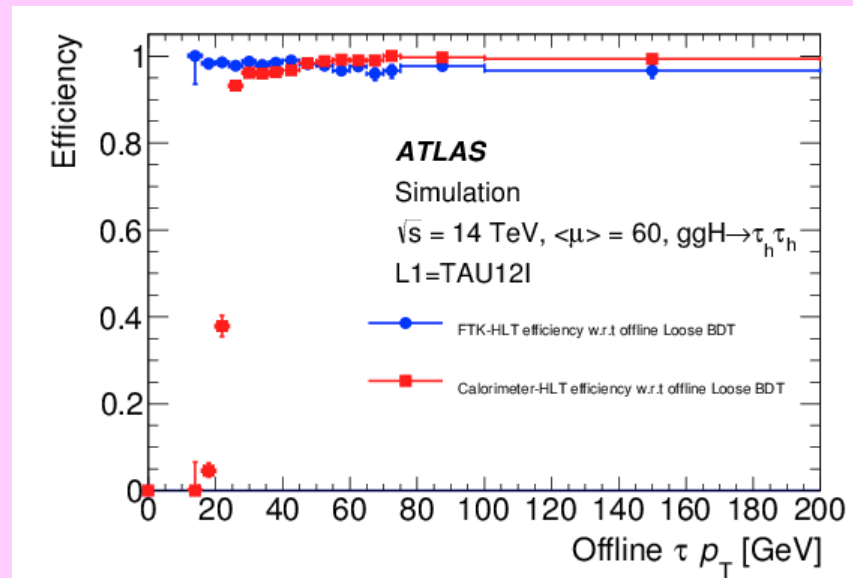
In fase di installazione in ATLAS:

- circa 16000 AM (1G di pattern) alloggiate in 128 schede VME
- 512 FPGA su centinaia di schede apposite



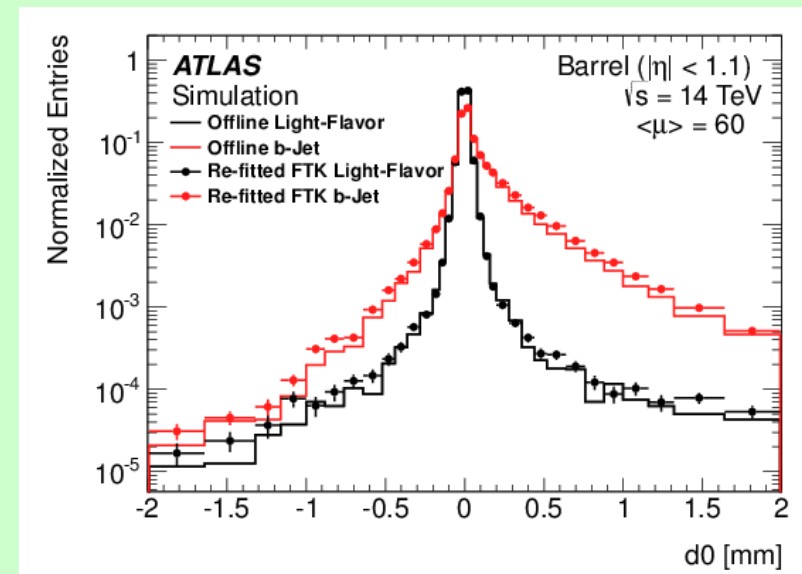
FTK: performance

P_T ricostruito per decadimenti
adronici di leptoni τ



→ +50% dell'efficienza di selezione
rispetto agli algoritmi standard senza
un significativo aumento del rate del
fondo

parametro d'impatto per tracce
associate a jet che vengono da quark
leggeri o a jet prodotti da quark bottom

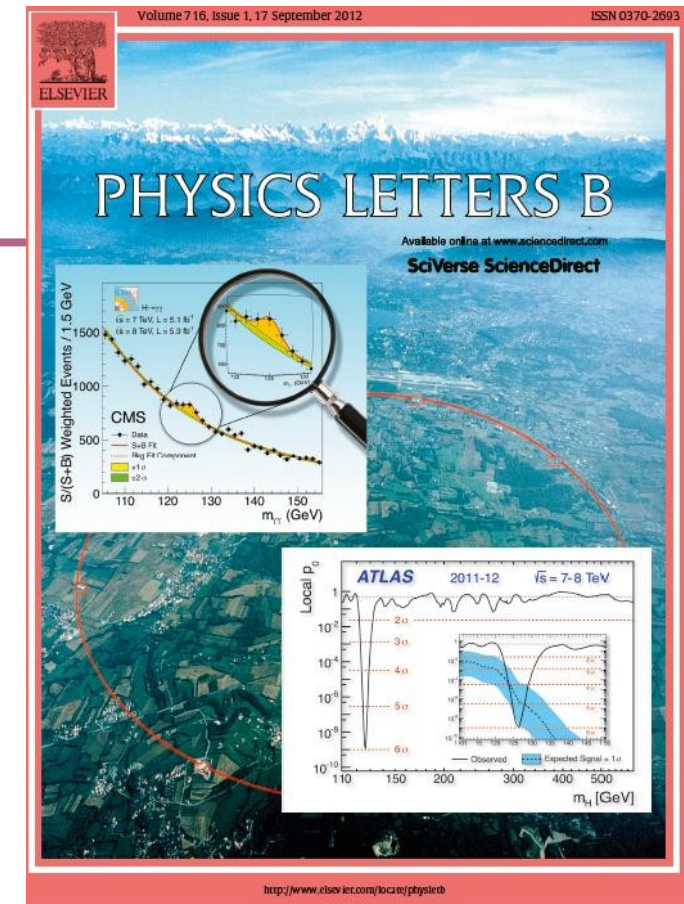


→ prestazioni simili alla ricostruzione offline

Dai dati ... ai risultati di fisica

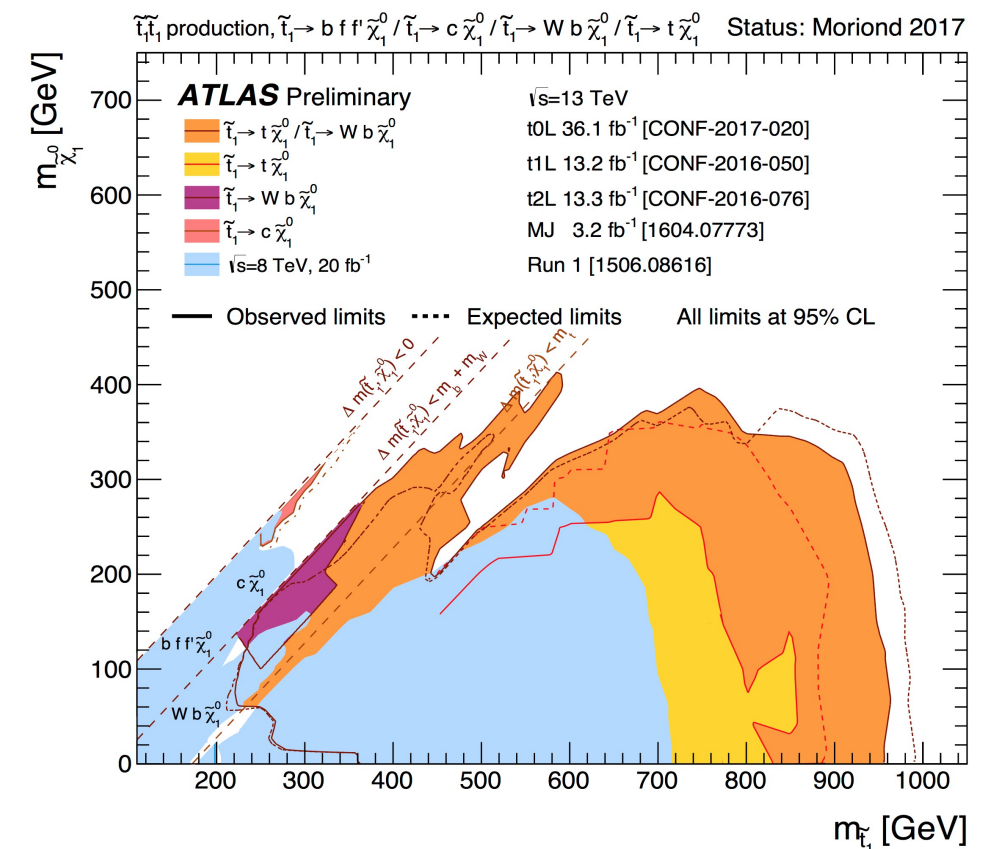
```

00000004 00000001 0000c89c aa1234aa 00003227 0000001c 04000000 00793c29 00000001 00000000
00000000 50753e27 0ab16f70 00097a2b 00000000 00033dac 00000063 920117d5 00000aa8 00000081
00000018 00020000 40000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00020000
00000000 dd1234dd 0000002d 00000009 04000000 00210000 00000002 00000000 92011d7f 00000001
ee1234ee 00000009 03010000 00210000 00033dac 920117d5 00000aa8 00000081 00000000 2003e766
2013e282 201490d2 9c122017 ef322018 9d562023 dfa22039 c2224000 2040aa82 2041c3a2 204282b3
20489082 2057efb2 205a8616 2063cce2 2066aee2 2068a0c2 20768ff7 99522077 de72207b d8224000
00000000 00000000 00000002 00000015 00000001 d04326b2 dd1234dd 0000002d 00000009 04000000
00210001 00000002 00000000 92011d80 00000001 ee1234ee 00000009 03010000 00210001 00033dac
920117d5 00000aa8 00000081 00000000 2004af72 2010a3f2 20128ec2 2017c212 202083c2 9ec22025
c6c22026 a3022034 afb74000 20488602 2053c7c2 20548512 95829672 2063c2e2 e512ee02 20648fb2
2074a5e2 2075d5b2 207aa892 ad32207b ed72ee32 00000000 00000000 00000002 00000015 00000001
3de510d4 dd1234dd 00000031 00000009 04000000 00210002 00000002 00000000 92011d80 00000001
ee1234ee 00000009 03010000 00210002 00033dac 920117d5 00000aa8 00000081 00000000 20109ef2
2011ee42 efc22012 93222013 e2822014 97022017 e182201b e0222025 eaa22027 cab22028 80d3202a
84b22035 c5c2ccb2 2036ebc2 20389672 20508002 95a22051 d3172056 9ee22057 ef42205b cee2eca2
2060ad62 2061c4a2 2063ddb7 20649542 00000000 00000000 00000002 00000019
    
```



Scoperte o esclusione di modelli

... un percorso ricco di sorprese



Dai “raw data” agli oggetti fisici

“Raw Data”:

risposta dei rivelatori
al passaggio di una particella

Ricostruzione

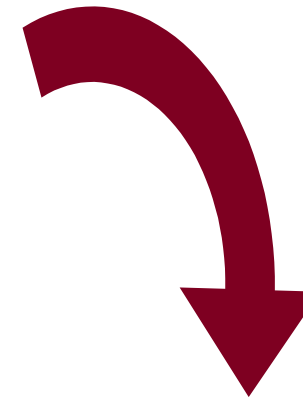
risoluzione
scaladenergia
dataMC
algoritmo
geometria
identificazione
interazione
rivelatore
efficienza
selezione

