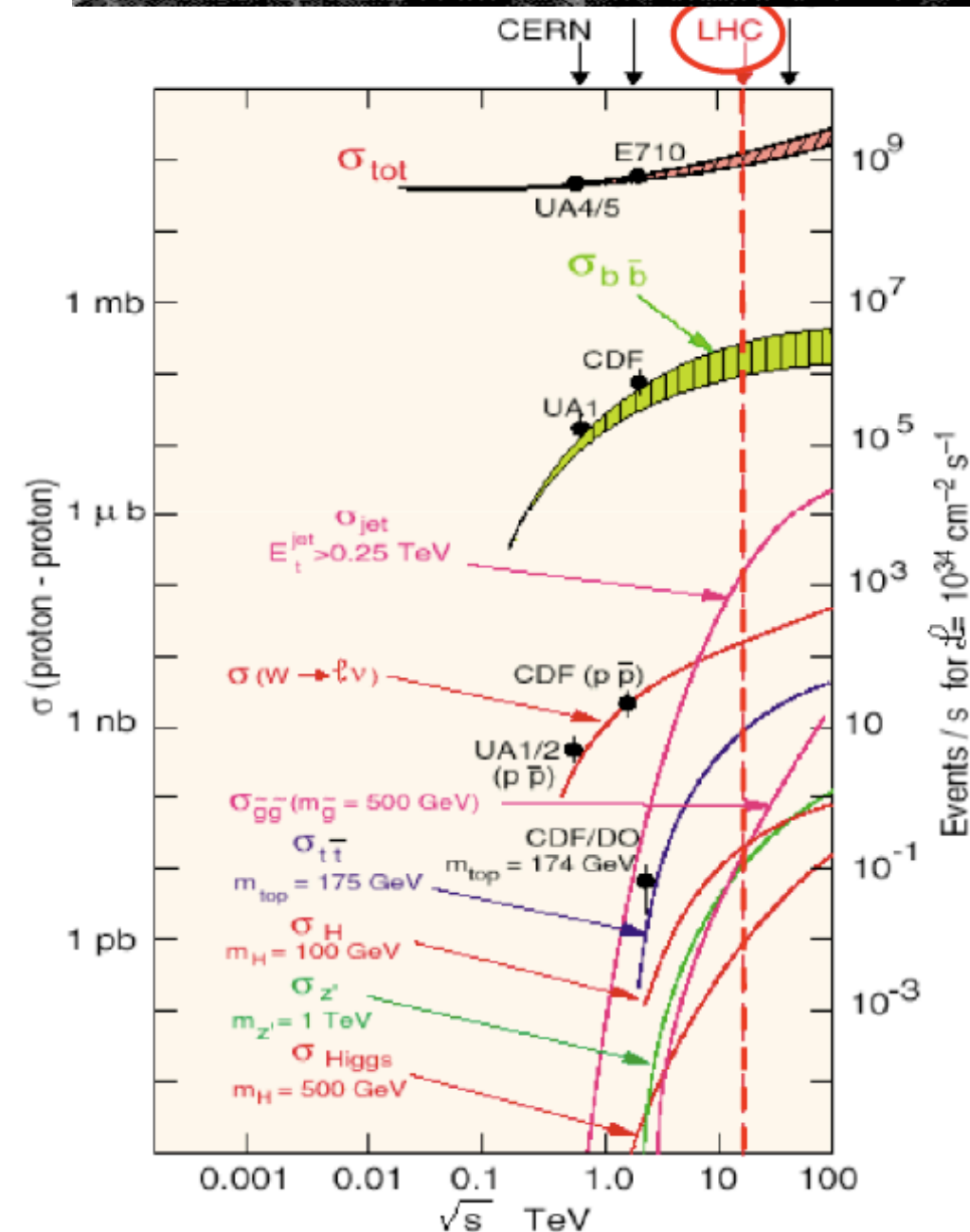




Sistemi di trigger ad Atlas e CMS

- **Introduzione**
- **Architetture**
- **Trigger di primo livello**
 - **Architettura**
 - **Sincronizzazione**
 - **Startup**
- **Trigger di alto livello**
 - **Architettura HW e SW**
 - **Stato attuale**
 - **Sviluppi futuri**
- **Conclusioni**

Introduzione - rates



Processo	σ (nb)	$L=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Rates (Hz)	$L=10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ Rates (Hz)
Total	10^8	10^9	10^7
$b\bar{b}$	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^4$
$W \rightarrow \ell \nu$	15	100	1
$Z \rightarrow \ell \ell$	2	20	0.2
$t\bar{t}$	1	10	0.1
H (100 GeV)	0.05	0.1	10^{-3}
Z' (1 TeV)	0.05	0.1	10^{-3}
H (500 GeV)	10^{-3}	0.01	10^{-4}

$\sigma_{TOT} \sim 80 \text{ mb}$

$L=10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

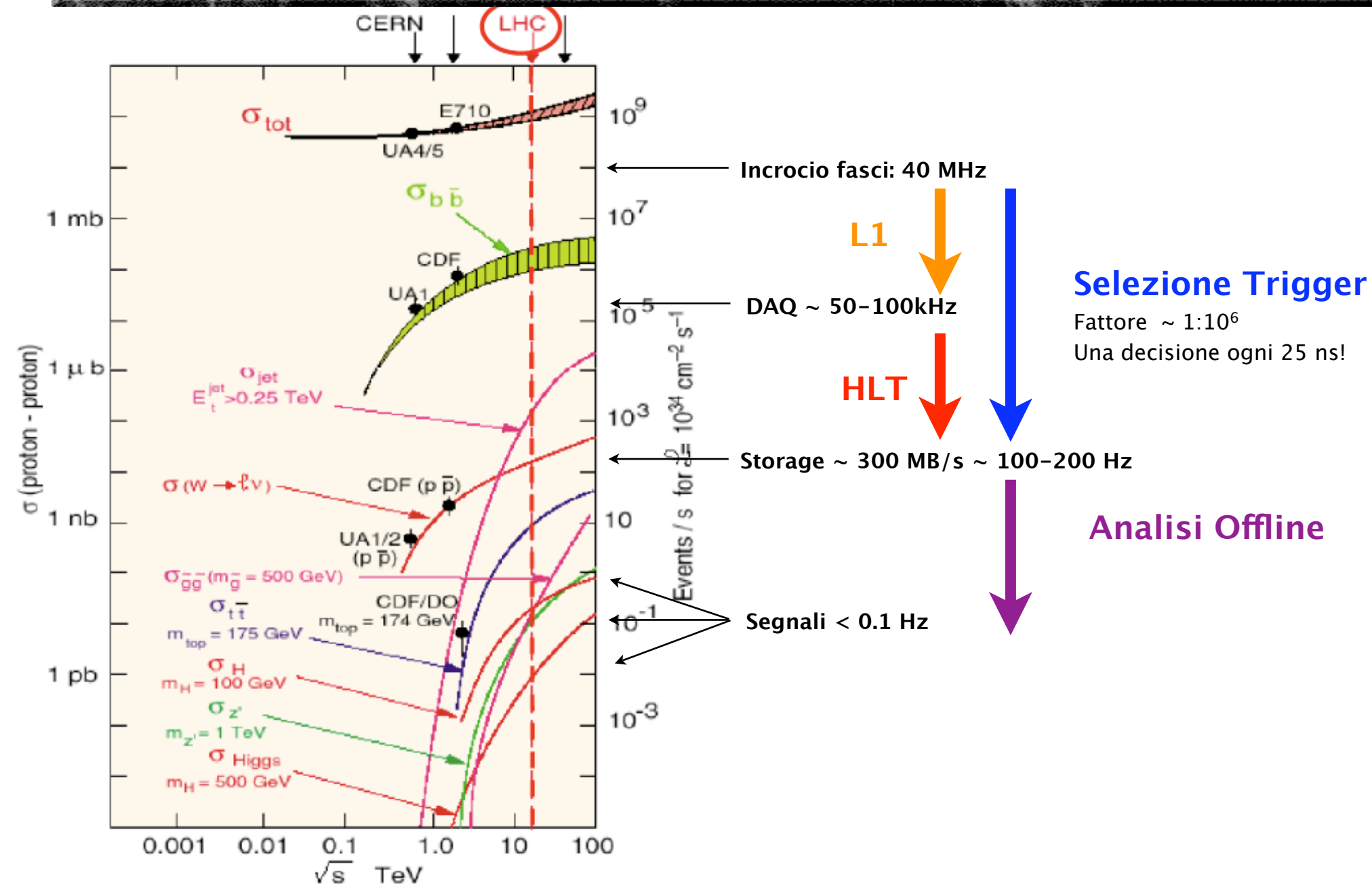
→ Rate totale ~ 0.8 GHz

Bunch Spac 25 ns

NonEmpty BX 79.5%

→ ~ 25 interazioni/BX
pile up

Introduzione - trigger



Schedule

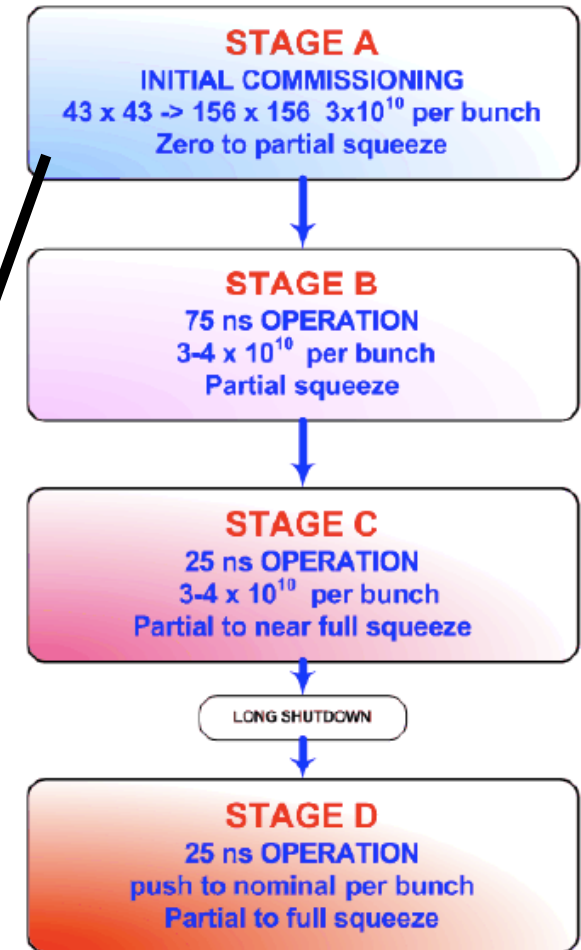
Priorita' per la fase A:

