

Il nuovo sistema di calibrazione laser del calorimetro adronico di ATLAS per High Luminosity LHC

Viola Floris

Università & INFN di Pisa

IFAE - Incontri di Fisica delle Alte Energie 2026

Bologna, 08/04/2026

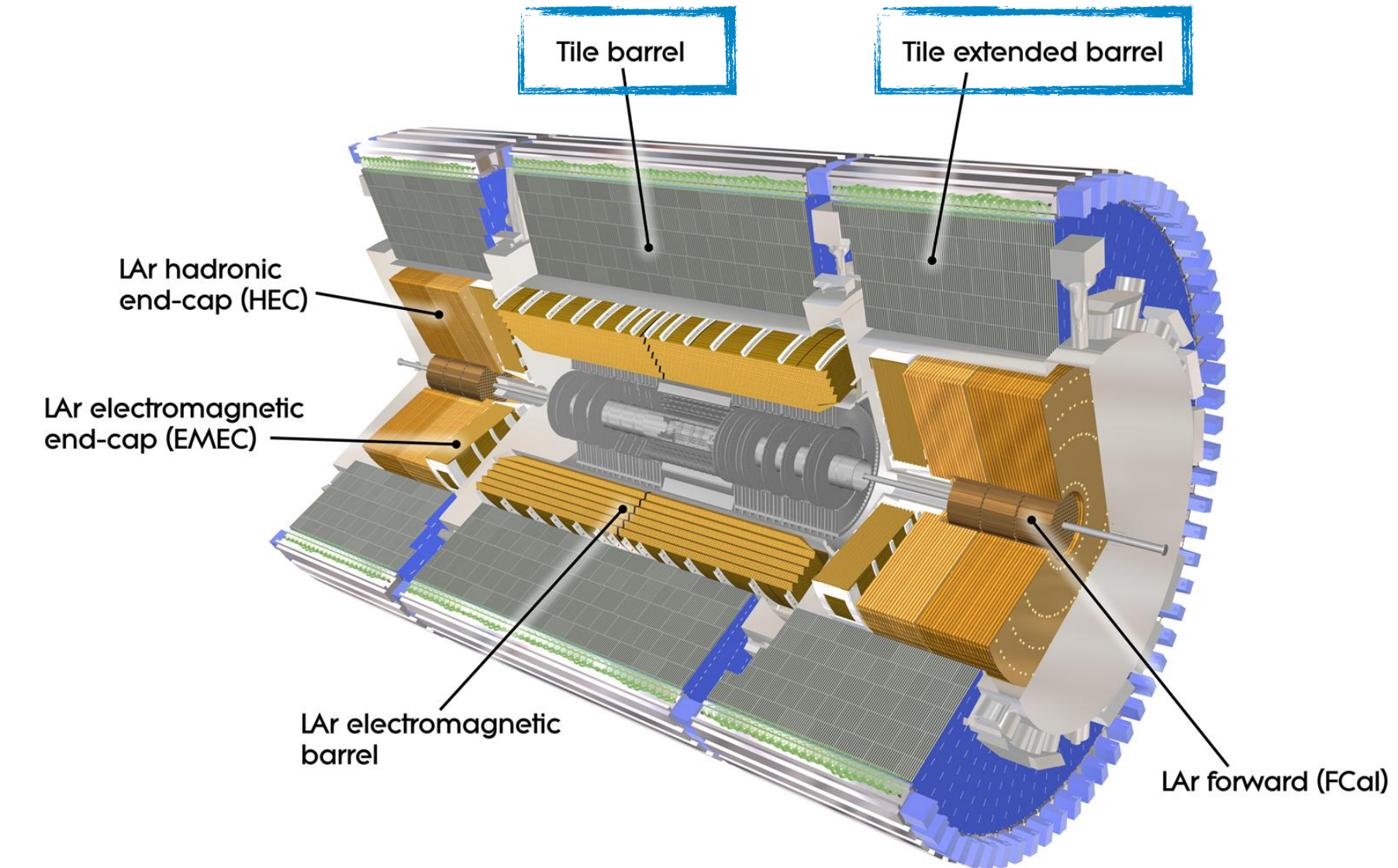


Indice

- Il calorimetro adronico *a mattonelle (tile) TileCal* dell'esperimento ATLAS.
- I sistemi di calibrazione di TileCal, focus sul sistema laser.
- I nuovi elementi del sistema di calibrazione laser per l'upgrade di High Luminosity (HL-LHC).
- Risultati ottenuti con la nuova linea ottica del sistema di calibrazione laser.

Calorimetro Tile di ATLAS

- TileCal è la sezione centrale del calorimetro adronico di ATLAS.

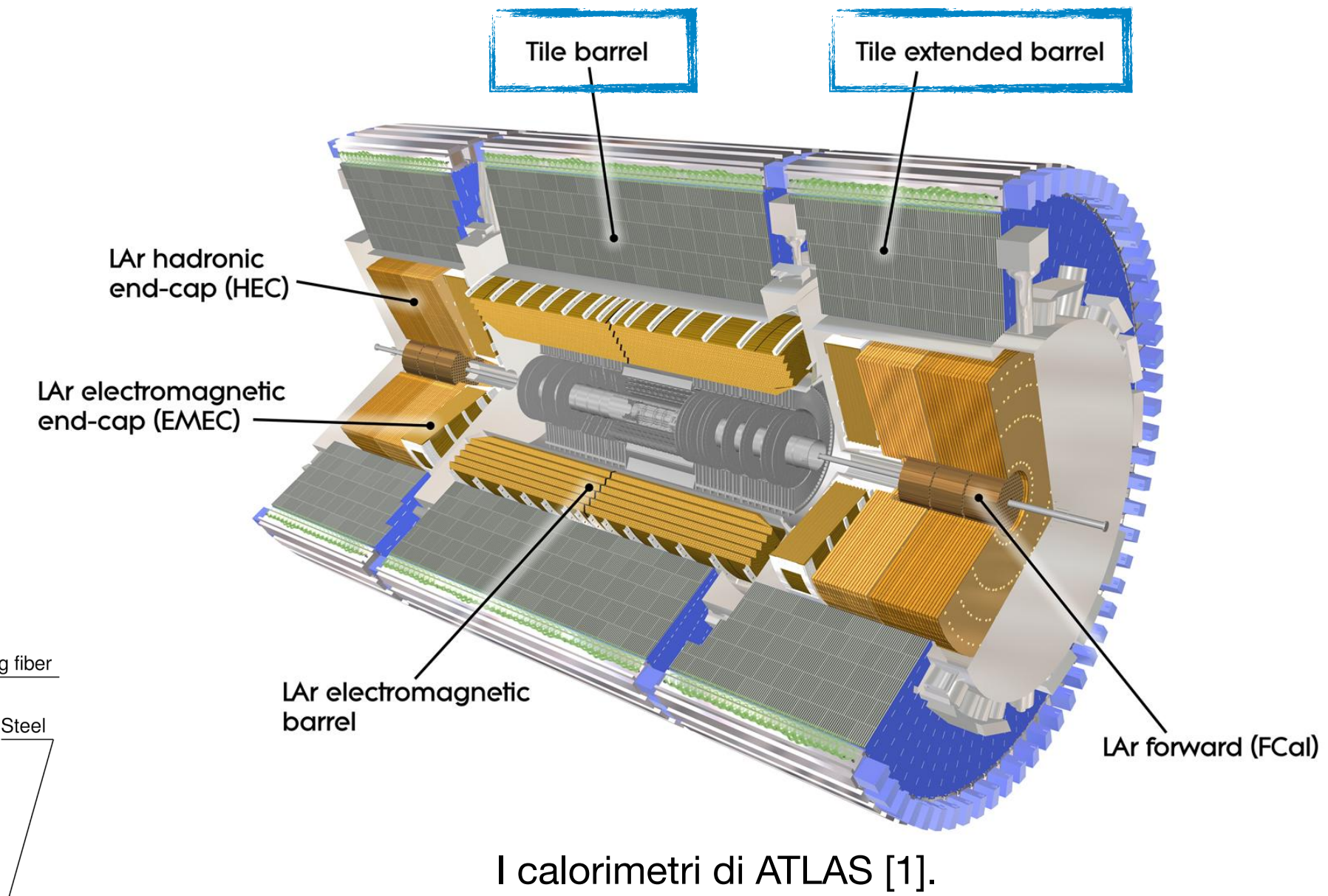
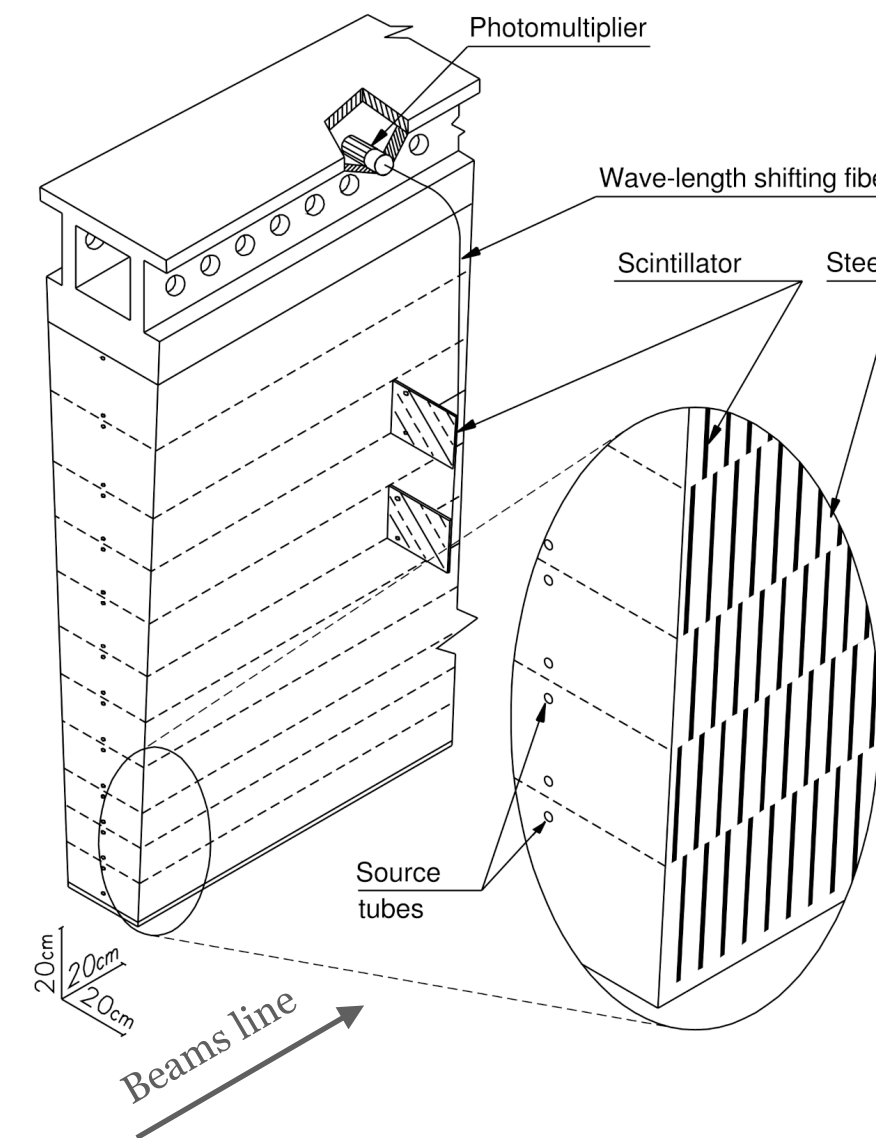


I calorimetri di ATLAS [1].

[1] <https://arxiv.org/abs/2401.16034>

Calorimetro Tile di ATLAS

- TileCal è la **sezione centrale del calorimetro adronico** di ATLAS.
- Calorimetro a campionamento: **piastre di acciaio + *tile* scintillanti**, segnali letti da **fotomoltiplicatori (PMT)**.

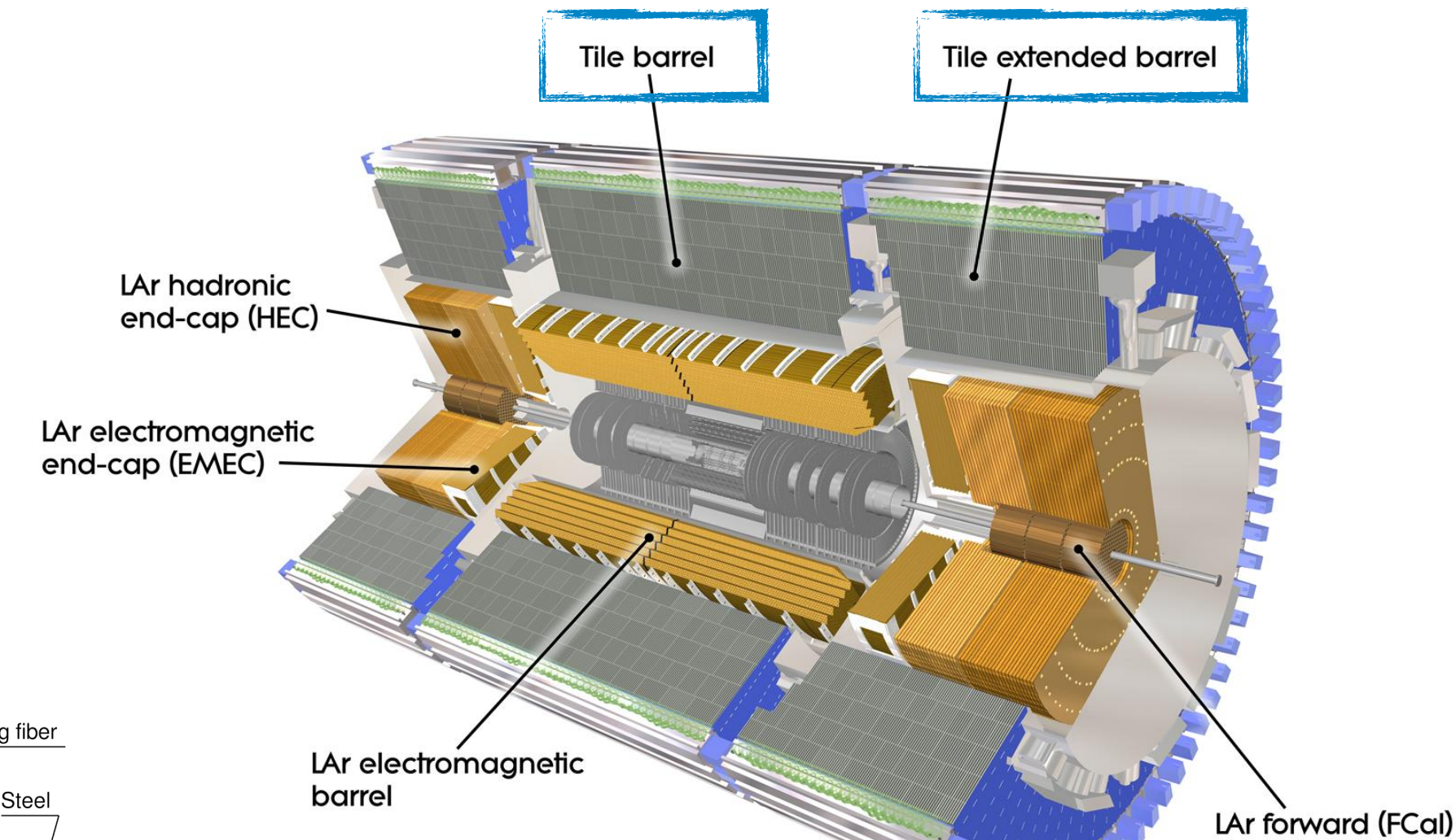
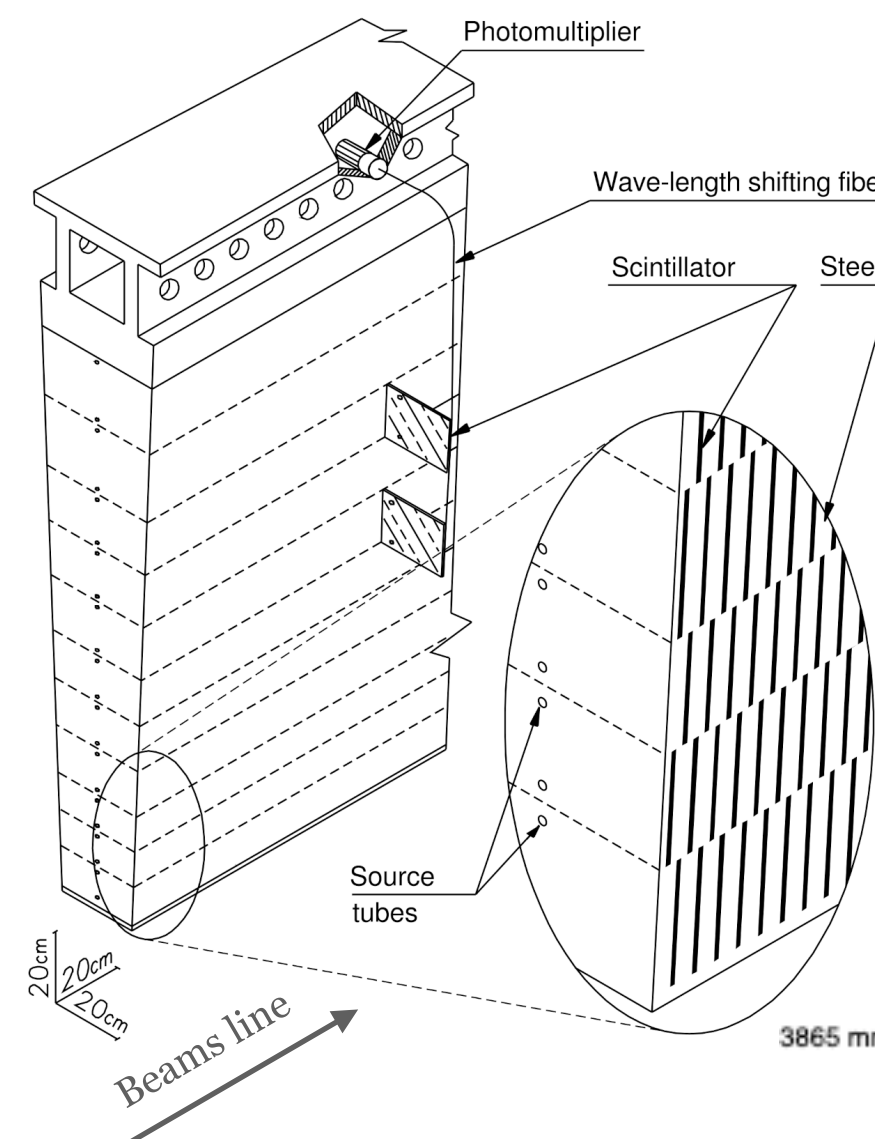