Oggetti Fisici:

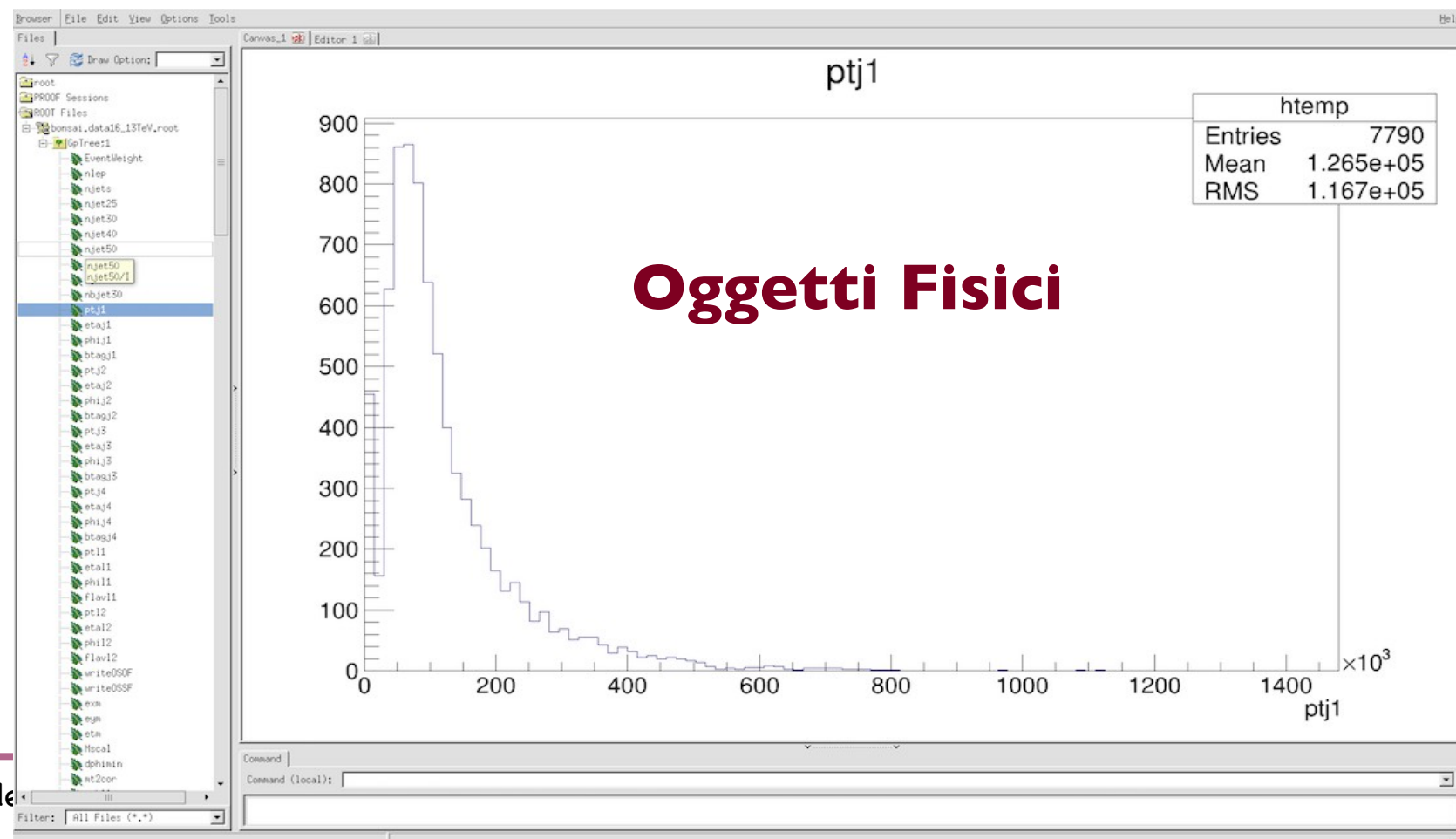
la particella che ha generato il
segnale con tutte le sue proprietà

Dai “raw data” agli oggetti fisici

```
00000004 00000001 0000c89c aa1234aa 00003227 0000001c 04000000 00793c29 00000001 00000000
00000000 50753e27 0ab16f70 00097a2b 00000000 00033dac 00000063 920117d5 00000aa8 00000081
00000018 00020000 40000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00020000
00000000 dd1234dd 0000002d 00000009 04000000 00210000 00000002 00000000 92011d7f 00000001
ee1234ee 00000009 03010000 00210000 00033dac 920117d5 00000aa8 00000081 00000000 2003e766
2013e282 201490d2 9c122017 ef322018 9d562023 dfa22039 c2224000 2040aa82 2041c3a2 204282b3
20489082 2057efb2 205a8616 2063cce2 2066aee2 2068a0c2 20768ff7 99522077 de72207b d8224000
00000000 00000000 00000002 00000015 00000001 d04326b2 dd1234dd 0000002d 00000009 04000000
00210001 00000002 00000000 92011d80 00000001 ee1234ee 00000009 03010000 00210001 00033dac
920117d5 00000aa8 00000081 00000000 2004af72 2010a3f2 20128ec2 2017c212 202083c2 9ec22025
c6c22026 a3022034 afb74000 20488602 2053c7c2 20548512 95829672 2063c2e2 e512ee02 20648fb2
2074a5e2 2075d5b2 207aa892 ad32207b ed72ee32 00000000 00000000 00000002 00000015 00000001
3de510d4 dd1234dd 00000031 00000009 04000000 00210002 00000002 00000000 92011d80 00000001
ee1234ee 00000009 03010000 00210002 00033dac 920117d5 00000aa8 00000081 00000000 20109ef2
2011ee42 efc22012 93222013 e2822014 97022017 e182201b e0222025 eaa22027 cab22028 80d3202a
84b22035 c5c2ccb2 2036ebc2 20389672 20508002 95a22051 d3172056 9ee22057 ef42205b cee2eca2
2060ad62 2061c4a2 2063ddb7 20649542 00000000 00000000 00000002 00000019
```

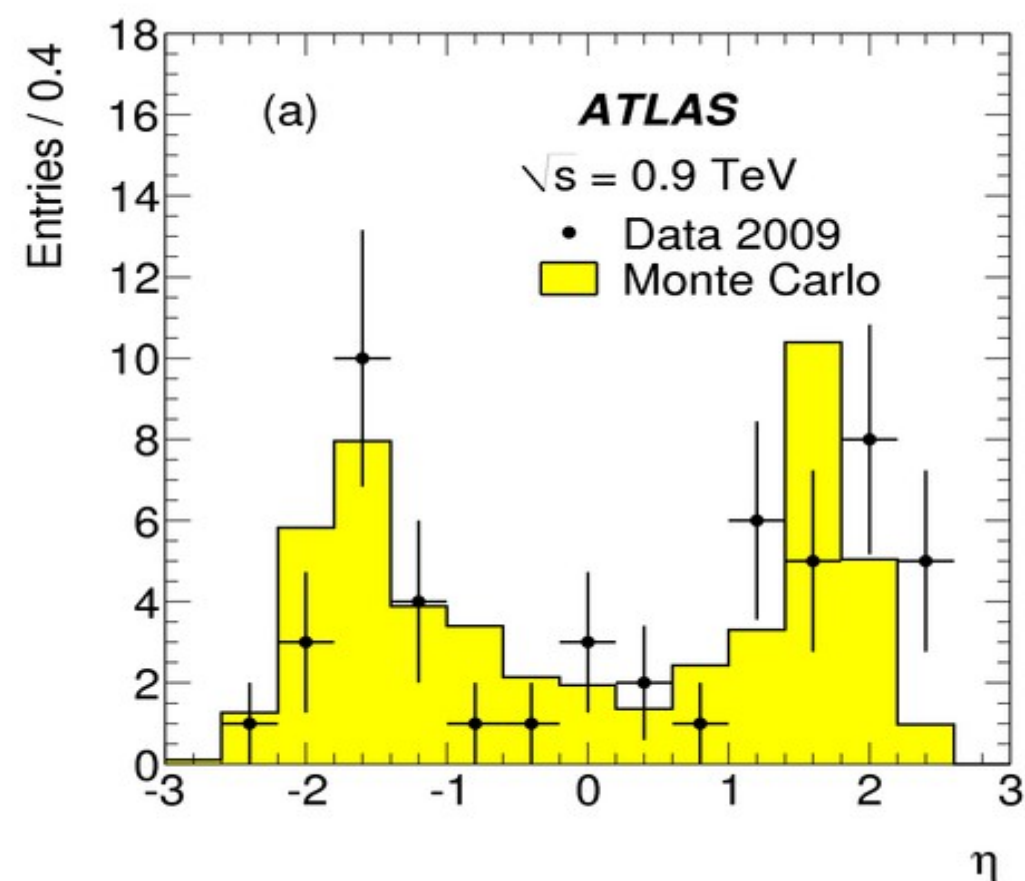
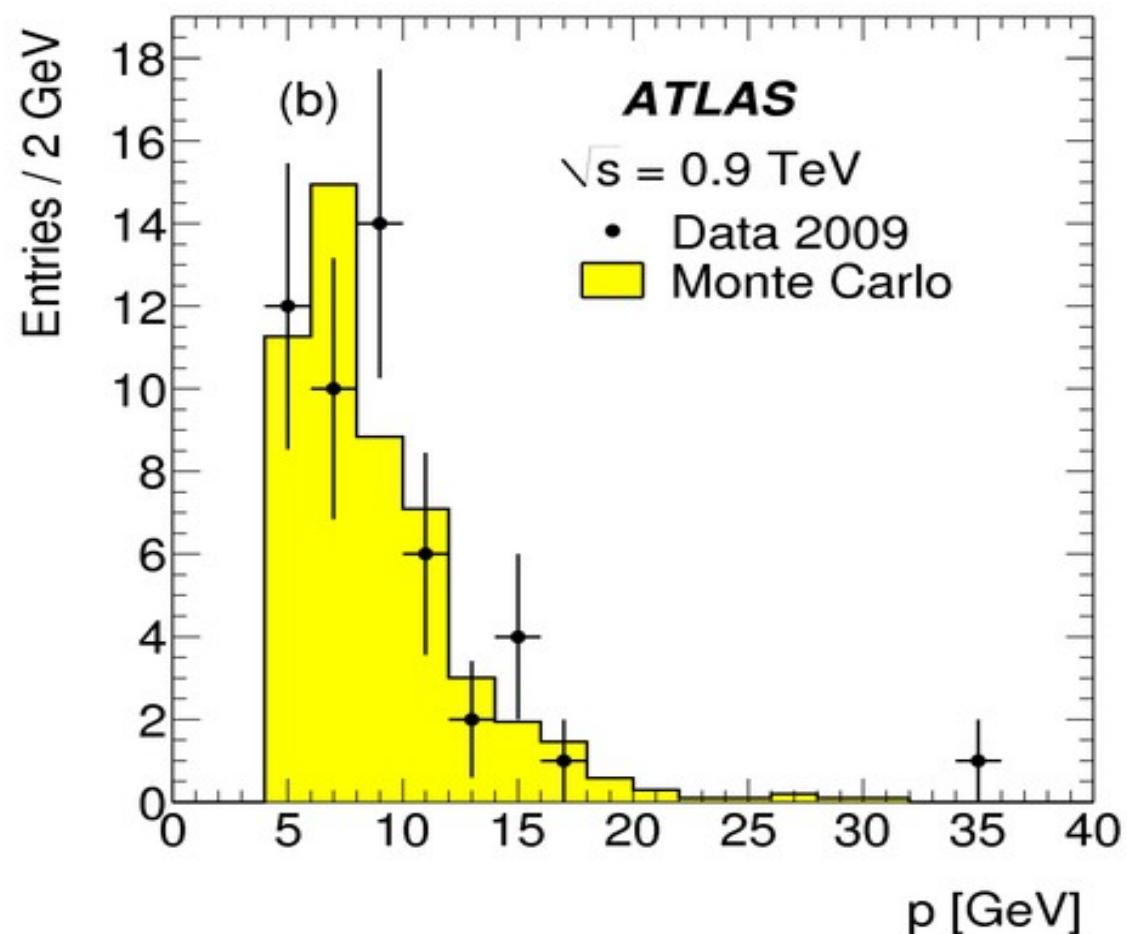
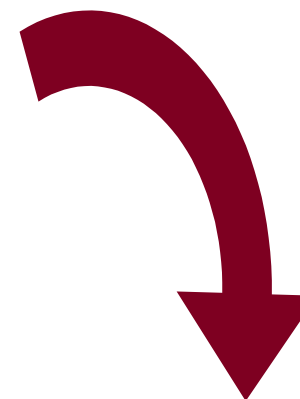