- Sincronizzazione
- Calibrazione ed allineamento del detector
 - Pt e rapidita' da minimum bias
 - Trigger su jets, J/psi, Y ecc
 - Calibrazione di e/gamma, jets
 - Stabilire calibrazione per MET

Fisica Standard Model

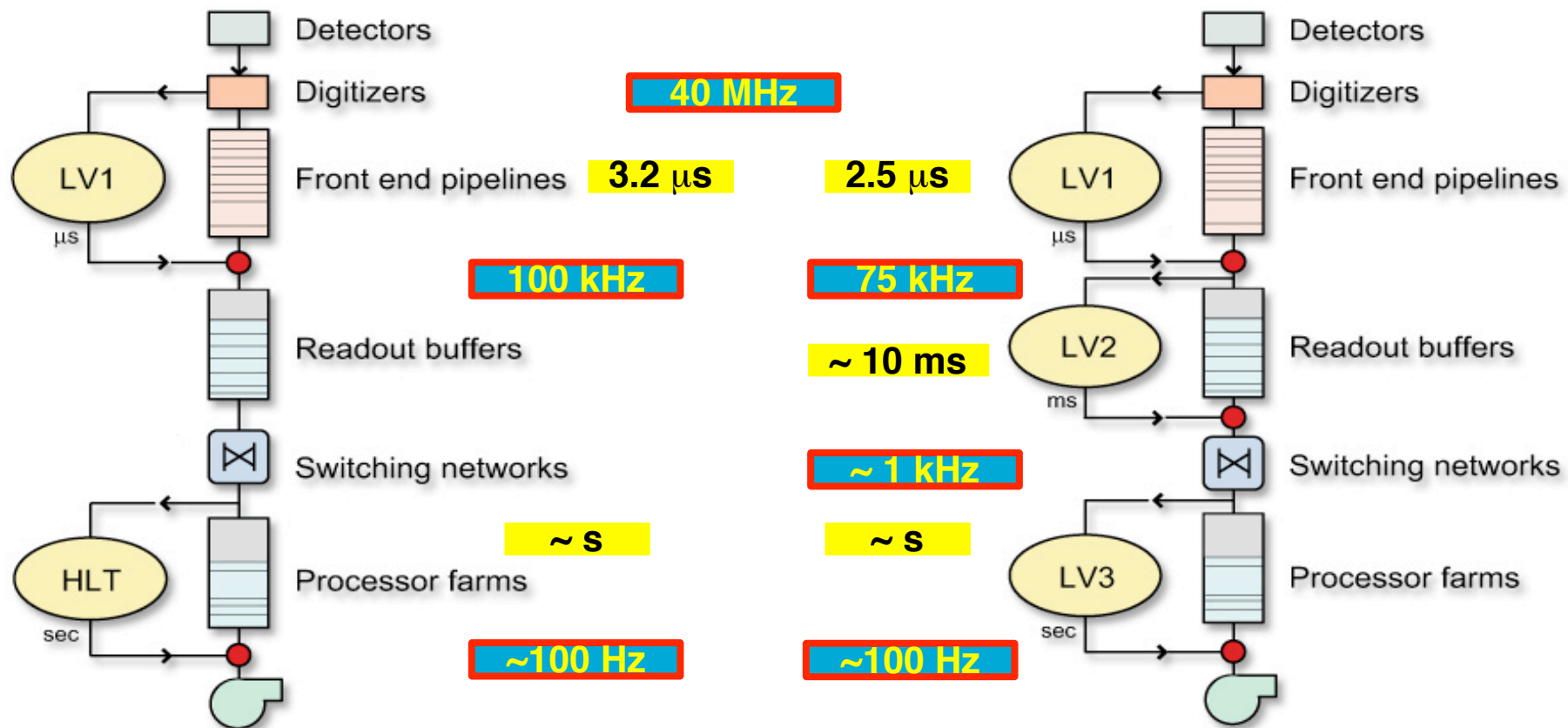
- Di-jet masses, distribuzioni angolari
- W, Z e top come "standard candles"

Bunches	β^*	I_b	Luminosity
1 x 1	18	10^{10}	10^{27}
43 x 43	18	3×10^{10}	3.8×10^{29}
43 x 43	4	3×10^{10}	1.7×10^{30}
43 x 43	2	4×10^{10}	6.1×10^{30}
156 x 156	4	4×10^{10}	1.1×10^{31}
156 x 156	4	9×10^{10}	5.6×10^{31}
156 x 156	2	9×10^{10}	1.1×10^{32}

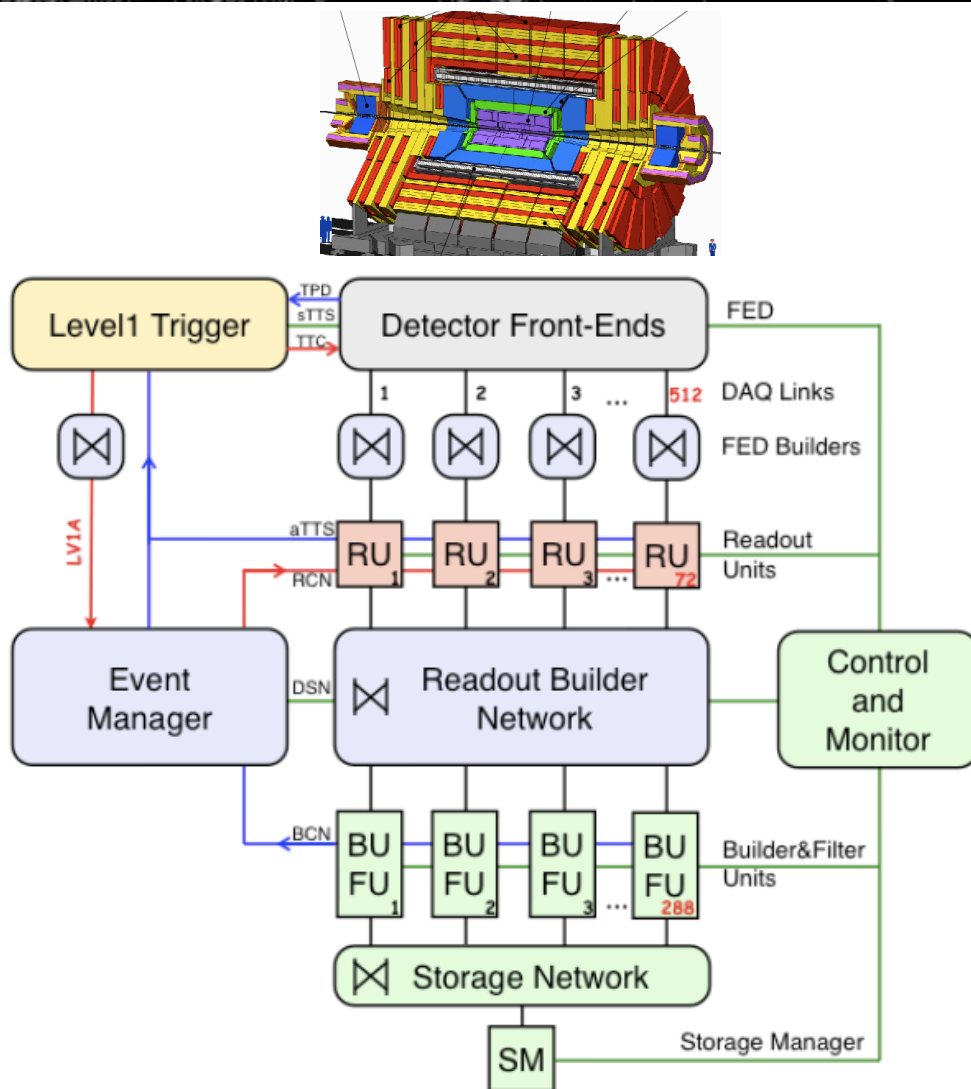


Architettura CMS-Atlas

- Entrambi gli esperimenti hanno un'architettura trigger a multilivelli:
 - L1 HW: custom, rej. ~ 1000
 - HLT SW: commodity PC, rej. ~ 1000
- In Atlas HLT diviso in due livelli fisicamente distinti

