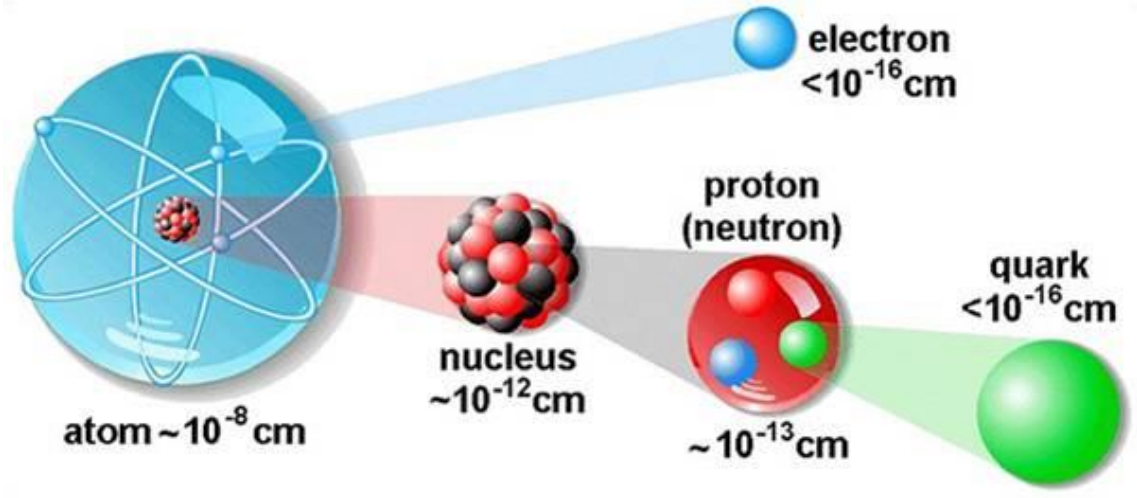
RIVELATORI DI PARTICELLE
ESPERIMENTO ATLAS



'Vediamo' le particelle studiando gli effetti che producono attraversando la materia.

7 TeV /fascio Ecm = 14 TeV rivelatori veloci e precisi

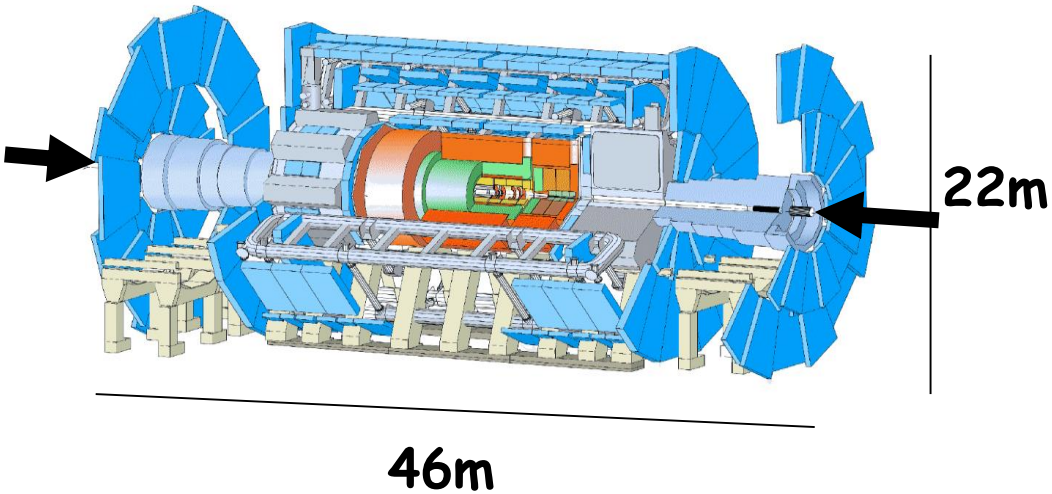
Una potenza pari
a quella utilizzata
da tutte le abitazioni
del Cantone di Ginevra
é necessaria per il
funzionamento
di LHC !!

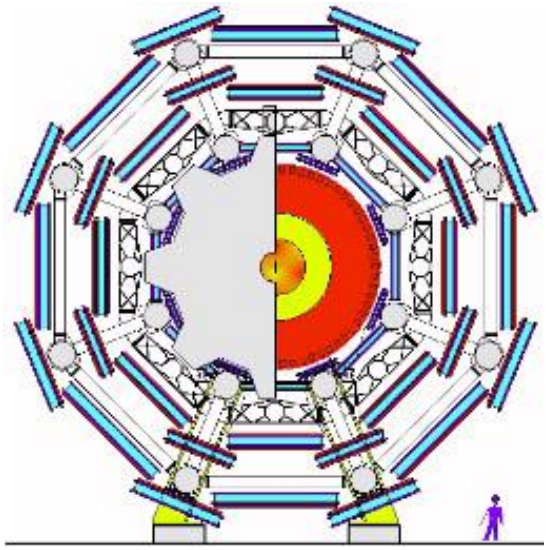
LHC (27 Km circonferenza)

SPS (7 Km circonferenza)

ATLAS

- I rivelatori sono posti uno dentro l'altro intorno al punto dove si *scontrano i protoni.* Sono rivelatori *veloci e precisi,*





Piano Trasverso

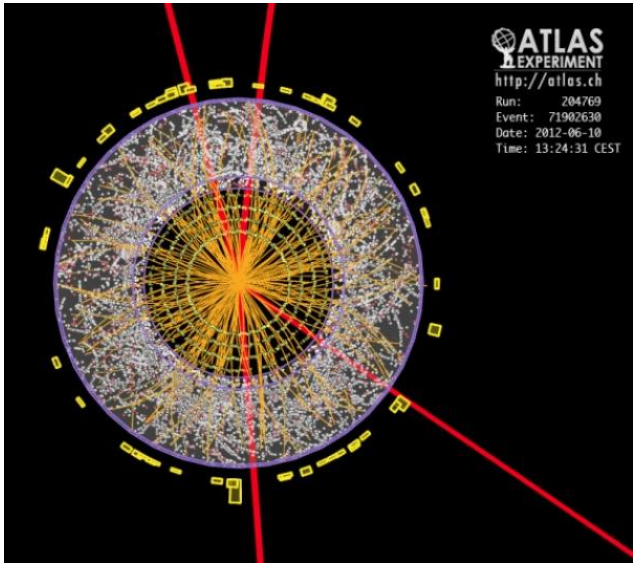
Peso 7000 ton
Superficie rivelatori 6000 m^2

Cosa misurare per ogni particella ad LHC?(1)

Dai segnali nei rivelatori:

- Posizione
- Direzione del moto
- Carica
- Energia/impulso

Identificate le particelle e le loro caratteristiche ricostruiamo l' evento complessivo.



$H \rightarrow Z\,Z^* \rightarrow \mu^+ \mu^- \mu^+ \mu^-$

Unità di misura dell' energia: elettronvolt (eV)

1 eV	$= 1.6 \times 10^{-19}$ J	
1 KeV	$= 10^3$ eV	1000
1 MeV	$= 10^6$ eV	1 milione
1 GeV	$= 10^9$ eV	1 miliardo
1 TeV	$= 10^{12}$ eV	1000 milardi

Cosa misurare per ogni particella ad LHC? (2)

MA: non tutte le particelle lasciano un segnale!

W → μ/e + ν

Vita media (τ) = tempo medio che trascorre prima che del decadimento.

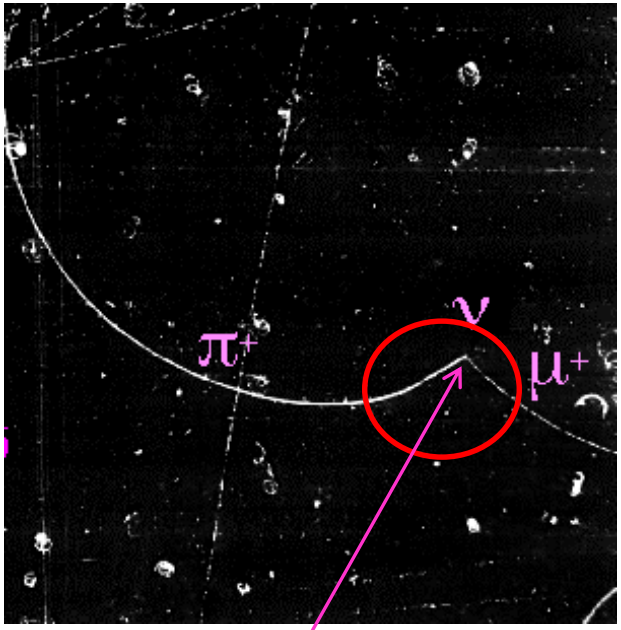
H (Higgs)	$\tau \approx 10^{-25}$ s
W	$\tau = 3 \cdot 10^{-25}$ s
μ (muone)	$\tau = 2.2\ 10^{-6}$ s
e (elettrone)	stabile

I muoni attraversano tutto l' apparato. H e W come la maggior parte delle particelle prodotte ad LHC non vivono abbastanza per raggiungere i rivelatori.
Queste particelle vengono individuate dai loro decadimenti.

Cosa misurare per ogni particella ad LHC? (3)

Anche i neutrini non lasciano un segnale!