“Raw Data”



Dai "raw data" agli oggetti fisici

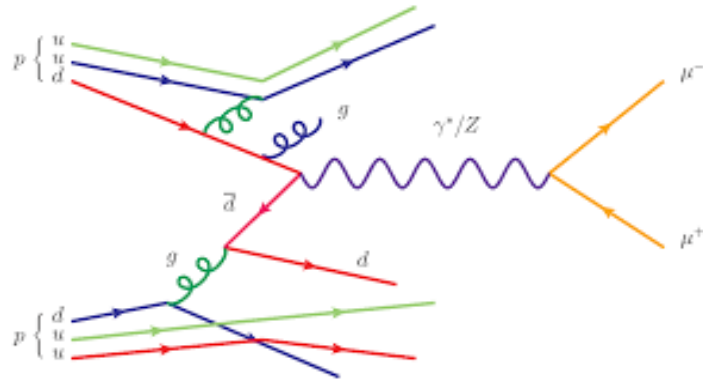
```
00000004 00000001 0000c89c aa1234aa 00003227 0000001c 04000000 00793c29 00000001 00000000
00000000 50753e27 0ab16f70 00097a2b 00000000 00033dac 00000063 920117d5 00000aa8 00000081
00000018 00020000 40000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00020000
00000000 dd1234dd 0000002d 00000009 04000000 00210000 00000002 00000000 92011d7f 00000001
ee1234ee 00000009 03010000 00210000 00033dac 920117d5 00000aa8 00000081 00000000 2003e766
2013e282 201490d2 9c122017 ef322018 9d562023 dfa22039 c2224000 2040aa82 2041c3a2 204282b3
20489082 2057efb2 205a8616 2063cce2 2066aee2 2068a0c2 20768ff7 99522077 de72207b d8224000
00000000 00000000 00000002 00000015 00000001 d04326b2 dd1234dd 0000002d 00000009 04000000
00210001 00000002 00000000 92011d80 00000001 ee1234ee 00000009 03010000 00210001 00033dac
920117d5 00000aa8 00000081 00000000 2004af72 2010a3f2 20128ec2 2017c212 202083c2 9ec22025
c6c22026 a3022034 afb74000 20488602 2053c7c2 20548512 95829672 2063c2e2 e512ee02 20648fb2
2074a5e2 2075d5b2 207aa892 ad32207b ed72ee32 00000000 00000000 00000002 00000015 00000001
3de510d4 dd1234dd 00000031 00000009 04000000 00210002 00000002 00000000 92011d80 00000001
ee1234ee 00000009 03010000 00210002 00033dac 920117d5 00000aa8 00000081 00000000 20109ef2
2011ee42 efc22012 93222013 e2822014 97022017 e182201b e0222025 eaa22027 cab22028 80d3202a
84b22035 c5c2ccb2 2036ebc2 20389672 20508002 95a22051 d3172056 9ee22057 ef42205b cee2eca2
2060ad62 2061c4a2 2063ddb7 20649542 00000000 00000000 00000002 00000019
```



Monte Carlo: la fisica e il rivelatore

Generazione degli eventi:

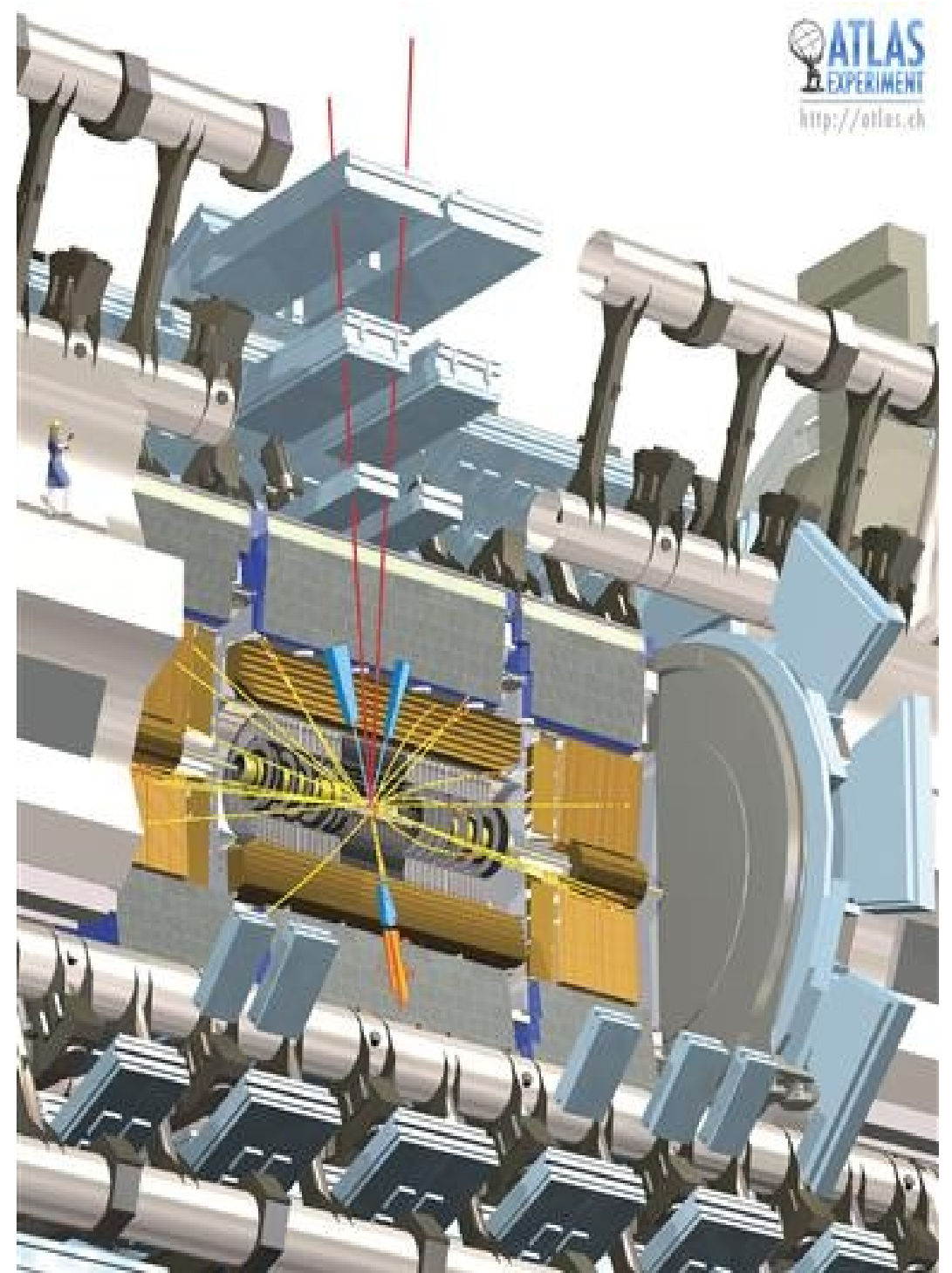
Monte Carlo descrivono i processi della fisica sulla base delle interazioni fondamentali come predette dalla teoria



Descrizione della geometria e della risposta dei rivelatori:

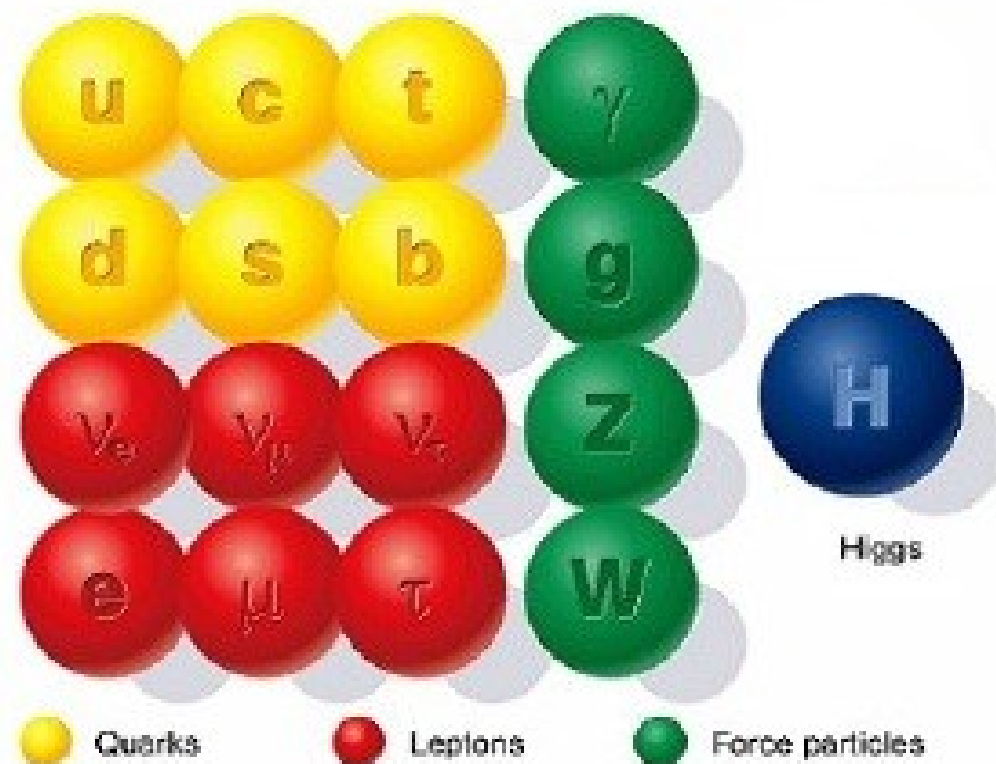
Ogni rivelatore è descritto in dettaglio: dimensioni, materiale, numero di canali