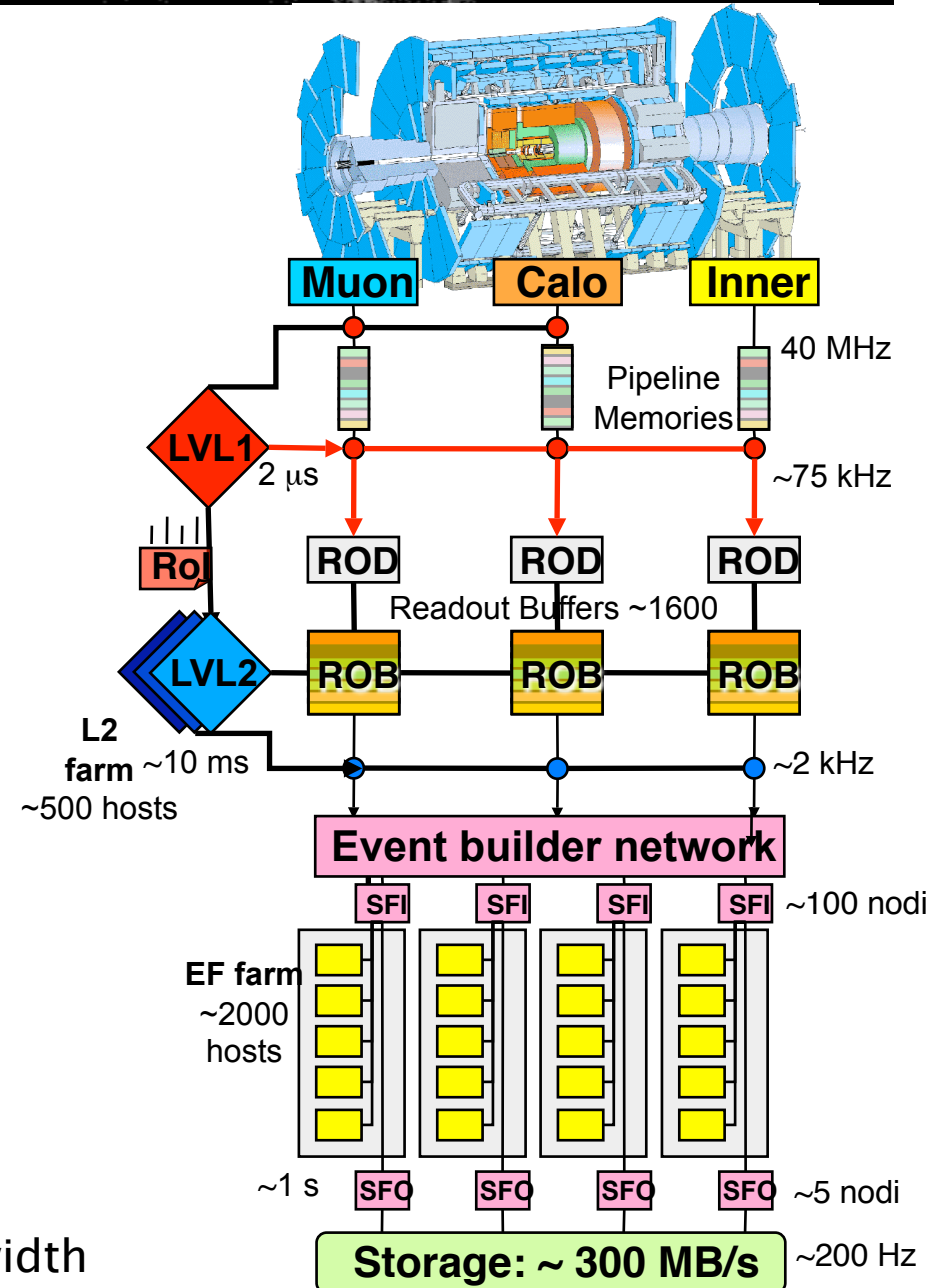


Architettura



- HLT=farm di processori commerciali con architettura **partizionabile**
- Startup con parte del sistema = minore bandwidth

A. Negri & L. Guiducci



LHC Workshop - 31 Gennaio 2008 - Perugia

Strategia L1

Misurare con informazione “coarse” dai subdetector

- **muoni**
- calorimetri (e, γ , jets)

Misura di Pt e coordinate degli oggetti
 -> flessibilita' di soglie e topologie

Identificazione del BX dell'evento

- **sincronizzazione** tra i subdetector
- **sincronizzazione** wrt LHC

Soglie piu' basse possibile

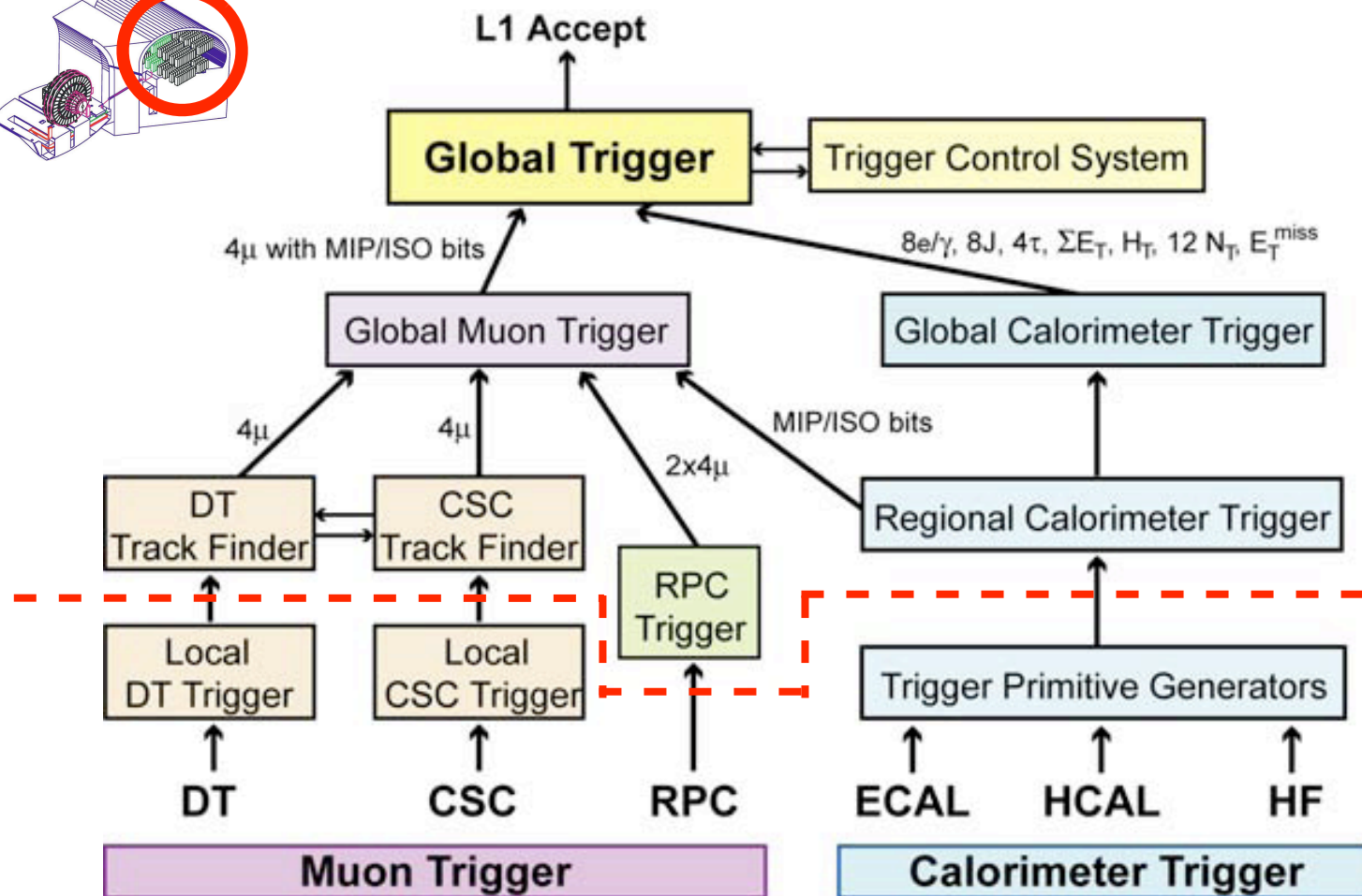
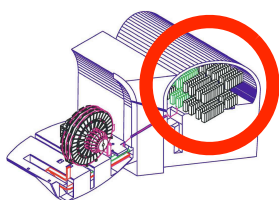
Aperti a fisica SM + nuova fisica

Flessibilita' e margini:

- Fondi (sez. d'urto a 14 TeV?)
- Efficienza sui dati “reali”
- Alg di selezione sui dati “reali”

Oggetto	Es. fisica
elettroni	Higgs, (new) gauge bosons, top, extra dimensions, SUSY
fotoni	Higgs, extra dimensions, SUSY
muoni	Higgs, (new) gauge bosons, top extra dimensions, SUSY
jets	SUSY, risonanze
jet + missing E_T	SUSY, leptoquarks
tau + missing E_T	Higgs (MSSM), SUSY

Architettura L1: CMS



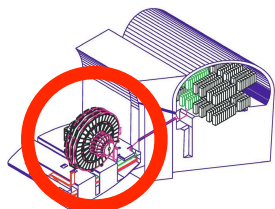
- Trigger **regionali e globali**

- Counting room:
 - ▶ No rad-hard
 - ▶ Minori constraints infrastrutturali

- Uso massiccio di FPGA ad alta densita'

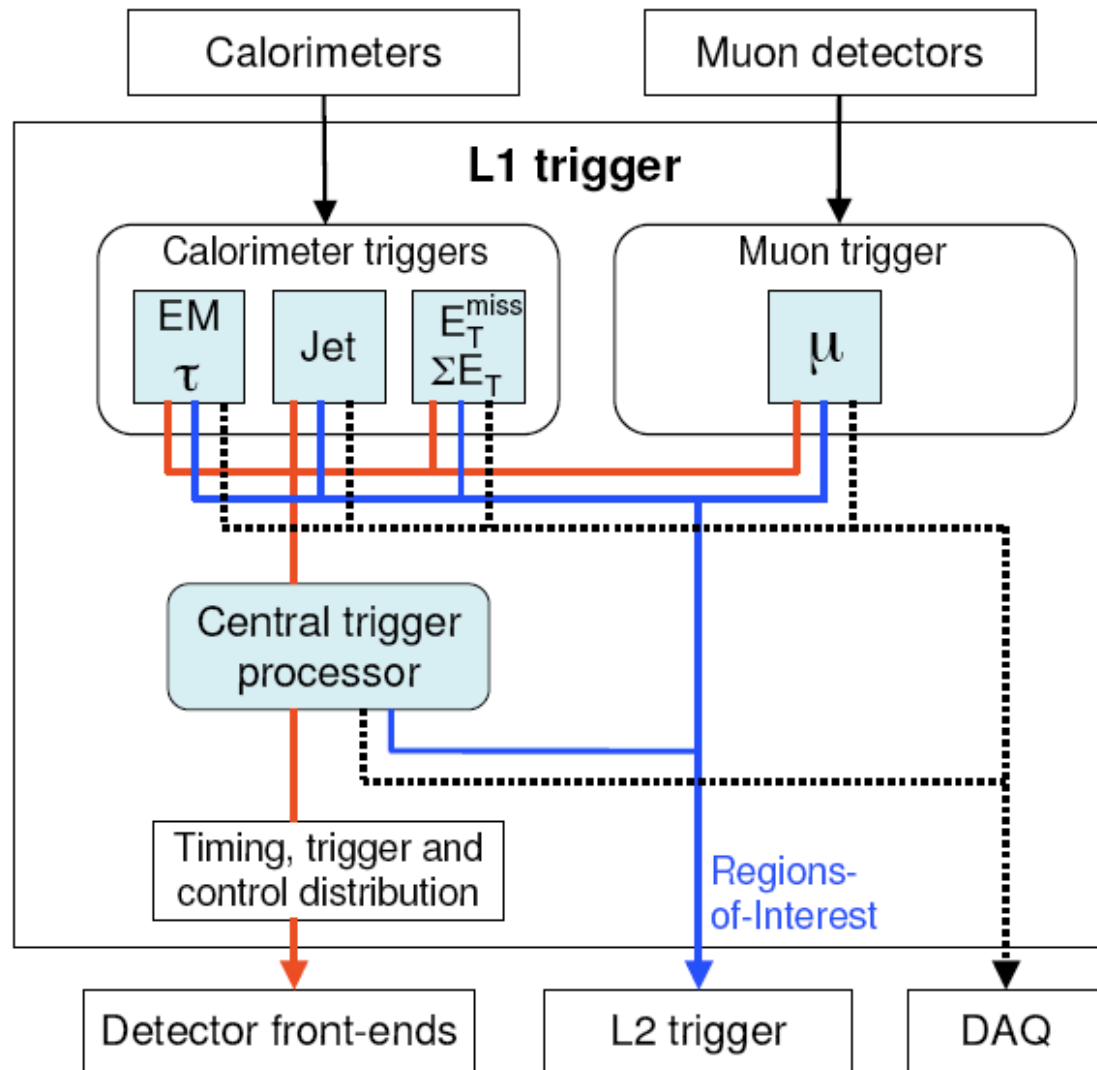
Hi-speed opto-links

- Trigger **locali**
- On-detector:
 - ▶ Dimensioni
 - ▶ Consumi
 - ▶ Rad-hard
 - ▶ Granularita'
- Soprattutto dispositivi ASIC