Schema dell'assemblaggio meccanico e della lettura ottica di un singolo modulo di TileCal.

[1] <https://arxiv.org/abs/2401.16034>

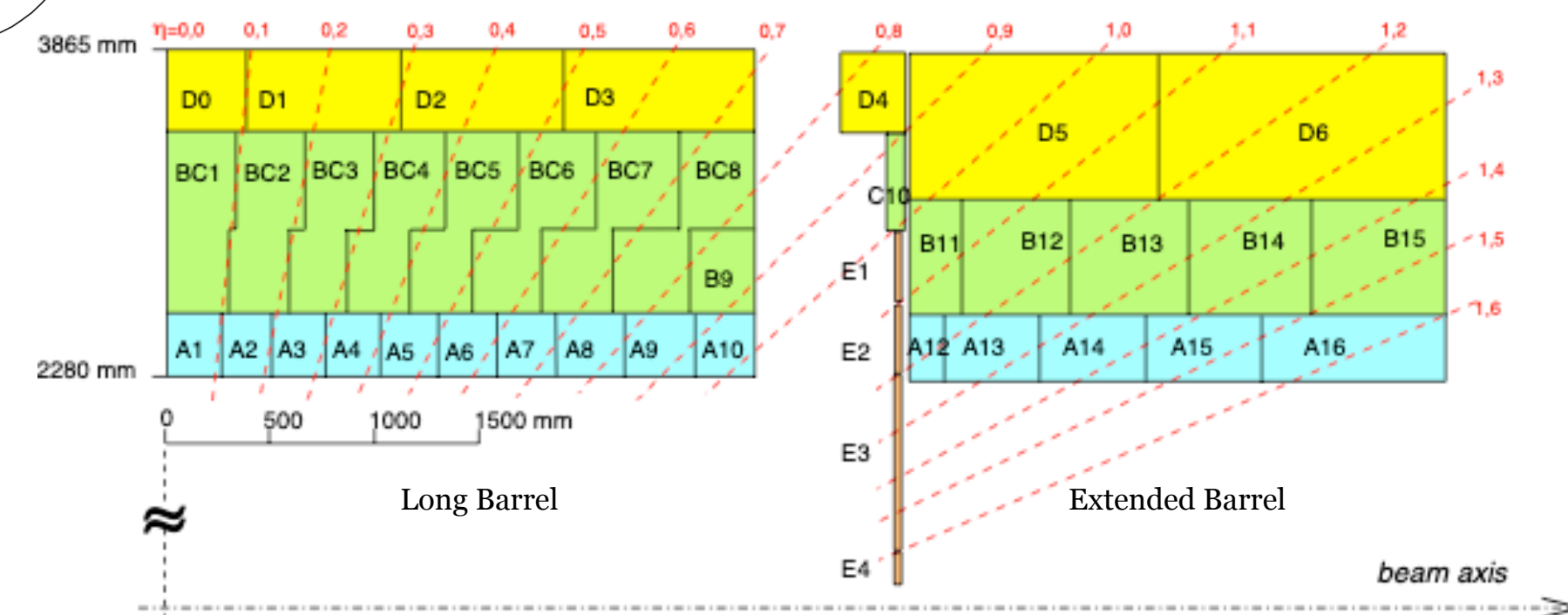
Calorimetro Tile di ATLAS

- TileCal è la **sezione centrale del calorimetro adronico** di ATLAS.
- Calorimetro a campionamento: **piastre di acciaio + tile scintillanti**, segnali letti da **fotomoltiplicatori (PMT)**.
- Suddiviso in **1 Long Barrel** e **2 Extended Barrels**. Ciascuna sezione è composta da **64 moduli** nell'angolo azimutale ϕ .
- TileCal è **segmentato in celle** per la lettura dei segnali, con **3 strati** nella direzione trasversa ai fasci.



I calorimetri di ATLAS [1].

Schema dell'assemblaggio meccanico e della lettura ottica di un singolo modulo di TileCal.



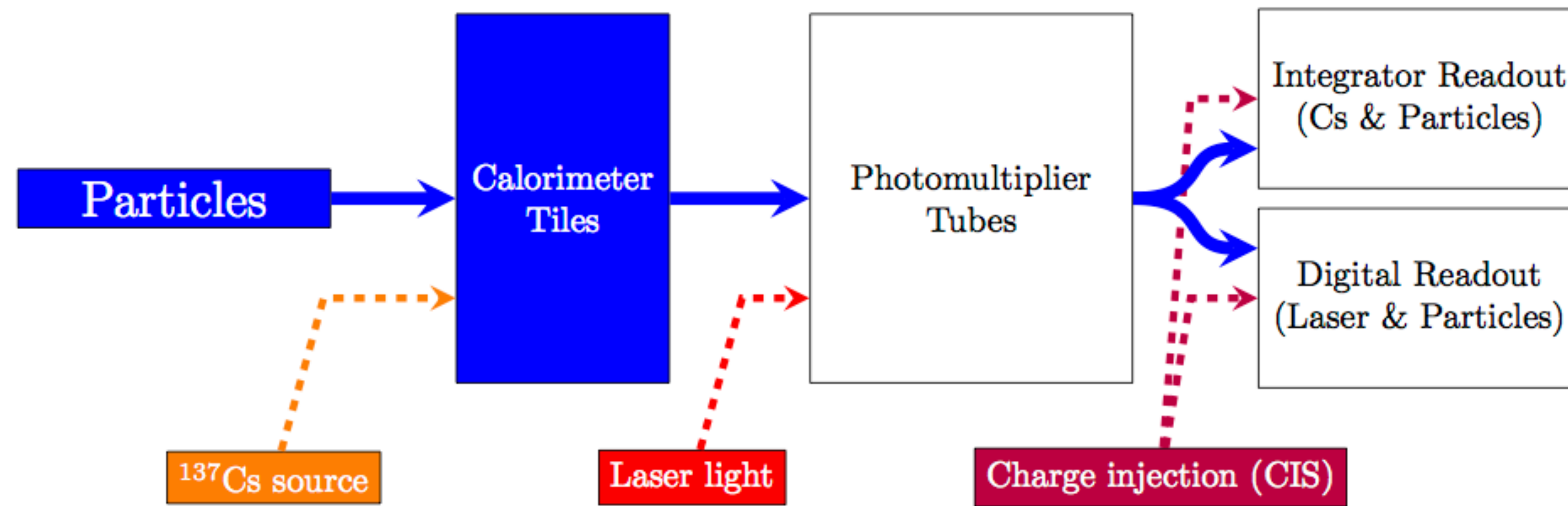
Segmentazione trasversale di ciascun modulo in 3 strati di celle calorimetriche [2].

[1] <https://arxiv.org/abs/2401.16034>

[2] <https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/AtlasPublic/ApprovedDetectorReferenceFiguresAndSchematics>

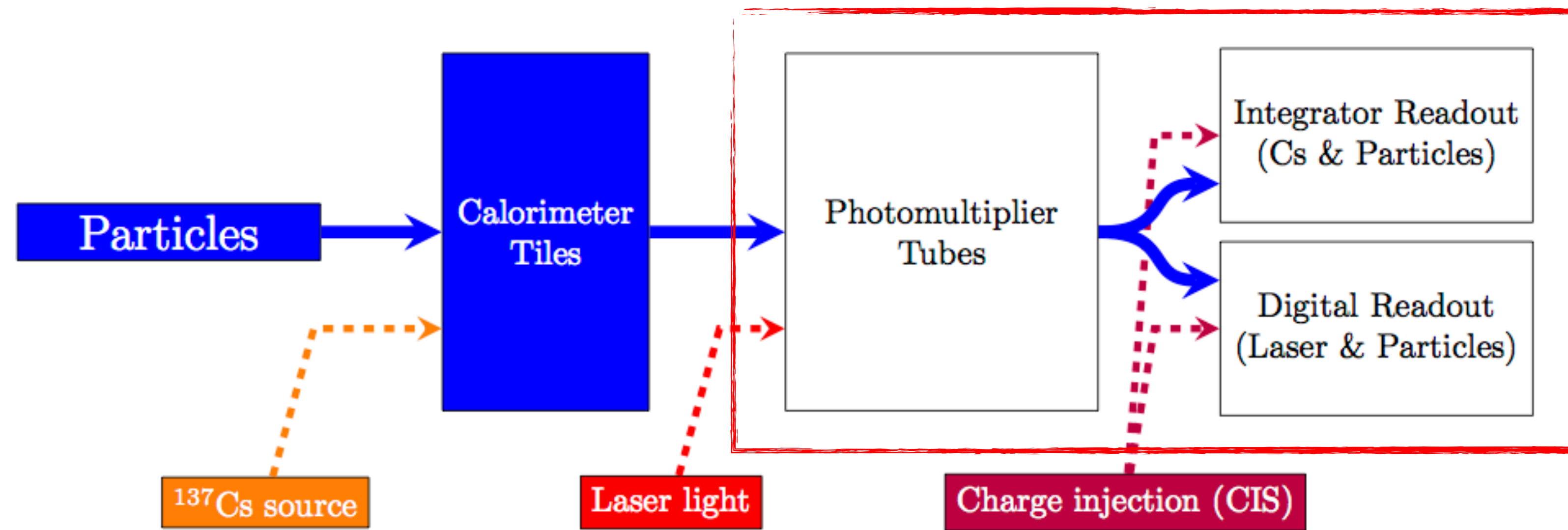
I sistemi di calibrazione

- La risposta di TileCal è calibrata con 3 sistemi che monitorano l'intera catena di lettura dei segnali:



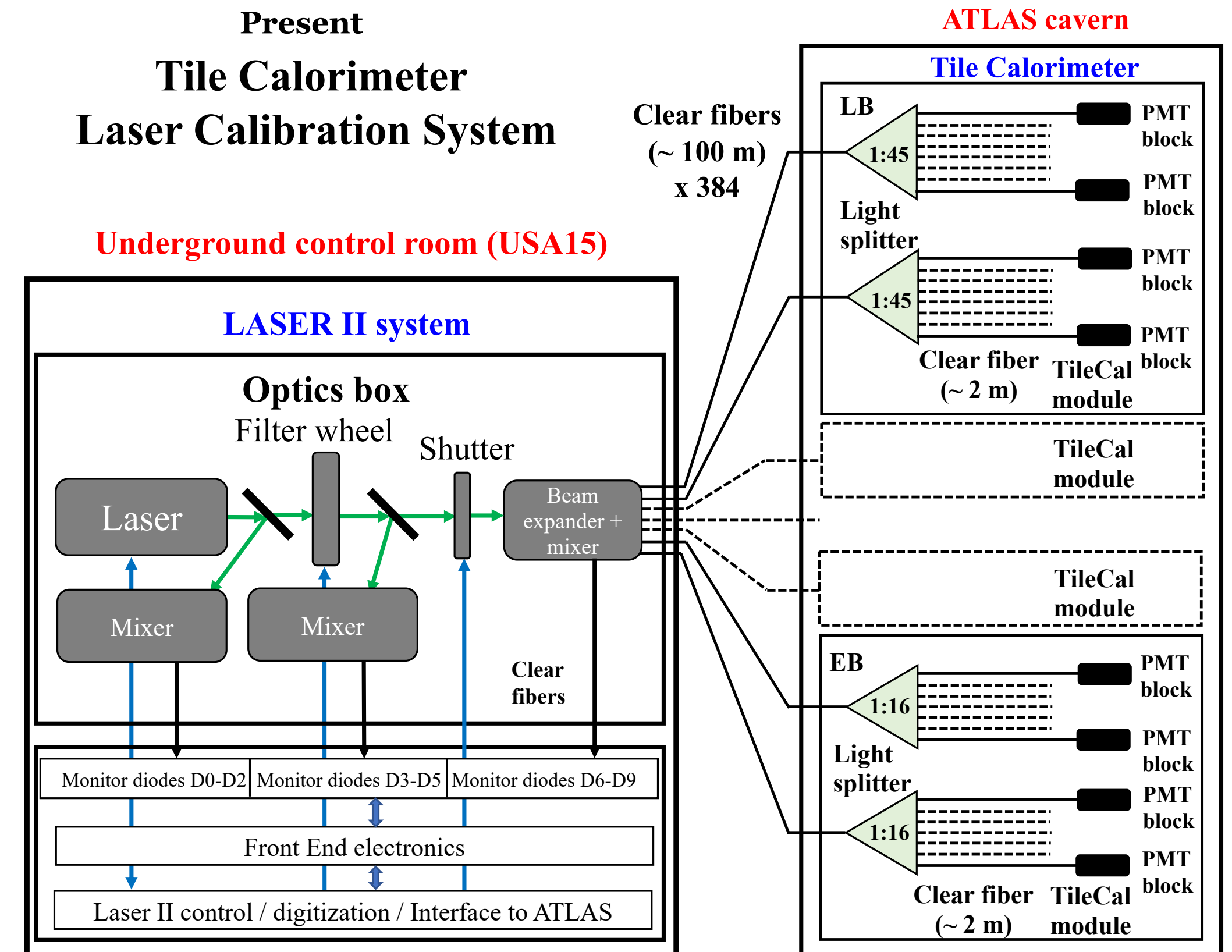
I sistemi di calibrazione

- La risposta di TileCal è calibrata con 3 sistemi che monitorano l'intera catena di lettura dei segnali:
 - **Sistema Charge Injection**, che monitora la stabilità dell'elettronica;
 - **Sistema Laser**, che monitora la messa in tempo e stabilità dei PMT;
 - **Sistema del Cesium**, che monitora la risposta di ciascuna cella al passaggio della sorgente.



Calibrazione laser: il sistema attuale

- Il sistema laser calibra simultaneamente i 9852 PMT di TileCal [1].
- Componenti principali:
 - Sorgente laser (532nm, 10ns pulse) nella scatola ottica;
 - Sistema di monitoraggio interno e lettura del segnale;
 - Circa 400 fibre chiare, lunghe ~100m, che distribuiscono la luce a ciascun modulo di TileCal e a ciascun PMT.