La risposta del rivelatore è codificata con lo stesso formato dei dati

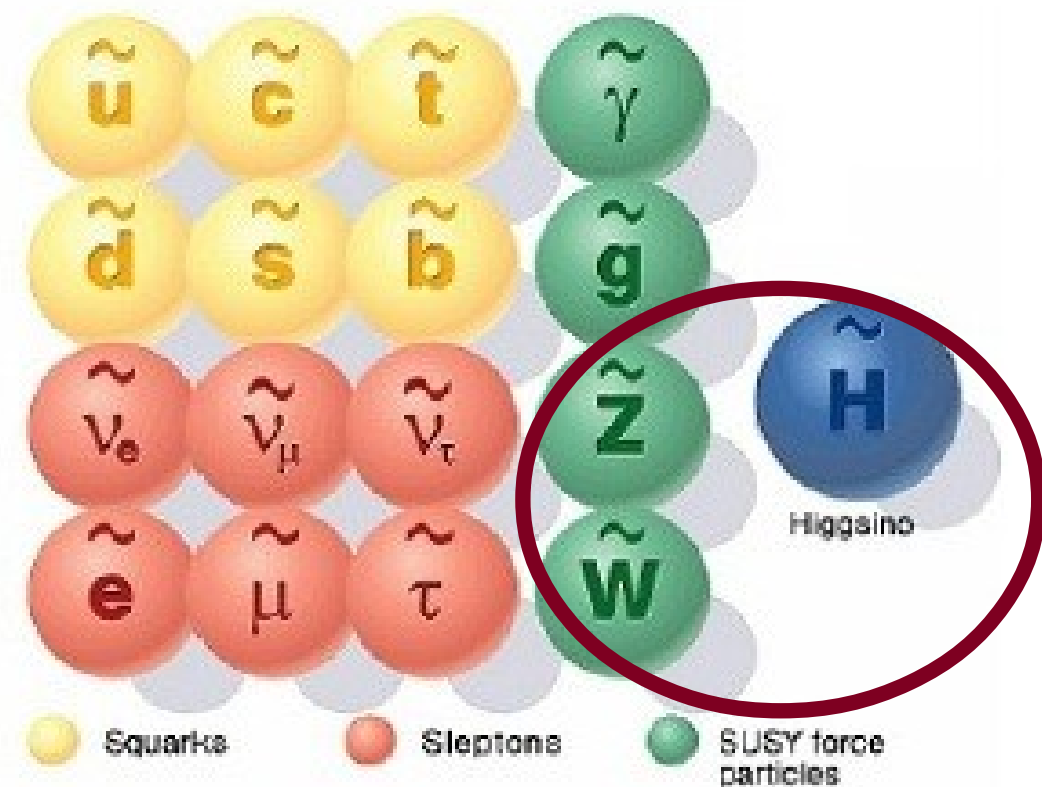


Il “mio” canale di fisica

SUPERSYMMETRY



Standard particles



SUSY particles

Chargino $\tilde{\chi}_{1,2}^\pm$

Neutralino $\tilde{\chi}_{1,2,3,4}^0$

Il “mio” canale di fisica

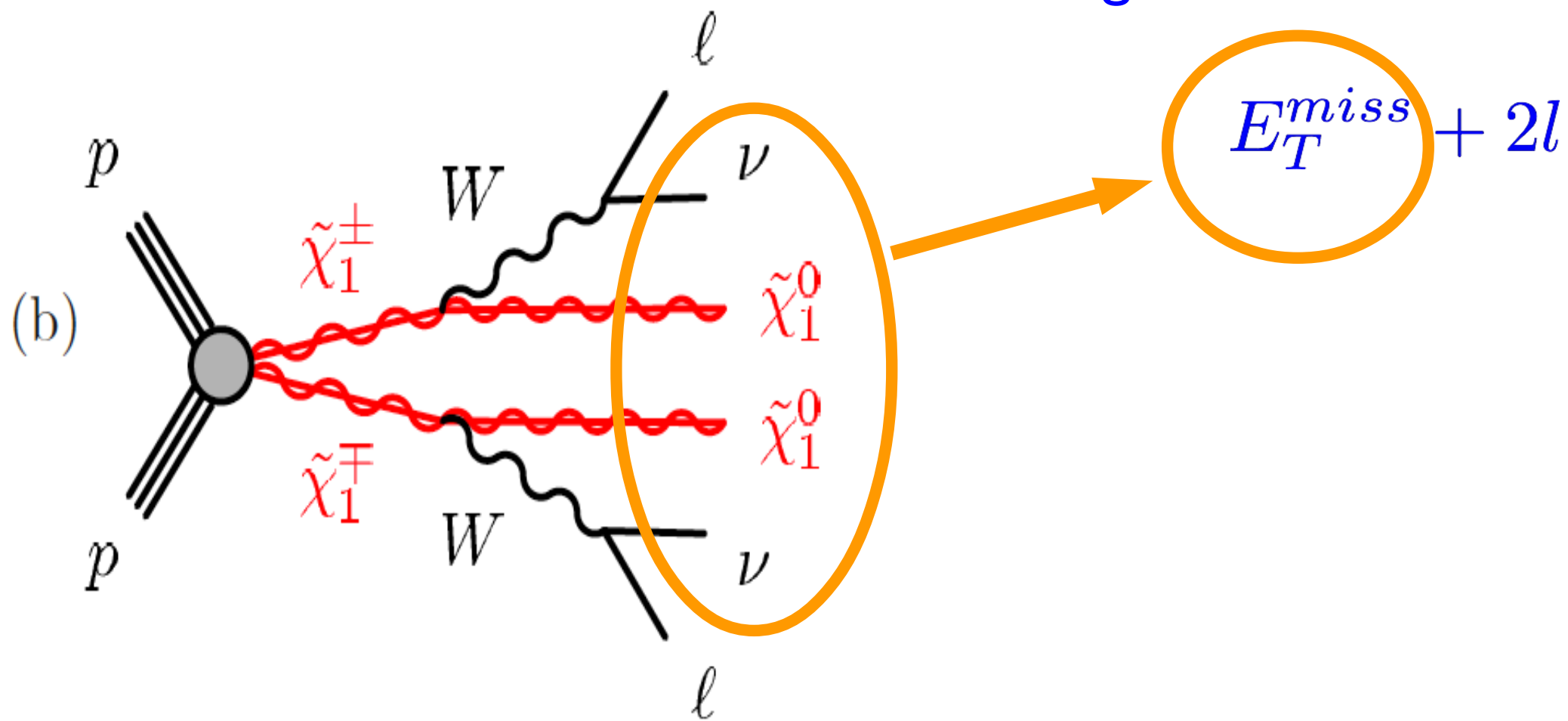
Produzione diretta di chargini

$$pp \rightarrow \tilde{\chi}_1^+ \tilde{\chi}_1^-$$

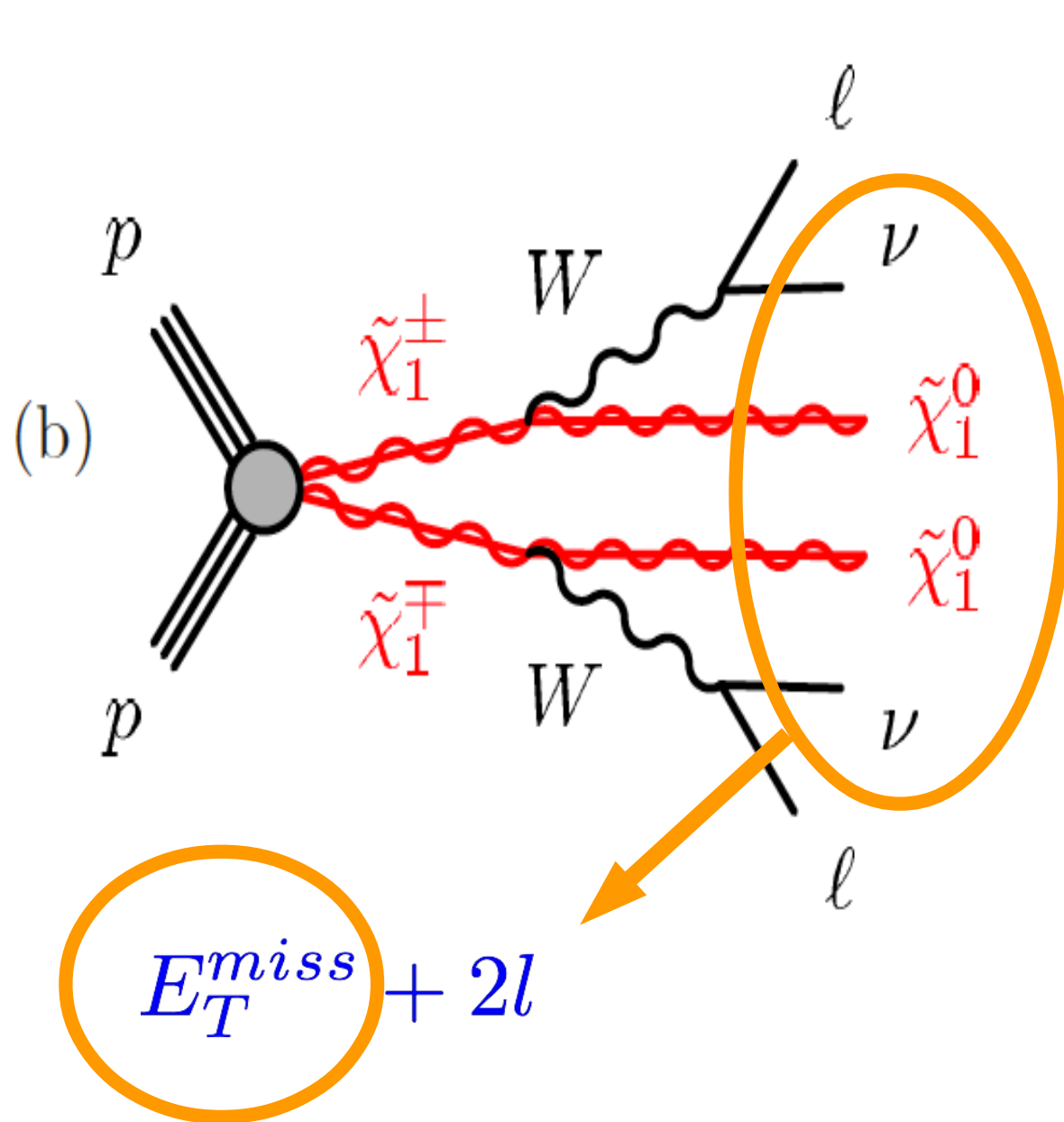
Canale di decadimento

$$\tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow W^\pm \tilde{\chi}_1^0$$