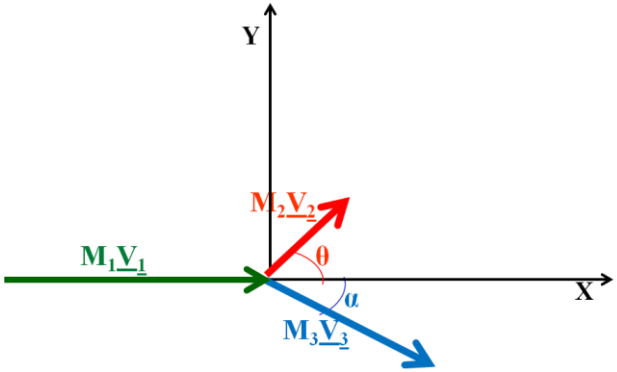
I neutrini sono stabili ma interagiscono raramente. La loro presenza è individuata applicando la legge di conservazione dell' impulso.



L' impulso mancante e' associato al neutrino.

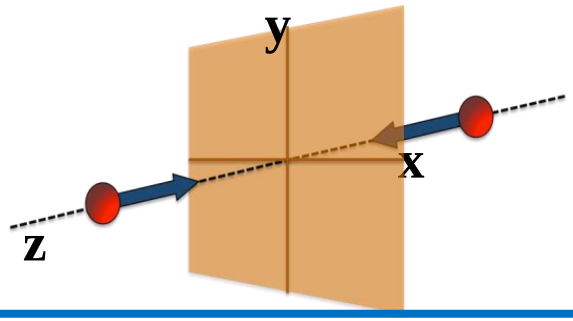
Impulso stato iniziale=Impulso stato finale

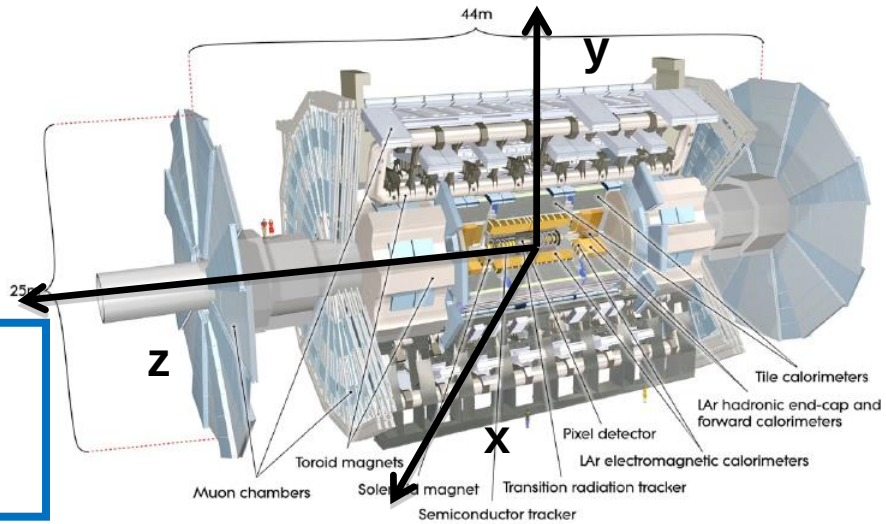
- $M_1\underline{V_1} = M_2\underline{V_2} + M_3\underline{V_3}$
- $M_1V_1 = M_2V_2 \cos\theta + M_3V_3 \cos\alpha$ (asse X)
- $0 = M_2V_2 \sin\theta - M_3V_3 \sin\alpha$ (asse Y)



Un alto valore di Impulso/Energia mancanti e' il primo criterio per selezionare gli eventi : W → e/μ + ν

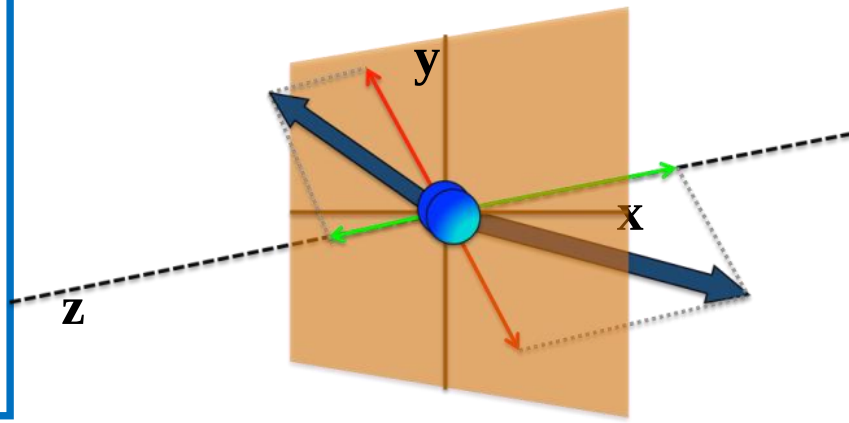
Piano Trasverso(1)



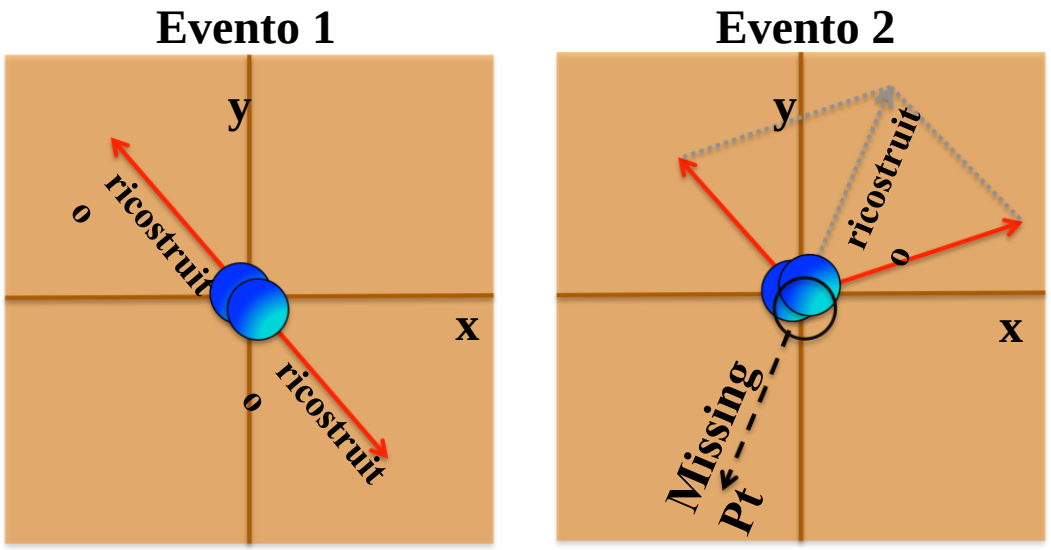


I due protoni si muovono lungo l' asse Z. → nel piano XY l' impulso di ogni protone e l' impulso totale sono nulli.

In urto l'impulso totale e' lo stesso prima e dopo la collisione.
Nel **piano trasverso** (XY) le particelle avranno impulso totale =0. Se sono 2 (**linea rossa**) si muoveranno nella stessa direzione ed in verso opposto.



Rivelazione dei neutrini



Nell' evento 2 l' impulso trasverso mancante (MPT), come l' energia trasversa mancante (MET), possono essere dovuti alla produzione di neutrini.

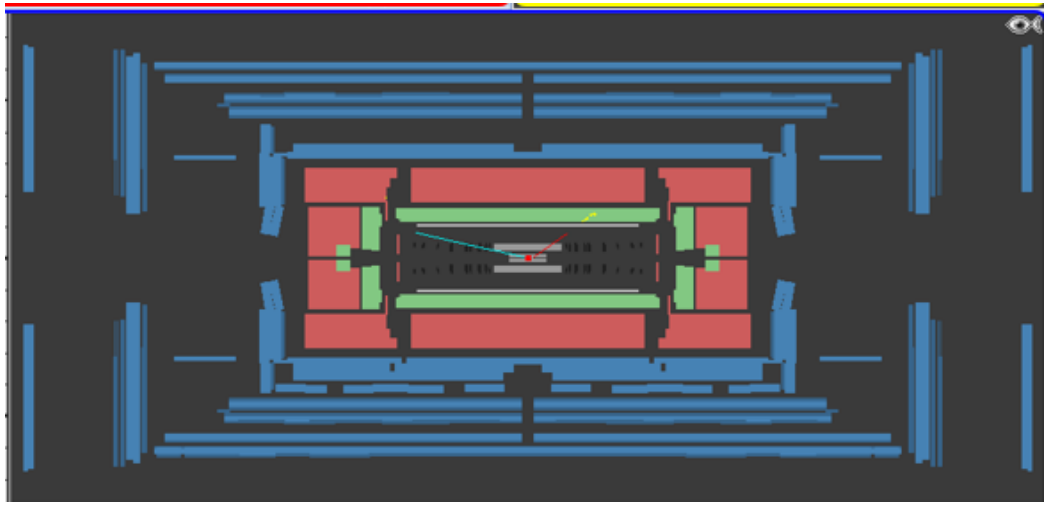
Nell' analisi dei dati un alto valore di MET e' uno dei criteri di selezione per individuare eventi prodotti dal decadimento di W (W→ e/μ + ν)