Schema del sistema di calibrazione laser attuale di TileCal.

[1] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-0221/18/06/P06023/pdf>

L'upgrade per HL-LHC

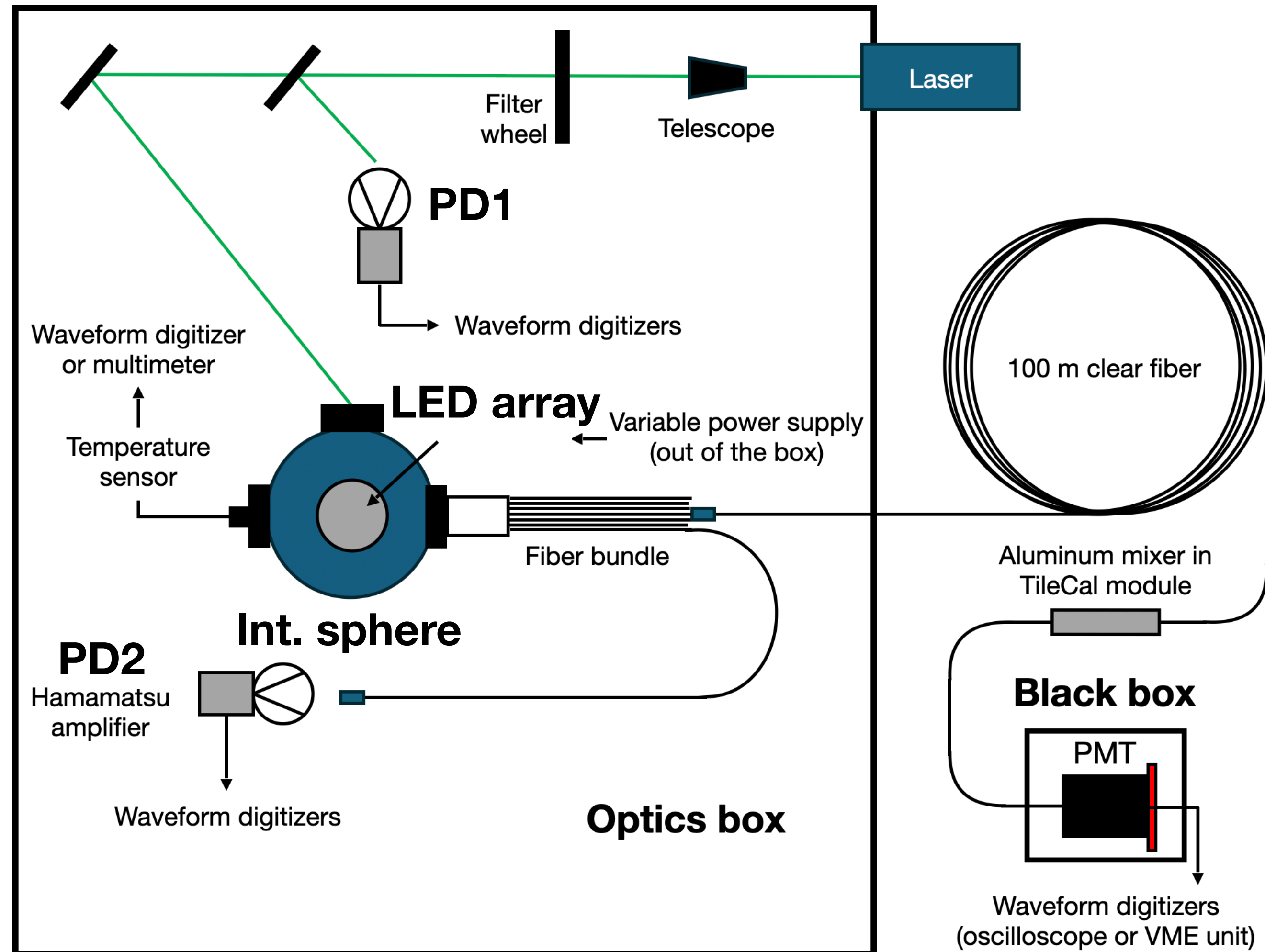
La nuova linea ottica del sistema di calibrazione laser

L'attuale sistema di calibrazione laser funziona molto bene.

- Sono stati proposti pochi cambiamenti nella linea ottica per riprodurre nelle calibrazioni laser le condizioni che sono previste verificarsi durante le collisioni ad alta luminosità (HL-LHC):
 1. aggiungere alla luce laser impulsata una **componente di luce DC** regolabile, generata da un LED;
 2. usare una **sfera integratrice** a 4 porte per mescolare la luce laser impulsata e la luce LED continua.

→ L'obiettivo è calibrare la risposta dei PMT alla luce laser con una **corrente anodica fino a $10 \mu A$** , come sarà il caso in HL per i PMT che leggono le celle di TileCal maggiormente esposte alle radiazioni.

La nuova linea ottica



I nuovi elementi ottici

La matrice
di **LED**

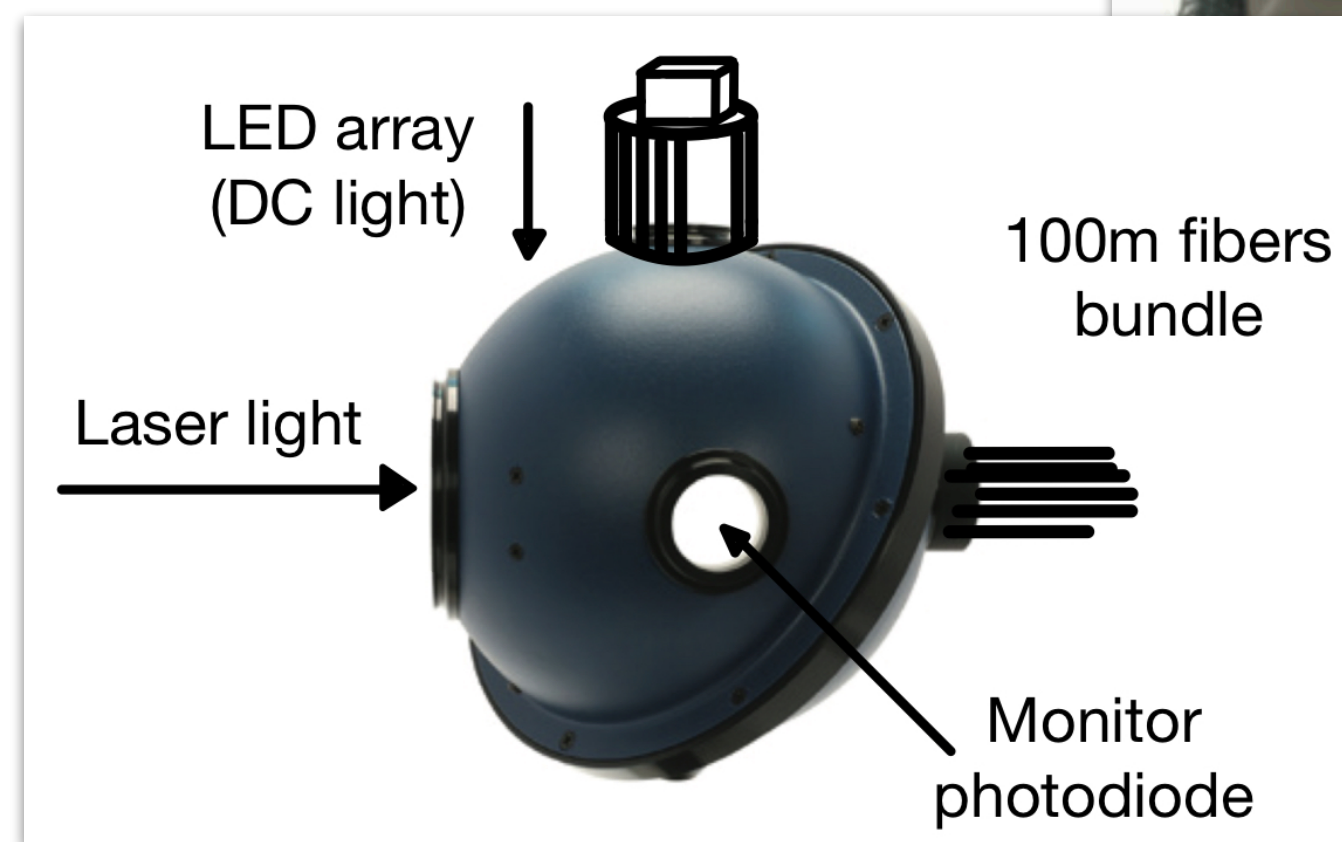
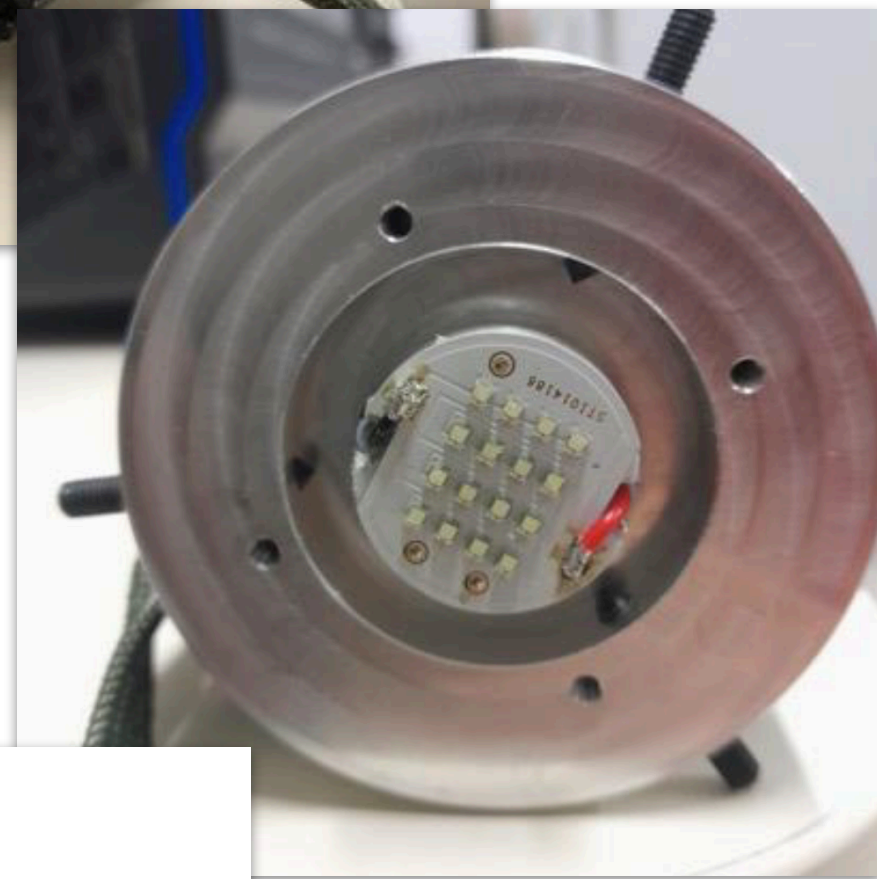


I nuovi elementi ottici

La matrice di **LED**



La sfera integratrice

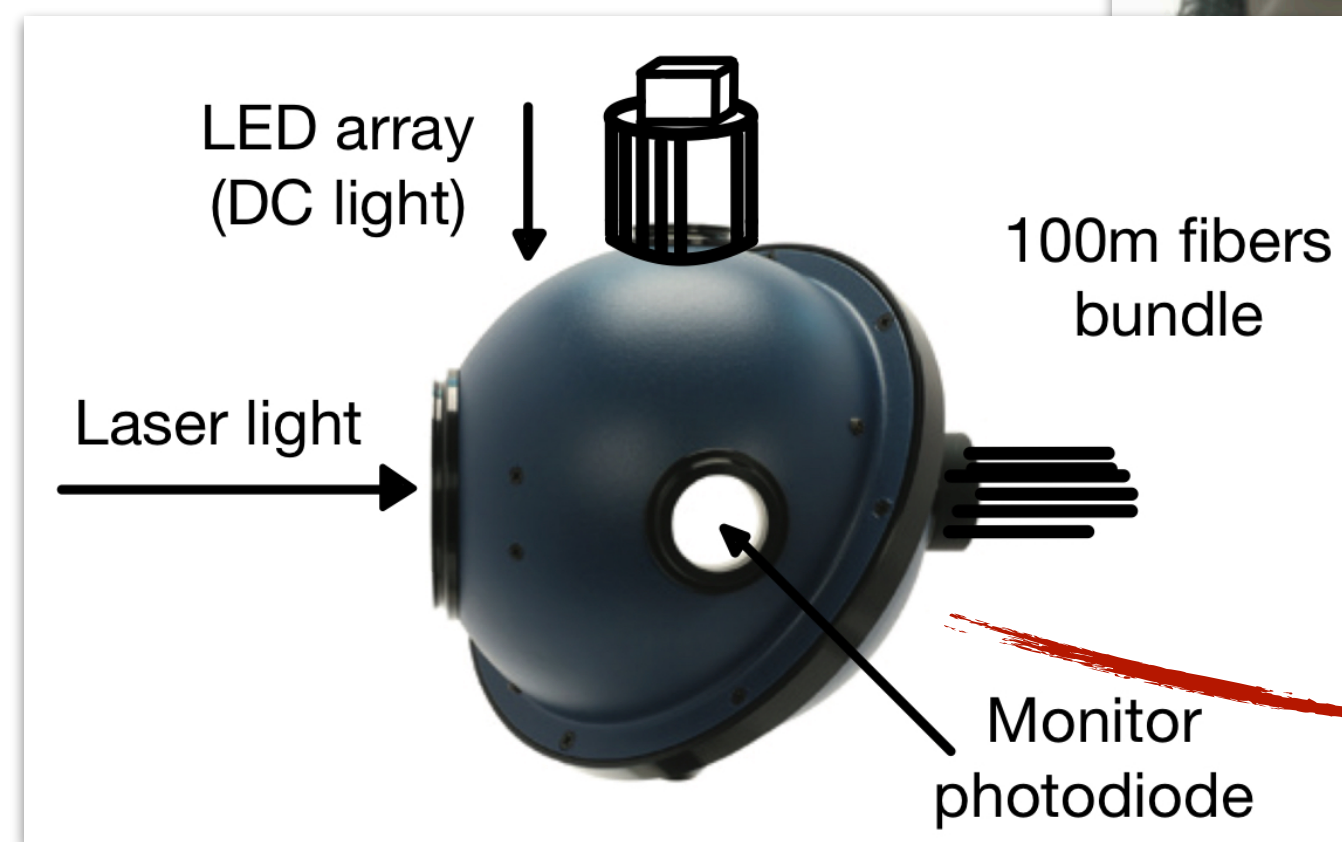
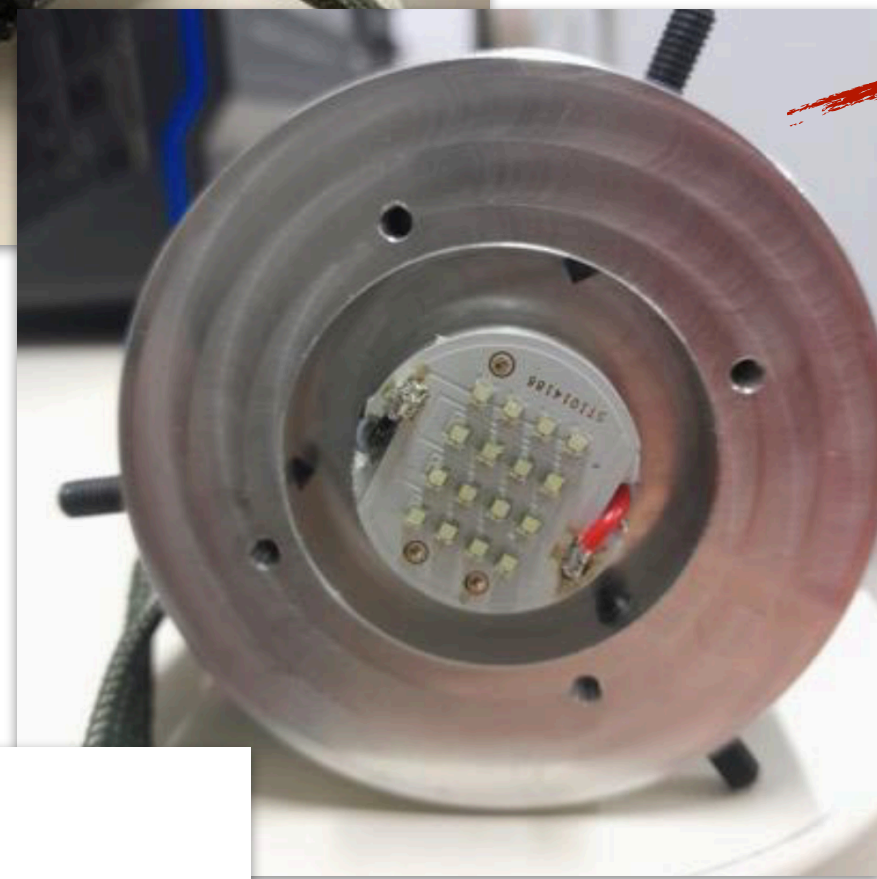


