

# 101° Congresso Nazionale Società Italiana di Fisica

Roma

25 Settembre 2015

## Il luminometro LUCID dell'esperimento ATLAS a LHC

Università di Bologna e INFN



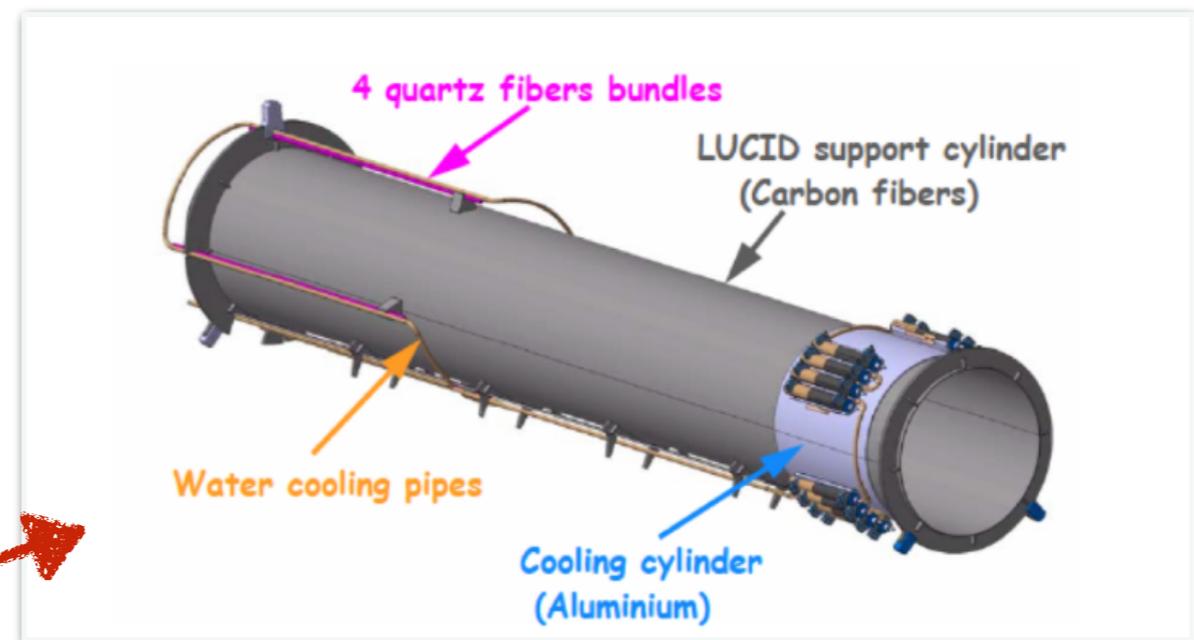
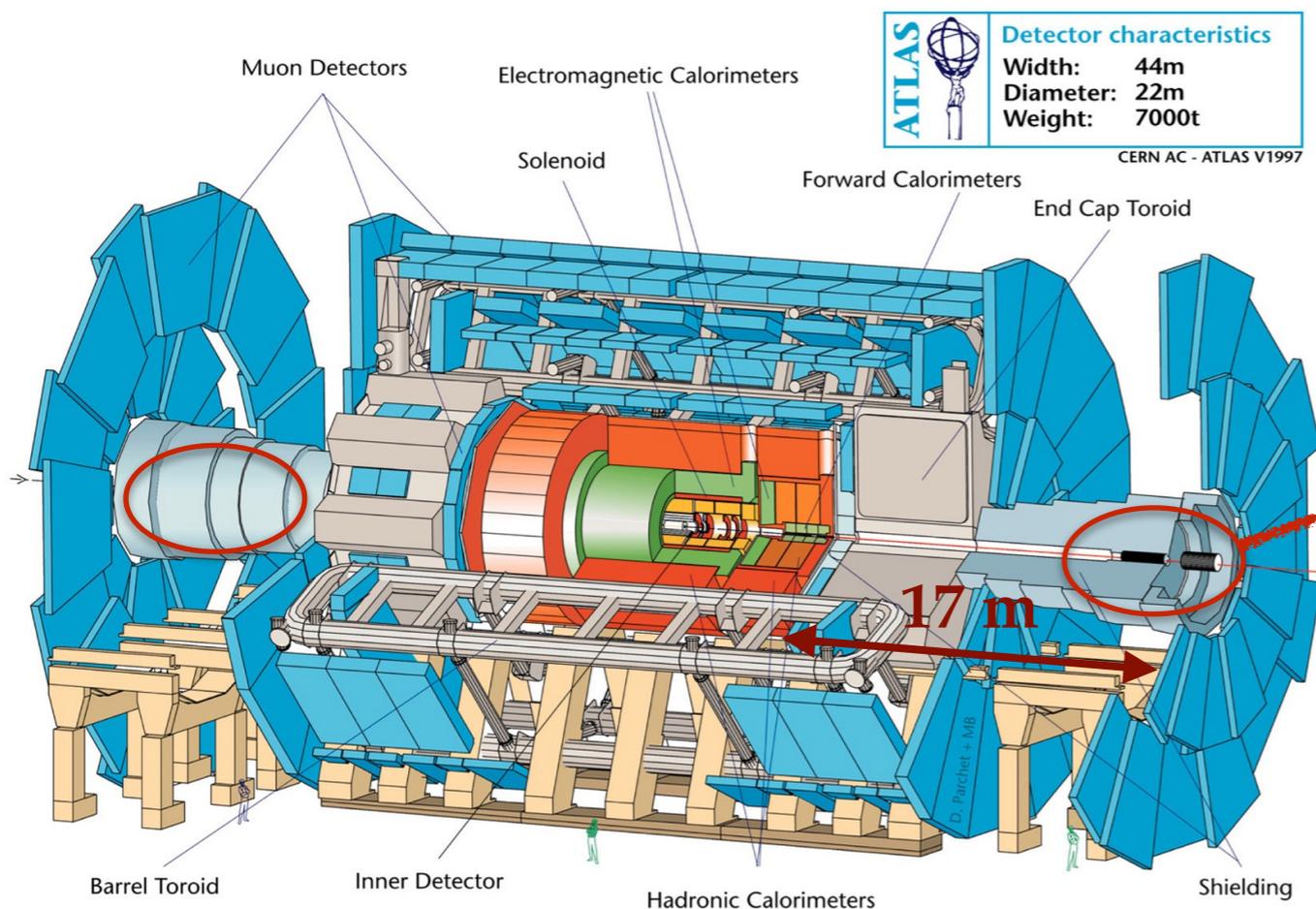
Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare



Presentata da:  
Giulia Uccielli

# Sommario

- Il nuovo design del rivelatore LUCID
- L'elettronica di read-out
- Gli algoritmi di luminosità
- La calibrazione del detector
- I primi dati delle collisioni a 13 TeV
- Conclusioni



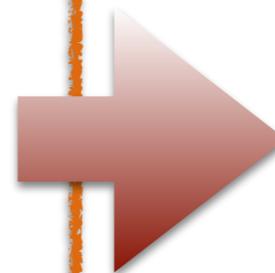
# Motivazioni per l'upgrade

## LUCID:

set di PMT che misurano la luce Cherenkov emessa, nella loro finestra di quarzo, da particelle cariche prodotte nelle interazioni *pp*.

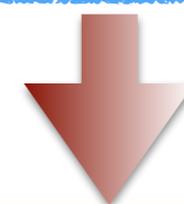
### LHC nel Run2:

- ⊙ Aumento della luminosità istantanea di picco da  $\sim 0.77 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  a  $\sim 1.7 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- ⊙ Cambio del materiale della beam pipe da acciaio inossidabile ad alluminio in prossimità di LUCID
- ⊙ Diminuzione della distanza tra bunch crossing da  $\sim 50 \text{ ns}$  a  $\sim 25 \text{ ns}$



### Rivelatore del Run 1:

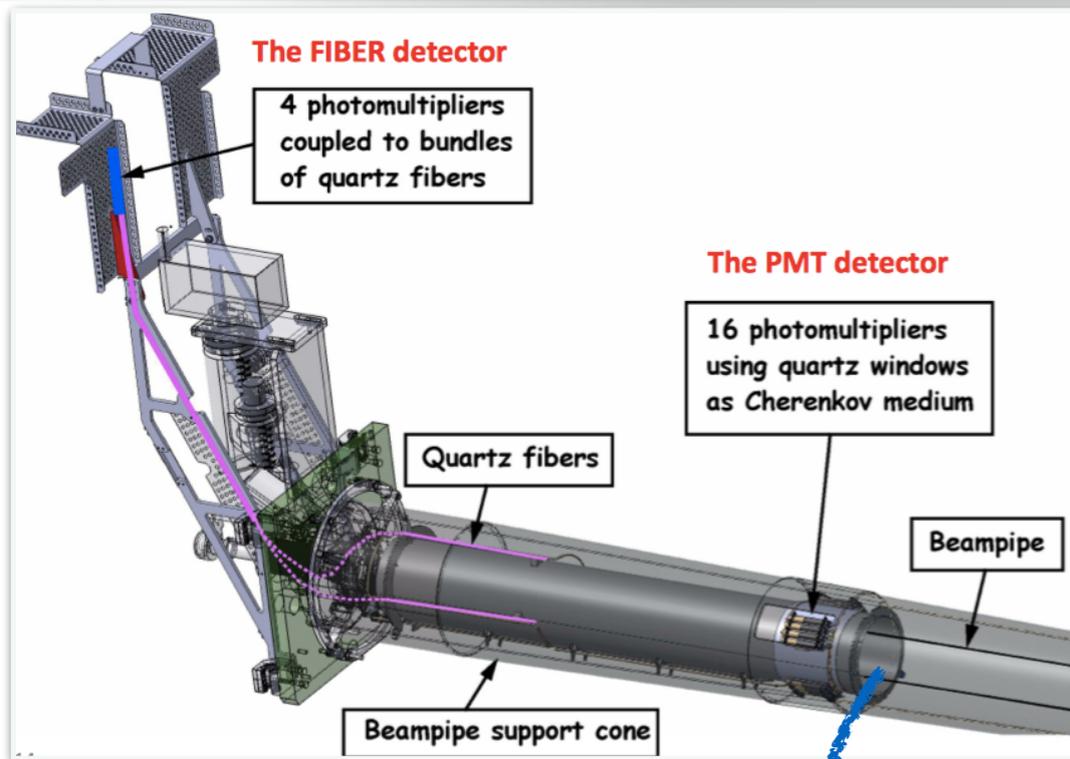
- ✗ aumento dell'occupanza;
- ✗ saturazione di alcuni algoritmi di luminosità;
- ✗ dose di radiazione eccessiva per garantire durata dei PMT (carica totale prodotta);



### Soluzione:

**Diminuire l'accettanza del detector con l'uso di fotomoltiplicatori più piccoli.**

# Il nuovo design di LUCID

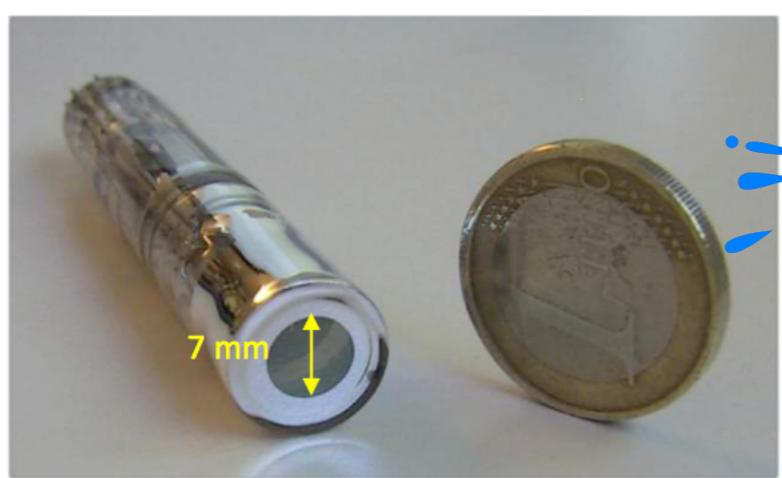


Il detector è costituito da **due moduli identici e simmetrici** rispetto all'IP, posizionati a 17 m.