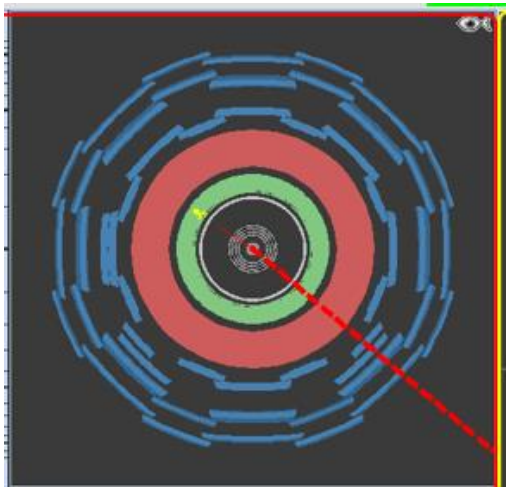
I Rivelatori in ATLAS

In ATLAS abbiamo 2 tipi di rivelatori:

- TRACCIATORI
- CALORIMETRI

ATLAS (2)





A partire dallo strato piu' interno troviamo in successione:

Inner Detector (Tracciatore) → Ricostruzione tracce – Misura l' impulso e carica

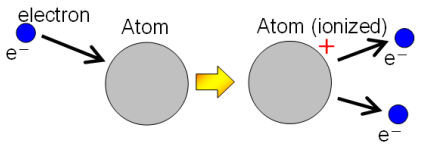
Calorimetro Elettromagnetico → Misura Energia

Calorimetro Adronico → Misura Energia

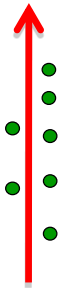
Camere mu (Tracciatore) → Ricostruzione tracce - Misura l'impulso e carica

Tracciatori (1)

Il principio di funzionamento dei tracciatori è basato sulla **ionizzazione**: quando una particella carica passa nel tracciatore (**gas o semiconduttore**)cede energia agli atomi che espellono uno o piu' elettroni. Gli elettroni vengono raccolti e producono un segnale elettrico.
La perdita di energia della particella e' trascurabile.



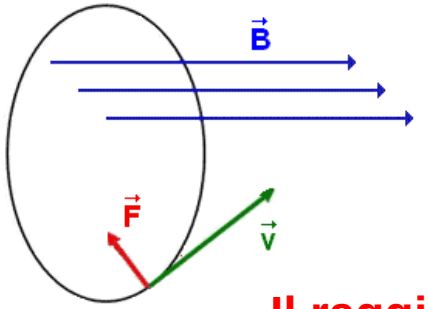
Un tracciatore e' costituito da tanti 'elementi' che si 'accendono' al passaggio di una particella carica.



- **Ricostruzione del percorso della particella carica**
- **Identificazione del punto di produzione (vertice)**

Tracciatori (2)

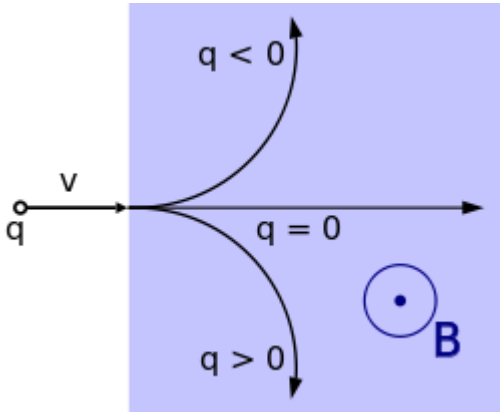
Se un tracciatore e' posto in un campo magnetico (B) si determina l' impulso (m<u>v</u>) dalla traccia e la sua carica



<u>F</u> = q <u>v</u> x <u>B</u> **perpendicolare a <u>v</u> e <u>B</u>**

Il raggio è proporzionale all' impulso

$$r = \frac{mv}{qB}$$



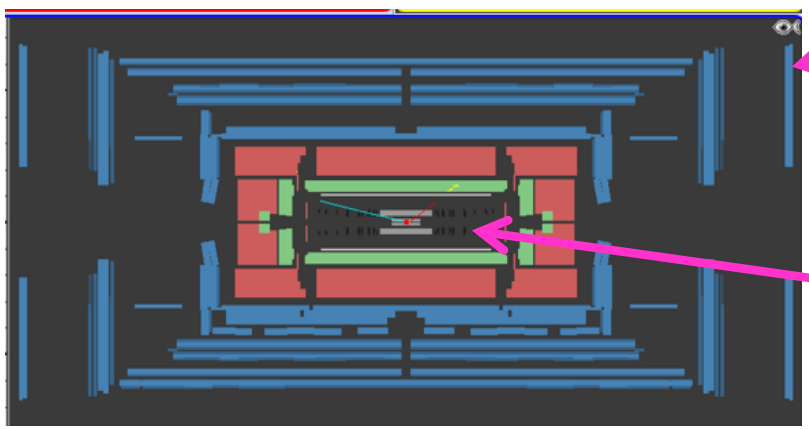
Possiamo conoscere il segno della carica

I Tracciatori di ATLAS

Due sistemi di tracciatori in ATLAS:

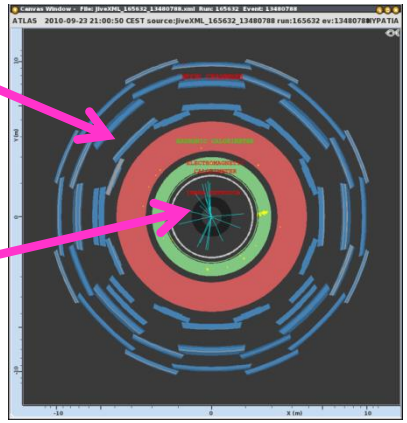
- **Inner Detector**
- **Spettrometro per muoni**

Entrambi in campo Magnetico



Camere mu

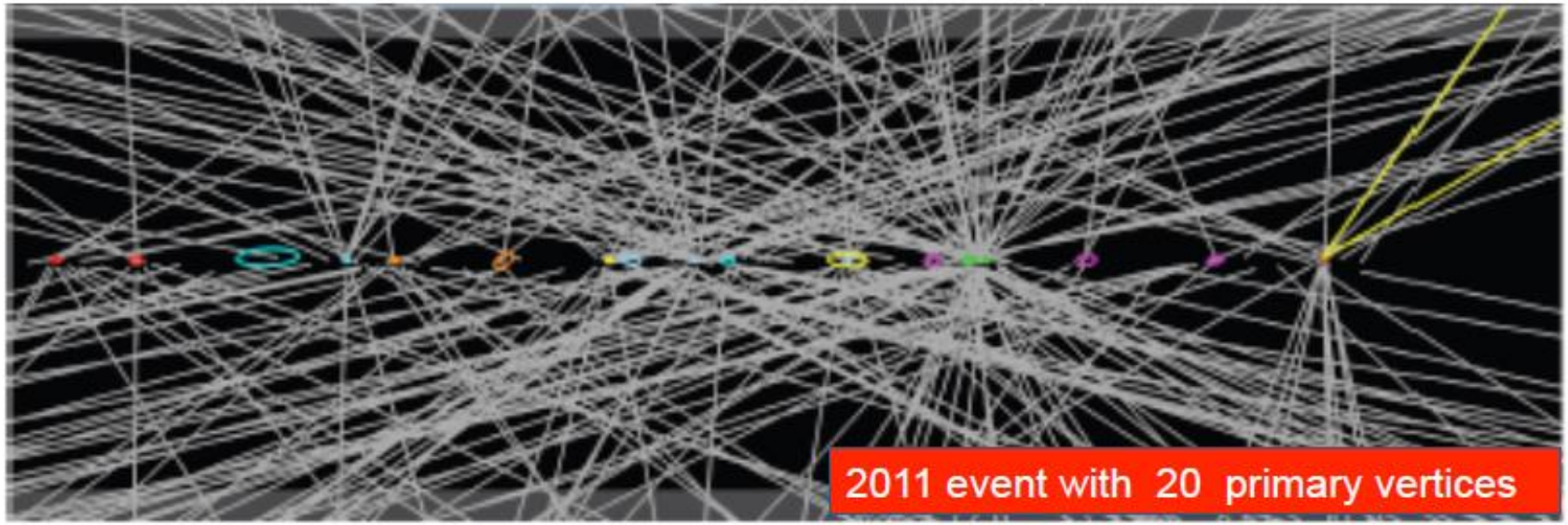
Inner



Inner Detector

E' il rivelatore piu' interno, ossia il piu' vicino alla zona di interazione.