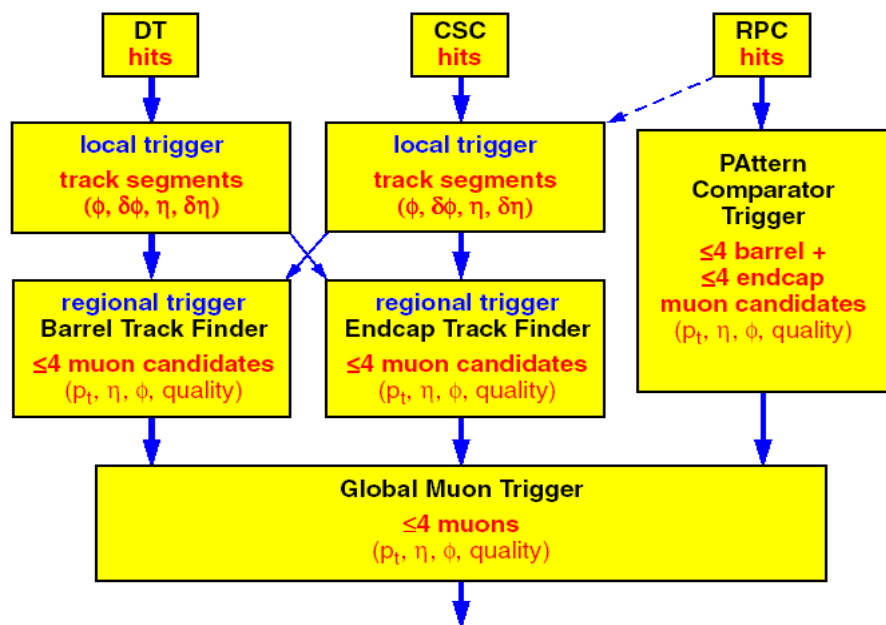




Architettura L1: Atlas

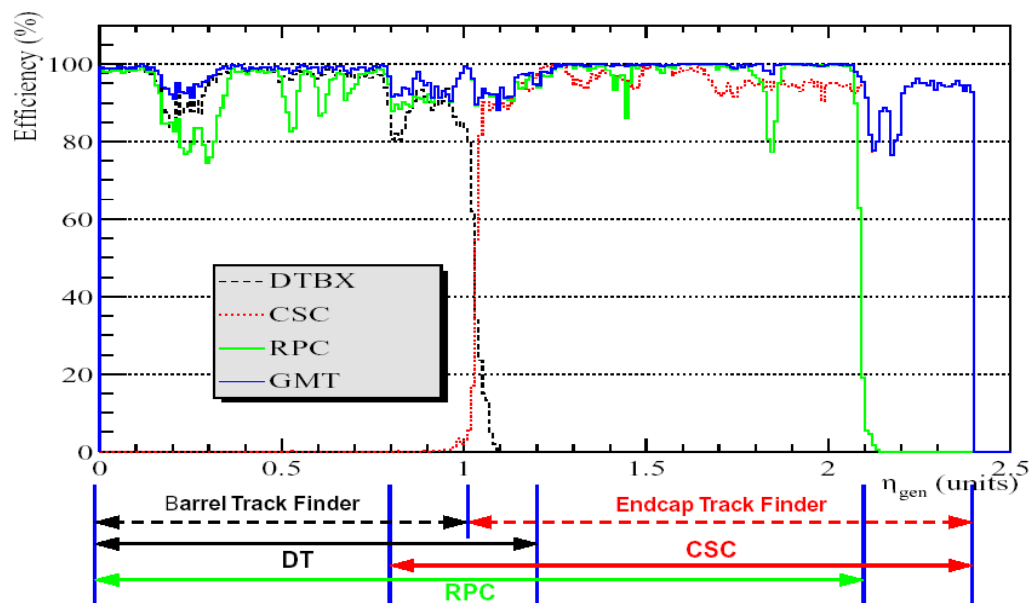


Trigger di muoni L1 in CMS

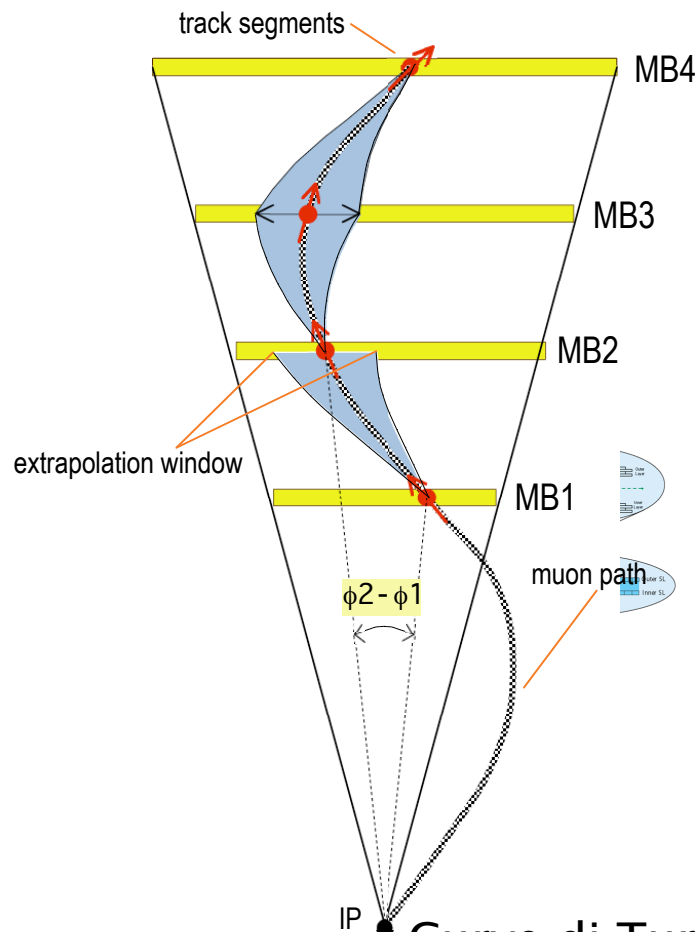


- Ridondanza del sistema = possibilità' di generare duplicati
- Algoritmi per la soppressione di ghost e falsi duplicati
- Al GMT, eventi di singolo muone classificati come dimuoni < 0.3 %

- Due sistemi indipendenti nel barrel (DT+RPC)
- Due sistemi indipendenti negli endcap (CSC+RPC)
- Suddivisione locale/regionale (eccetto le RPC)
- GMT correla le informazioni dai subdetector e seleziona 4 candidati per evento

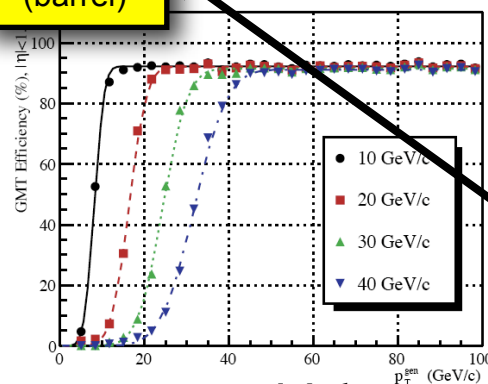


DT (barrel) muon trigger in CMS

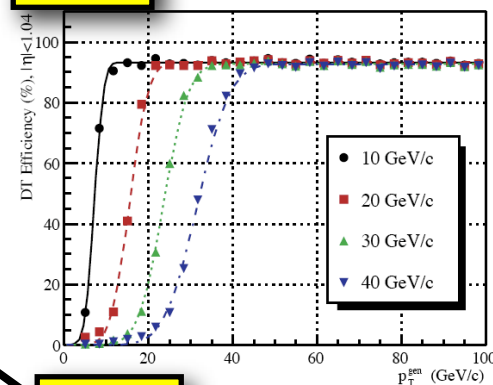


Esempio: trigger regionale DT in CMS (DTTF)
 Utilizza le informazioni del L1 locale (segmenti di traccia) in un algoritmo di estrapolazione e matching che consente di “seguire” la traiettoria su piu’ stazioni di misura e determinare il Pt dal bending del muone nel campo magnetico del ferro

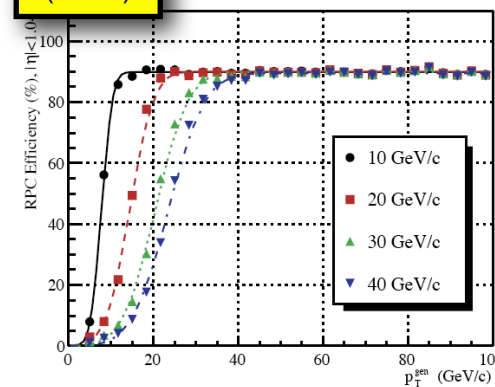
**GMT
(barrel)**



DT



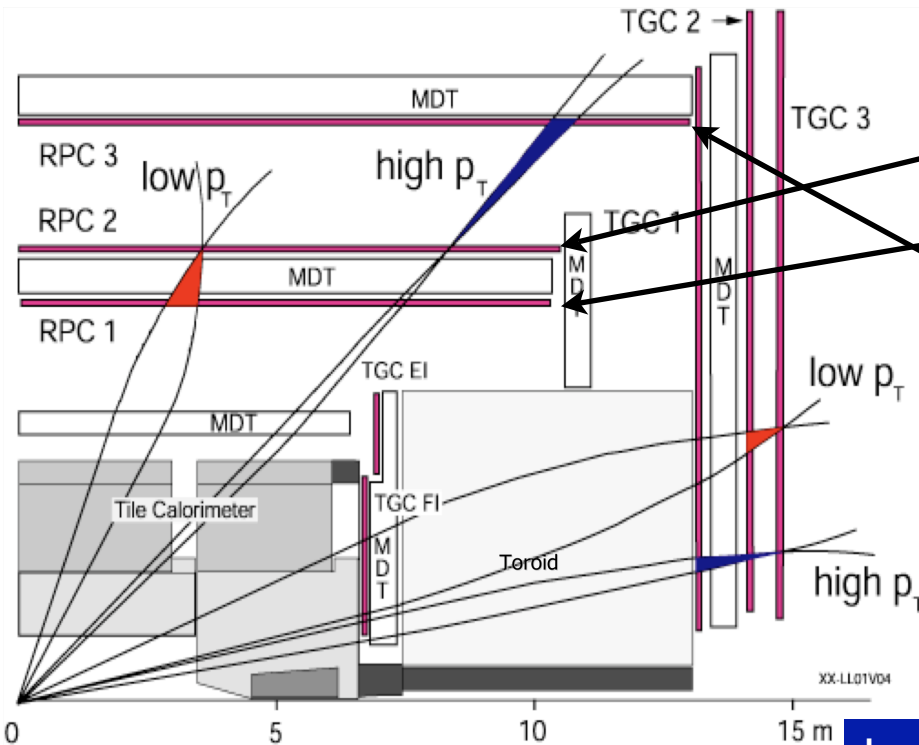
**RPC
(barrel)**



Curve di Turn-On per muoni L1 barrel in CMS:
 10, 20, 30, 40 GeV;
 DT only,
 RPC only,
 combined at GMT