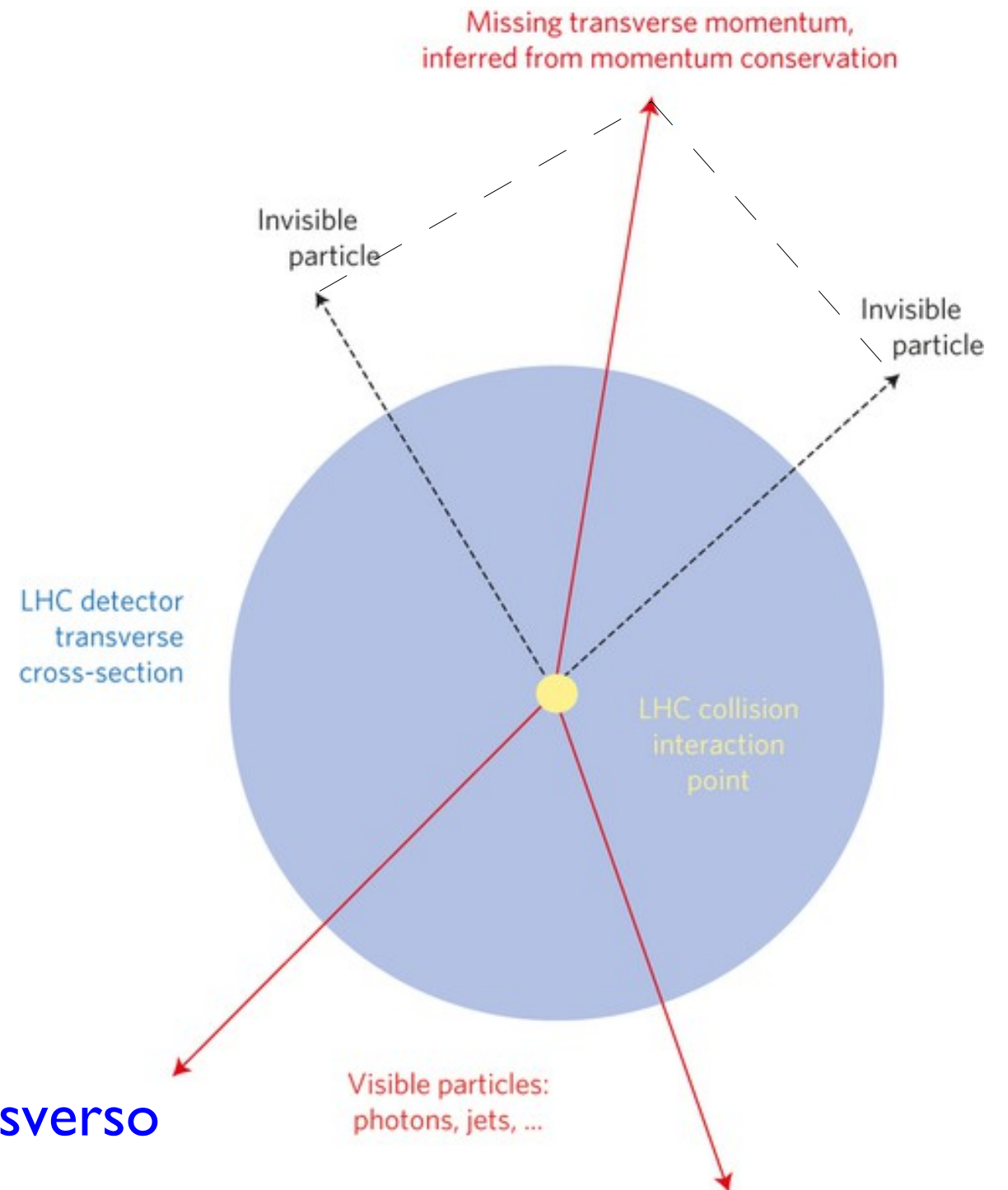
Segnatura dello stato finale



Il "mio" canale di fisica



Conservazione del momento nel piano trasverso



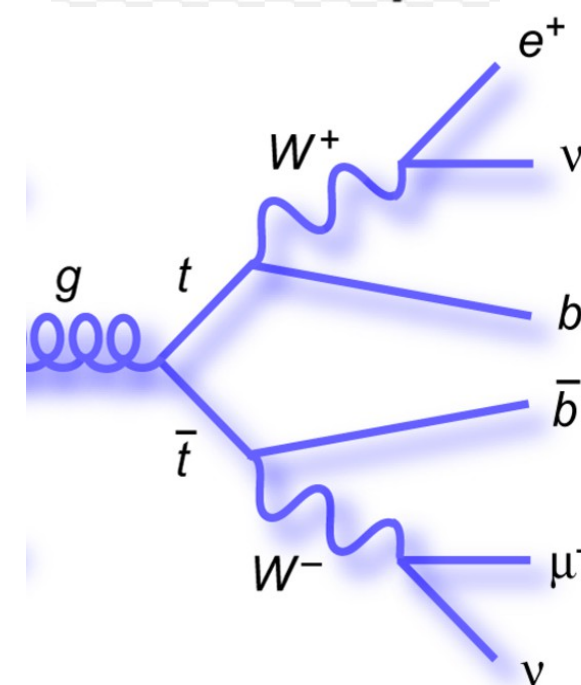
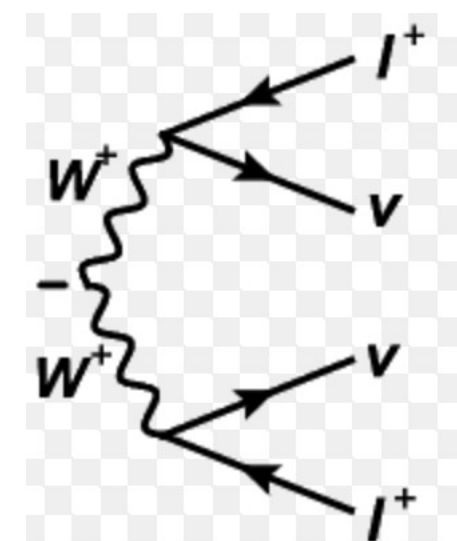
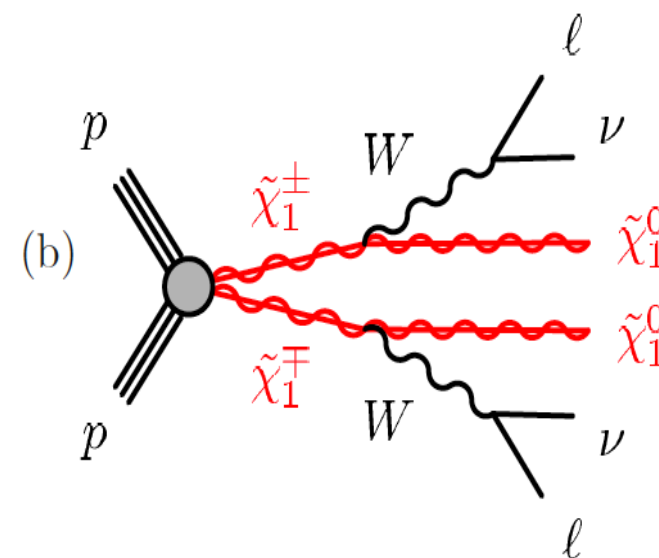
Analisi dati – how to

- ◆ Individuare lo stato finale del segnale

$$E_T^{miss} + 2l$$

- ◆ Individuare processi noti (Modello Standard) che possono costituire un fondo perchè

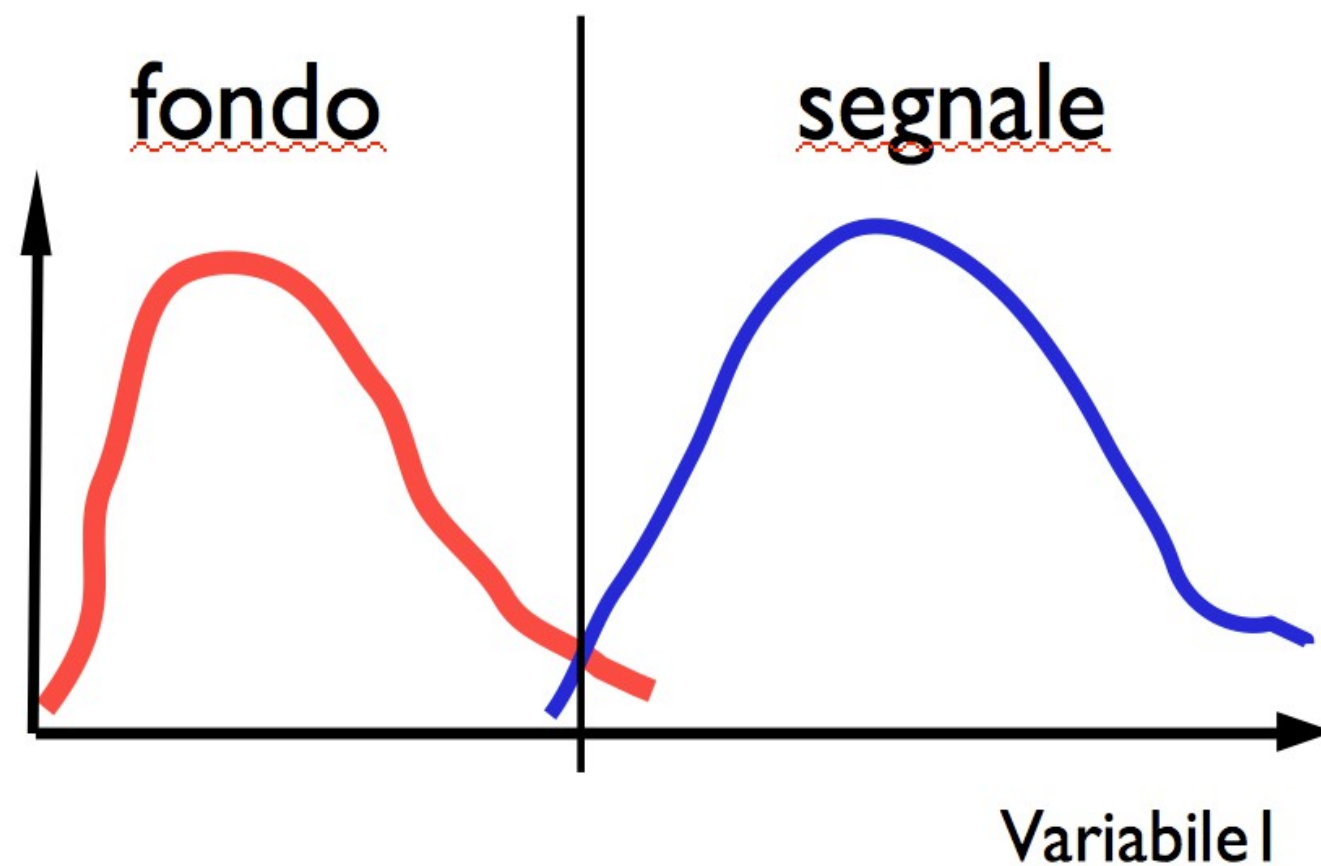
- hanno lo stesso stato finale (fondo riducibile)
- hanno uno stato finale che può essere confuso (fondo irriducibile)