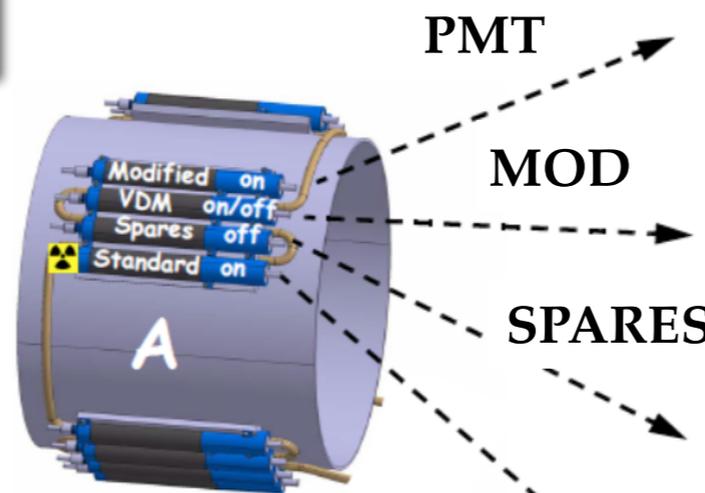


Vecchi PMT:  $\Phi = 15$  mm  
 Nuovi PMT:  $\Phi = 10$  mm  
 Riduzione accettazione  $\sim 56\%$

4 sensori di tipo diverso costituiscono 4 detector indipendenti.



Riduzione accettazione  $\sim 78\%$



PMT  
 4+4 PMT Hamamatsu R760 di  $\Phi = 10$  mm

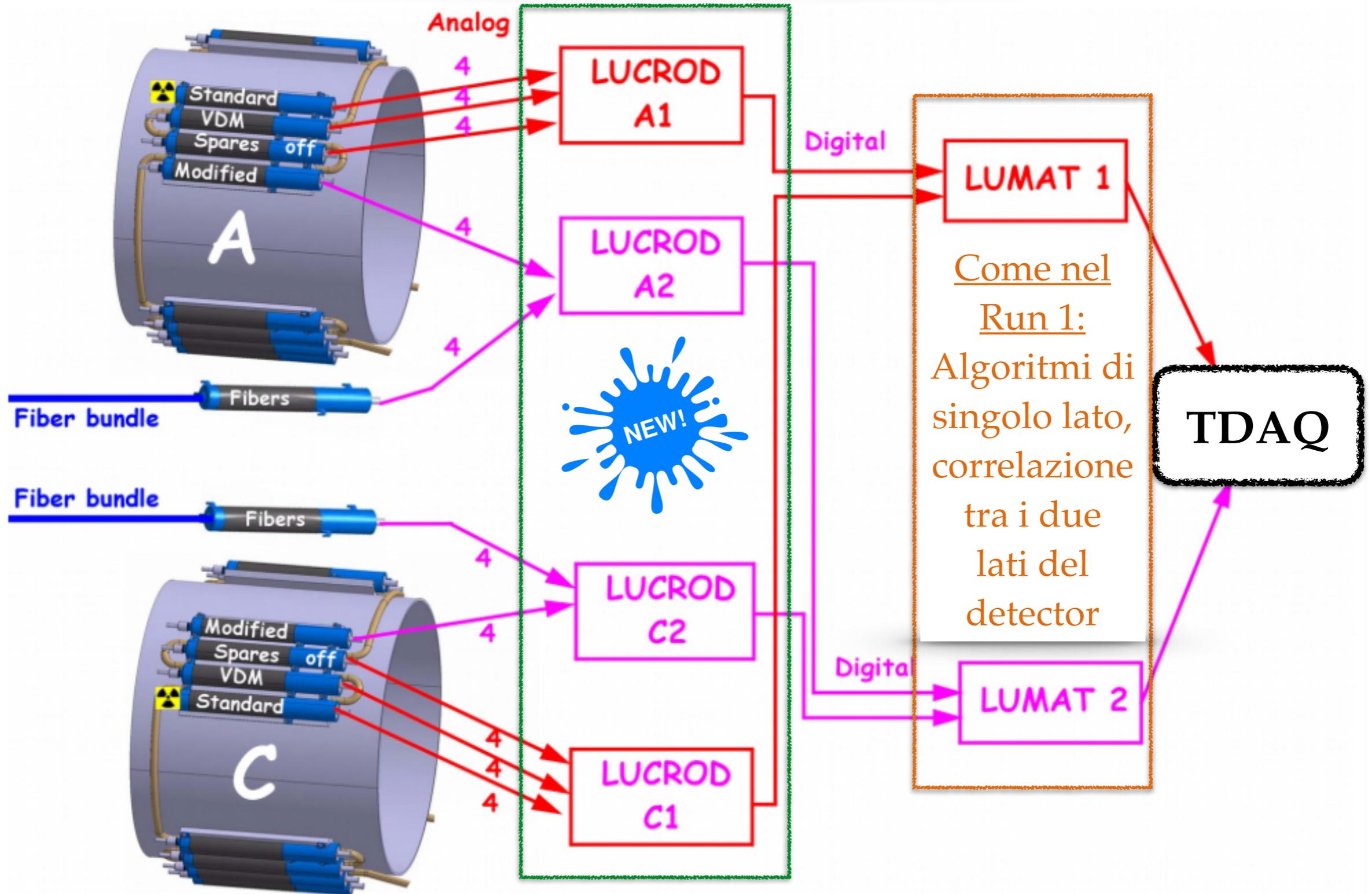
MOD  
 4+4 PMT Hamamatsu R760 di  $\Phi = 7$  mm modificati con deposito di alluminio sulla finestra

SPARES  
 4+4 PMT Hamamatsu R760 di  $\Phi = 10$  mm. Non studiati per il momento

Bi<sup>207</sup>  
 4+4 PMT Hamamatsu R760 di  $\Phi = 10$  mm, con sorgente radioattiva depositata sulla finestra

FIB  
 Fibra di quarzo come mezzo Cherenkov, 4+4 PMT Hamamatsu R760 di  $\Phi = 10$  mm

# L'elettronica di read-out



Digitalizzazione (FADC) + discriminazione del segnale dei PMT direttamente in caverna → algoritmi di luminosità (singolo canale e lato)

# L'elettronica di read-out: LUCROD

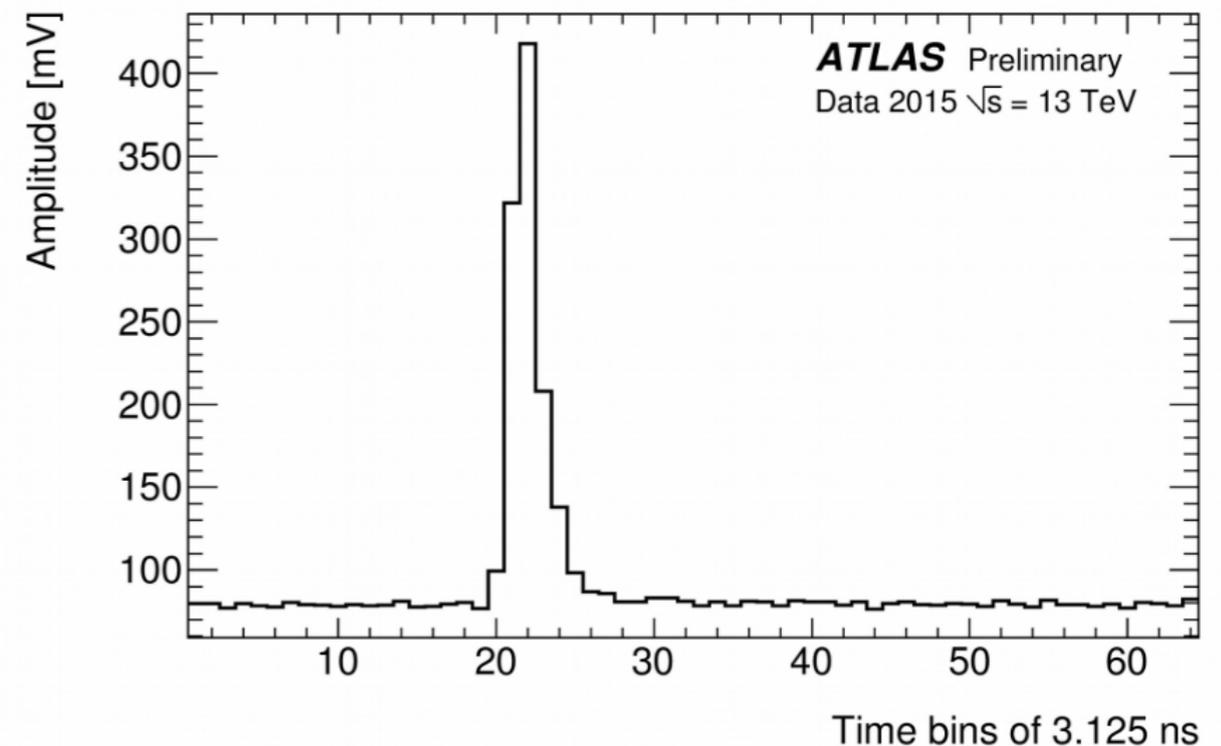
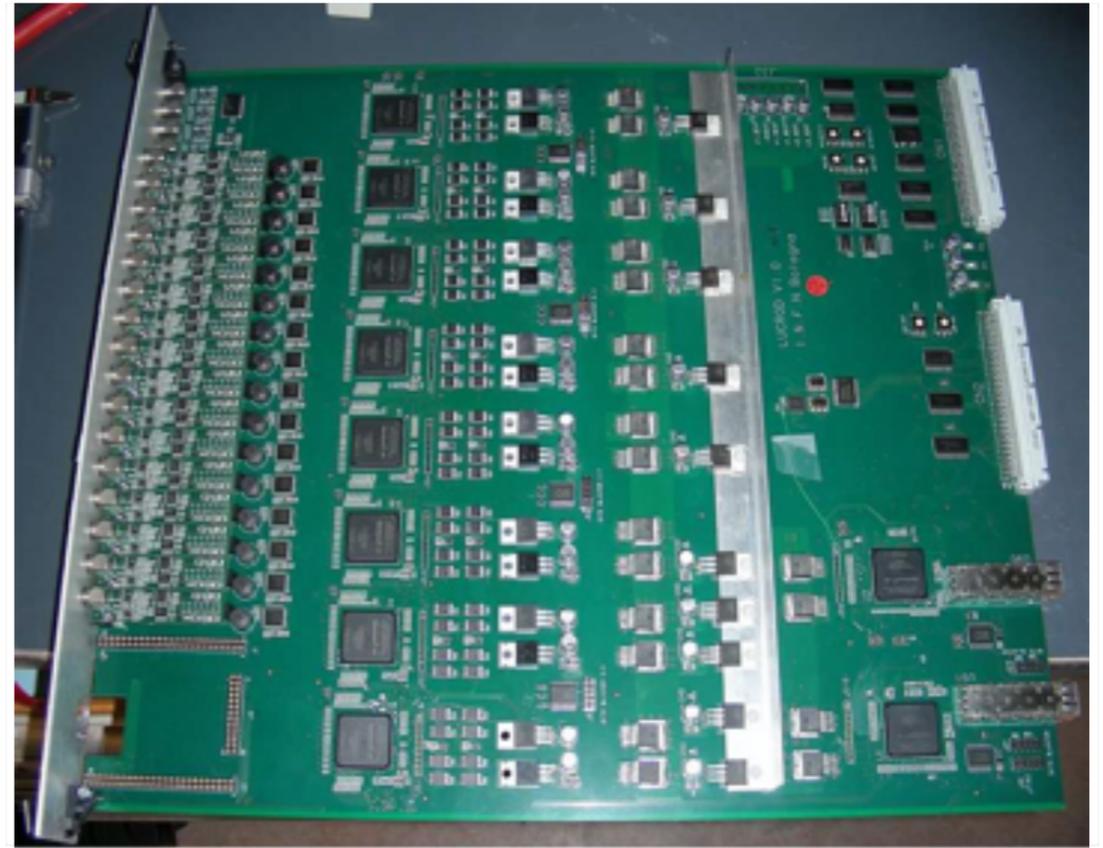
## LUCROD: LUCid ReadOut Driver