I nuovi elementi ottici

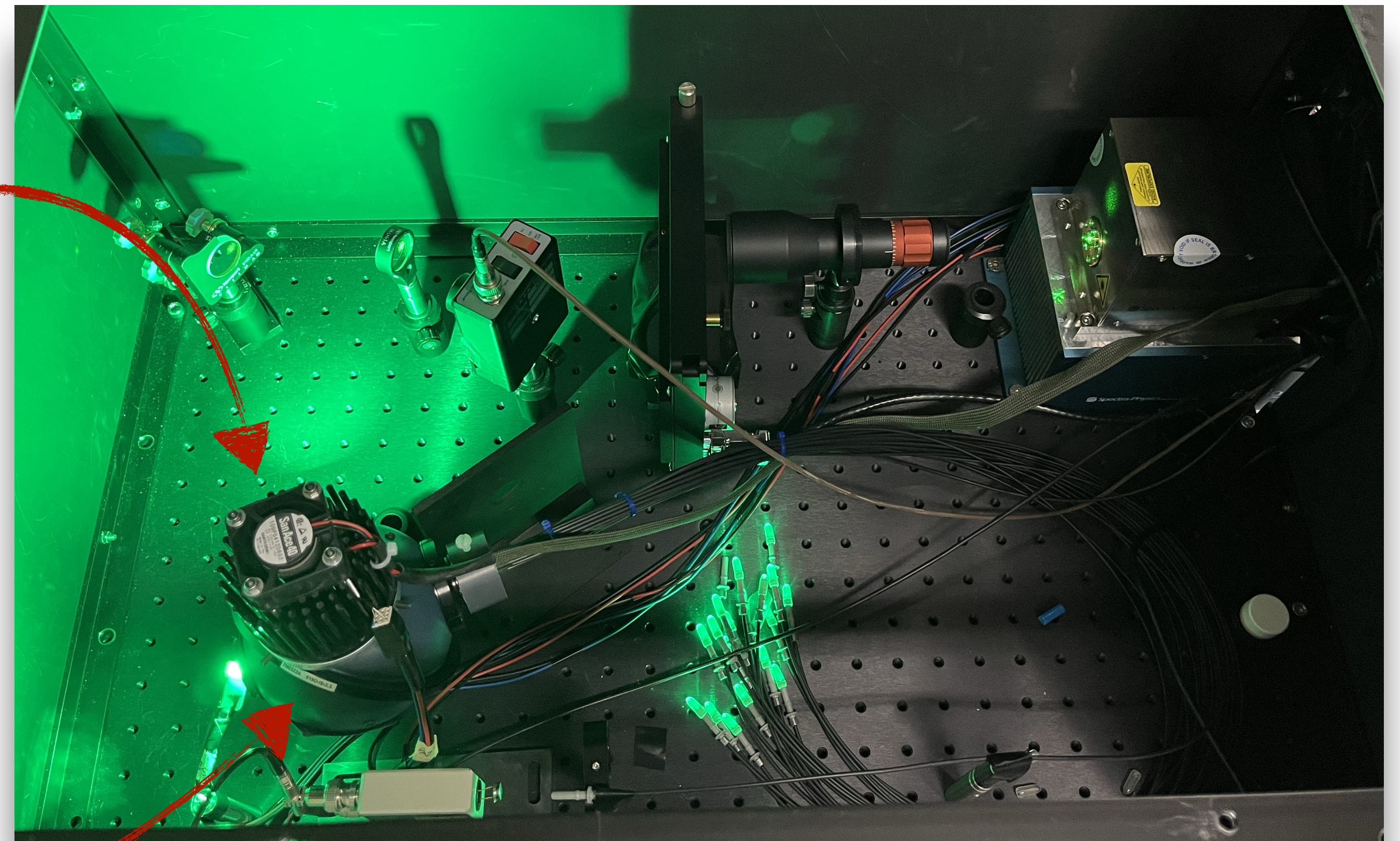
La matrice di LED



La sfera integratrice

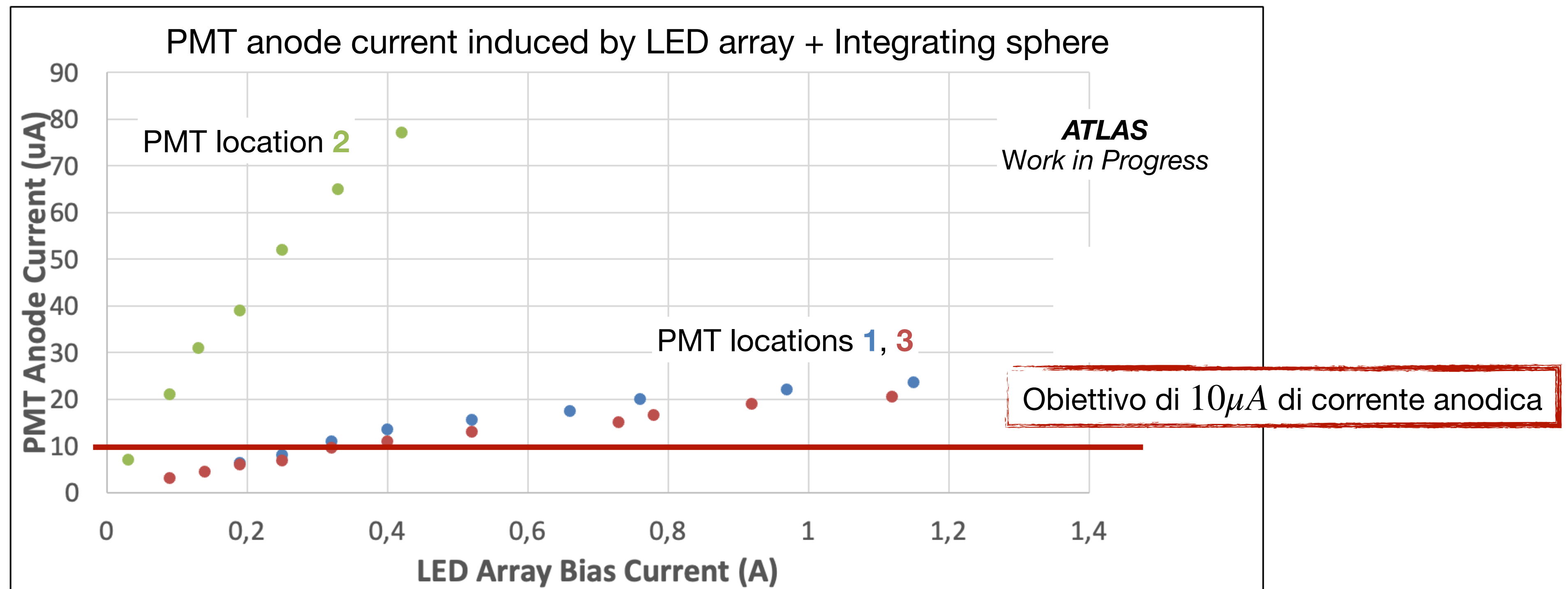


La scatola ottica



Risultati con la nuova calibrazione laser (1)

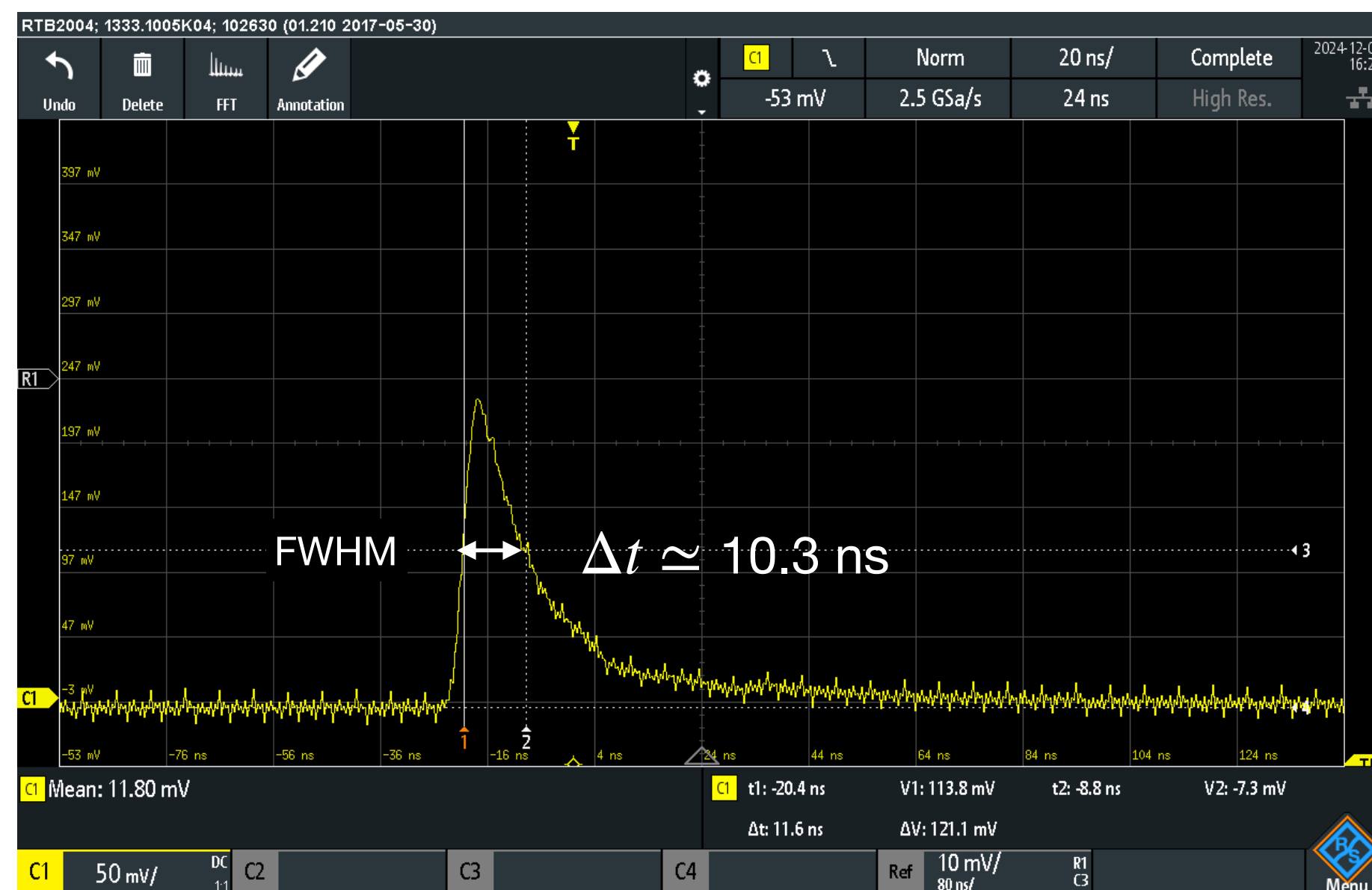
- Obiettivo principale: **fornire luce sufficiente a generare $10\mu A$ di corrente anodica dei PMT.** Raggiunto! Misure fatte con un modulo di TileCal installato al Test Beam nell'Area Nord (CERN) per diverse posizioni dei PMT.



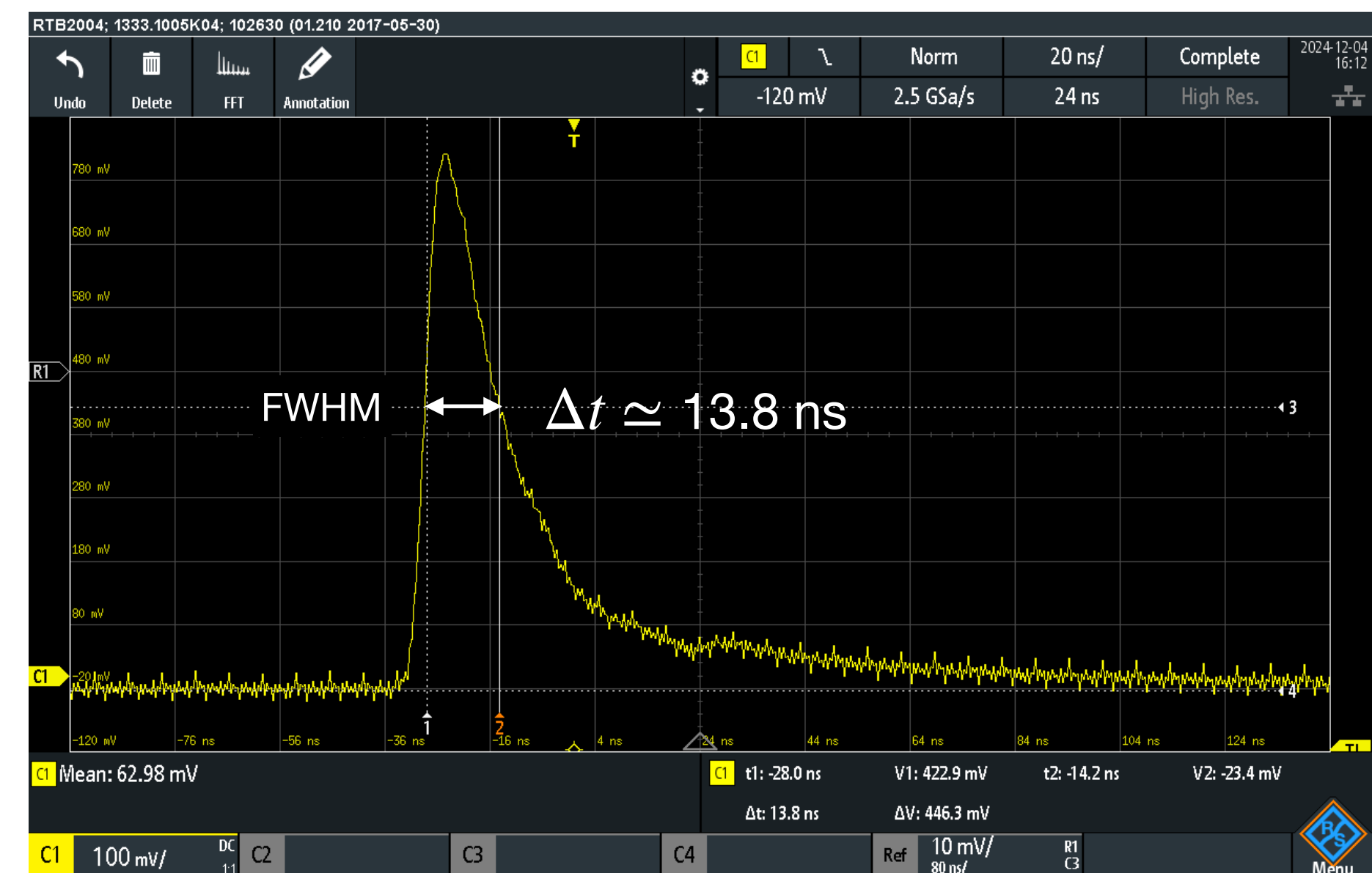
Risultati con la nuova calibrazione laser (2)

- La sfera integratrice non introduce alcuna distorsione dei segnali (variazione in larghezza dell'impulso $< 4\text{ns}$).