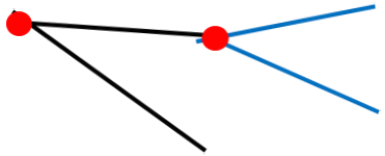
Nell' Inner Detector dobbiamo ricostruire con precisione tracce e vertici dove la densità delle particelle e' maggiore

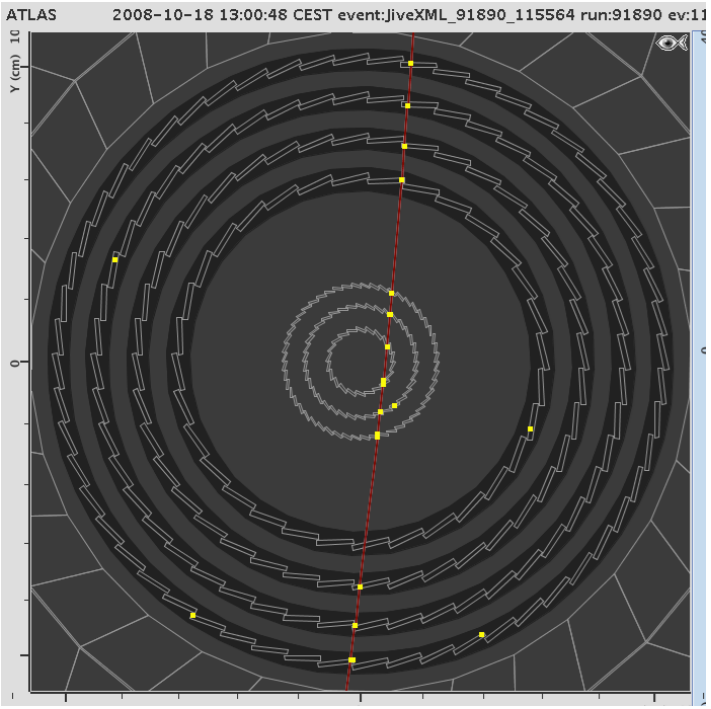


Inner Detector

La ionizzazione genera un piccolo segnale in corrente che viene raccolto da elettrodi . E' così possibile ricostruire un 'punto', HIT, sul piano del rivelatore.

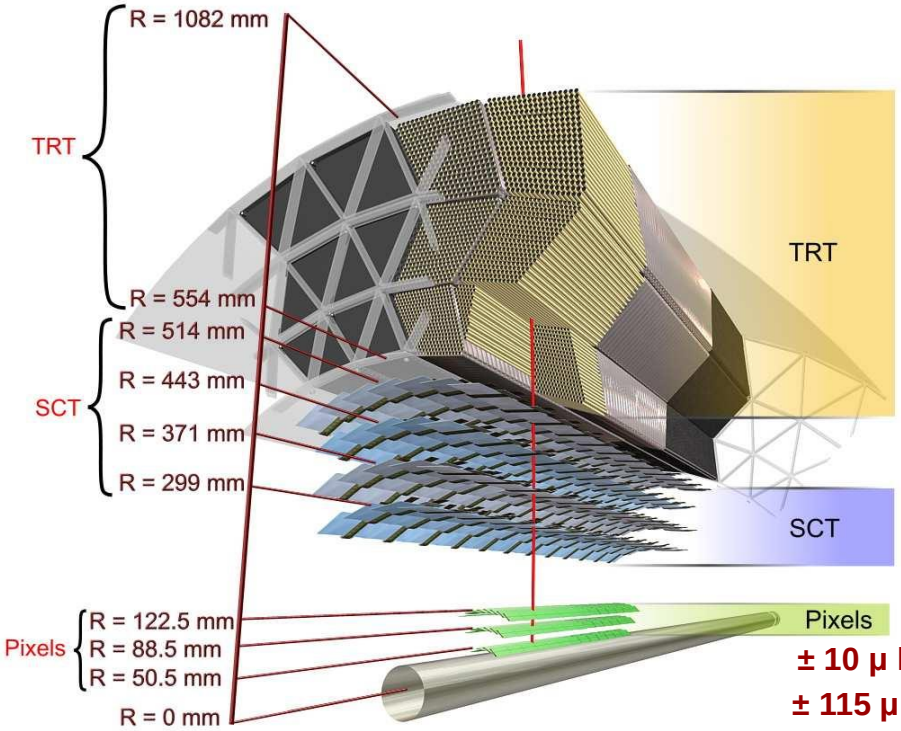
Da un insieme di HITS allineati su una traiettoria ricostruiamo la TRACCIA, ossia la traiettoria della particella *carica* ed il VERTICE dell' interazione





Traccia di un raggio cosmico ricostruita nell' Inner Detector

Inner Detector



± 10 μ lungo direzione fascio
± 115 μ nel piano trasverso

3 diverse tecnologie:

Pixels e il SiliCon Tracker (SCT) per ricostruire impulso e traiettoria delle particelle cariche.
Transition Radiation Tracker (TRT) da' anche informazioni sul tipo di particella.

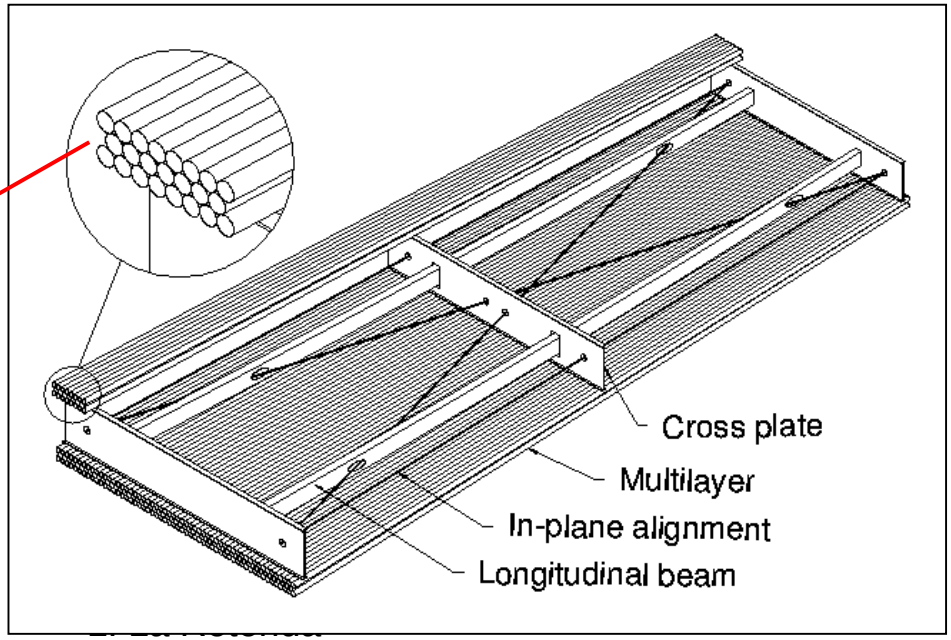
Spettrometro per muoni (1)

E' il rivelatore piu' esterno. Strati di Camere MDT (Monitored Drift Chambers) & Camere CSC (Cathode Strip Chambers) sono usate per misurare l' impulso dei μ dalla curvatura delle tracce

Le camere MDT contegno tubi di Al riempiti di gas. Il muone ionizza il gas, gli e^- prodotti sono raccolti sul filo conduttore posizionato al centro del tubo.

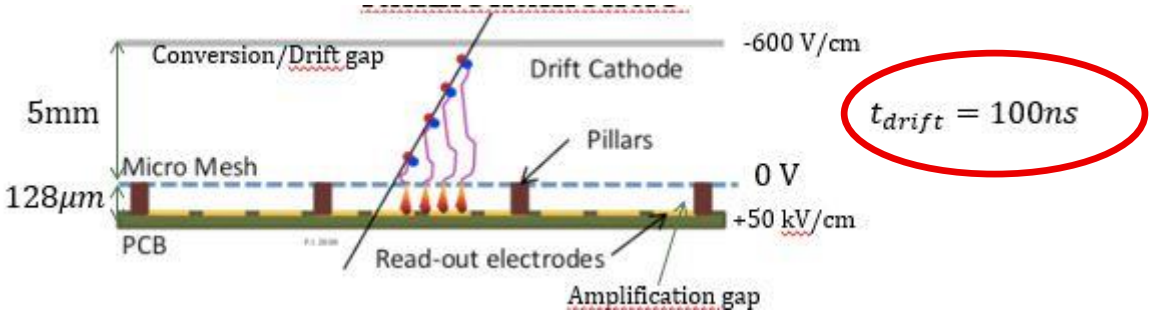
Dal tempo di arrivo degli e^- si determina la traiettoria del muone.