- digitalizza il segnale con FADC a 320 MHz (ogni BCID);
- discrimina il segnale → definizione di *hit* (segnale sopra soglia predefinita);
- **integra la corrente per ogni BCID;**
- calcola gli algoritmi di singolo canale e di singolo lato;
- monitora la forma d'onda del segnale, immagazzinato in una FIFO;
- invia informazioni sulle hit alla LUMAT tramite link ottico ogni BCID.

## LUMAT: LUMinosity Monitor And Trigger

stessa elettronica del Run 1.

- calcola gli algoritmi combinatoriali tra i due lati.



# Gli algoritmi di luminosità

Algoritmi: tutti quelli del Run 1 + carica totale del LB per BCID

Luminosità

$$L = n_B \sum_{\text{bunch}} \frac{\mu_{inel}^{\text{bunch}}}{\sigma_{inel}} f = n_B \sum_{\text{bunch}} \frac{\mu_{vis}^{\text{bunch}}}{\epsilon \sigma_{inel}} f$$

$n_B$ : numero di bunch

$f$ : frequenza di rivoluzione di LHC

$$\mu_{inel} = \mu_{vis} / \epsilon$$

$\mu_{vis}$ : quantità sperimentale.

$\epsilon$ : costante di calibrazione estratta dai Van der Meer scan.

## Algoritmi Run 1

- Hit counting: numero totale di hit
- Event counting (evento = particolare configurazione di hit): OR, AND.

Es: EventOR,  
tramite statistica di Poisson.

$$\mu_{vis} = -\ln \left( 1 - \frac{N_{event}^{OR}}{N_{orbits}} \right)$$

## Nuovi algoritmi:

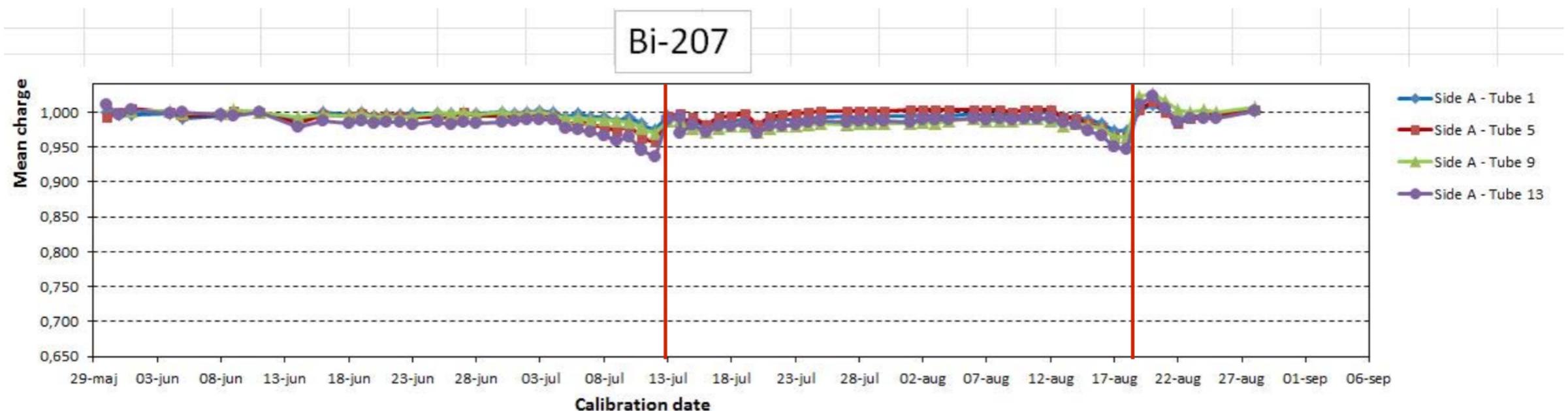
misura della carica prodotta dai PMT individualmente per ogni BCID,  
direttamente proporzionale alla luminosità.

$$L = \alpha Q$$

NEW!

# Calibrazione del detector

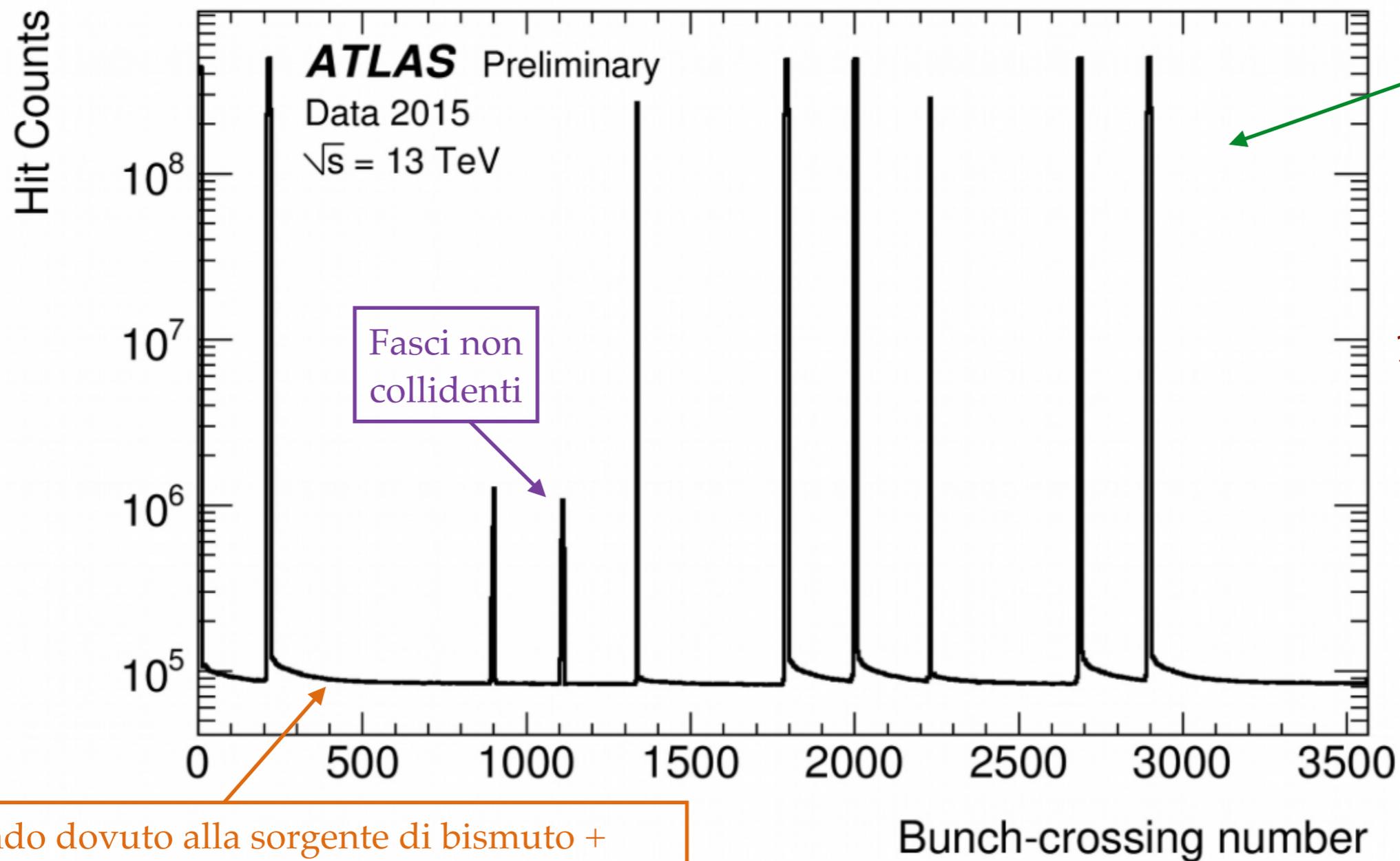
- Il guadagno dei PMT deve essere stabile nel tempo;
- Dal Run 1: i PMT durante il primo periodo di presa dati perdono guadagno;
- **Ridondanza dei sistemi di calibrazione** per monitorare il guadagno:
  - Sorgente di  $\text{Bi}^{207}$  emette elettroni per CI;
  - Sistema di LED;
  - Sistema Laser ;
- **Sistema preferito:  $\text{Bi}^{207}$** , PMT senza sorgente calibrati in run di fisica per confronto.