Segnale del PD1 *prima* della Sfera Integratrice



Segnale del PD1 *dopo* la Sfera Integratrice

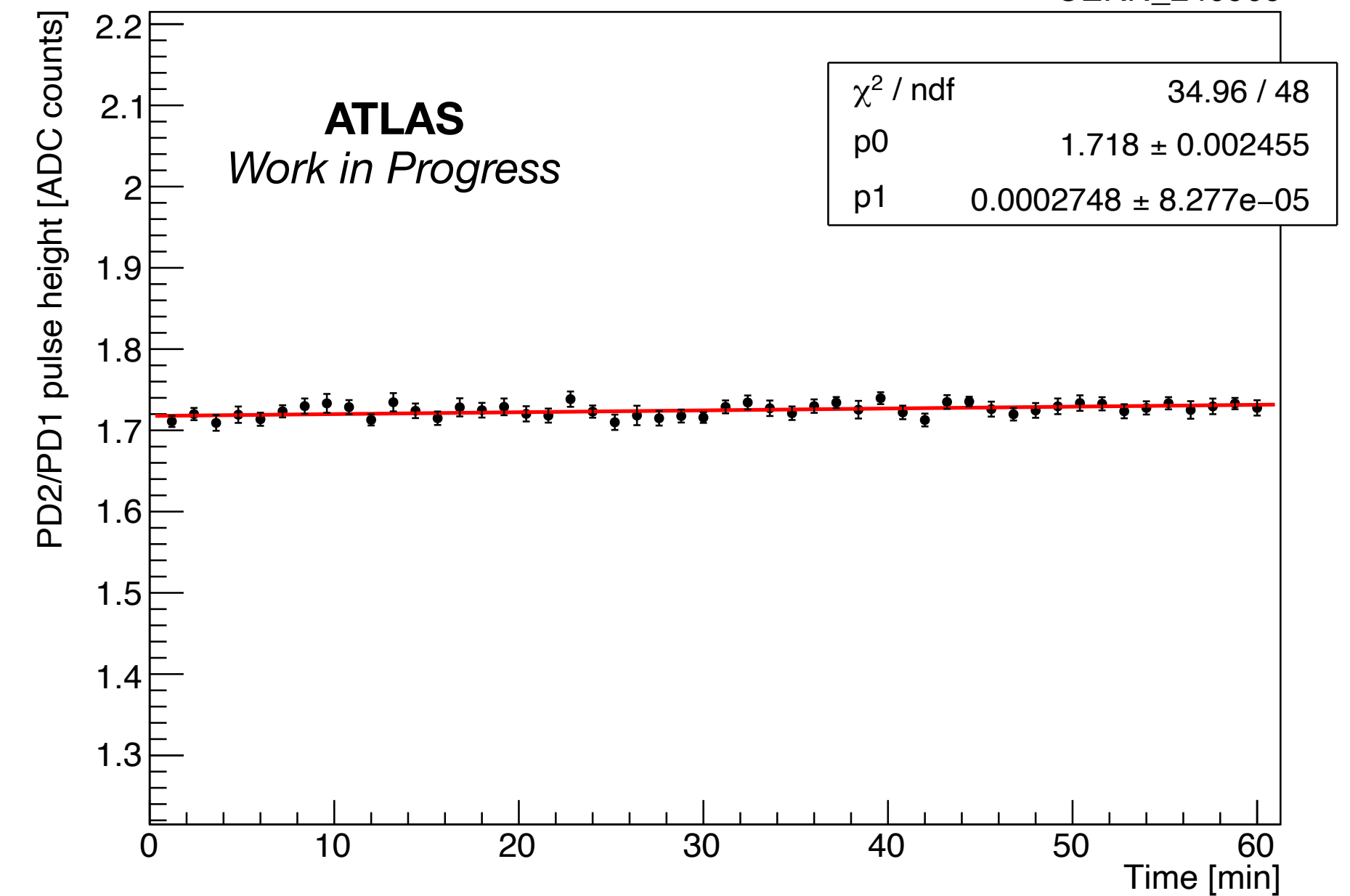


Risultati con la nuova calibrazione laser (3)

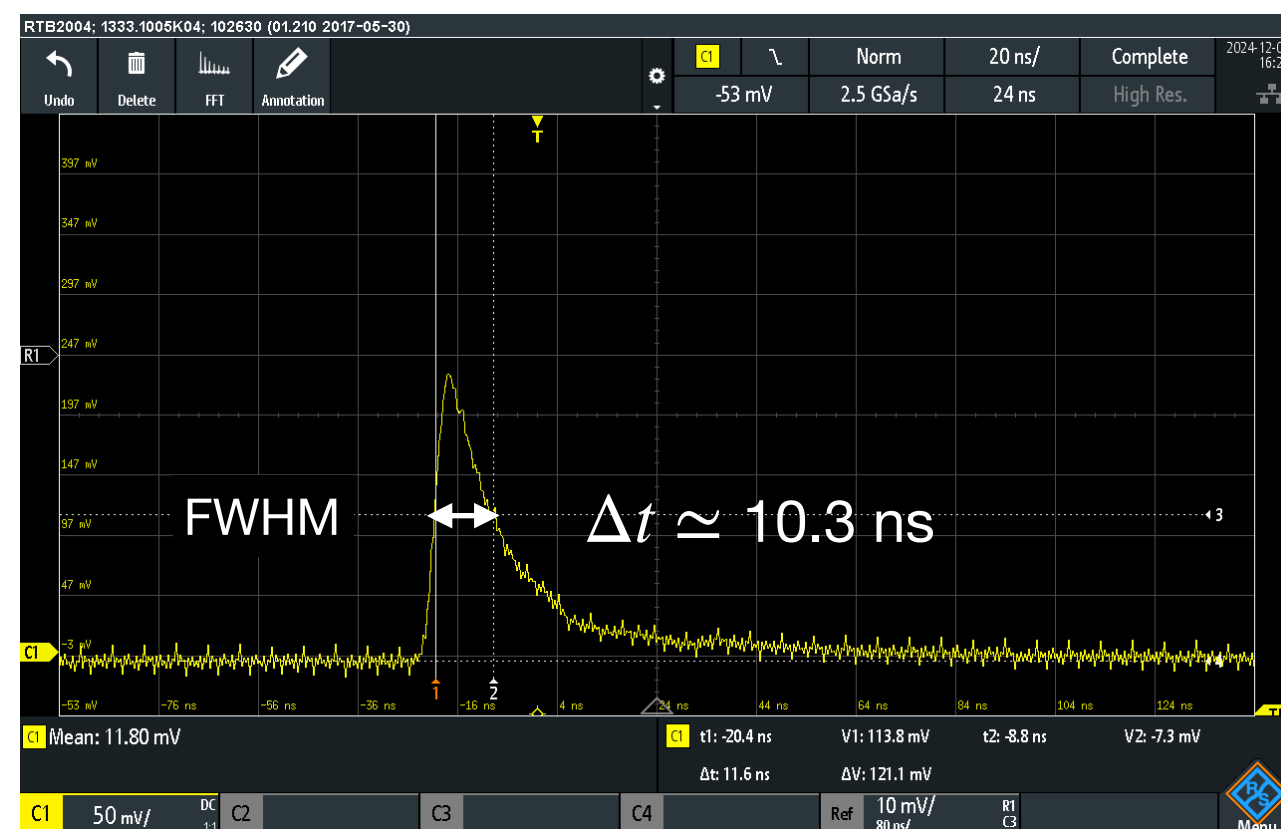
- La sfera integratrice non introduce alcuna distorsione dei segnali (variazione in larghezza dell'impulso <math><4\text{ns}</math>).
- Stabilità della riflettività e trasmissione della luce entro 1%.

PD2/PD1 stability over time

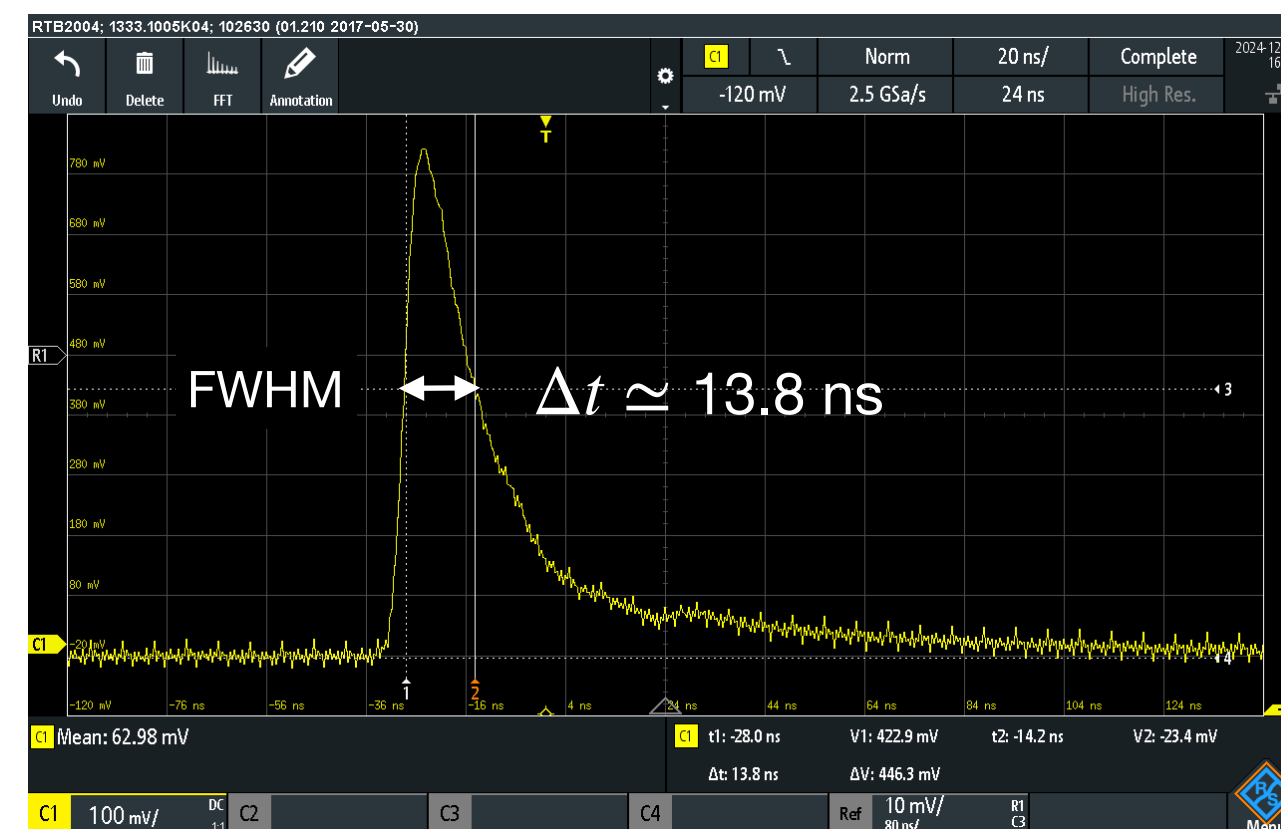
CERN_240909



Segnale PD1 *prima* della Sfera Int.



Segnale PD1 *dopo* la Sfera Int.

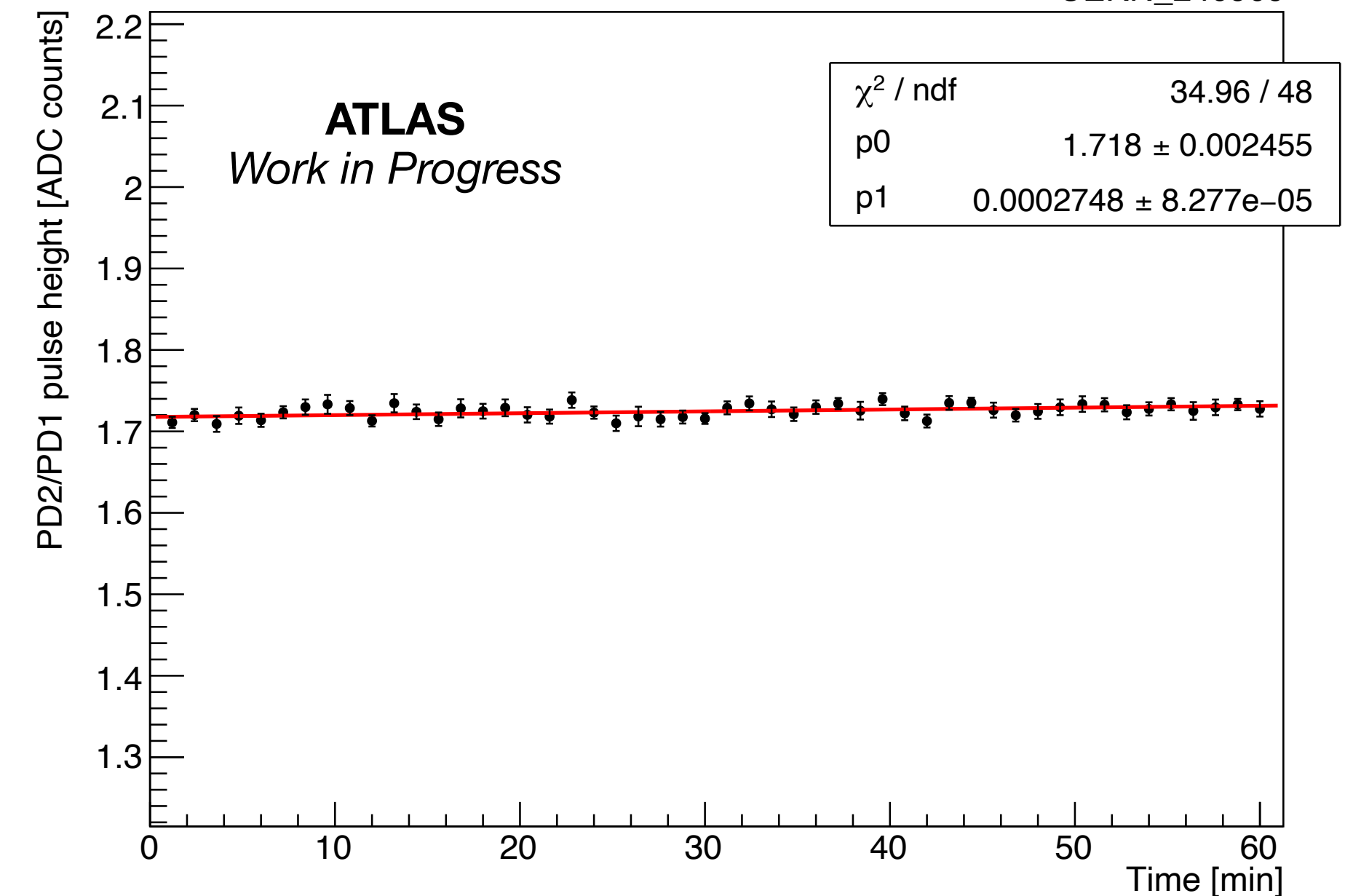


Risultati con la nuova calibrazione laser (4)

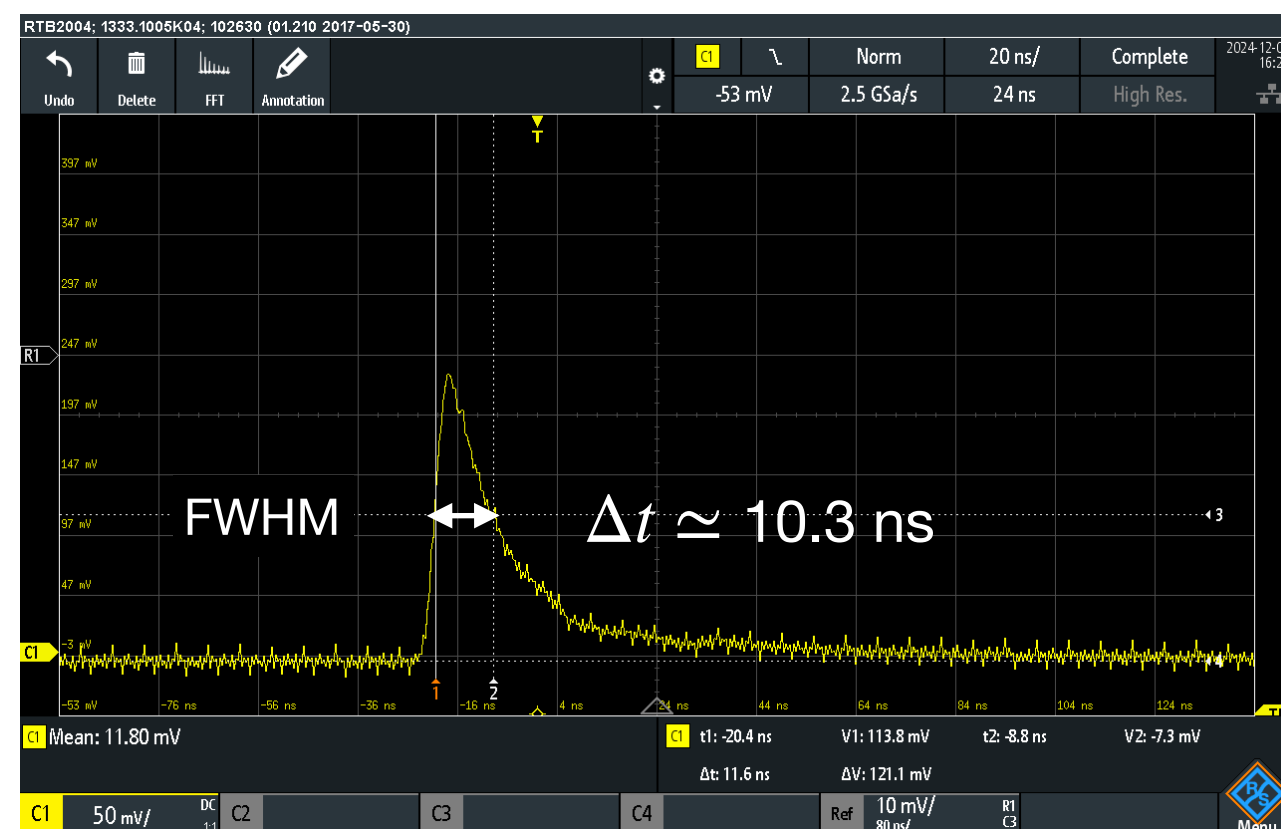
- La sfera integratrice non introduce alcuna distorsione dei segnali (variazione in larghezza dell'impulso <math><4\text{ns}</math>).
- Stabilità della riflettività e trasmissione della luce entro 1%.
- Integrazione della nuova linea ottica con l'elettronica dell'upgrade e il nuovo sistema di controllo in corso.