Muon trigger in Atlas



Barrel: 3 layers di RPC

Il centrale detto "pivot" fornisce la coordinata di riferimento

La misura sul layer interno definisce la curvatura dei mu a basso Pt

Il layer esterno usato per misura alto Pt

Selezione basata su finestre di coincidenza, la cui larghezza definisce la soglia in Pt

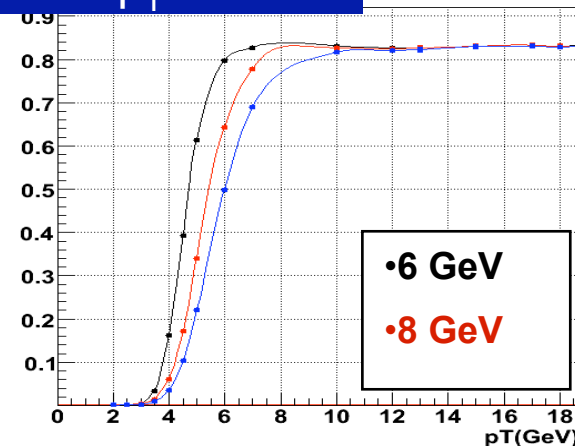
Similmente nella regione in avanti, con TGC

La **logica** di coincidenza e' implementata con **FPGA** (quindi, **ricongfigurabile**)

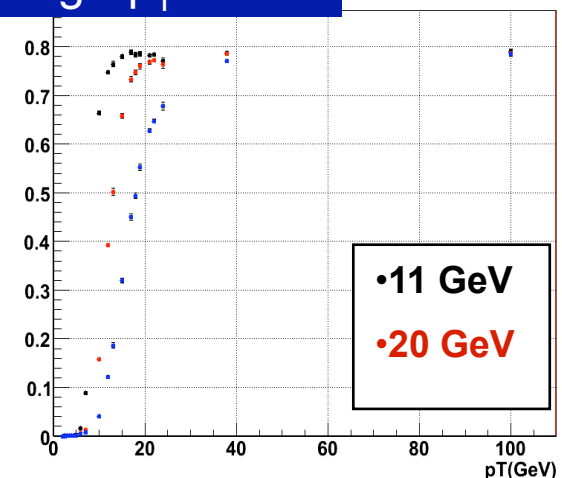
Width delle finestre di coincidenza usata per definire soglie di Livello 1, ad esempio:

6, 8, 10 GeV (basso Pt)
11, 20, 40 GeV (alto Pt)
(curve di turn-on)

Low- p_T

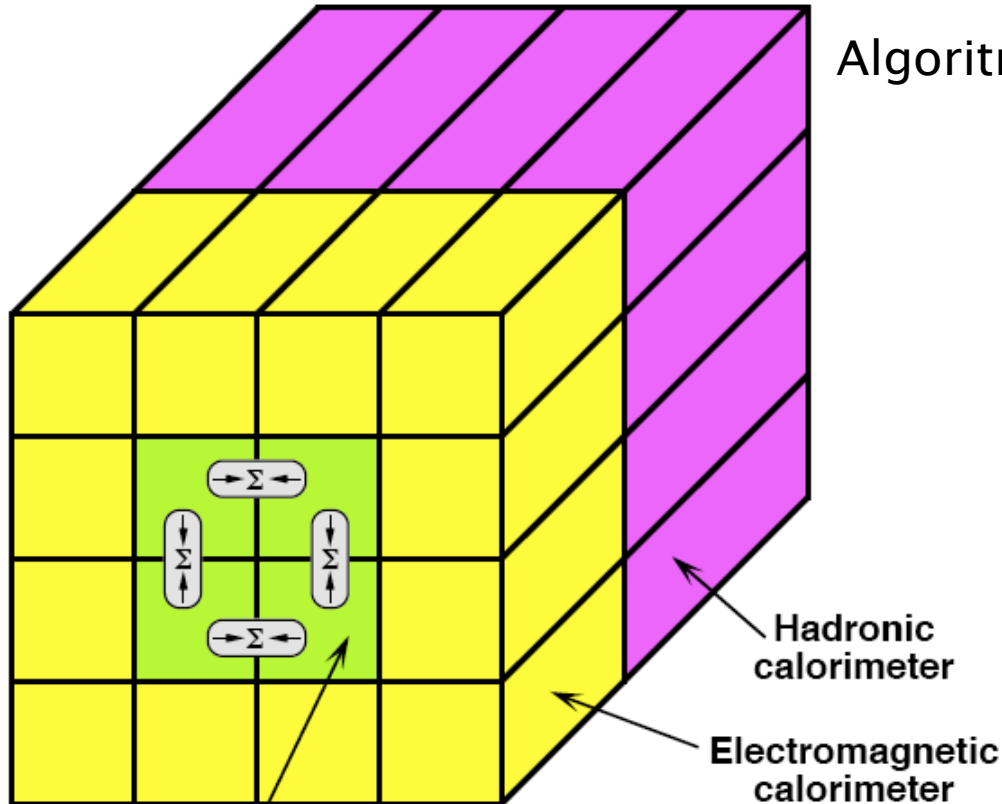


High- p_T



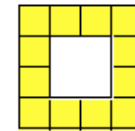


Trigger calorimetrico in Atlas

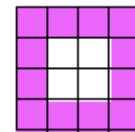


Trigger towers ($\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.1 \times 0.1$)

Algoritmo: $\left\{ \begin{array}{c} \downarrow \\ \Sigma \\ \uparrow \end{array} \right\}$ o $\left\{ \begin{array}{c} \leftarrow \Sigma \rightarrow \end{array} \right\} > \text{soglia (had o em)}$



\leq soglia iso em



\leq soglia iso had



\leq soglia core thr (solo per em)

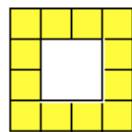
Se tutte le condizioni sono verificate, e' definito un cluster e.m. o adronico

Jet trigger: elementi $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.2 \times 0.2$ su cui e' sommato e.m. e had

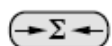
Window 2x2 elementi definisce una "Jet Rol" su cui si richiede $E_T > \text{thr}$



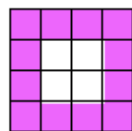
Vertical Sums



Electromagnetic isolation ring



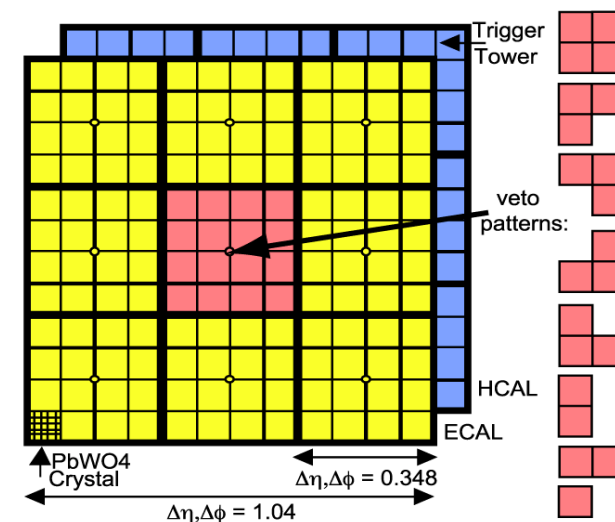
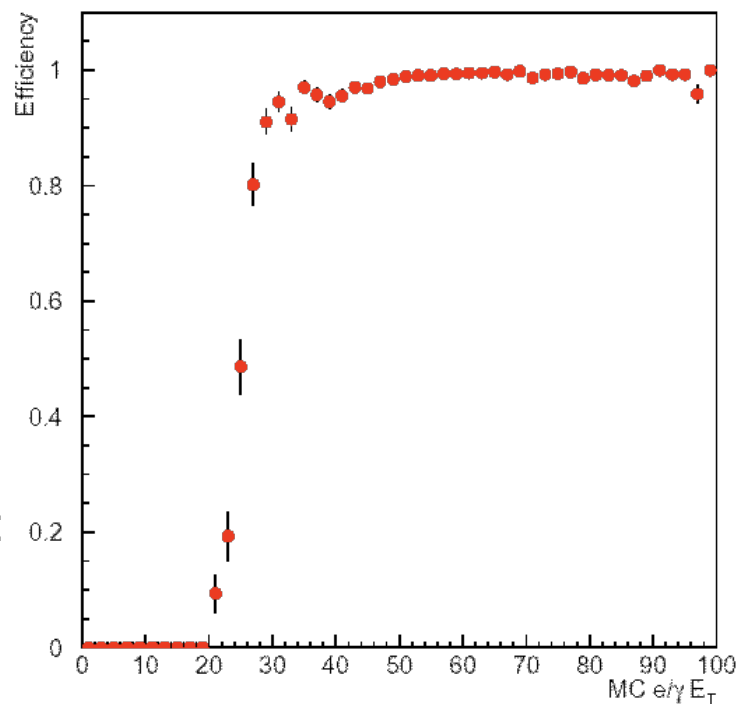
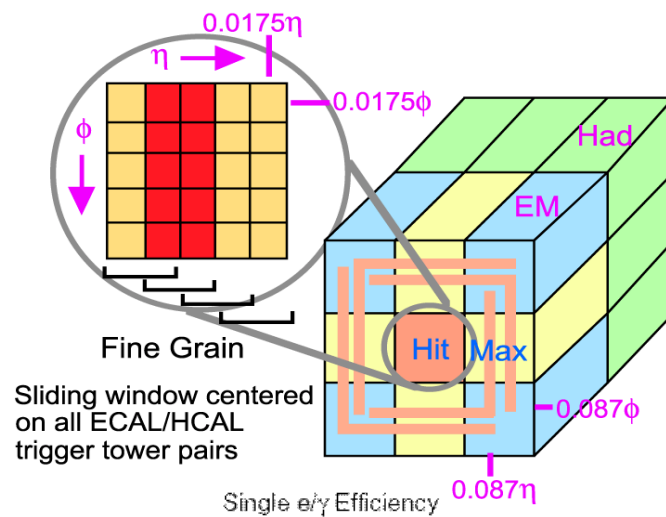
Horizontal Sums