Studio con i campioni Monte Carlo
come separare il segnale dal fondo

Il “mio” canale di fisica

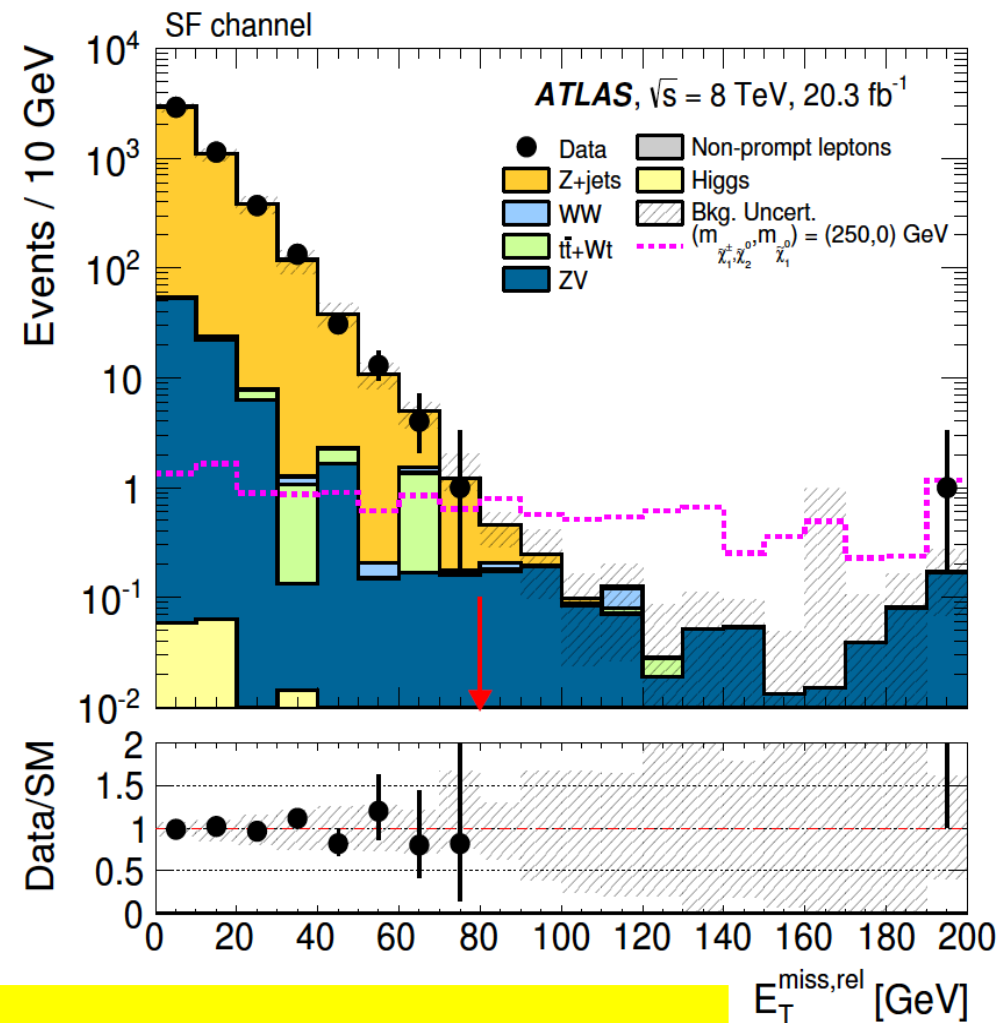
- ◆ Studiare sui campioni Montecarlo le variabili cinematiche
- ◆ Individuare quelle che permettono di separare il segnale dal fondo



Come lo immagini

Il “mio” canale di fisica

- ◆ Studiare sui campioni Montecarlo le variabili cinematiche
- ◆ Individuare quelle che permettono di separare il segnale dal fondo



Come è realmente

Il “mio” canale di fisica

Signal Region:

Cerco una combinazione di tagli di selezione che ottimizzano in rapporto segnale su fondo

SOLO MONTECARLO!

I dati si guardano solo alla fine!

Eccezione (Regioni di controllo e Validazione) :

controllo che la simulazione riproduca bene i dati in regioni diverse da quelle in cui cerco il segnale

lepton flavour	SF
central light jets	≥ 2
central b -jets	0
forward jets	0
$ m_{\ell\ell} - m_Z $ [GeV]	< 10
$m_{\ell\ell}$ [GeV]	—
$E_T^{\text{miss,rel}}$ [GeV]	> 80
$p_{T,\ell\ell}$ [GeV]	> 80
m_{T2} [GeV]	—
$\Delta R_{\ell\ell}$	[0.3,1.5]
m_{jj} [GeV]	[50,100]

La statistica: diamo un senso ai numeri

Confronto Dati/MC (nella regione di segnale)

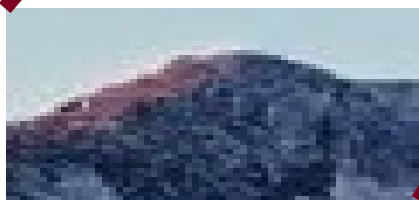
Expected background	
<i>WW</i>	22.1 ± 4.3
<i>ZV</i>	12.9 ± 2.2
Top	3.0 ± 1.8
Others	0.3 ± 0.3
Total	38.2 ± 5.1
Observed events	33

Attenzione alla stima
degli errori:

Valutazione delle incertezze
teoriche e sperimentali

N.B. : Non si sa dove si nasconde la fisica oltre il MS
L'analisi di scoperta potrebbe essere il “mio” canale

Non perdetevi il panorama!



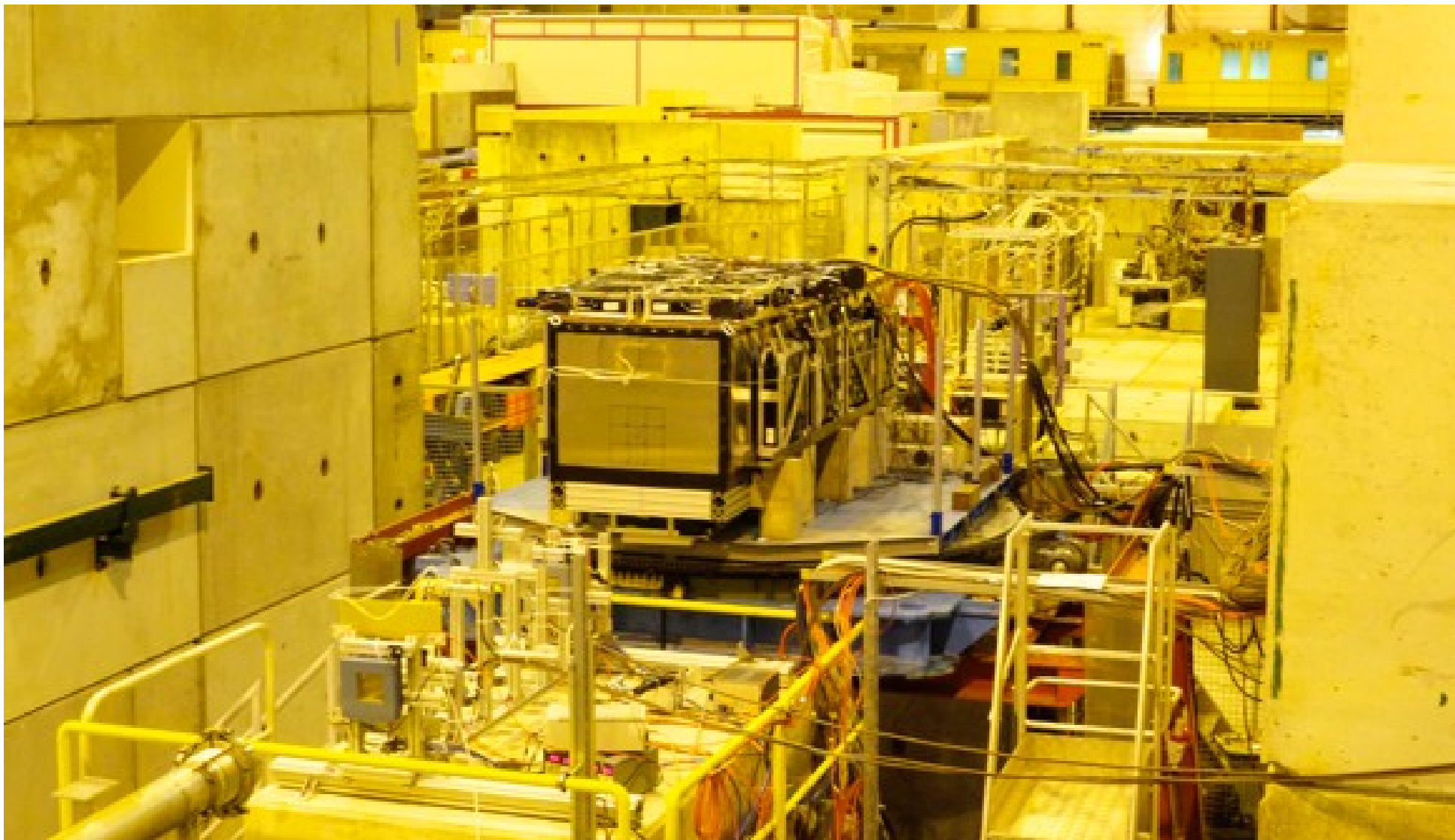
“my job”

Servono $O(3000)$ fisici per tutto questo
Ognuno fa una (o più) piccole parti ...

L'importante è non perdersi
il panorama completo

E al di fuori di ATLAS?

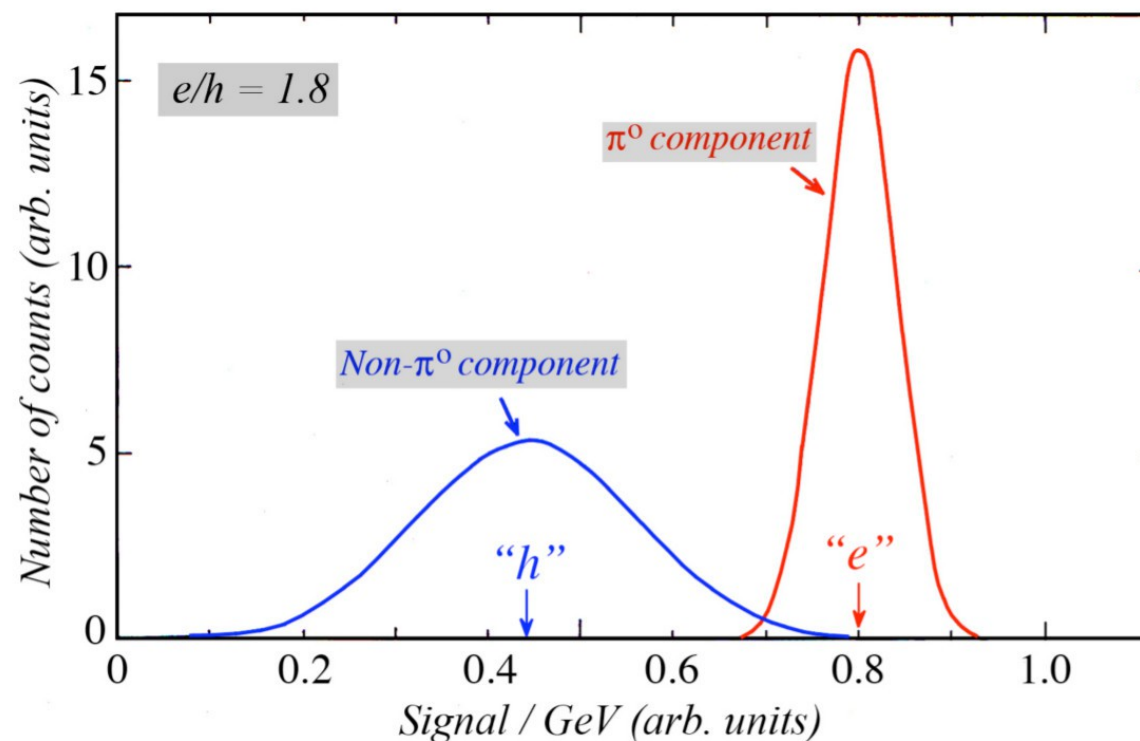
... abbiamo anche una "seconda vita"