PD2/PD1 stability over time

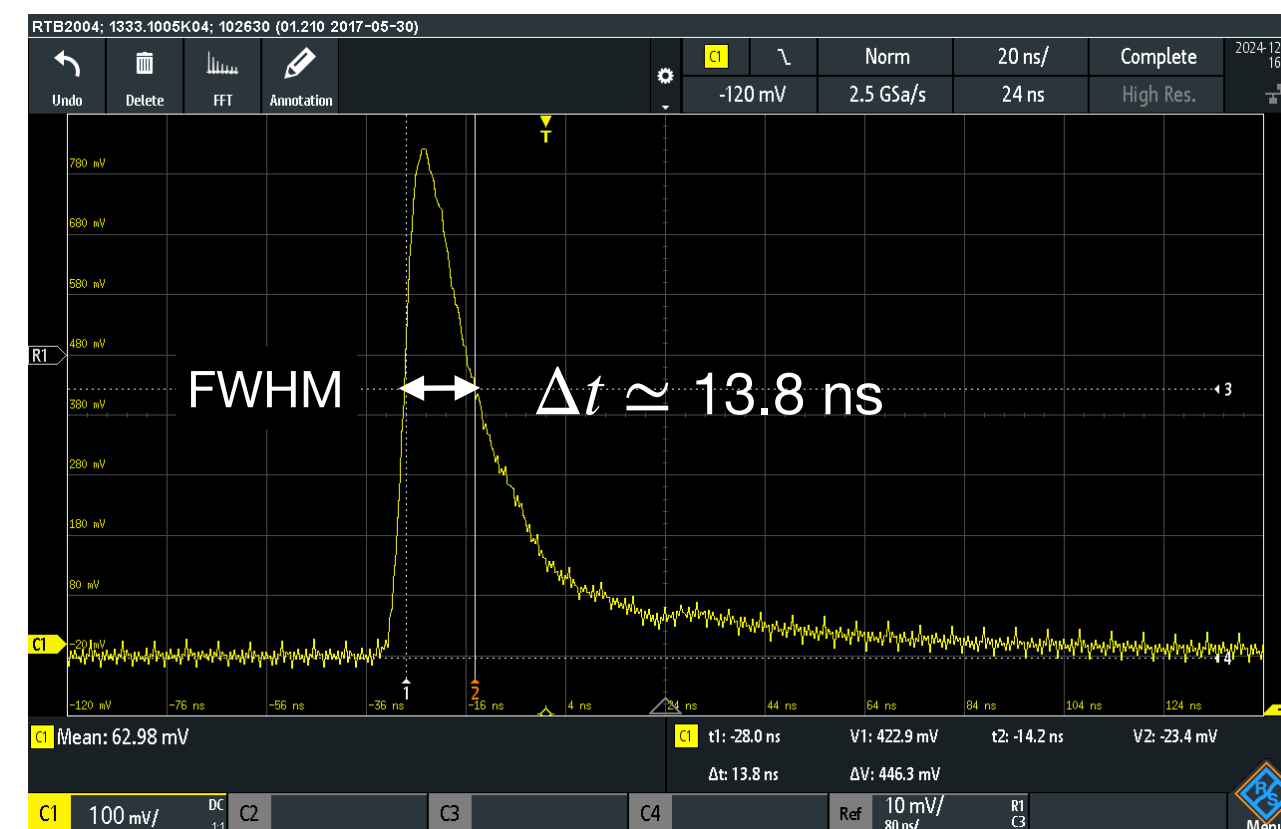
CERN_240909



Segnale PD1 *prima* della Sfera Int.



Segnale PD1 *dopo* la Sfera Int.



Conclusioni e prospettive

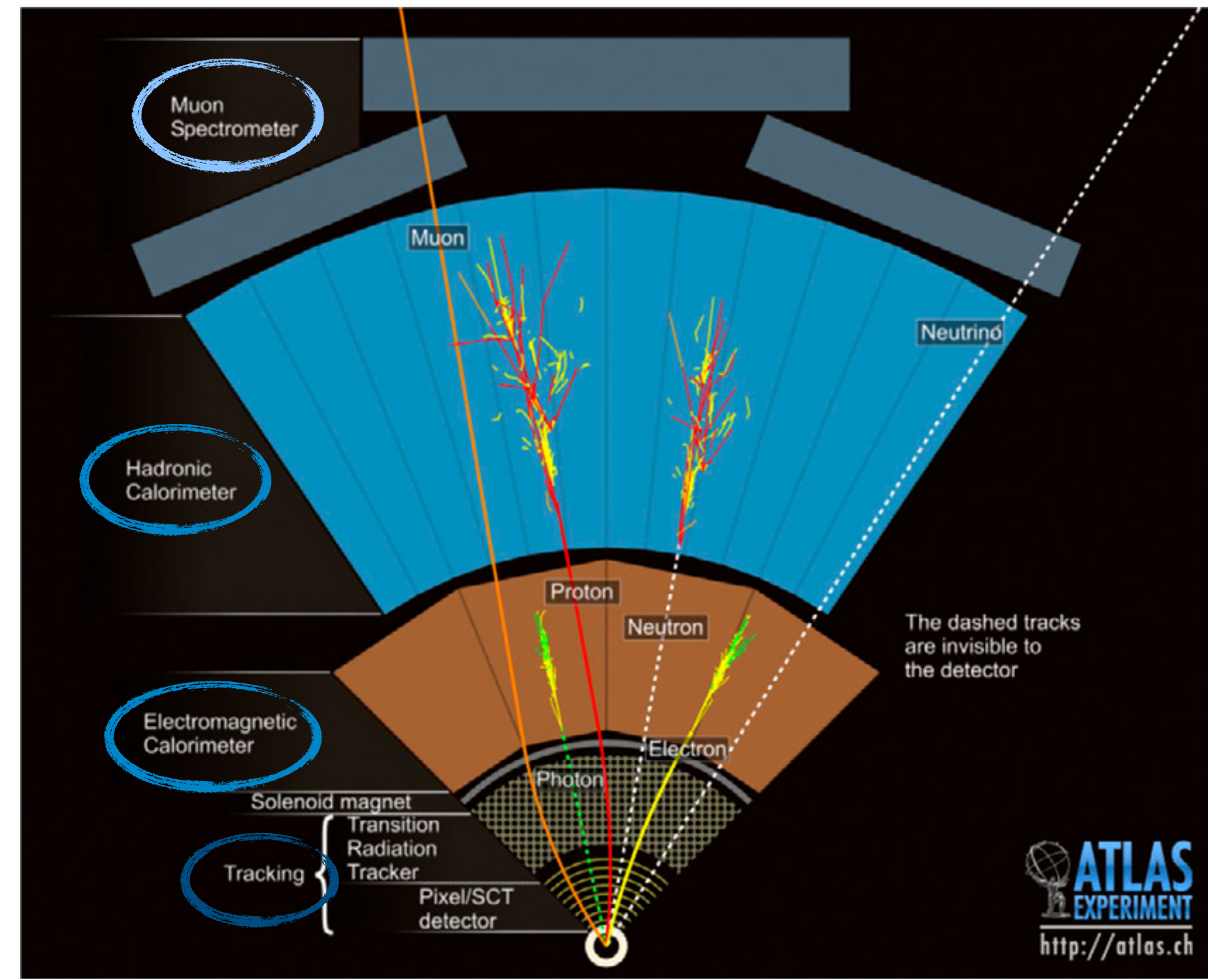
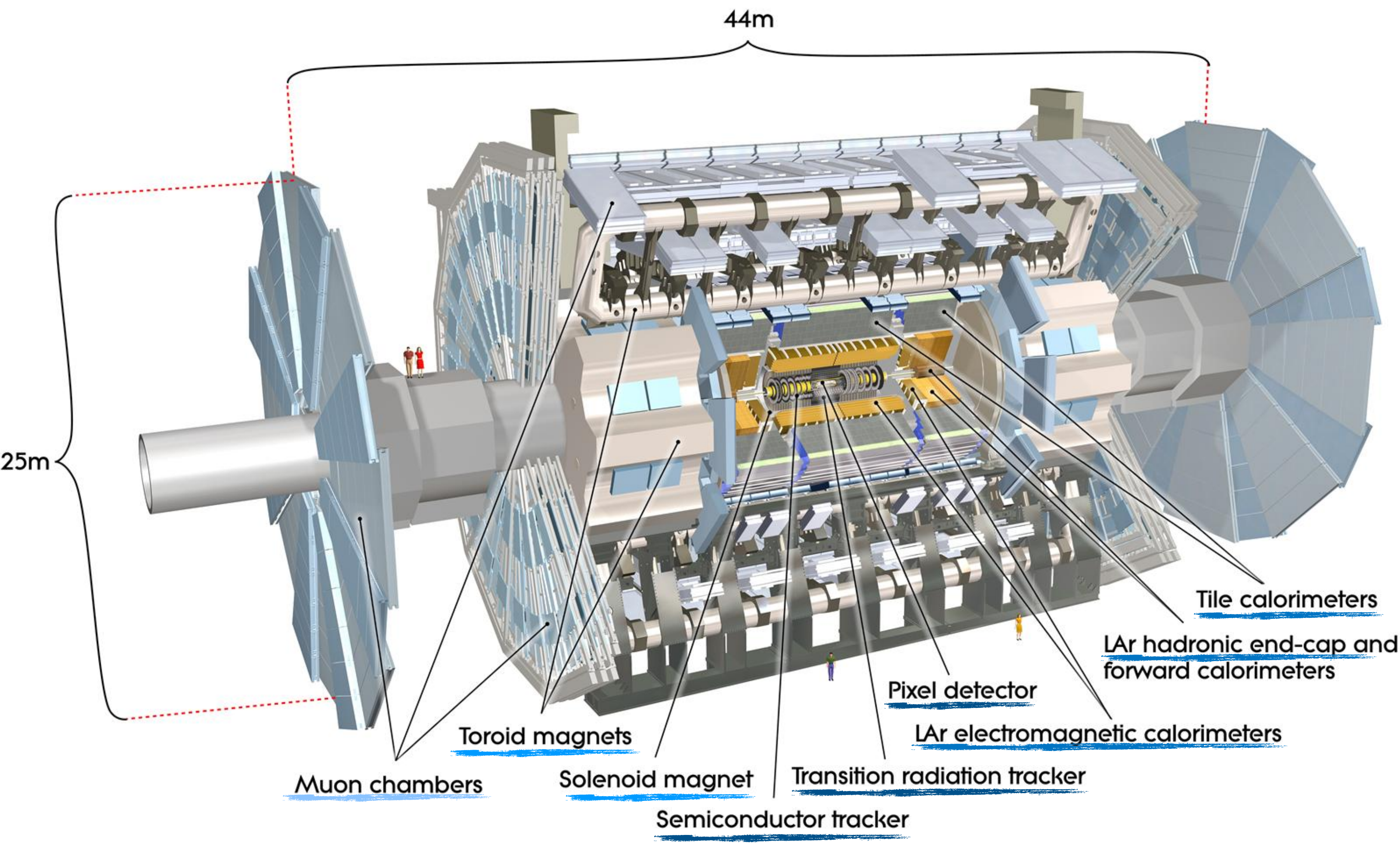
- TileCal subirà un importante aggiornamento per la fase di HL-LHC per far fronte a condizioni impegnative di maggiore luminosità;
 - Una calibrazione con precisione dell'ordine del percento è la chiave per mantenere le attuali eccellenti prestazioni di fisica.
- L'aggiornamento del sistema laser prevede l'introduzione di una sfera integratrice e una matrice di LED per garantire stabilità e uniformità della luce di calibrazione in condizioni di alta luminosità.
- Il nuovo sistema laser è una soluzione estendibile ai futuri calorimetri che dovranno essere in grado di operare in condizioni critiche mantenendo elevate prestazioni.