& Hadronic isolation ring and core

Trigger calorimetrico in CMS

- E.M.: somma su 2x5 cristalli nella tower; max > thr ?
- Had-veto: confronta Et EM vs Et Had nella tower centrale e nei neighbour
- E.M. isolato: almeno uno degli “angoli” sotto una soglia
- Turn-on di L1 per e/gamma con threshold a 25 GeV: >95% eff. a 30 GeV

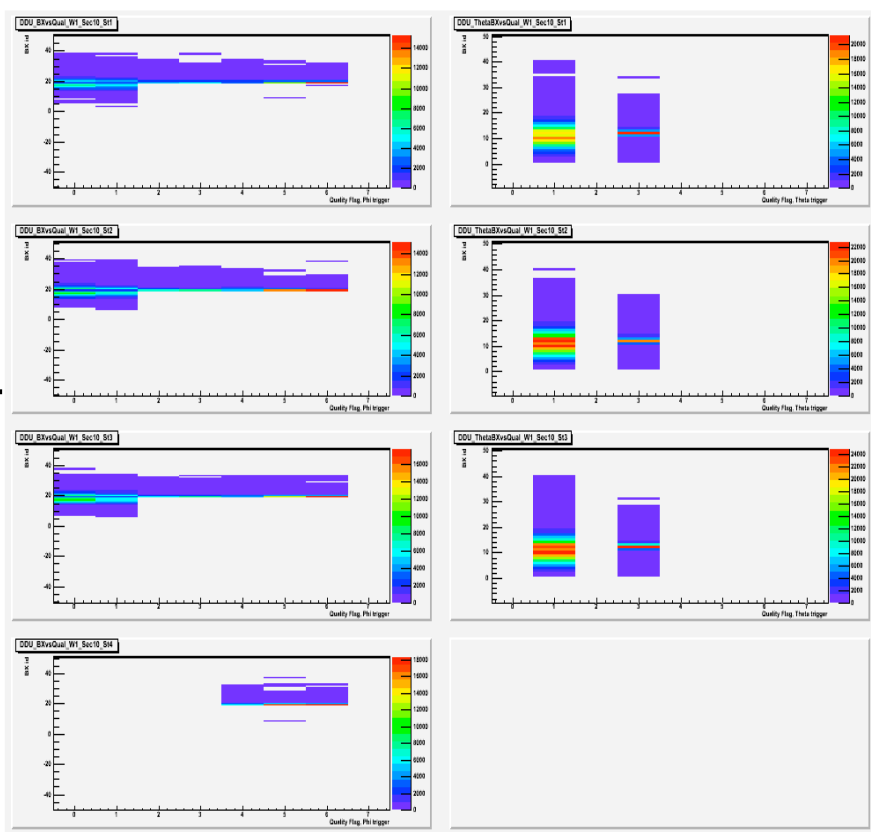


- Jets: regione = somma E.M. e Had. su torri 4x4
- Tau Jet: se compatibile con i pattern (narrow jet)

Sincronizzazione L1: commissioning

Durante il commissioning dei rivelatori il trigger L1 e' usato come "servizio" ma e' stato possibile studiare la sincronizzazione relativa tra le parti

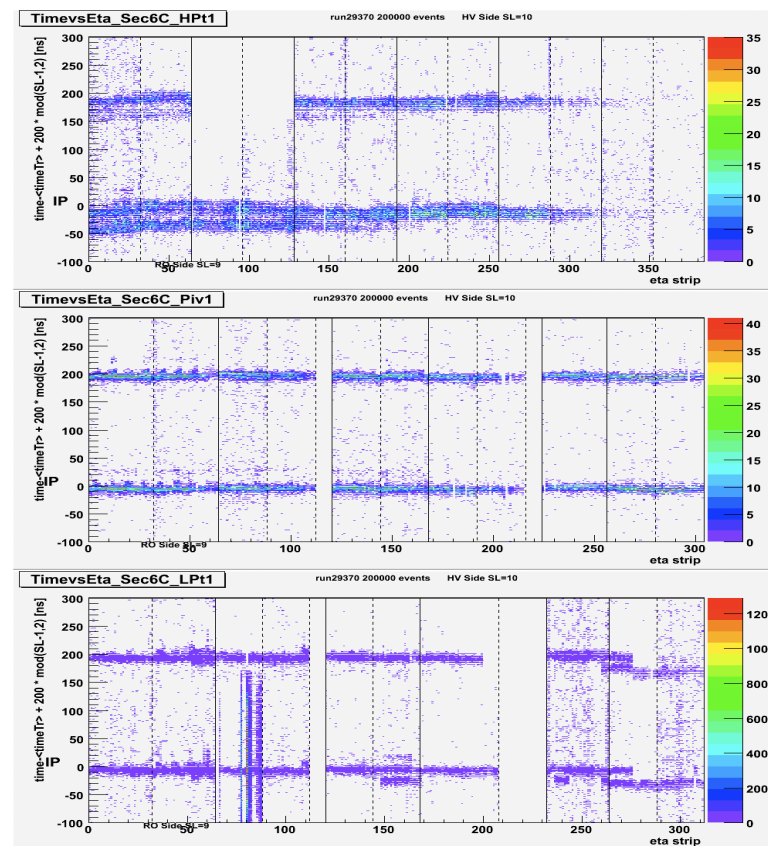
“tempo”



Qualita' Phi Qualita' Eta
CMS DT trigger on cosmics
 ($t(\text{local trigger}) - t(\text{trigger})$ vs quality)

A. Negri & L. Guiducci

“tempo”

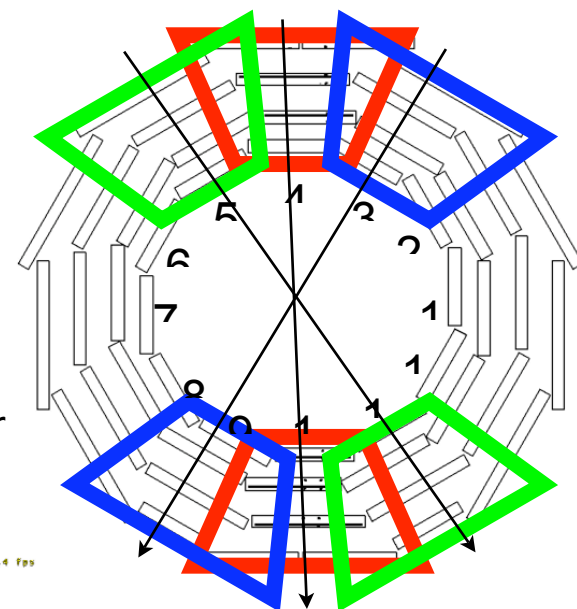


Strip Eta
Atlas RPC trigger on cosmics
 ($t(\text{hit}) - t(\text{trigger})$ vs strip)

LHC Workshop - 31 Gennaio 2008 - Perugia

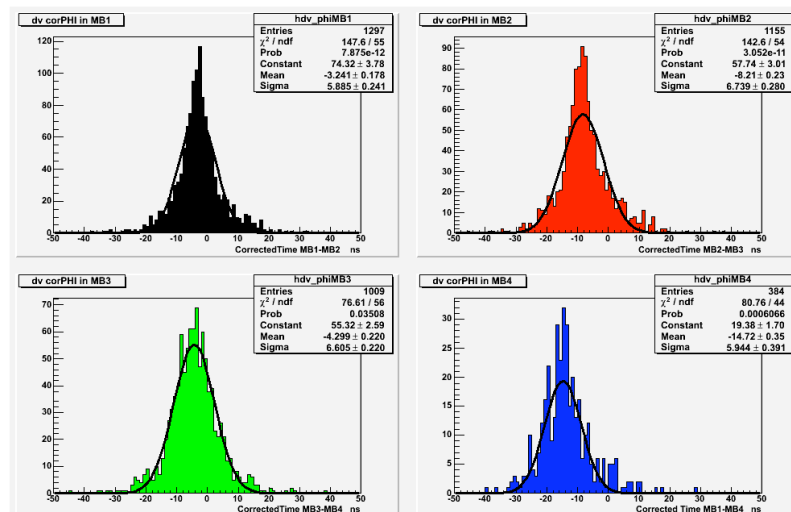
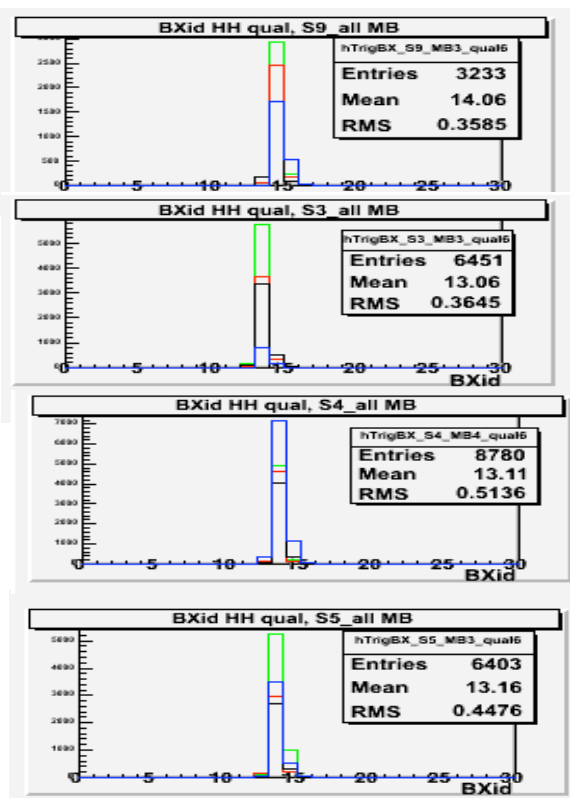
Sincronizzazione L1 per cosmici