Aggiustamenti dell'HV per rimanere entro il 5% di variazione del guadagno (variazione della luminosità < 1% per algoritmo EventOR).

# I primi dati di collisioni a 13 TeV

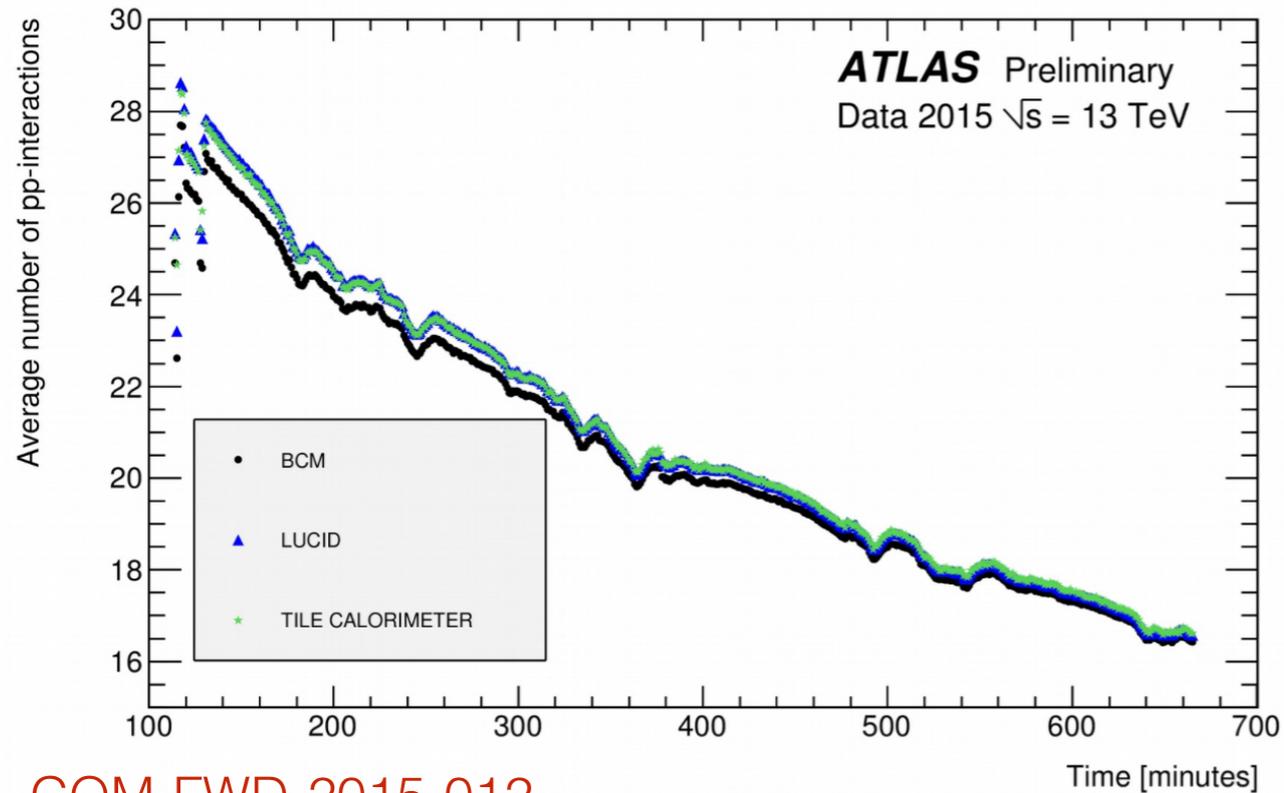
Numero di hit contate da un PMT ( $\text{Bi}^{207}$ ) in un LB, in funzione del numero di BCID in ciascuna orbita di LHC.



**Run 267639**  
**14 Giugno 2015.**

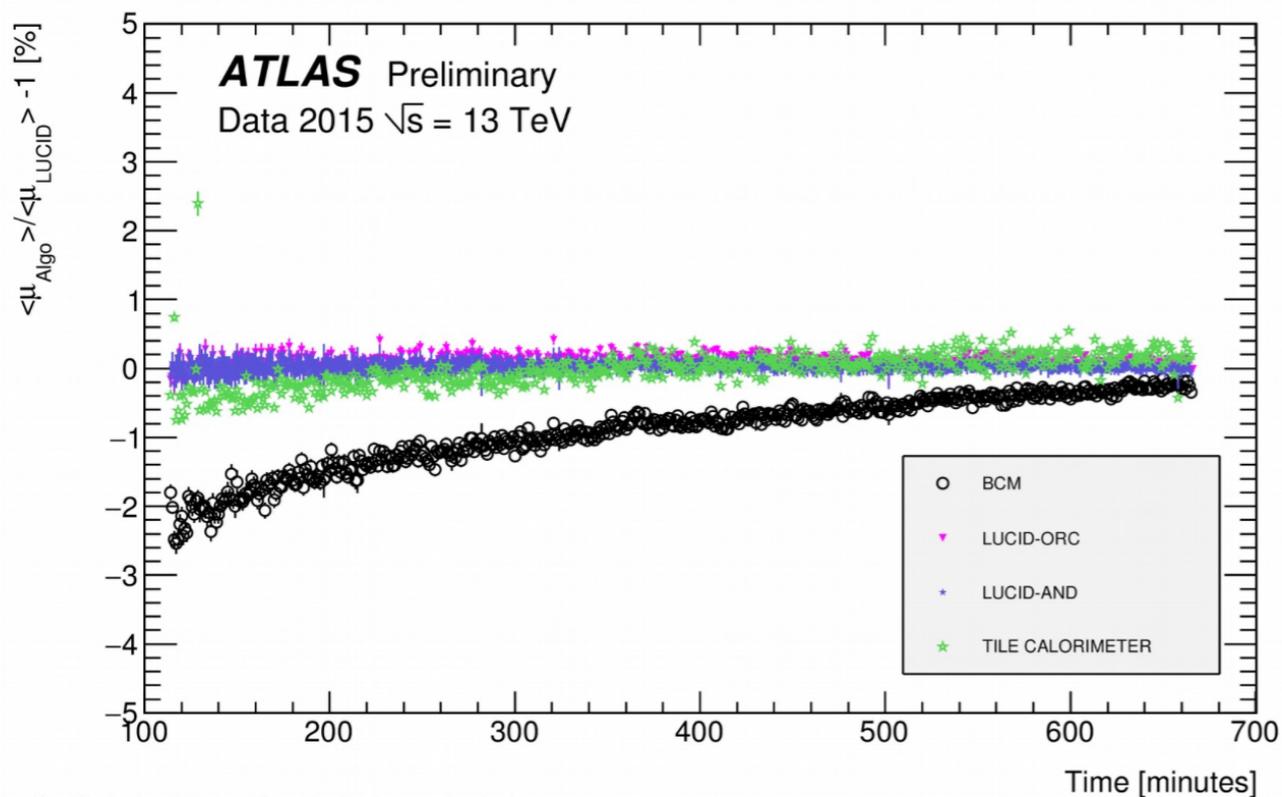
ATL-COM-FWD-2015-012

# I primi dati di collisioni a 13 TeV



ATL-COM-FWD-2015-012

ATLAS utilizza diversi rivelatori per assicurare robustezza alla misura della luminosità e per valutarne le incertezze sistematiche:  
LUCID, Beam Conditions Monitor (BCM), calorimetro adronico (TILE)....

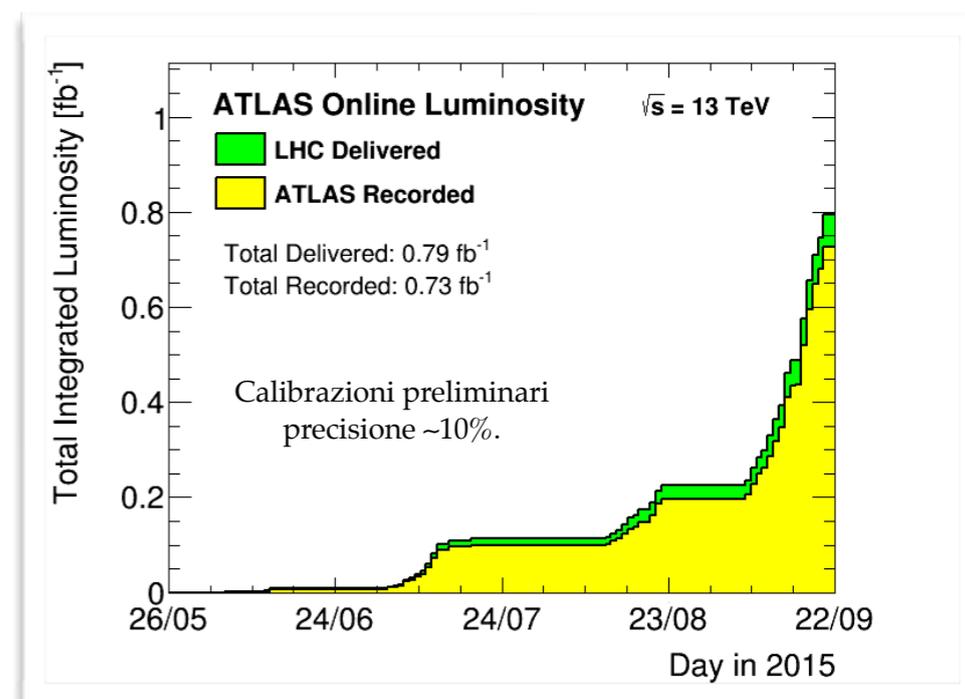


ATL-COM-FWD-2015-012

Accordo entro lo 0.5% di LUCID con gli altri detector (eccetto BCM: deviazione del 2%).