ATLAS ENDCAP 'A'
SLHC

Materiale aggiuntivo

ATLAS Experiment



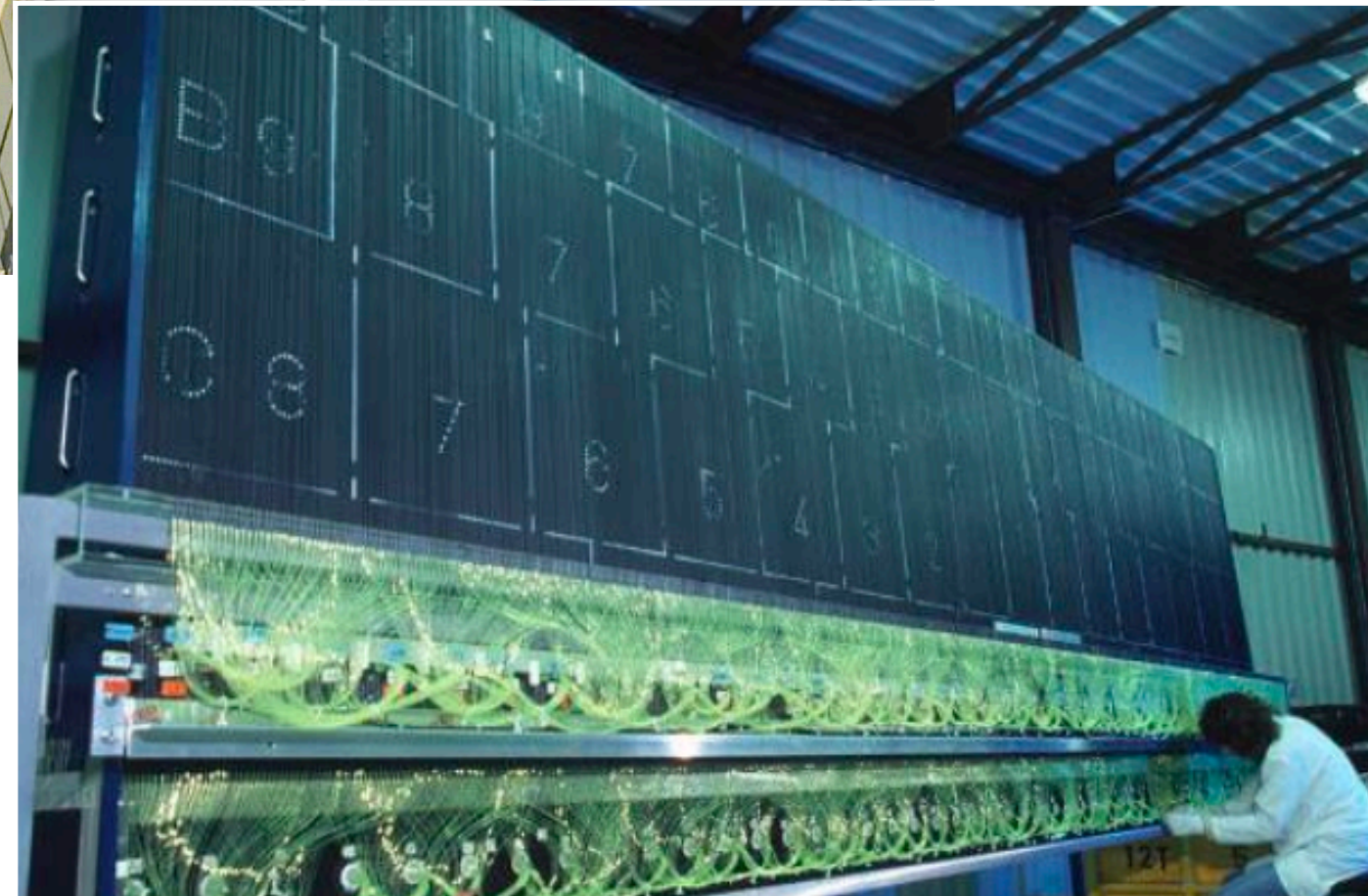
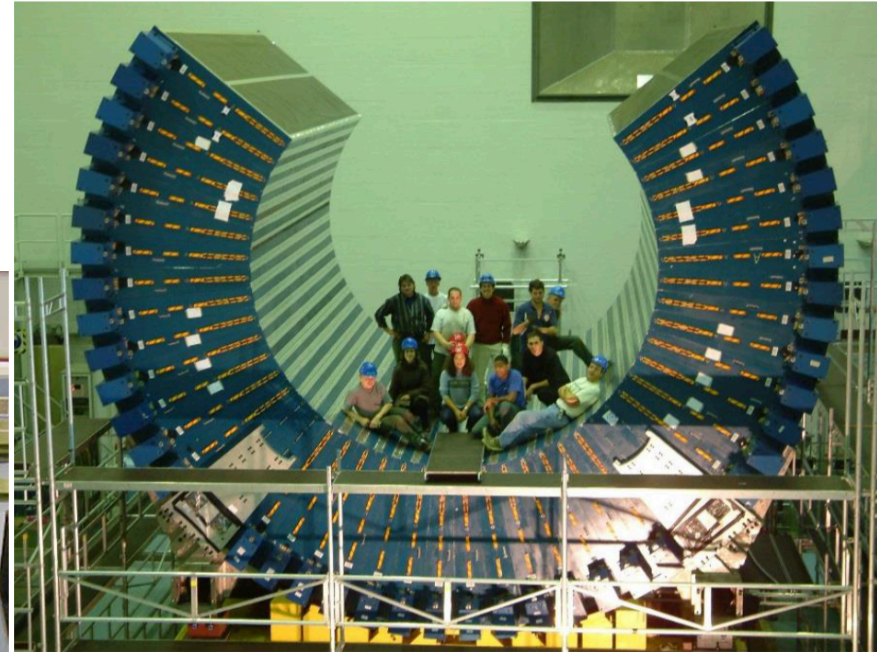
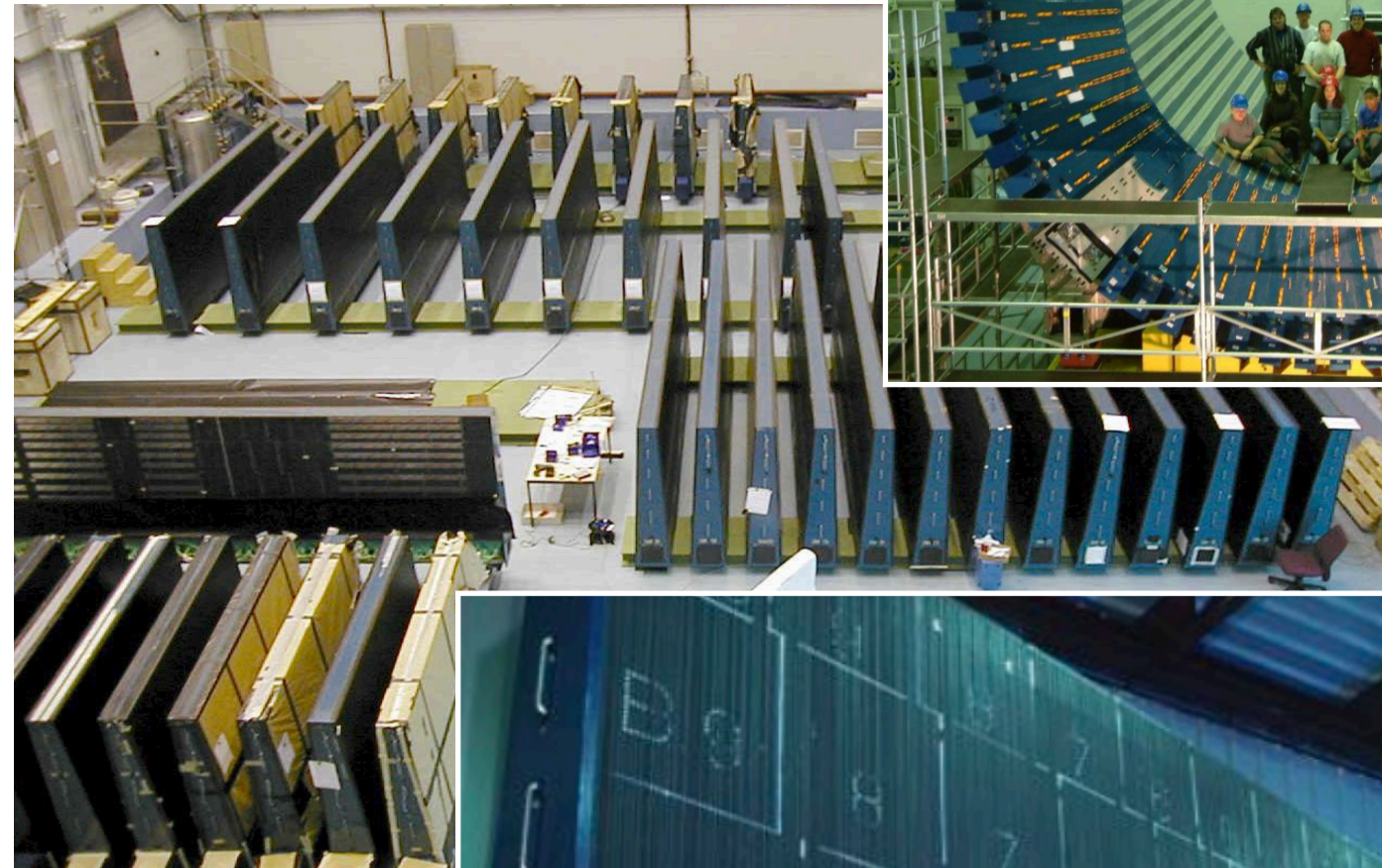
ATLAS Hadronic Calorimeters pics

Granulated polystyrene

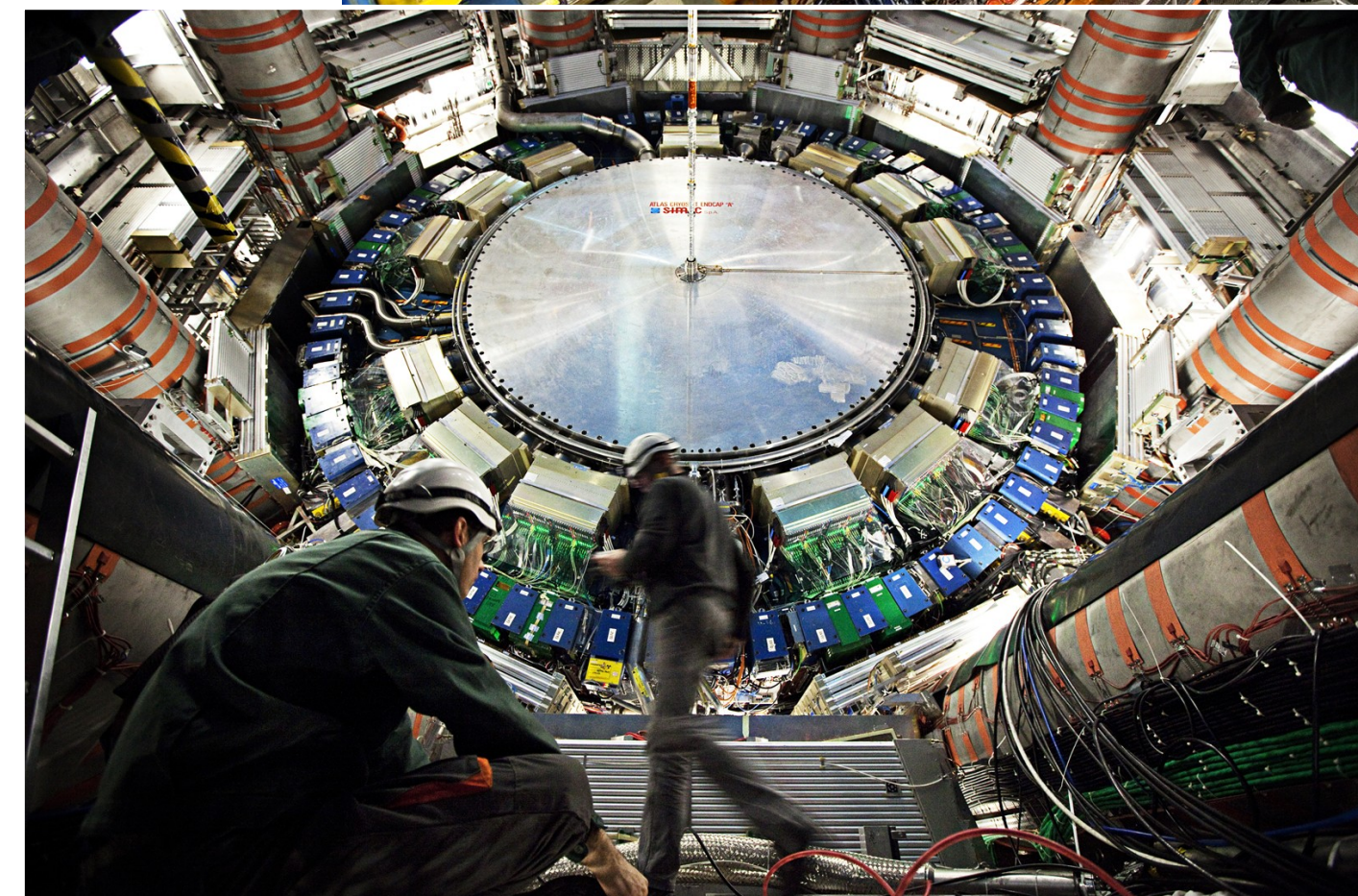
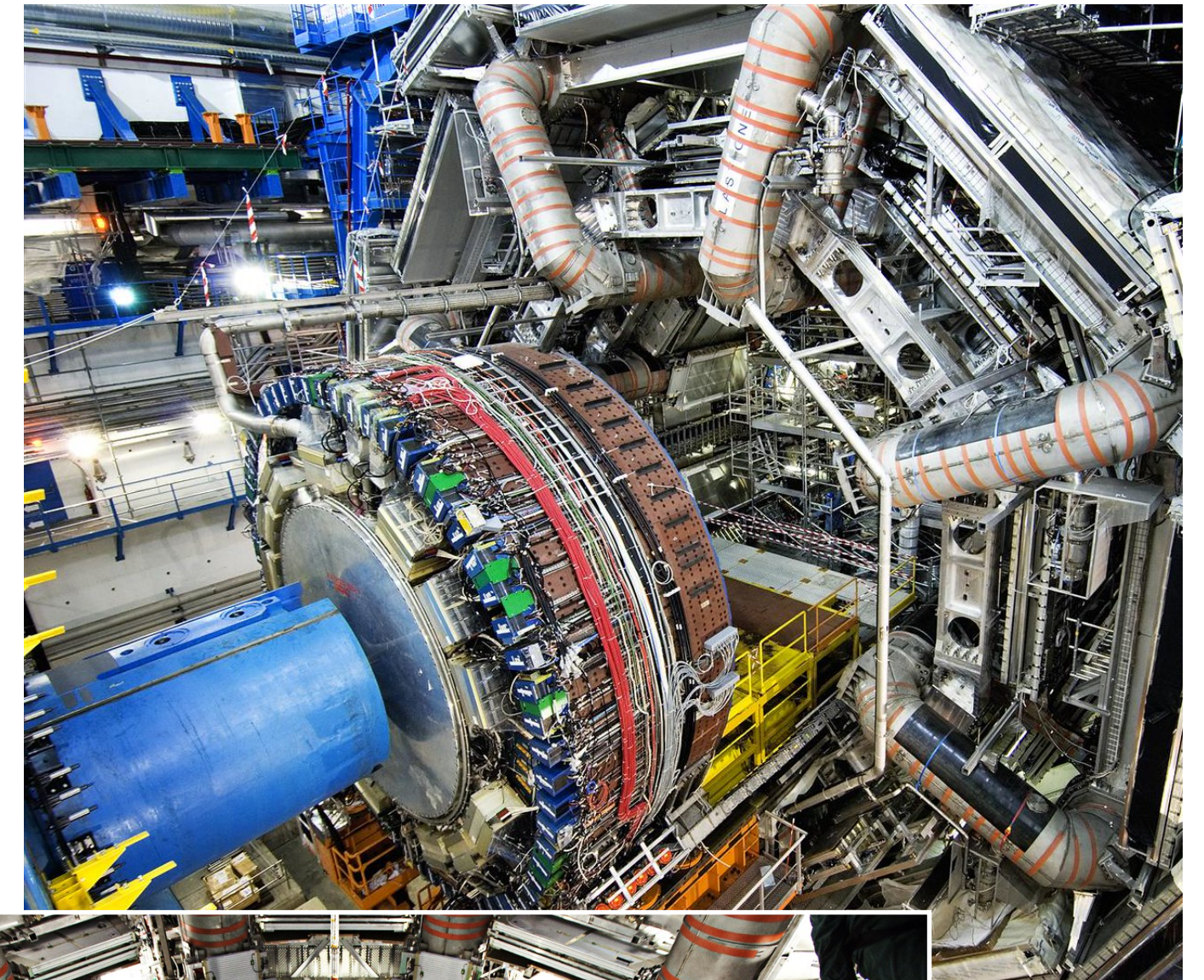


Iron spacers cutting

TileCal modules



Endcaps



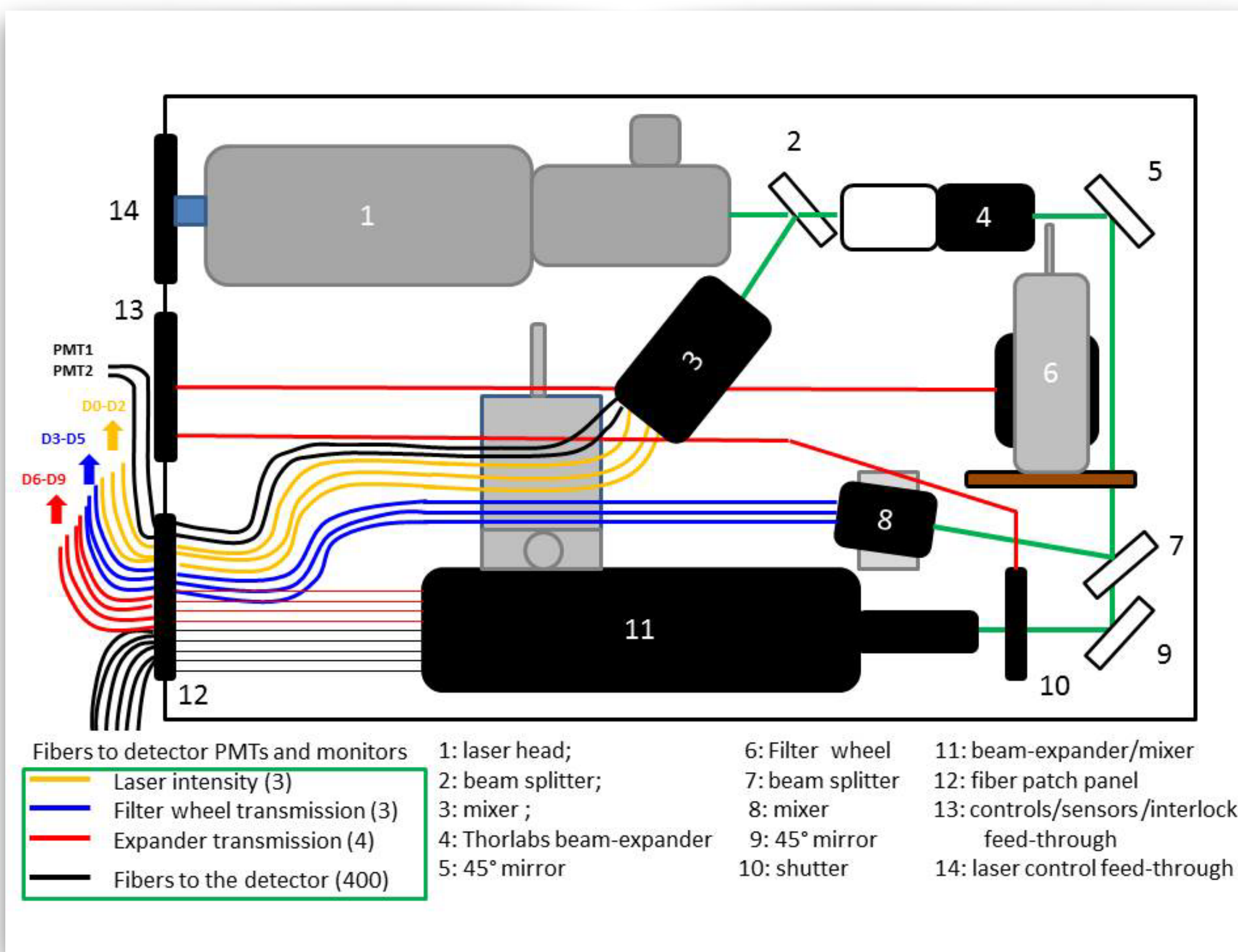
Alexander Solodkov, National Research Centre, Protvino