- Esempio: DT, pre-sincronizzazione con cosmici
 - Correzione skew TTC (clock, L1A...) $\Delta T_{\max} \sim 100$ ns
 - Correzione skew trigger (segmenti local) $\Delta T_{\max} \sim 95$ ns
 - Correzione tempo di volo mu
 - Sincro ad-hoc TOF cosmici: coincidenze top-bottom
 - Utile per selezionare cosmici puntanti a calorimetri, tracker



< Distribuzione BX ID per segmenti di traccia di alta qualità' (8 hits nella vista phi): monitor immediato della sincronizzazione

Analisi temporale delle tracce evento per evento: estrazione dei parametri di timing 'fine' >



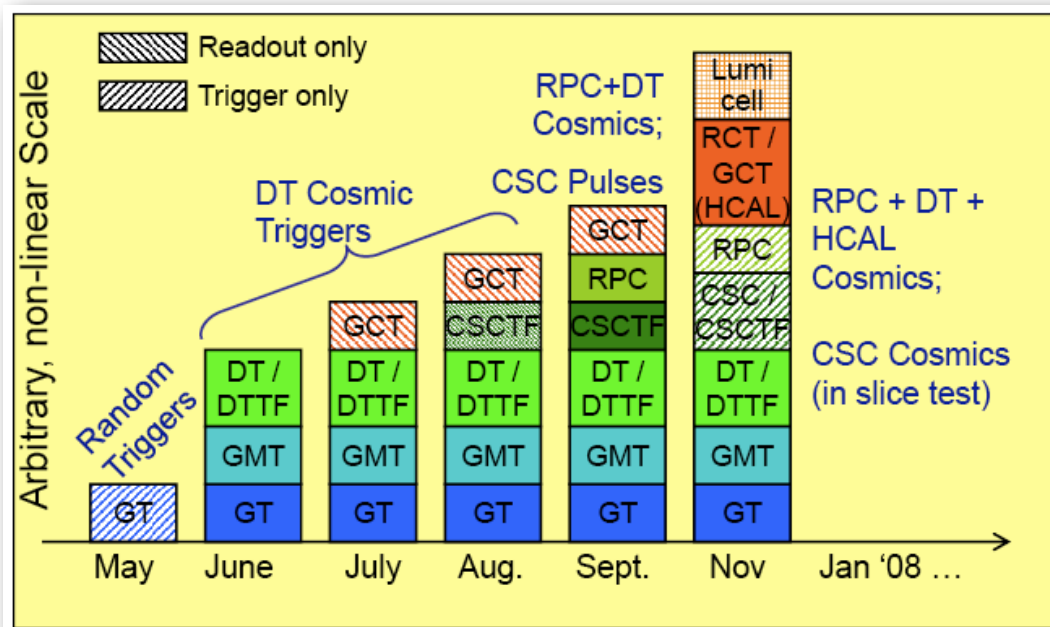


Integrazione: CMS "GlobalRuns"

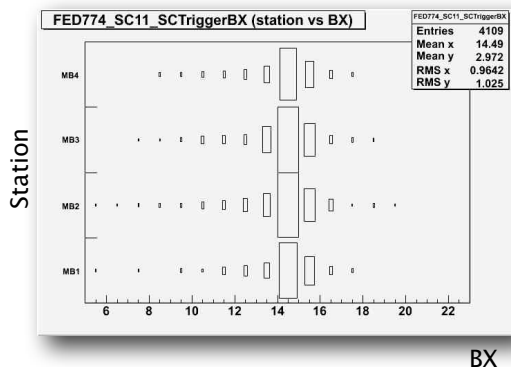
Progressivo aumento del numero di subdetector partecipanti al readout

Sorgenti di trigger (random, cosmici)

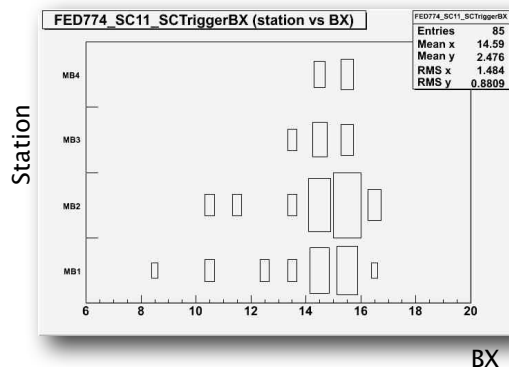
Time-in di trigger diversi (con overlap di accettazione per i cosmici)



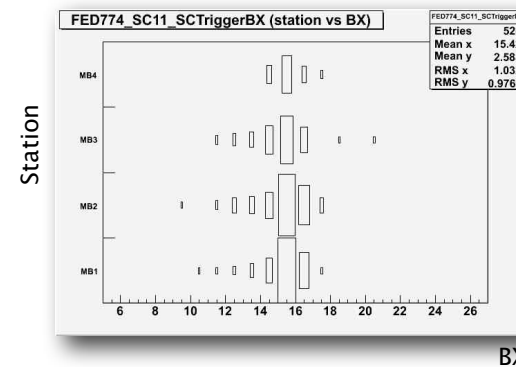
Esempio: CMS November Global Run: primitive di trigger DT con diverse sorgenti di L1-accept:



DT Trigger



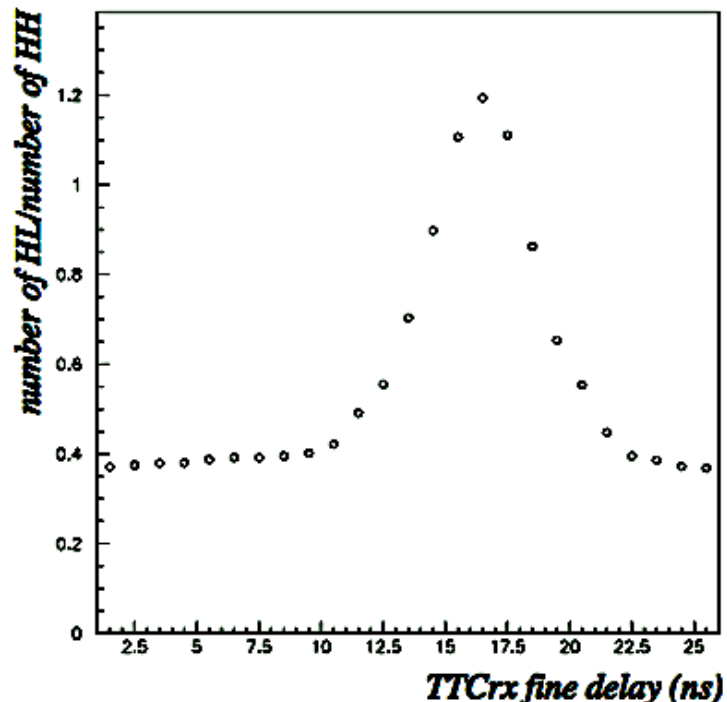
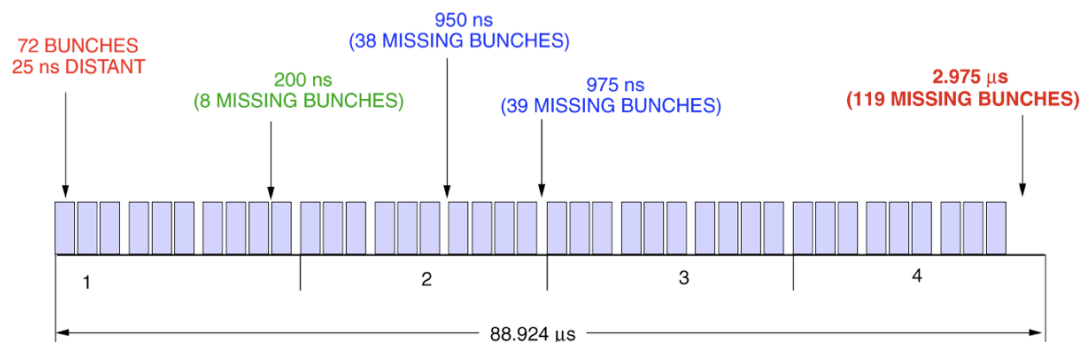
HCAL Trigger



RPC Trigger

Strategie sincro L1 con fascio

- Fascio inizialmente non “pieno”
 - 1x1, 43x43, 156x156: sincronizzazione “assoluta” L1 vs LHC
 - Istogramma BX ID deve riprodurre la struttura dei fasci di LHC



- Sincronizzazione fine rispetto al fascio:
 - Tool di analisi per determinare la corretta fase di campionamento
 - Esempio (da test beam DT): rapporto numero segmenti HL (7 hits) su HH (8 hit) mostra un picco sulla “worst phase”



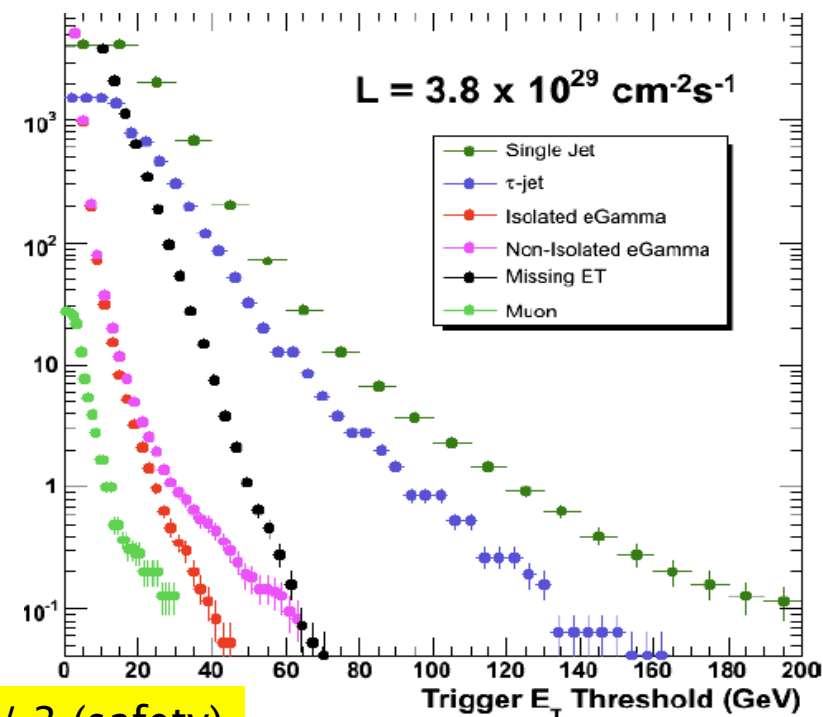
Startup ($\leq 10^{30}$) L1 menu per CMS