Calorimetria adronica con lettura duale

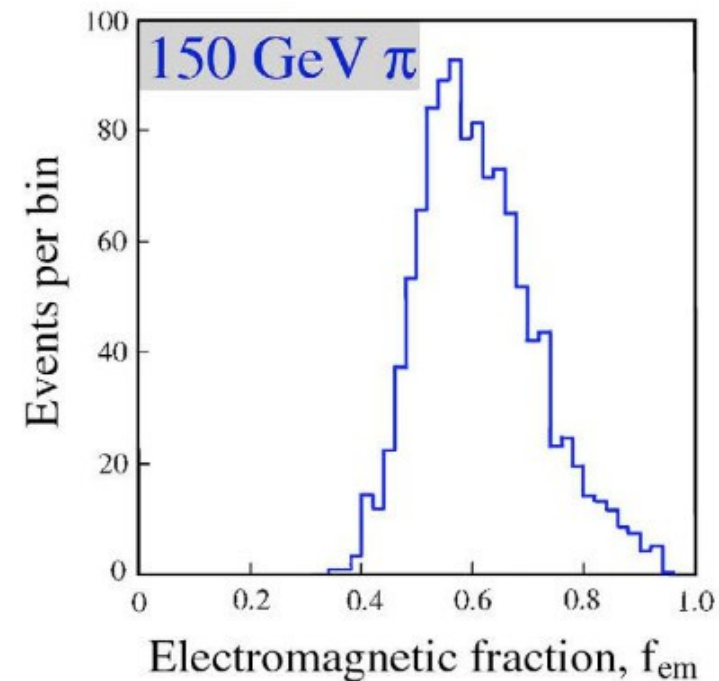
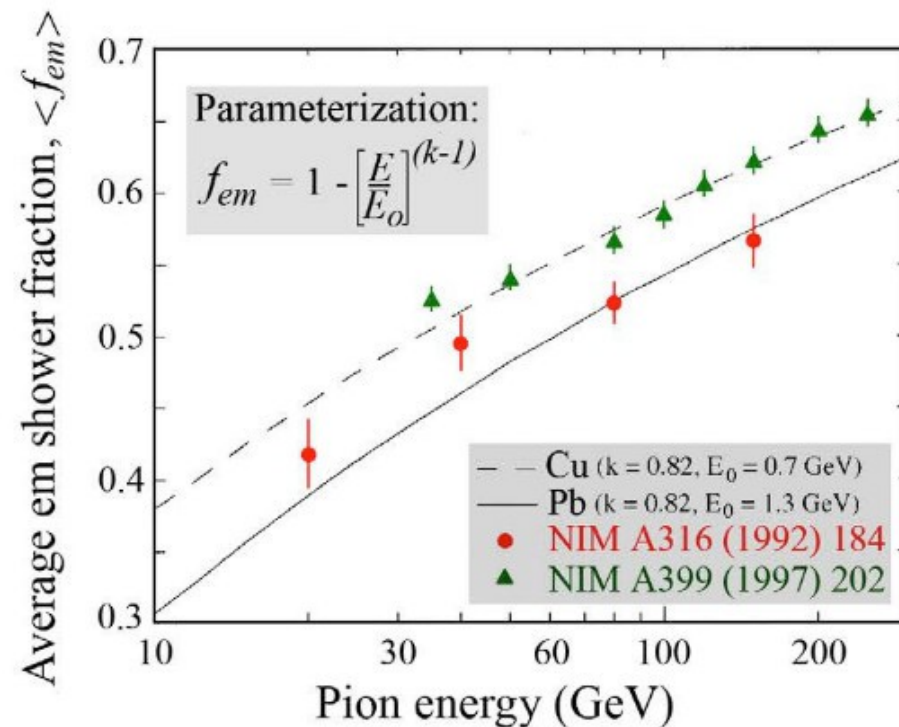
La misura dell'energia delle particelle nucleari (adroni = protoni, neutroni e alcuni mesoni) è in realtà il risultato del campionamento diverso di due componenti (una e.m. e una adronica)

Questo effetto è quantificato nel rapporto e/h
(nel plot $e/h = 1.8$)



la frazione e.m. (f_{em})

la f_{em} cambia a seconda dell'energia e della particella iniziale e del livello di sviluppo (dell'“età”) dello sciame adronico

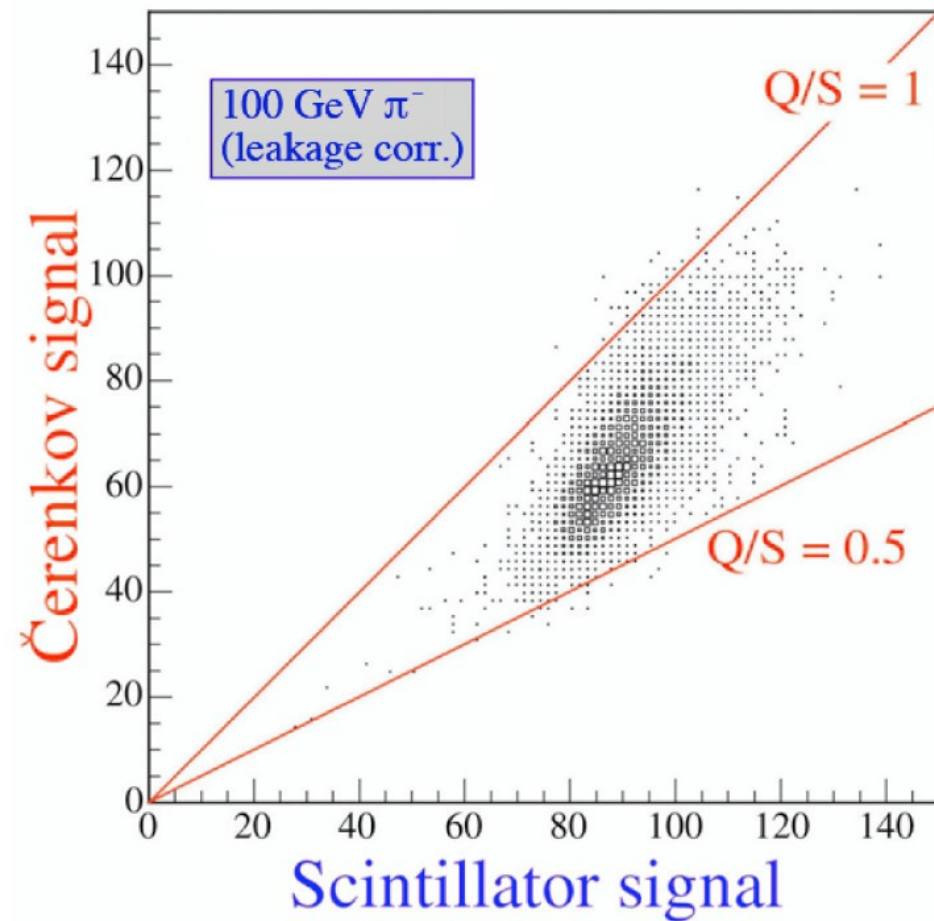


Idea: sfruttare due fenomeni indipendenti (luce di scintillazione e luce erenkov) che hanno valori molto diversi di e/h ed eliminare f_{em}

$$S = [f_{em} + (h/e)_s \times (1 - f_{em})] \times E$$

$$C = [f_{em} + (h/e)_c \times (1 - f_{em})] \times E$$

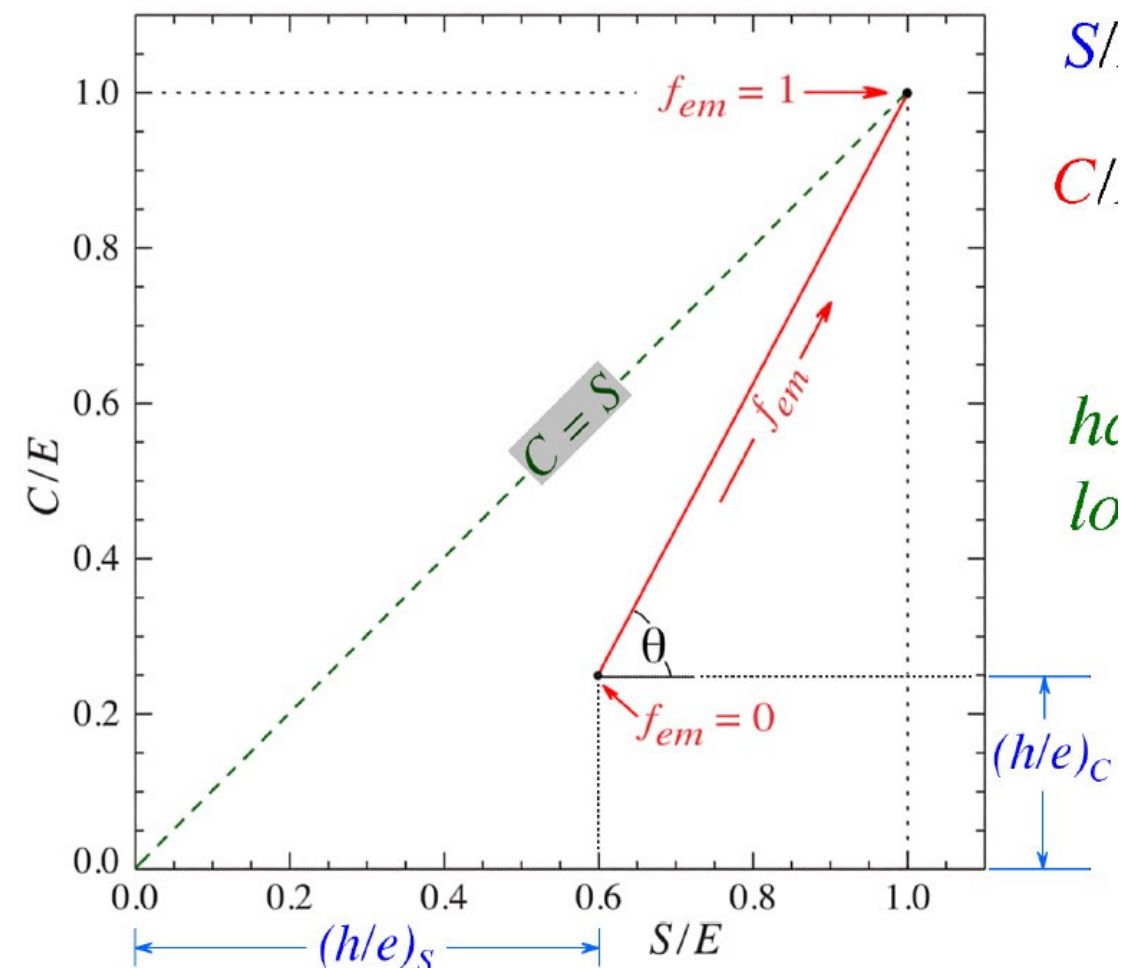
come funziona ?