# Status del detector e Conclusioni

- La misura della luminosità è fondamentale per il calcolo della sezione d'urto di tutti i processi fisici;
- Il nuovo LUCID ha superato con successo la fase di commissioning;
- La stabilità del detector viene monitorata costantemente tramite diverse procedure di calibrazione;
- La calibrazione assoluta del rivelatore verrà fornita dai risultati del recente Van Der Meer scan (24-25 Agosto).
- **LUCID è il detector di riferimento online e offline di ATLAS!!**



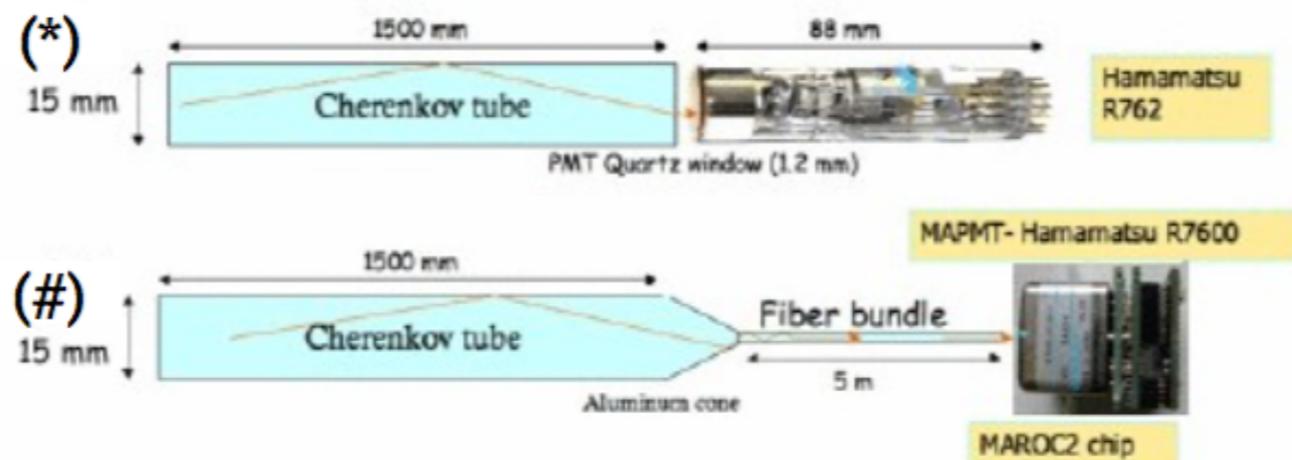
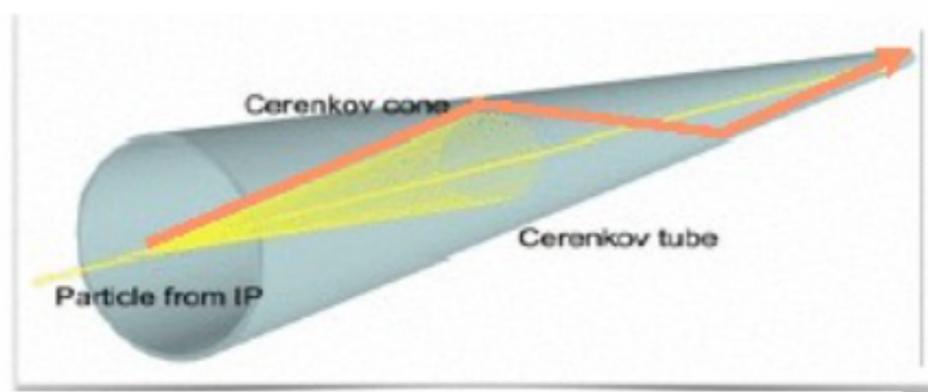
	Luminosity [ $(\text{ub.s})^{-1}$ ]	Fill Lumi $(\text{nb})^{-1}$
ATLAS	1933.15	40675.3
ALICE	2.38	49.5
CMS	1859.40	39461.2
LHCb	231.82	4011.7

**Slide di Back-up**

# Il LUCID nel RUN 1

- ◆ 2 moduli simmetrici rispetto all'IP (17 m).
- ◆ 20 tubi riflettenti di alluminio per modulo.
- ◆ Ogni tubo riempito con gas Cherenkov ( $C_4F_{10}$  a 1.1 bar).
- ◆ Geometria proiettiva.
- ◆ 16 tubi direttamente accoppiati a PMT (\*).  
4 tubi letti da bandolo di fibre a MAPMT (2 design diversi per testare elettronica del LUCID in LHC fase II).
- ◆ Sensibile a particelle cariche provenienti dall'IP.
- ◆ Definizione di **hit**: segnale di un tubo sopra soglia, impostata via hardware e controllabile via software

Main parameters per module	
$\eta$ coverage	$\pm[5.6, 5.9]$
N. Tubes	20
Material	Mechanic. polished Al
Gas	$C_4F_{10}$
Pressure	1.1 bar
Cherenkov angle	$3^\circ$
<N. reflections>	3
Ch. threshold	e-: 10 MeV p: 2.8 GeV
Signal FWHM	$\sim 10$ ns
Read-out	16PMTs(*)+4fibres(#)
Expected dose	7 Mrad/y ( $10^{34}$ cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )



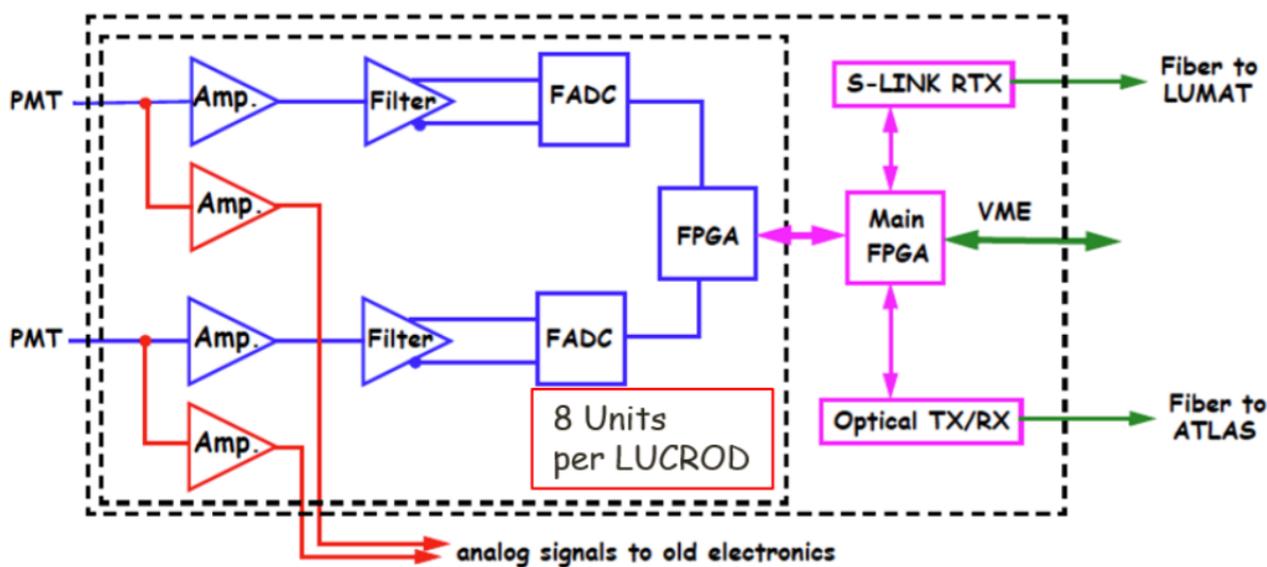
# L'elettronica di read-out

## LUCROD: LUCid ReadOut Driver

- scheda VME 9U a 15 m dall'IP (bassi livelli di radiazione);
- composta da 16 canali in ingresso per i segnali dai diversi PMT.

### Principali componenti:

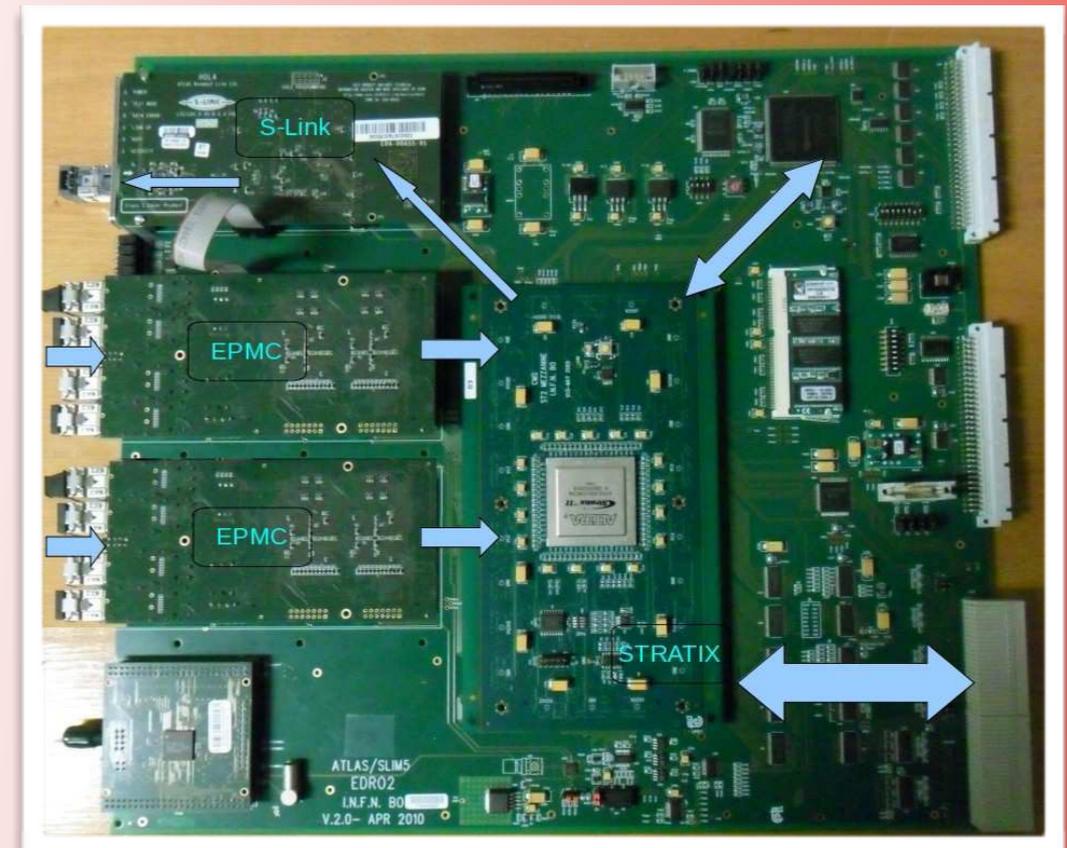
- amplificatore a basso rumore;
- un FADC con una sensibilità di  $370 \mu\text{V}$ ;
- un' FPGA per l'integrazione del segnale;
- un' FPGA che implementa gli algoritmi di luminosità;