Circa 700 ns e' il tempo (drift time) massimo di arrivo degli e^-

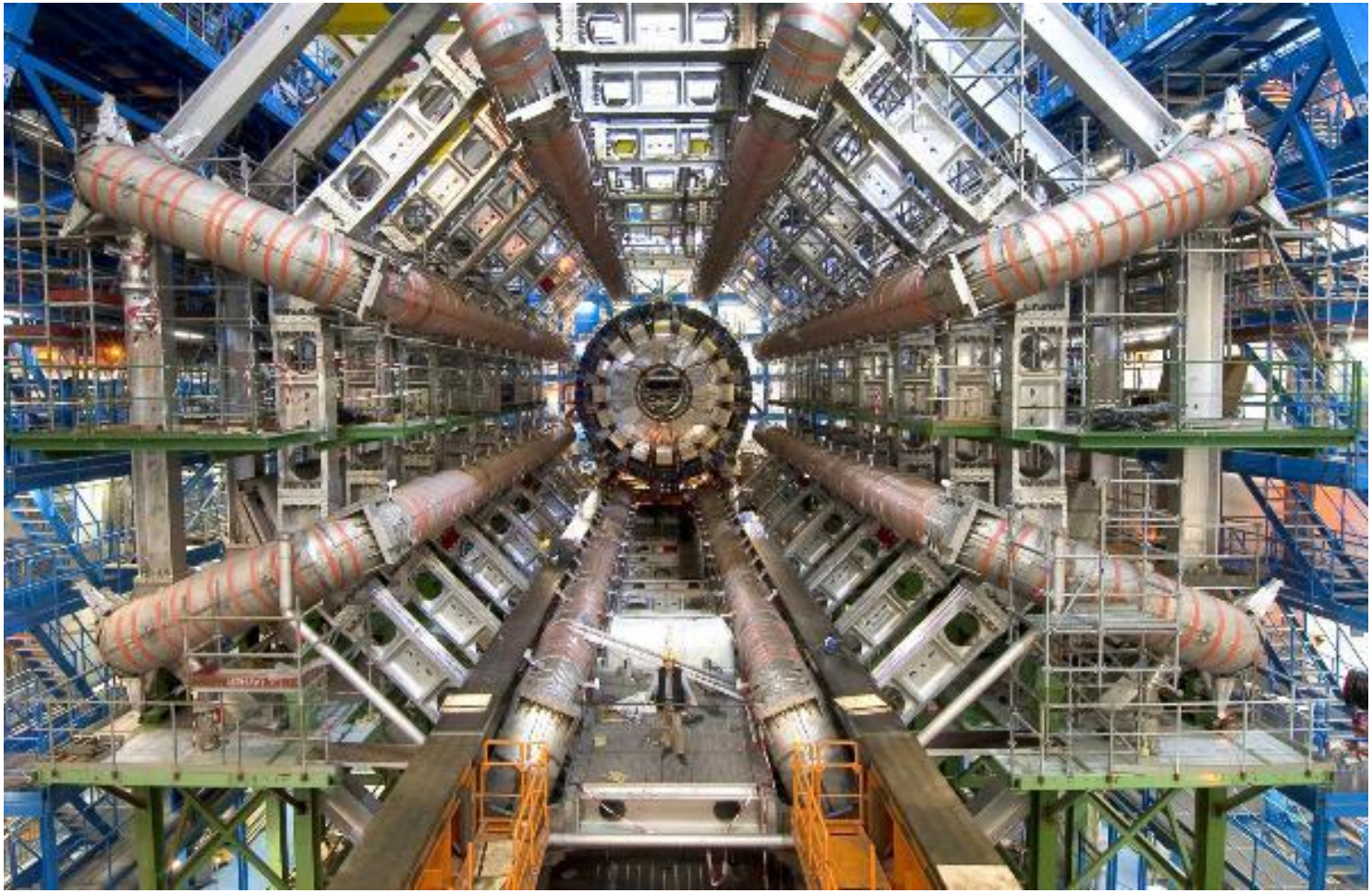


Spettrometro per muoni (2)

Attualmente in alcune zone dello spettrometro delle nuove camere le MicroMegas sostituiscono il I strato delle MDT

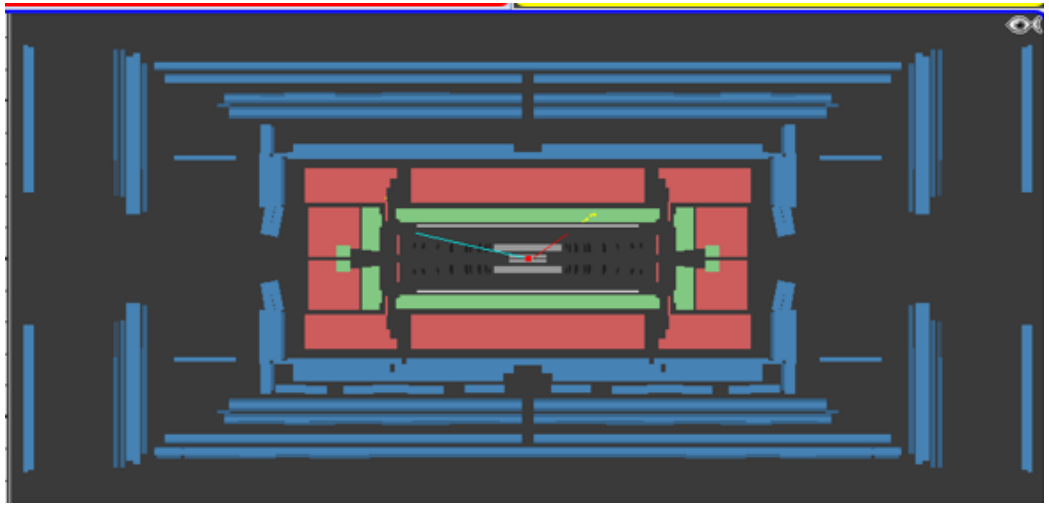


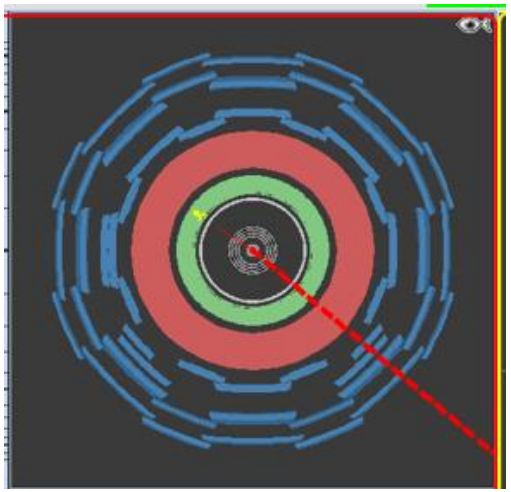
Spettrometro per muoni (3)



I Calorimetri

Misurano l' energia delle particelle sia cariche che neutre





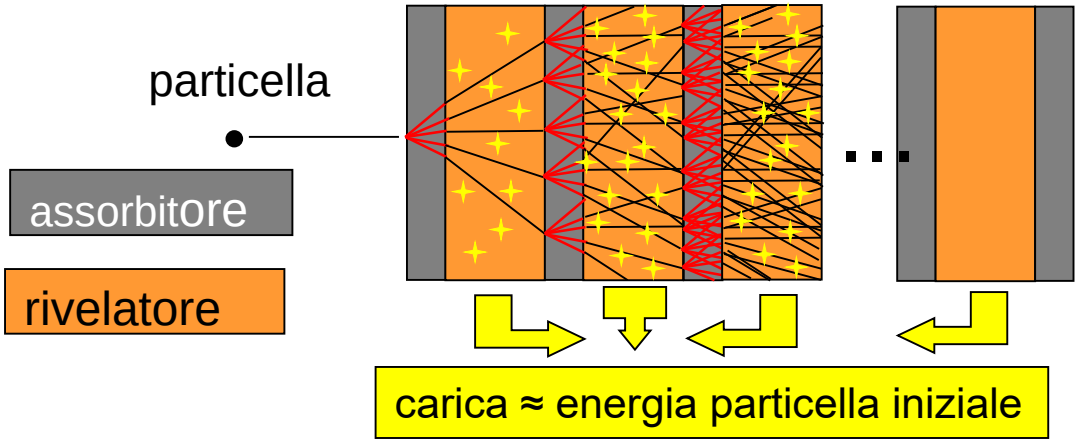
Calorimetro Elettromagnetico

Calorimetro Adronico

Calorimetri – Misura dell' ENERGIA

Strati di materiale denso (assorbitore) alternati a strati di rivelatore.

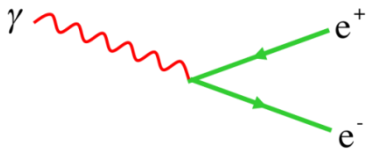
Nell' assorbitore si sviluppa lo sciame → le particelle perdono energia fin quando sono totalmente assorbite. Misura DISTRUTTIVA



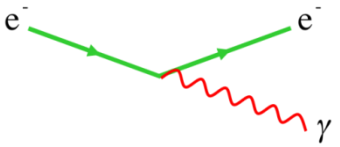
- **Calorimetri Elettromagnetici** (rivelazione di e^- , e^+ , γ)
- **Calorimetri Adronici** (rivelazione di adroni carichi e neutri: p,n,π,K)

Lo sciame elettromagnetico

Un γ di alta energia interagisce nel mezzo
e produce una coppia e^+ e^- ad energia inferiore.