- Fino a $\sim 10^{30}$: nessuna soglia eccetto noise suppression per μ , e/ γ , jets
- Trigger MinBias: HF single/double $> 1-2$ GeV
- A 10^{30} , con 2 DAQ slices, esempio:
 - SingleMu0: qualsiasi mu
 - e/gamma, jets: $\sim 3\sigma >$ noise
 - MinBias = HF > 2 GeV

SingleJet e MinBias prescalati

Se 4 DAQ slices

- No jet prescale, MinBias prescale ~ 3
- Per 10^{29} \sim stesso trigger menu, no prescales
- Trigger tecnici: random, RBC, DT singola st. ecc



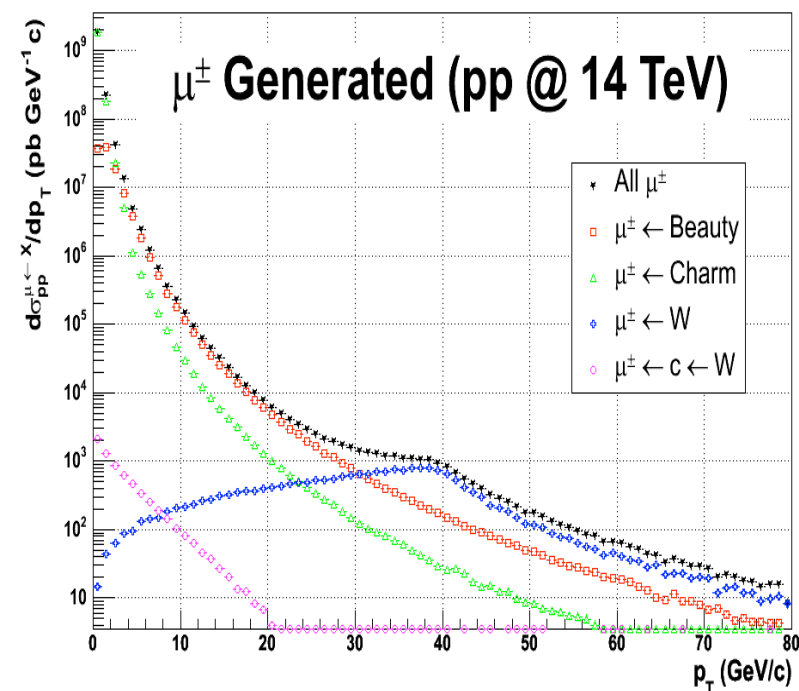
ESEMPIO: rates a 1.7×10^{30} , 2 DAQ slices = 25 kHz / 3 (safety)

SingleMu0 (1) :	Indiv.:	128.1 +/- 1.8	seqPure:	128.1	Pure:	9.3	Cumul:	128.1
L1_DoubleMu3 (1) :	Indiv.:	5.4 +/- 0.3	seqPure:	1.3	Pure:	0.6	Cumul:	129.5
SingleRelEG5 (1) :	Indiv.:	1988.8 +/- 8.8	seqPure:	1968.9	Pure:	275.9	Cumul:	2098.4
SingleJet20 (10) :	Indiv.:	911.0 +/- 6.0	seqPure:	750.2	Pure:	412.0	Cumul:	2848.6
SingleJet30 (1) :	Indiv.:	2928.3 +/- 10.7	seqPure:	1846.2	Pure:	0.0	Cumul:	4694.8
SingleTau30 (1) :	Indiv.:	1131.0 +/- 6.6	seqPure:	0.0	Pure:	0.0	Cumul:	4797.9
ETM20 (1) :	Indiv.:	1861.3 +/- 8.6	seqPure:	273.0	Pure:	0.0	Cumul:	9871.4
MinBias_SingleHF2 (10) :	Indiv.:	2334.9 +/- 9.8	seqPure:	1832.6	Pure:	1795.3	Cumul:	7508.2
MinBias_DoubleHF2 (10) :	Indiv.:	623.9 +/- 5.0	seqPure:	314.9	Pure:	314.9	Cumul:	7823.0

TOTAL RATE : 7823.0 +/- 17.6 Hz

Primi 1/pb

- Dato un oggetto di L1, al crescere del rate averne una versione con prescale sulla quale HLT e' trasparente (pass through)
- 1 week @ 10^{30} @ 50% = 0.3 pb^{-1} con L1A "aperto": statistica per lo studio del L1 per mezzo degli emulatori
- A $L = 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ @ 70% ~ 4 pb^{-1} alla settimana: si ha rapidamente statistica per analisi sulle "standard candles"
- **Per esempio, muoni:**
- $< 1 \text{ pb}^{-1}$, muoni inclusivi: alta statistica, soprattutto a basso P_t , J/psi, Y per calibrazione P_t
- $\geq 1 \text{ pb}^{-1}$: $W \rightarrow \mu\nu$ e' interessante (~ 20k $W \rightarrow l\nu$ per pb^{-1})
 - Ottimo sample per studiare la risoluzione dei muoni ad alto P_t , isolati
 - Bisogna pero' studiare i criteri di isolamento e MET !
- $\geq 10 \text{ pb}^{-1}$: $Z \rightarrow \mu\mu$ interessante
 - Consente studi molto "puliti" anche con metodi tag&probe



Strategia L1: summary

- Sincronizzazione dei detector con cosmici
- Sincronizzazione su fascio: beam structure, sincro fine
- Strategia di L1 per lo startup
 - Trigger di minimum bias, mu senza soglia, calorimetri sopra noise
 - Piu' soglie usate contemporaneamente, prescales, HLT in modo pass: studio degli emulatori di L1 per preparazione menu aggiornati
 - Attivare soglie soffici su mu Pt, calorimetri Et; crescono al crescere di L
- Strategia per la calibrazione
 - Utilizzo di segnali "standard", ad esempio J/psi \rightarrow 2mu, 2e per la calibrazione di camere a muoni e calorimetri
 - A luminosita' superiori, W e Z per calibrazione muoni, calorimetro em e jets, missing Et

L1 @ 10^{32} CMS (esempio)

L1 trigger	Thr (GeV)	Prescale	Rate (kHz)
SingleMu3	3	1000	0.01
SingleMu5	5	1000	0.00
SingleMu7	7	1	1.11
SingleMu10	10	1	0.47
SingleMu14	14	1	0.18
SingleMu20	20	1	0.09
SingleMu25	25	1	0.06
SingleIsoEG12	12	1	2.47
SingleIsoEG15	15	1	1.10
SingleIsoEG20	20	1	0.32
SingleIsoEG25	25	1	0.14
SingleEG15	15	1	1.51
SingleEG20	20	1	0.52
SingleEG25	25	1	0.25

L1 trigger	Thr (GeV)	Pres	Rate (kHz)
SingleJet70	70	100	0.02
SingleJet100	100	1	0.43
SingleJet150	150	1	0.07
SingleJet200	200	1	0.02
SingleTauJet80	80	1	0.68
SingleTauJet100	100	1	0.20
ETM30	30	1	5.69
ETM40	40	1	0.40
ETM50	50	1	0.05
ETM60	60	1	0.01
DoubleMu3	3	1	0.28
DoubleIsoEG3	8	1	0.28
DoubleIsoEG10	10	1	0.08
DoubleEG10	10	1	0.19
DoubleEG15	15	1	0.05
DoubleJet70	70	1	0.58
DoubleJet100	100	1	0.11
DoubleTauJet40	40	1	2.36

L1 @ 10^{32} CMS (esempio)

L1 trigger	Thr (GeV)	Prescale	Rate (kHz)
SingleMu3	3	1000	0.01
SingleMu5	5	1000	0.00
SingleMu7	7	1	1.11
SingleMu10	10	1	0.47
SingleMu14	14	1	0.18
SingleMu20	20	1	0.09
SingleMu25	25	1	0.06
SingleIsoEG12	12	1	2.47
SingleIsoEG15	15	1	1.10
SingleIsoEG20	20	1	0.32
SingleIsoEG25	25	1	0.14
SingleEG15	15	1	1.51
SingleEG20	20	1	0.52
SingleEG25	25	1	0.25

- $\mu \sim 1.5$ kHz
- $e\gamma \sim 2.5$ kHz
- jets ~ 3.5 kHz
- $\tau \sim 3$ kHz
- MET ~ 5.5 kHz
- x-channels ~ 8 kHz
- Total: 17 kHz

L1 trigger	Thr (GeV)	Pres	Rate (kHz)
SingleJet70	70	100	0.02
SingleJet100	100	1	0.43
SingleJet150	150	1	0.07
SingleJet200	200	1	0.02
SingleTauJet80	80	1	0.68
SingleTauJet100	100	1	0.20
ETM30	30	1	5.69
ETM40	40	1	0.40
ETM50	50	1	0.05
ETM60	60	1	0.01
DoubleMu3	3	1	0.28
DoubleIsoEG3	8	1	0.28
DoubleIsoEG10	10	1	0.08
DoubleEG10	10	1	0.19
DoubleEG15	15	1	0.05
DoubleJet70	70	1	0.58
DoubleJet100	100	1	0.11
DoubleTauJet40	40	1	2.36

Menu CMS a 10^{33}

Trigger type	Thrsh (0.95 eff)	Rate (kHz)	Cum. Rate (kHz)
Incl. iso e/ γ	29 GeV	3.3	3.3
Di- e/ γ	17 GeV	1.3	4.3
Incl. iso μ	14 GeV/c	2.7	7.0
Di- μ	3 GeV/c	0.9	7.9
Single τ	86 GeV	2.2	10.1
Di- τ	59 GeV	1.0	10.9
1j, 3j, 4j	177, 86, 70 GeV	3.0	12.5
j && E_t^{miss}	88 ; 46 GeV	2.3	14.3
e/ γ , j	21 ; 45 GeV	0.8	15.1
Minbias, calib, efficiency estimation		0.9	16.0

- Global trigger implements a wide range of triggers (incl. topological)
- Example low lumi ($L=2 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) trigger selection shown above
 - Total rate balanced between e/g, jets, muons for initial HLT input 50kHz
 - Rate safety factor ~ 3 , to account for uncertainties in background