## LUMAT: LUMinosity Monitor And Trigger

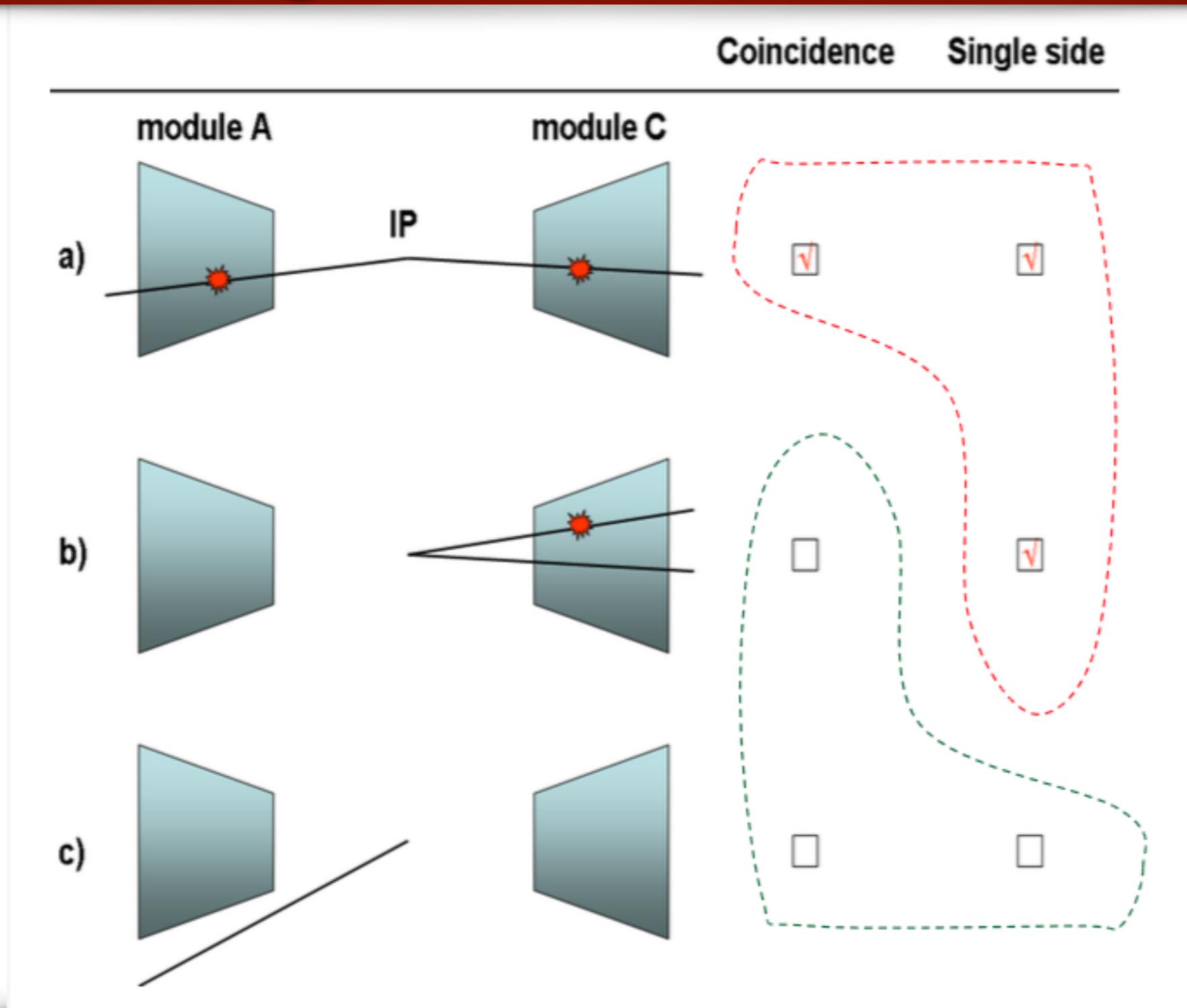
Ideata per:

- Ricevere segnali dalla LUCROD ad una frequenza di 1.3 Gbit/s;
- Allineare gli input inviati dai due lati;
- Elaborare operazioni sul pattern di hit per calcolare la luminosità con algoritmi combinatoriali tra i due lati del detector.



Schema dell'elettronica della scheda LUMAT

# Gli algoritmi di luminosità



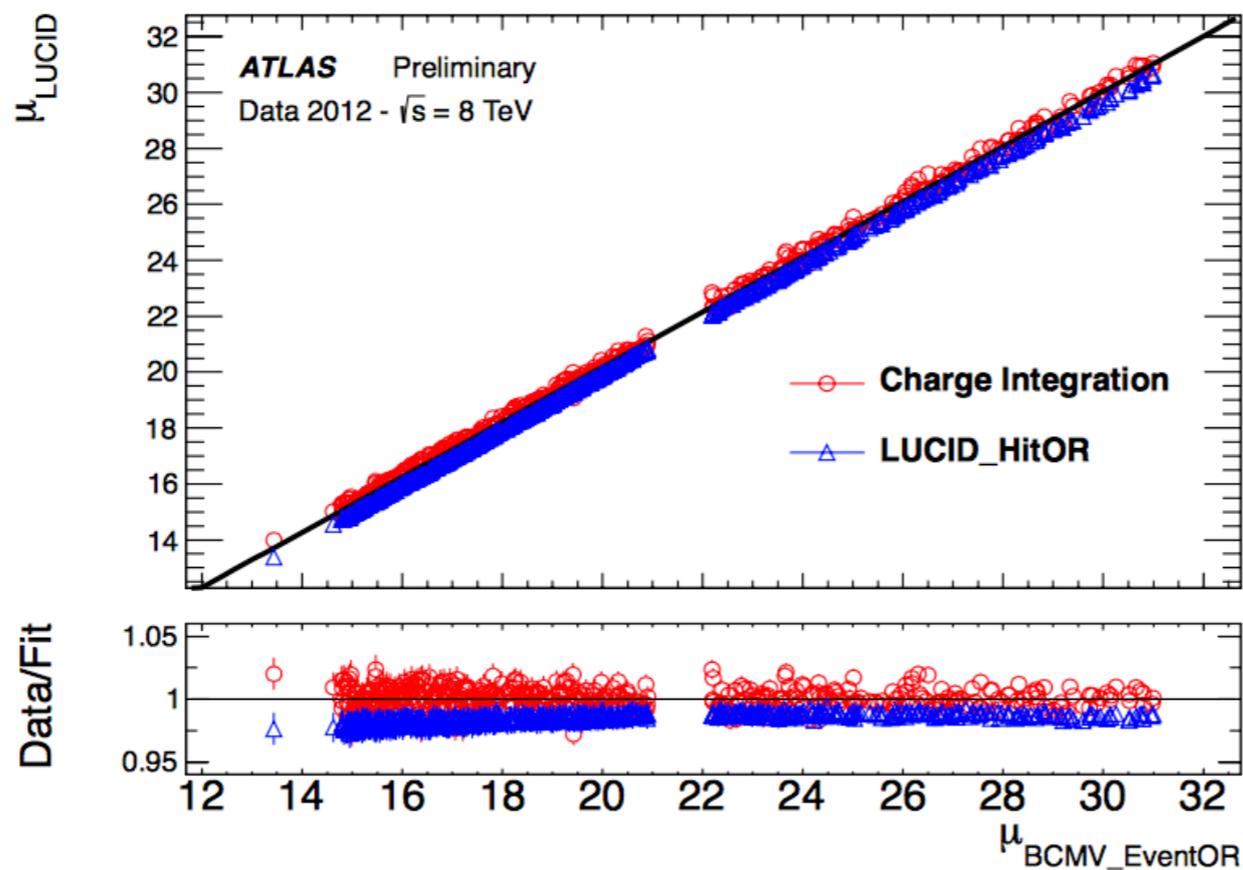
# Metodo di misura della luminosità: la carica

Run2: il nuovo LUCID permette di implementare una misura della luminosità basata sulla carica rilasciata nei PMT:

$$L_{BC} = \frac{C}{K_{cal}}$$

Esiste una relazione tra carica totale e luminosità per bunch crossing.