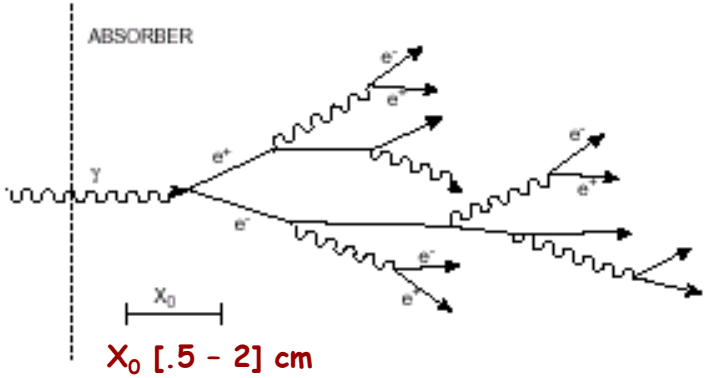


Gli elettroni e positroni perdono energia
emettendo γ (bremsstrahlung)



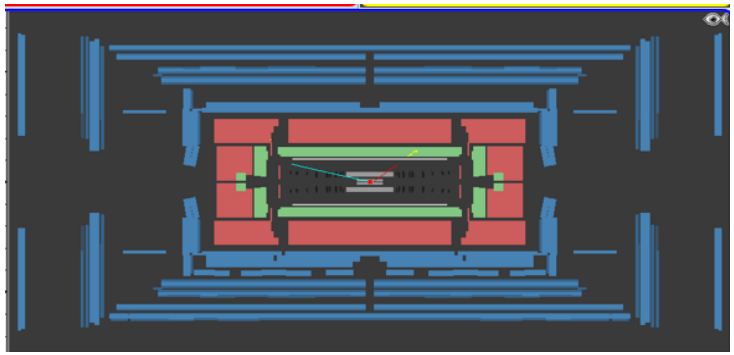
L' insieme di questi processi da luogo alla formazione dello sciame.

Ad energia di qualche MeV il processo si interrompe. Subentrano altre interazioni che portano al rapido assorbimento della particella nel calorimetro.



μ ed adroni perdono solo una frazione di energia nei calorimetri em

I Calorimetri elettromagnetici di ATLAS



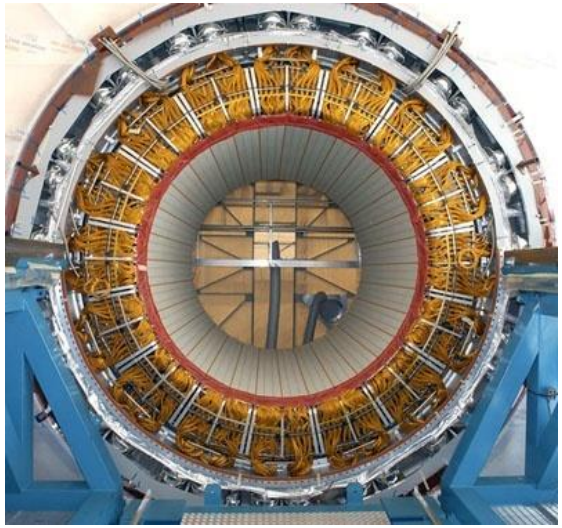
In ATLAS 3 calorimetri elettromagnetici

1 nella zona centrale (barrel)
2 nelle le regioni in avanti (end-cap) misurano l' energia di γ ed elettroni prodotti ad un angolo tra 28.3° e 4.7° rispetto ai fasci

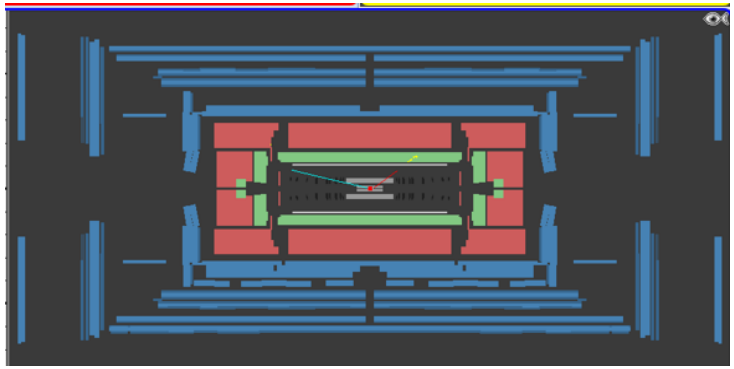
Costituiti da strutture in Pb immerso in Ar liquido a 90 K

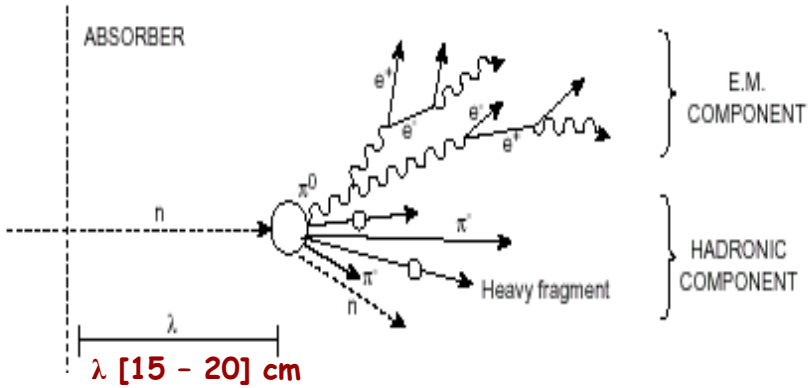
Lo sciame si sviluppa nel piombo.

Il segnale, in corrente, e' dato dagli elettroni prodotti per ionizzazione nell'Ar dalle particelle dello sciame.



I Calorimetri adronici di ATLAS

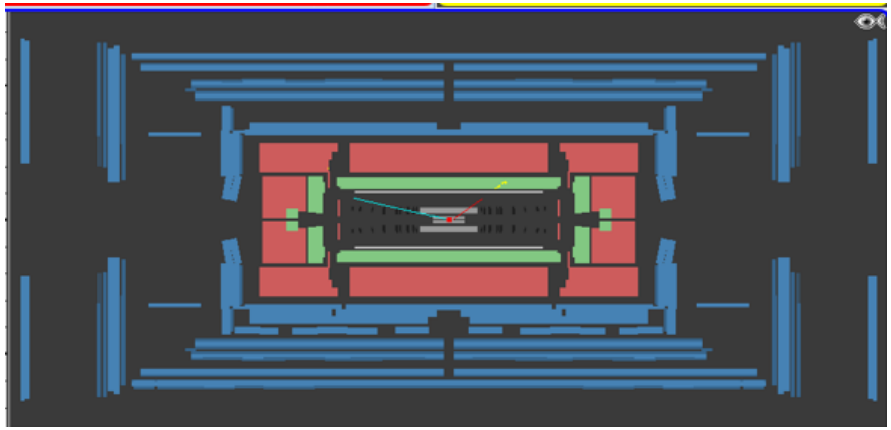




In ATLAS 3 calorimetri adronici

1 nella zona centrale (barrel) Fe + Scintillatore
2 nelle regioni in avanti (end-cap) Cu + Ar

Misurano l' energia di protoni, neutroni, pioni.
I μ perdono solo una frazione di energia nei calorimetri adronici.

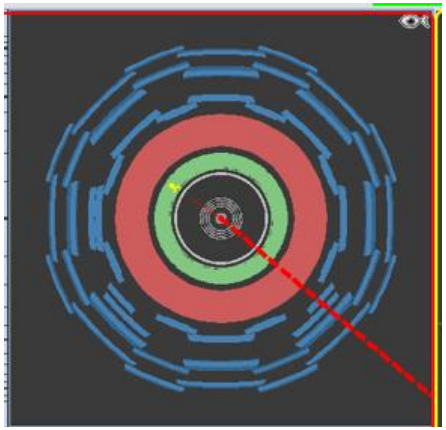


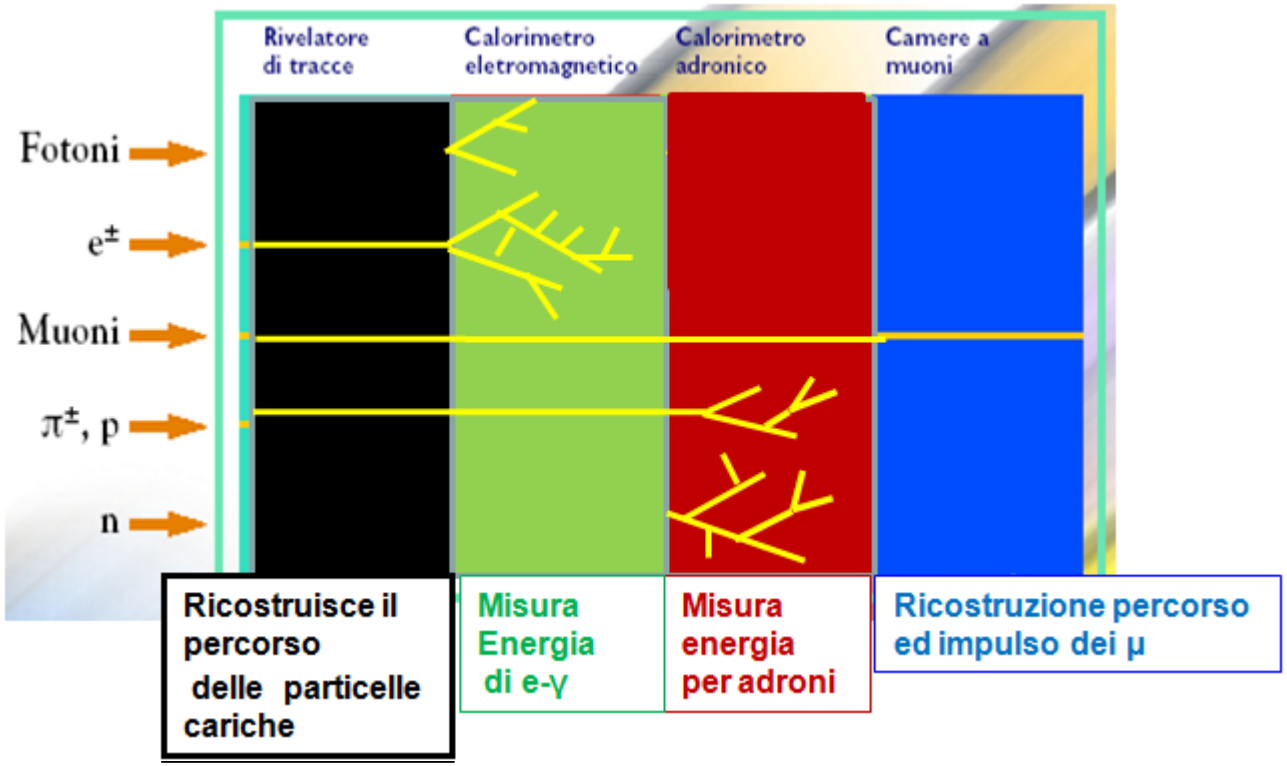
Inner detector (tracciatore)