$$S = [f_{em} + (h/e)_s \times (1 - f_{em})] \times E$$

$$C = [f_{em} + (h/e)_c \times (1 - f_{em})] \times E$$

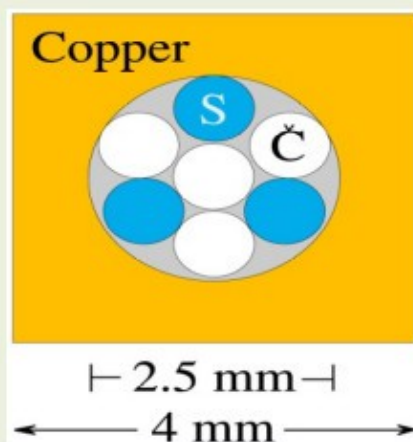
Hadronic data points (S, C) are located around a straight (red) line



Calorimetri a campionamento duale

2003
DREAM

Rame

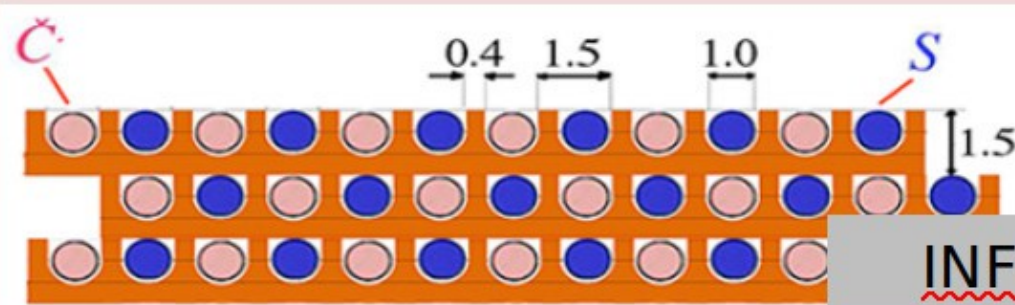


Texas Tech University



Rame, 2 moduli

2012
RD52

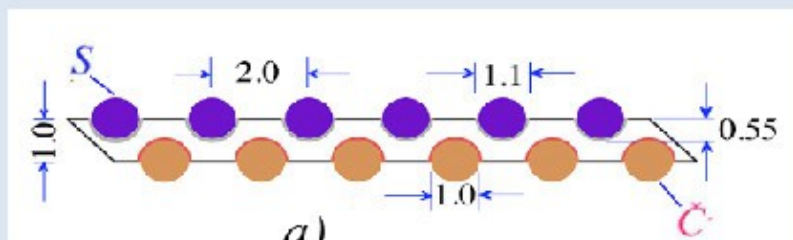


INFN Pisa



2012
RD52

Piombo, 9 moduli

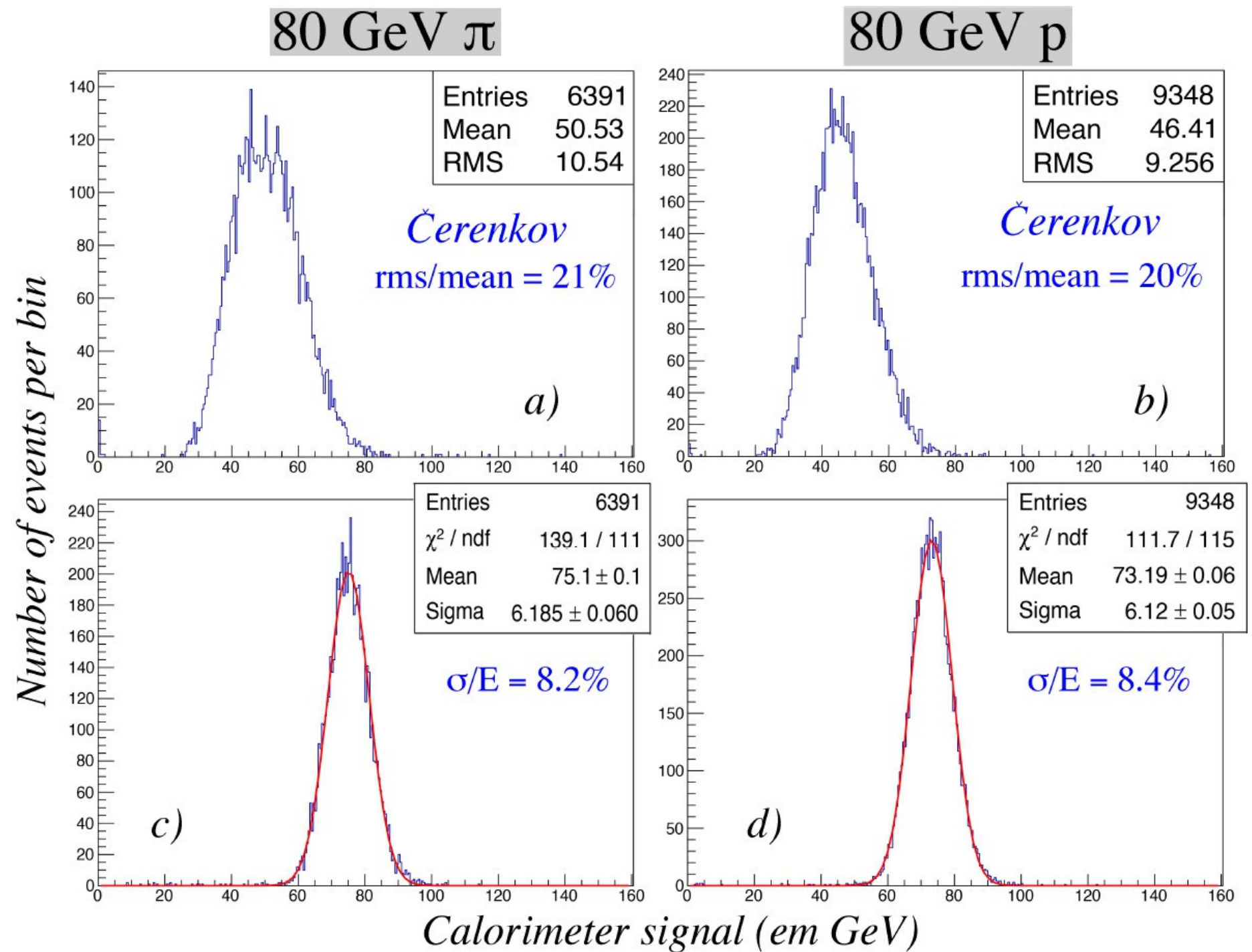


INFN Pavia



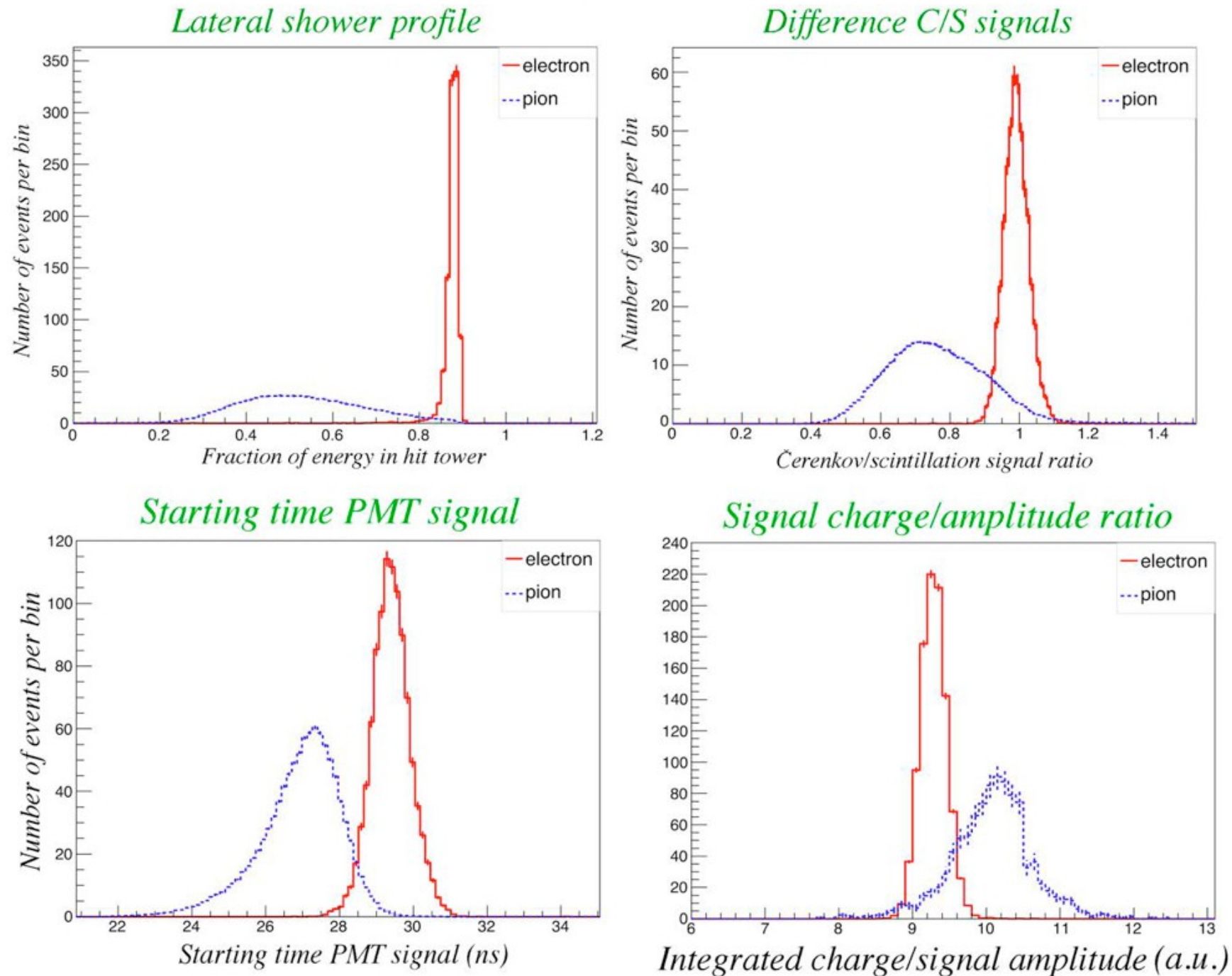
qualche risultato sperimentale

	Al 4	Al 3	Cu 4	Cu 3	
	Al 1	Al 2	Cu 1	Cu 2	
T1	T2	T3	T4	T5	T6
T7	T8	T9	T10	T11	T12
T13	T14	T15	T16	T17	T18
T19	T20	T21	T22	T23	T24
T25	T26	T27	T28	T29	T30
T31	T32	T33	T34	T35	T36
	Ring 1	Ring 2	Ring 3		



Particle Id (electron/hadron separation)

Methods to distinguish e/π in longitudinally unsegmented calorimeter



Combination of cuts: >99% electron efficiency, <0.2% pion mis-ID

... attività di ATLAS, e non, previste
almeno per i prossimi 30 anni ...