**Indipendente dal modello statistico**, ma fortemente correlato alla **stabilità del guadagno dei PMT**.

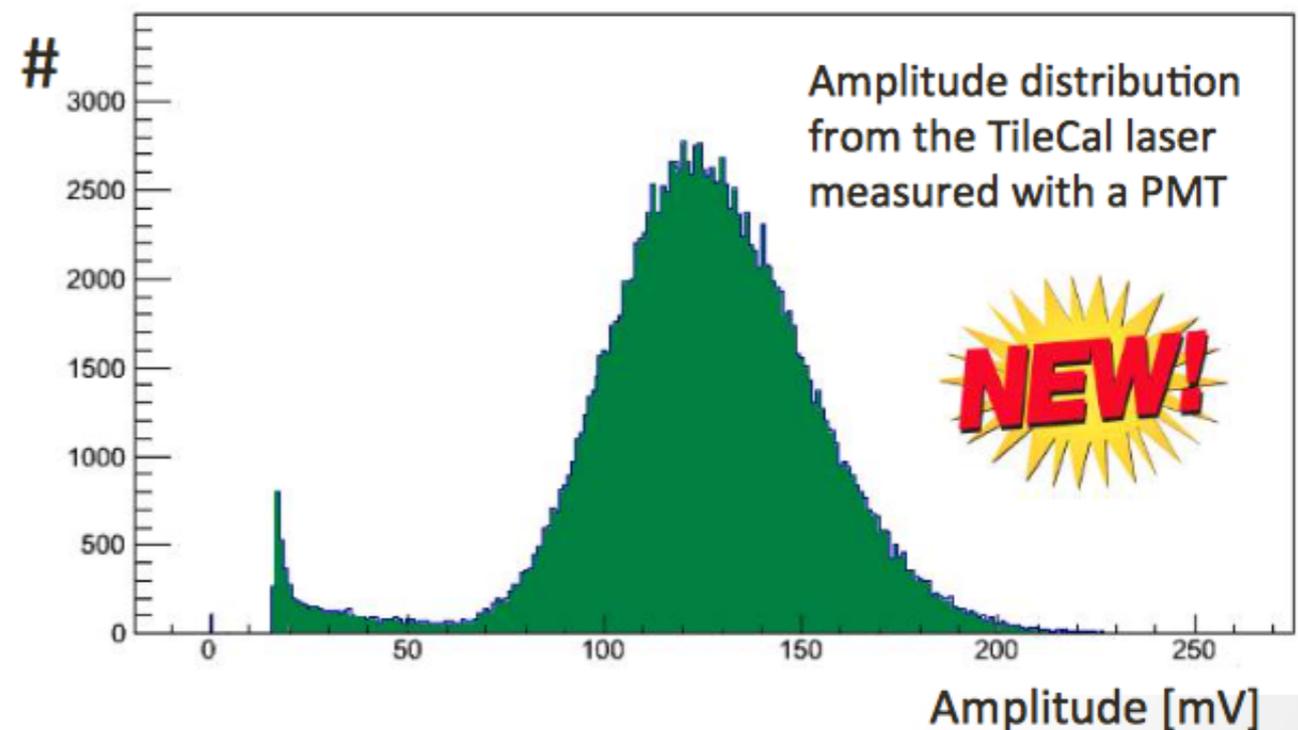
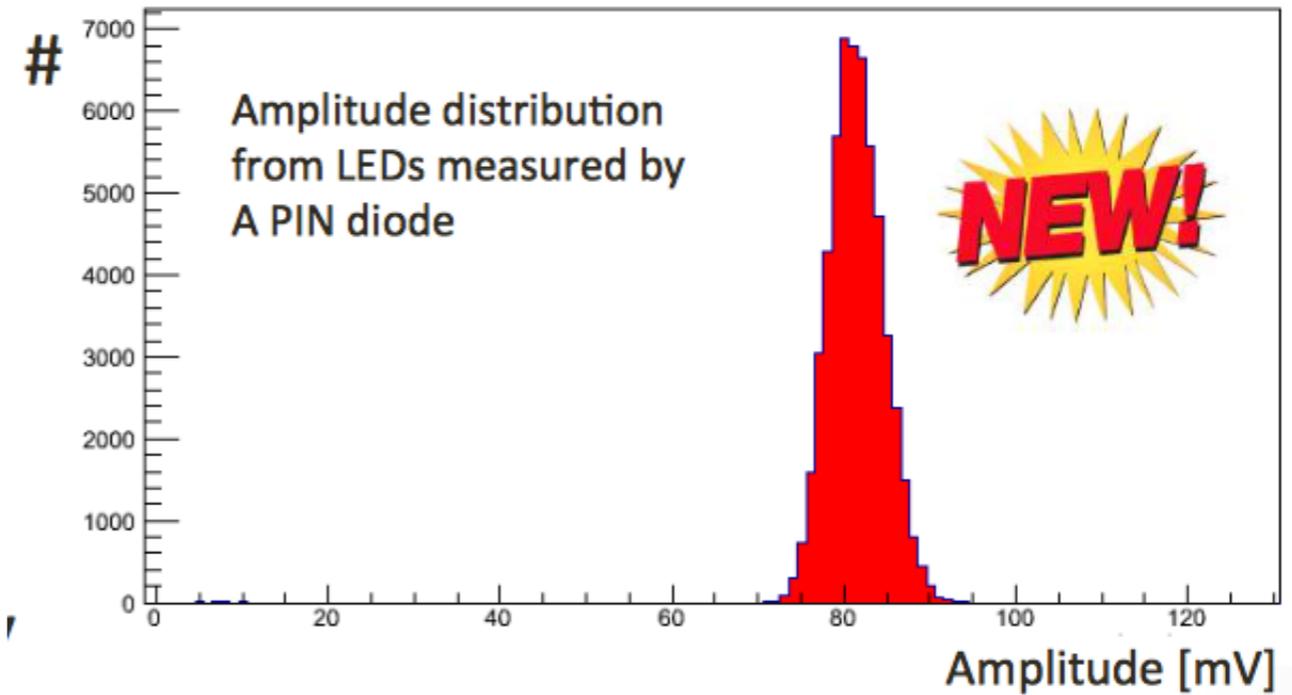


Studio del Run 1.

# Altri metodi di calibrazione: LED/Laser

I FADC della LUCROD sono stati utilizzati anche per misurare ampiezza e carica dei segnali provenienti dai LED e dai laser del TILECal.

- I LED danno un segnale simultaneamente nei PMT e nel PIN diode
- I laser del TileCal danno un segnale solo nei PMT.



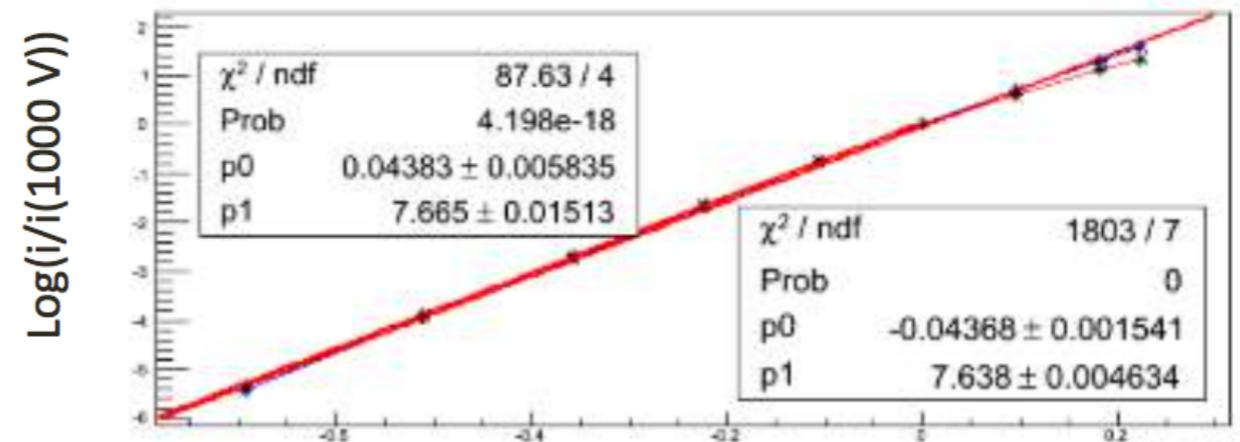
# Resistenza alla radiazione

- Dose ionizzante misurata direttamente durante il RUN 1 ( 8 TeV): 0.77 kGy / fb<sup>-1</sup>
- Estrapolazione per il Run 2 ( 14 TeV): < 200 kGy
- Flusso di neutroni nel Run2 (da GCALOR): < 2.6x10<sup>14</sup> / cm<sup>2</sup>
- Test di irraggiamento:
- <sup>60</sup>Co sorgente: 200 kGy

Source	PMT	$\alpha$ Pre Irr	$\alpha$ Post Irr
$\gamma$	R760 Irr	7.76±0.04	7.76±0.04
	R760 Ref	7.78±0.09	7.79±0.04
n	R760 Irr	6.01±0.04	6.11±0.04
	R760 Ref	5.76±0.02	5.75±0.04