Calorimetro elettromagnetico

Calorimetro adronico

Camere mu (tracciatore)





ANIMAZIONE

Selezione degli eventi (1)

Eventi di segnale

$W^+ \rightarrow e^+ + \nu$ $W^+ \rightarrow \mu^+ + \nu$

$W^- \rightarrow e^- + \nu$ $W^- \rightarrow \mu^- + \nu$

$H \rightarrow W^+ + W^-$

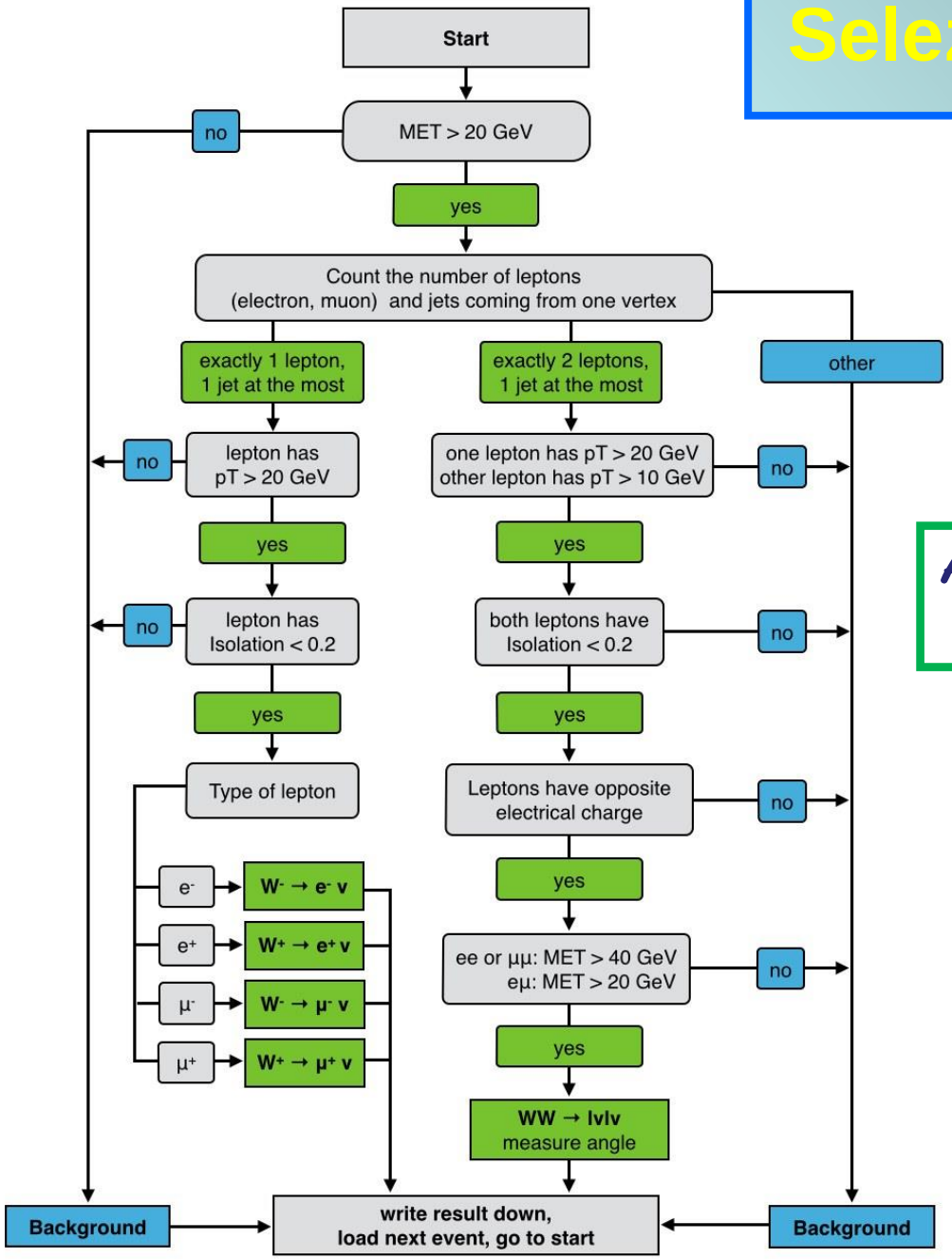
Eventi di fondo

Tutti quelli in cui sono presenti leptoni nello stato finale generati da altri processi

$Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$ $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

I dati di segnale sono estratti dal campione di eventi noti gli stati finali e le distribuzioni cinematiche (impulsi,angoli fra le particelle, etc.)

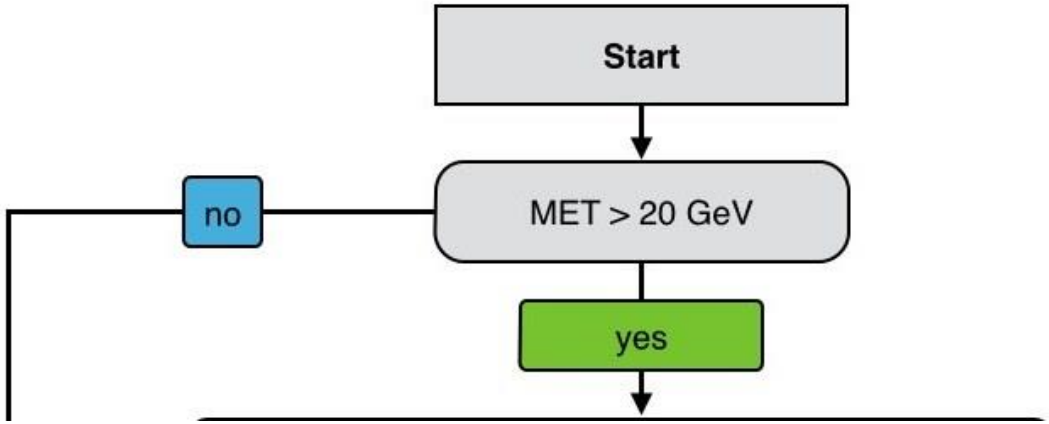
Selezione degli eventi (2)



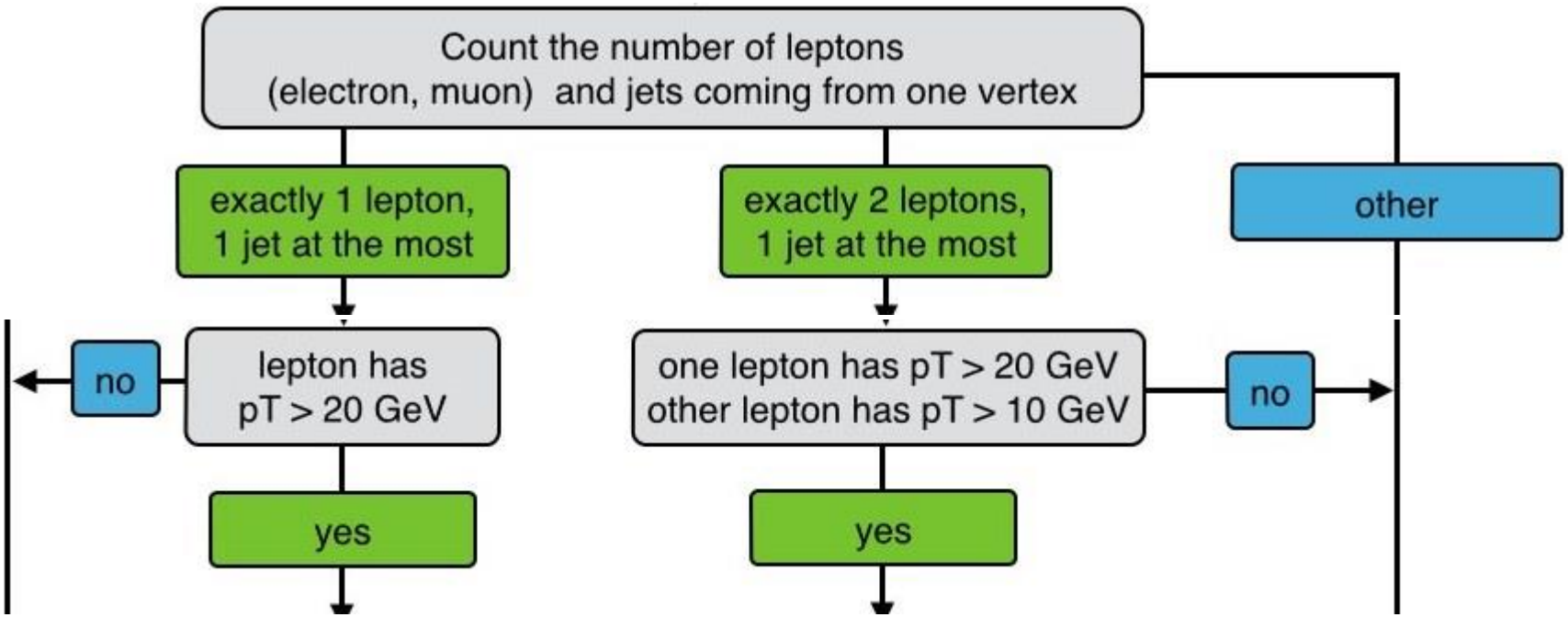
Applicando i tagli in cascata eliminiamo gli eventi di fondo