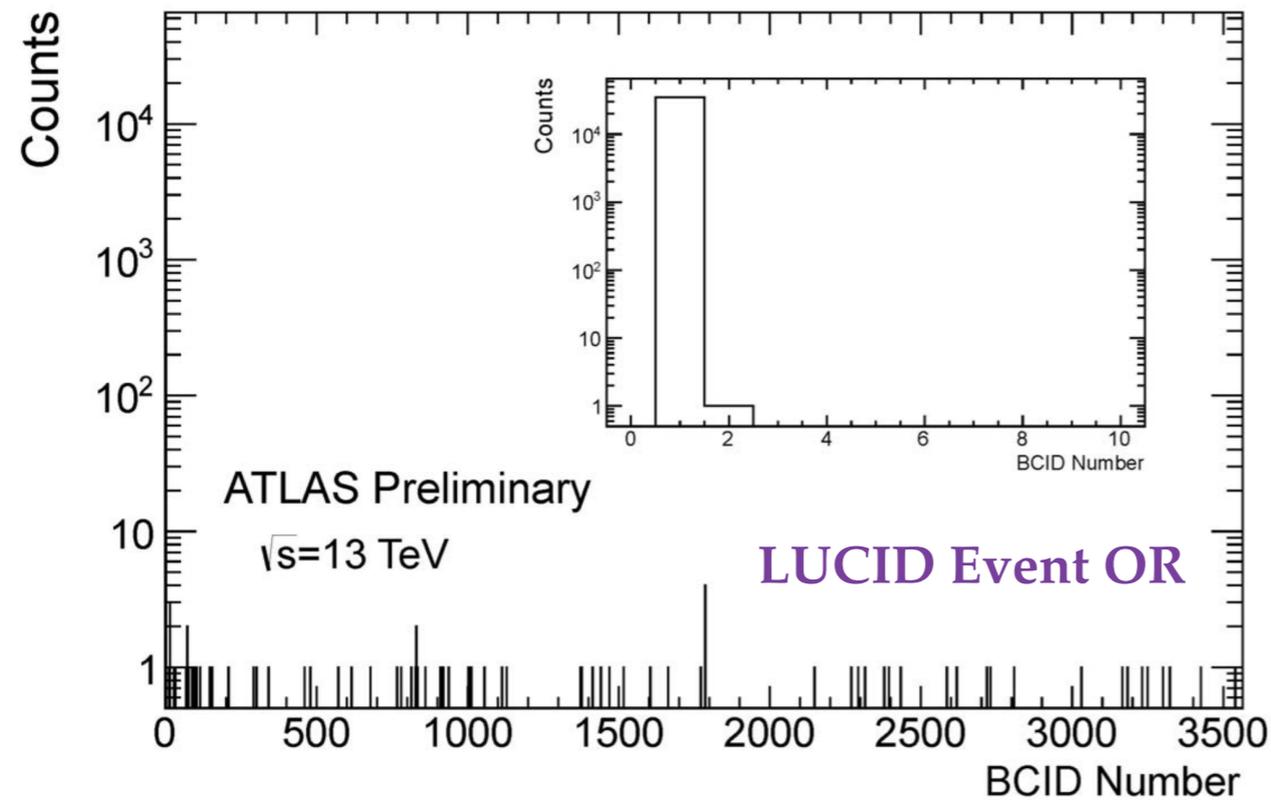


Relative Gain Variation

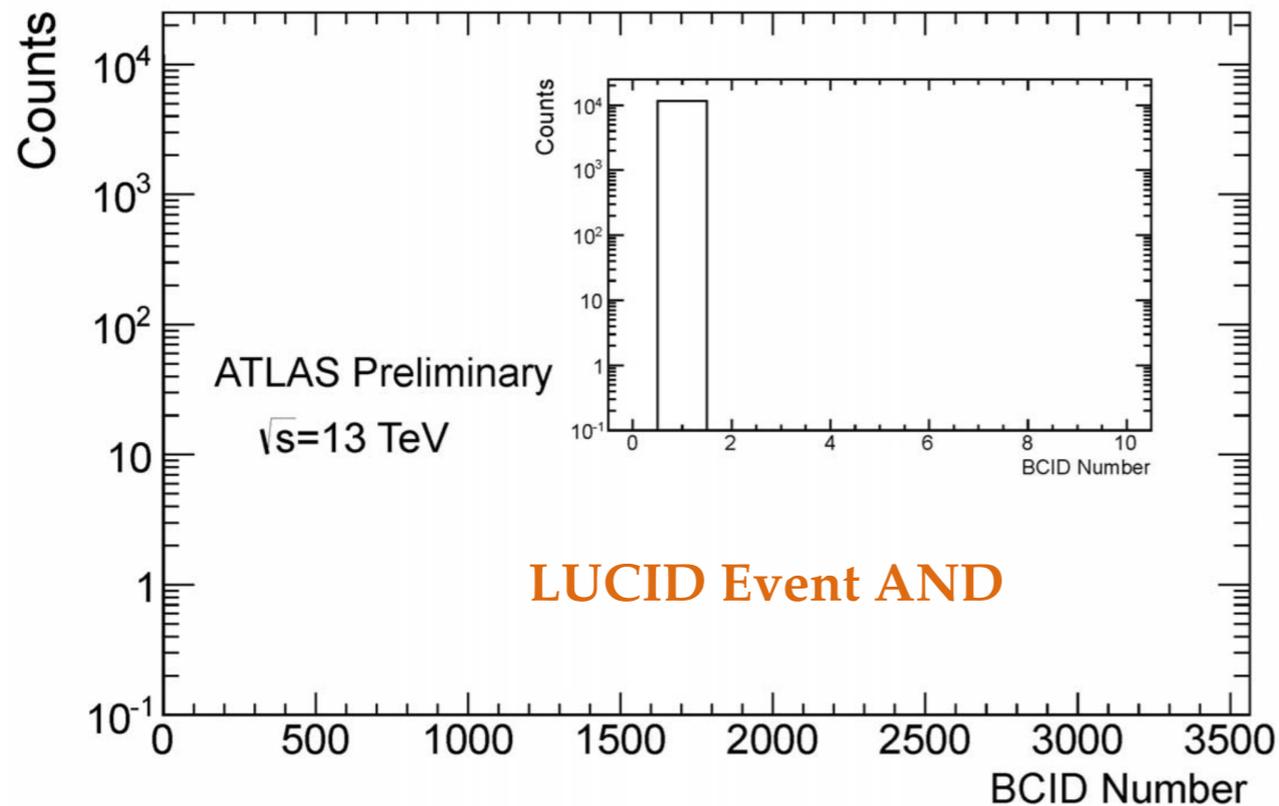


$$\frac{\Delta G}{G} = \alpha \frac{\Delta V}{V}$$

# I primi dati di collisioni a 13 TeV

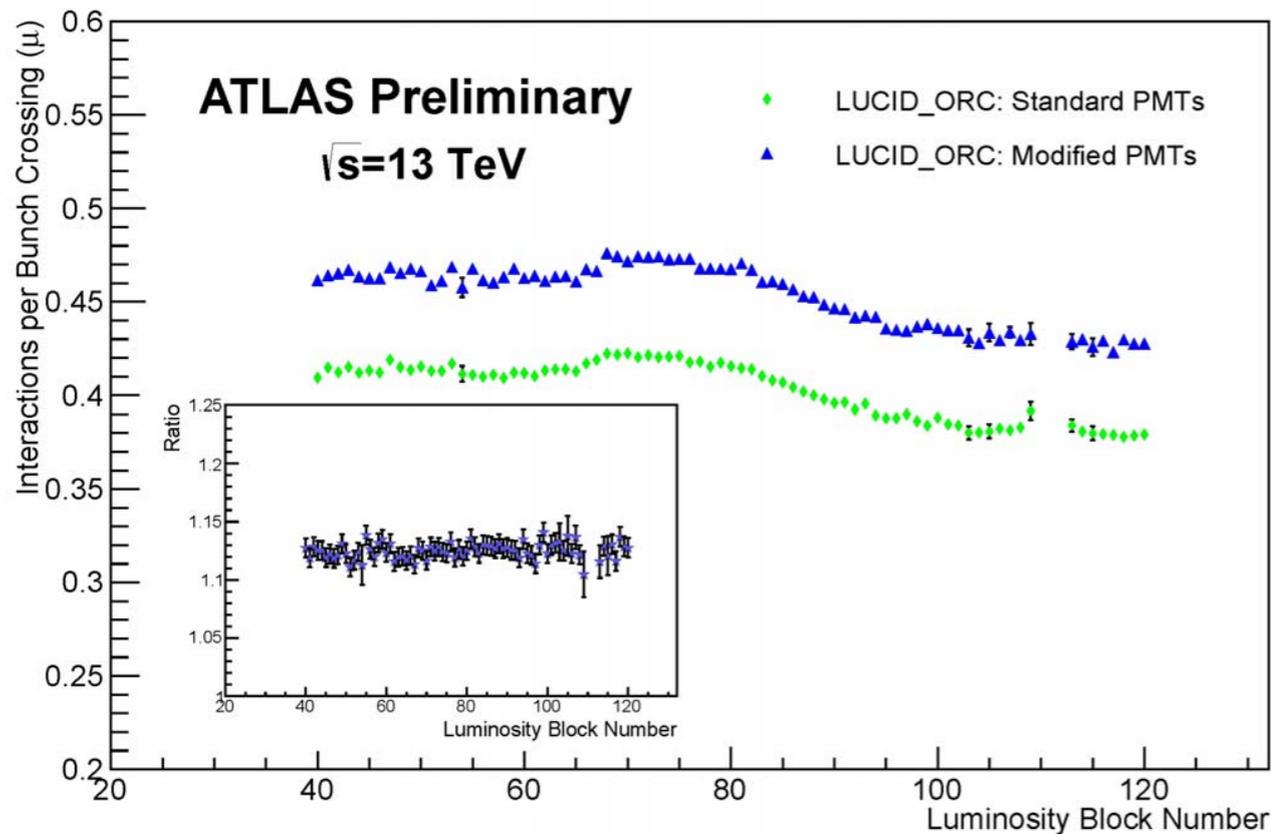


The measured number of OR-events by the LUCID fiber detector as a function of the bunch crossing number during one luminosity block in a fill with 13 TeV collisions recorded on the 21th of May 2015. The collisions were in the first bunch crossing and the inset plot shows that most of the counts are indeed recorded for the first BCID.

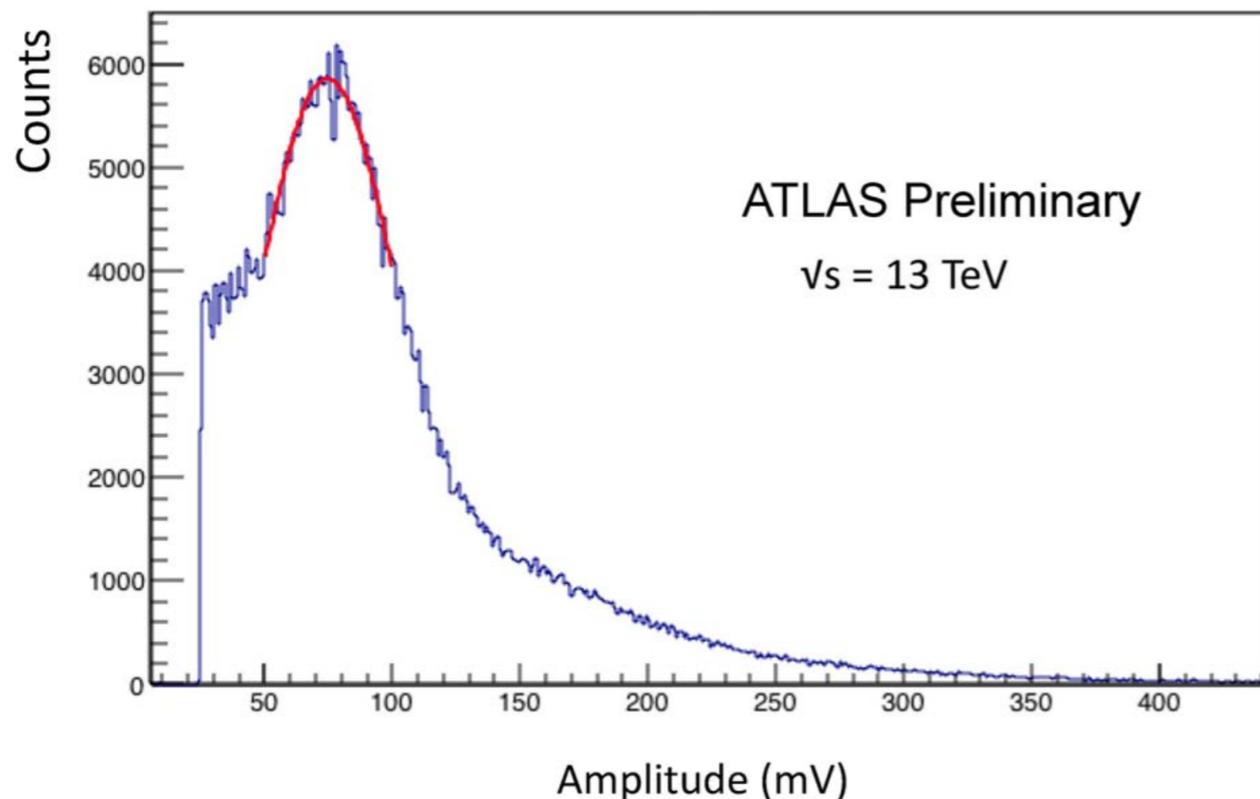


The measured number of AND-events by the LUCID fiber detector as a function of the bunch crossing number during one luminosity block in a fill with 13 TeV collisions recorded on the 21th of May 2015. The collisions were in the first bunch crossing and the inset plot shows that most of the counts are indeed recorded for the first BCID. This plot has not a single count except for BCID = 1 and this demonstrates how the AND requirement rejects background events and how LUCID is able to measure collisions within a single 25 ns time window.

# I primi dati di collisioni a 13 TeV



The average number of pp-interactions per bunch crossing ( $\mu$ ) measured by LUCID as a function of the luminosity block in a 13 TeV commissioning run recorded on the 21th of May 2015. The  $\mu$  value was measured by 4 standard Hamamatsu R760 photomultipliers in OR-mode on side C of ATLAS as well as by 4 modified photomultipliers. These modified photomultipliers have a thin aluminium ring between the quartz window and the photocathode in order to reduce the acceptance. The inset plot shows the ratio of the  $\mu$  values measured by the two detectors. The calibration was obtained from a GEANT Monte Carlo simulation of LUCID in ATLAS and the measured  $\mu$  for the detector with modified photomultipliers agreed to within 12% with the  $\mu$  measured with the detector using standard photomultipliers. This difference between two Monte Carlo calibrations in a commissioning run like this is in line with previous experience where Monte Carlo calibrations typically has not achieved a precision better than 20%. All errors in the plot are statistical only.



The pulseheight distribution from one photomultiplier in the LUCID detector during a 13 TeV run recorded on the 21th of May 2015. The Cerenkov light created in the quartz window of the photomultiplier produces a clear peak in the amplitude distribution that has been fitted by a Gaussian distribution (in red). Only signals above a threshold defining a particle hit are plotted in the figure.