Selezione degli eventi (3)

- **Ricostruzione impulso nel piano trasverso del candidato W**
  Agli eventi di segnale corrispondono alti valori di impulso ed energia trasversa (MET) mancanti a causa del neutrino non ricostruito

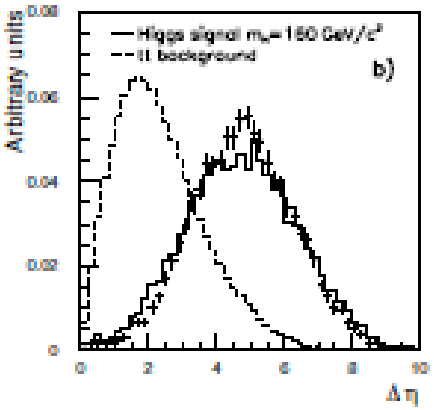


Selezione degli eventi (4)



Candidato W

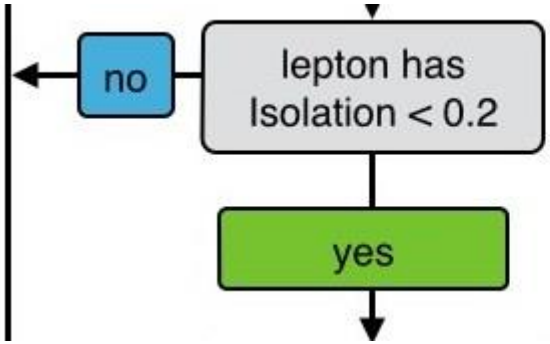
Candidato WW



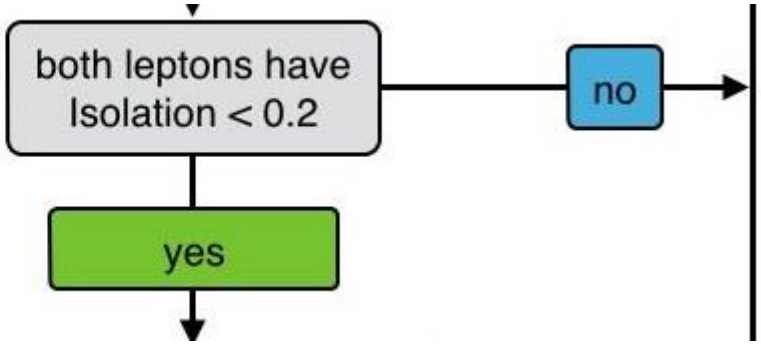
Rigettiamo la maggior parte degli eventi di fondo (caratterizzati da basso Pt). Perdiamo pochi eventi di segnale.

Selezione degli eventi (5)

Candidato W



Candidato WW

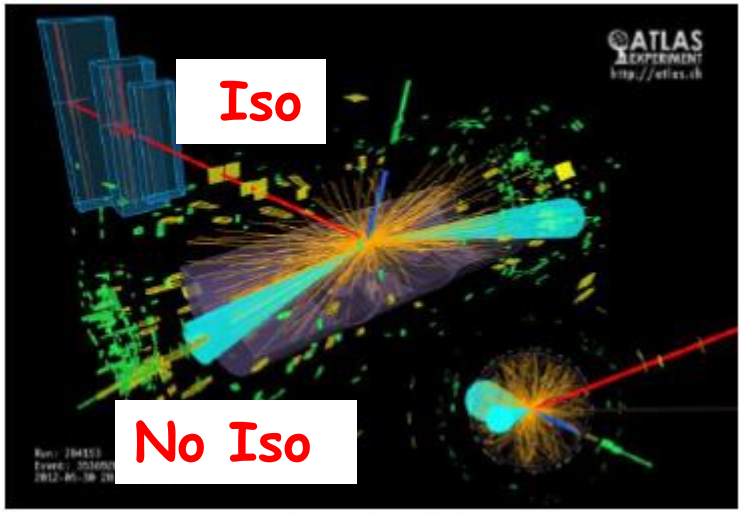


Il leptone non deve far parte del Jet ma deve essere prodotto da W

E = energia rilasciata dalle particelle <u>intorno</u> la particella candidata (leptone in questa analisi)

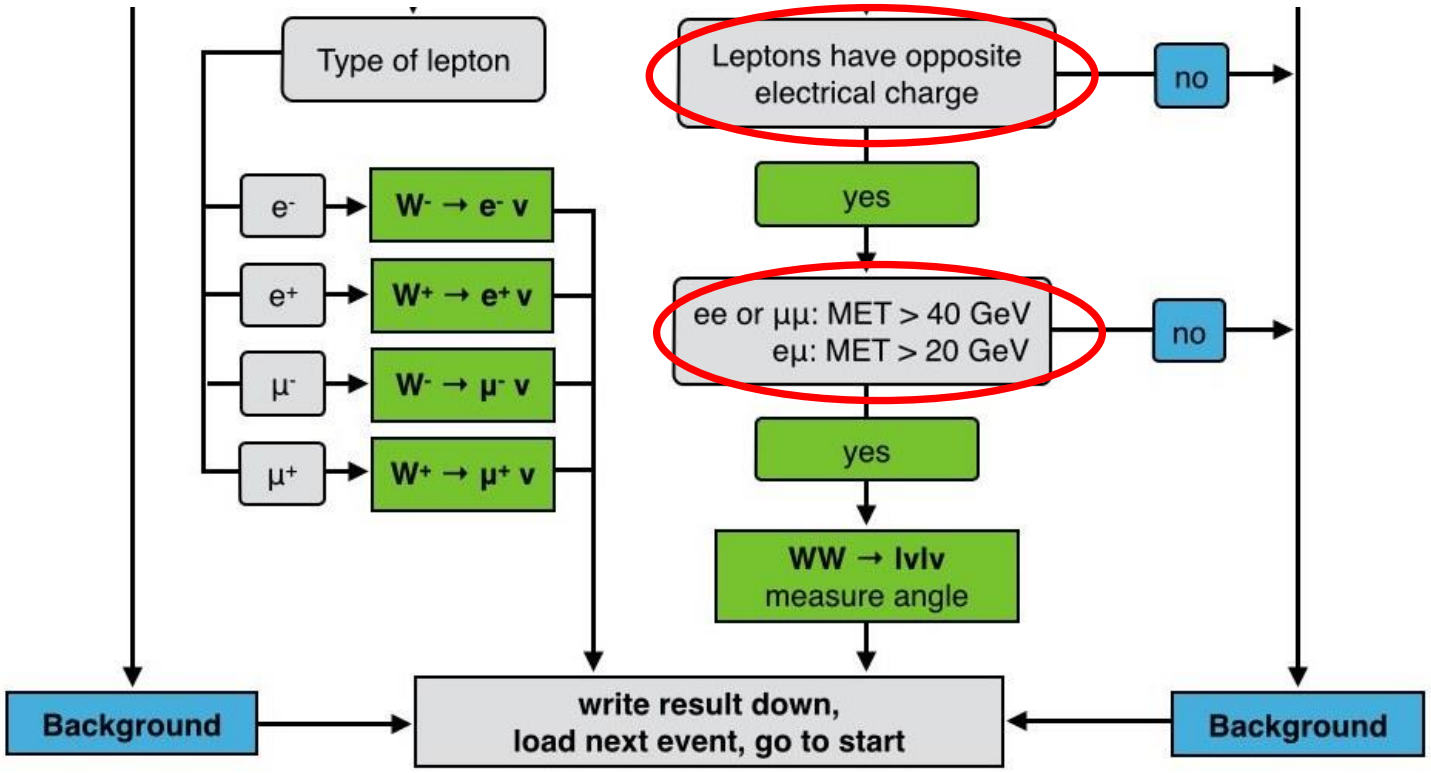
E_L = energia del candidato leptone

Isolamento = E / E_L



http://i.stack.imgur.com/HUz5T.png

Selezione degli eventi (6)

W^+/W^-
Canali di decadimento

$W^+ + W^-$