Max-Planck Institut für Physik

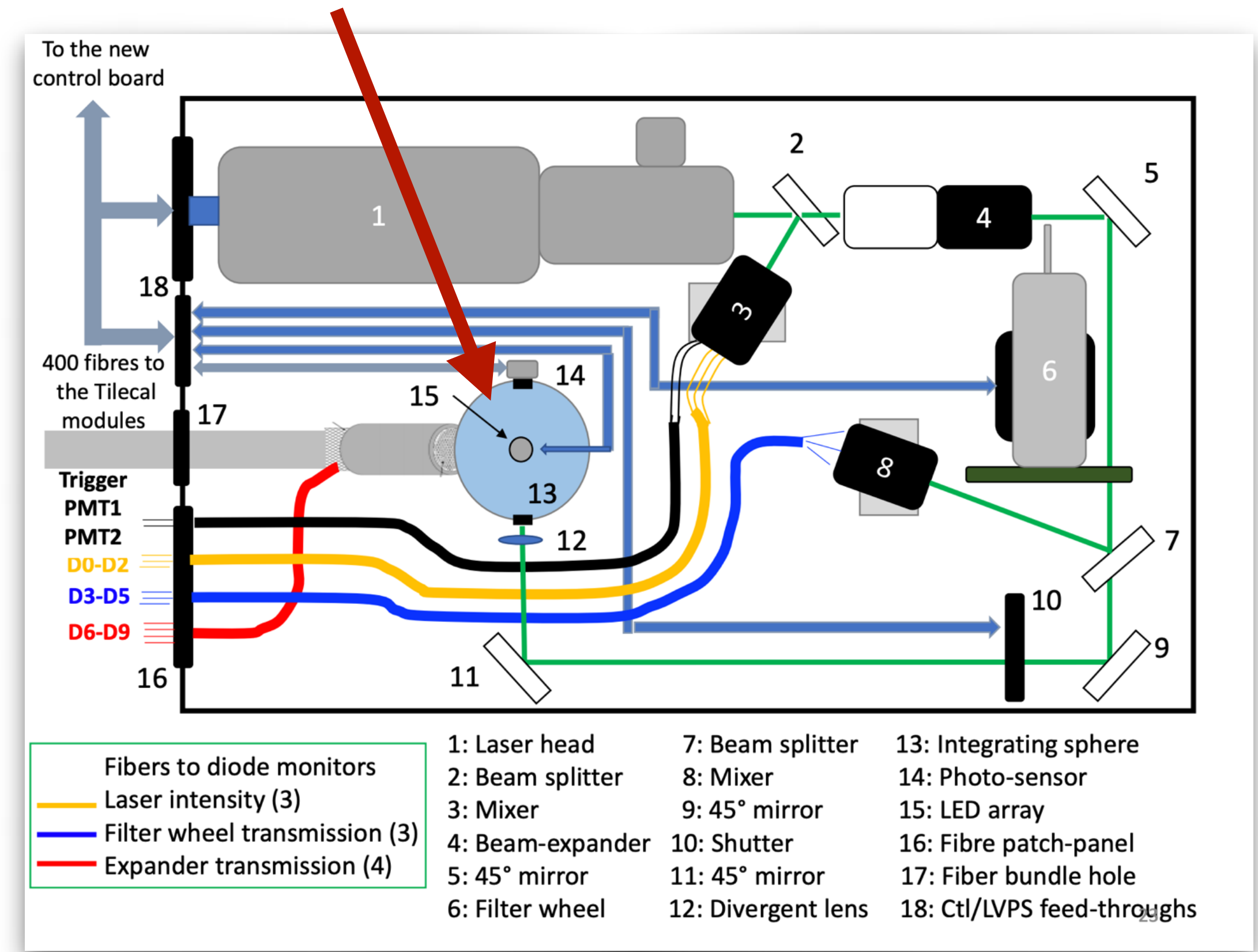
Viola Floris

Laser optical lines compared

Current optics box setup



Phase2 Upgrade optics box setup



Comparison of the laser characteristics

Both lasers are produced by Spectra Physics, for more detailed information on Explorer One XP:

<https://www.spectra-physics.com/en/f/explorer-one-compact-laser> and on J40-BL6S-532Q:

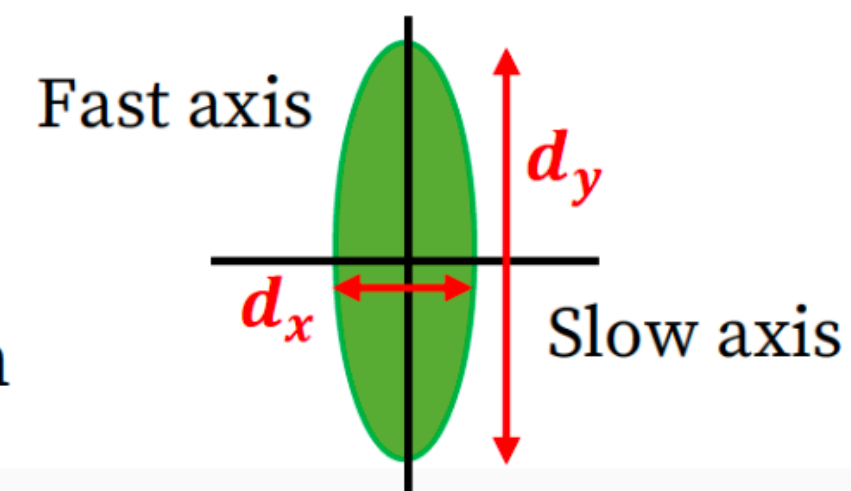
<https://fdocuments.in/document/navigator-lasers-newport-corporation-navigator-lasers-diode-1-408-980-6923.html?page=2>

	J40-BL6S-532Q (old laser)	Explorer One XP (new laser)
Spatial mode	TEM ₀₀ (M ² < 1.2)	TEM ₀₀ (M ² = 1.2)
Output power	> 2.7 W (at 35 kHz)	> 5 W (at 80 kHz)
Pulse width	< 8 ns (at 35 kHz)	< 8 ns (at 80 kHz)
Beam Divergence	< 1,4 mrad	< 4.5 mrad
Beam Waist Diameter	in [0.60; 0.70] mm	0.19 mm ± 15%
Beam Ellipticity	$\varepsilon > 0.9$	$\varepsilon < 1.1$
Pulse energy stability	< 5%	< 3%
Warm-up time	< 30 min	< 10 min

Ellipticity

$$\varepsilon \approx \frac{d_x}{d_y};$$

$\varepsilon = 1 \rightarrow$ circular beam



➤ The beams have similar characteristics except for their waist & divergence

➤ Explorer One XP is more stable and warms up quicker

M.-H. Carron

2

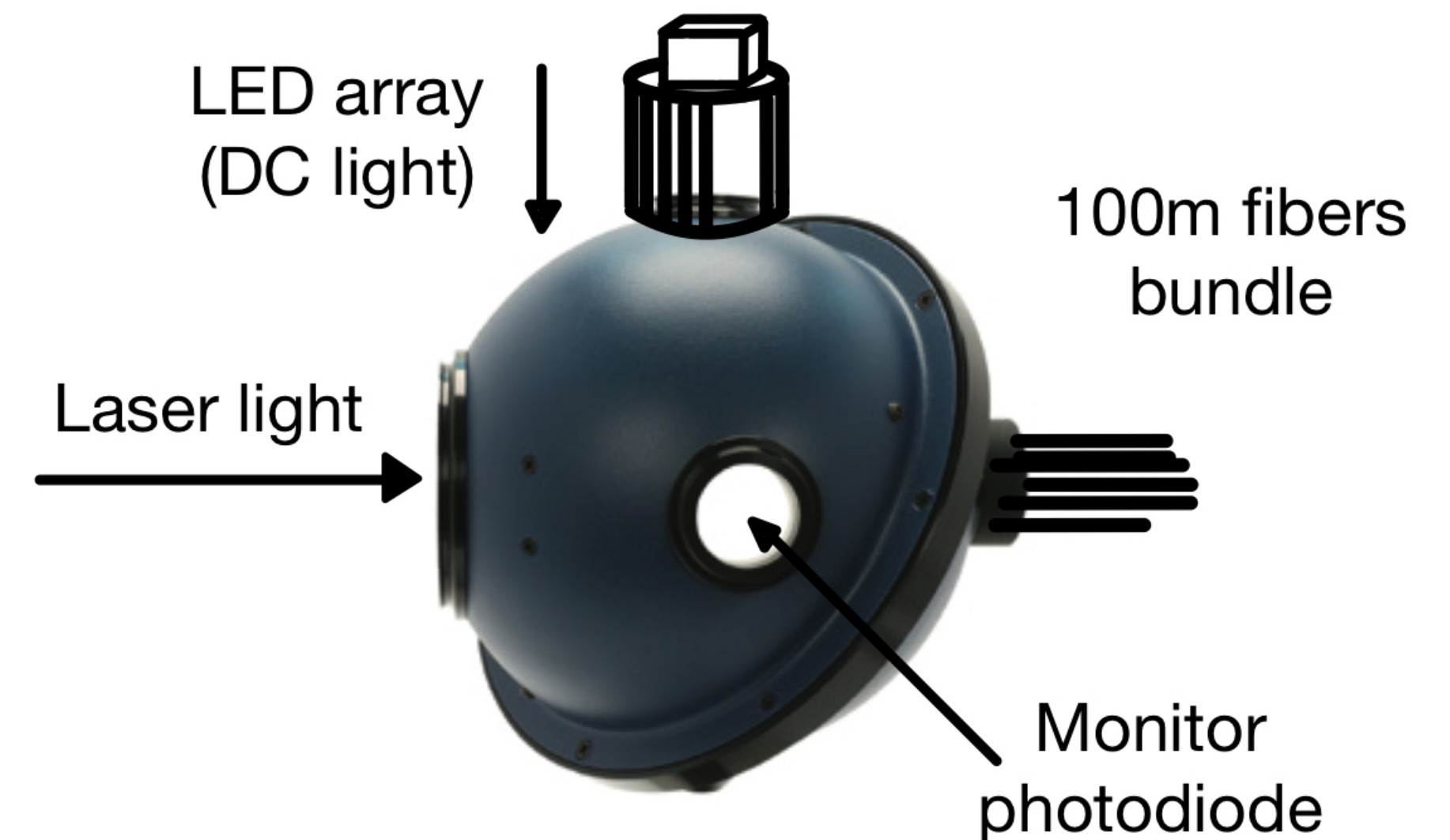
Integrating sphere

- Assuming a pulse shape function $F(t)$ at the sphere input, the shape of the output signal $G(t)$ is determined by convolving the input signal with the time response of the integrating sphere, which has exponential form: $G(t) = F(t) * e^{-t/\tau}$.

- The time constant τ is given by:

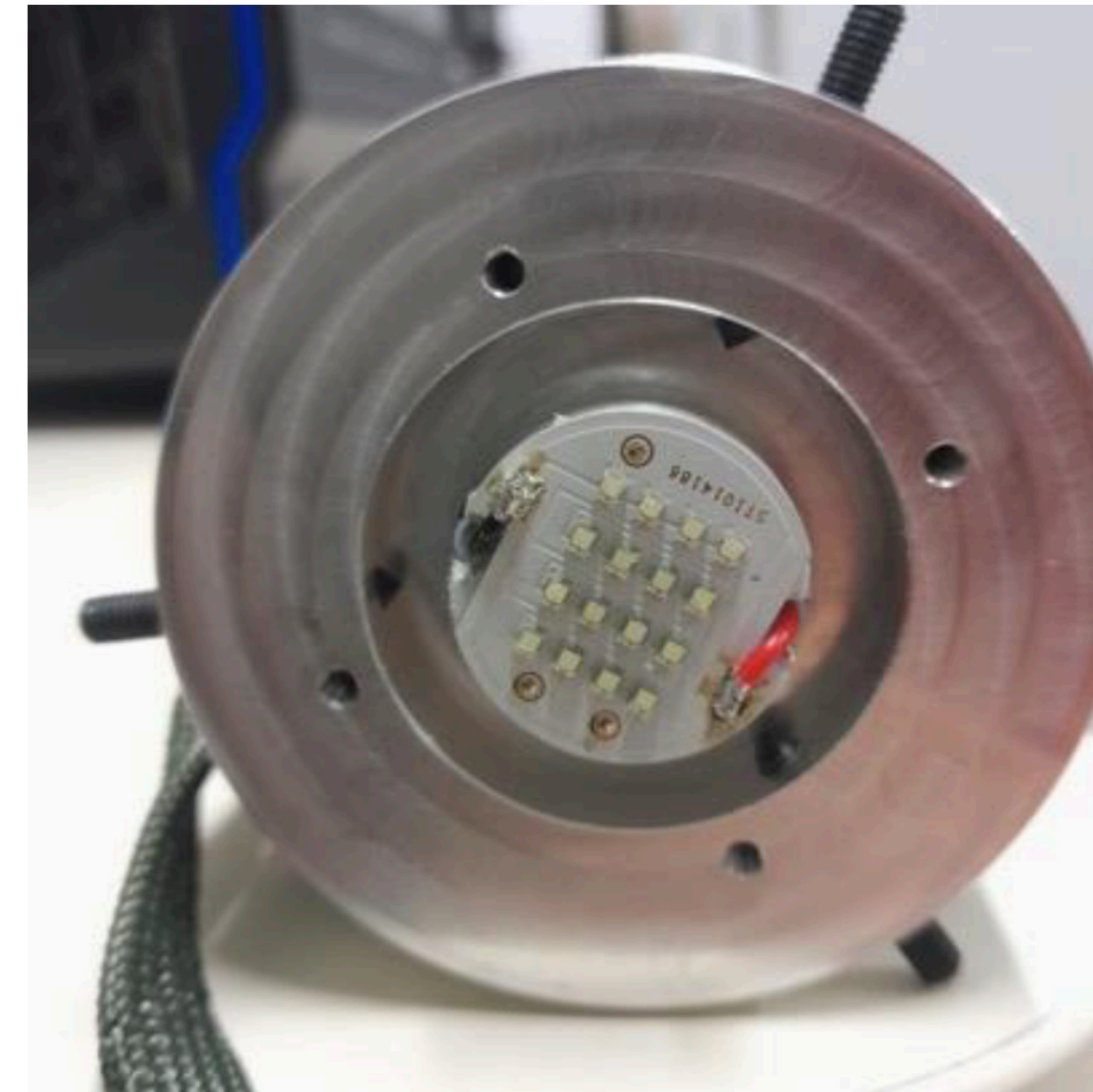
$$\tau = -\frac{2 D_s}{3 c} \frac{1}{\ln(\rho_{\text{eff}})}$$

where D_s is the sphere diameter, ρ_{eff} is the average wall reflectance and c is the speed of light.



LED array

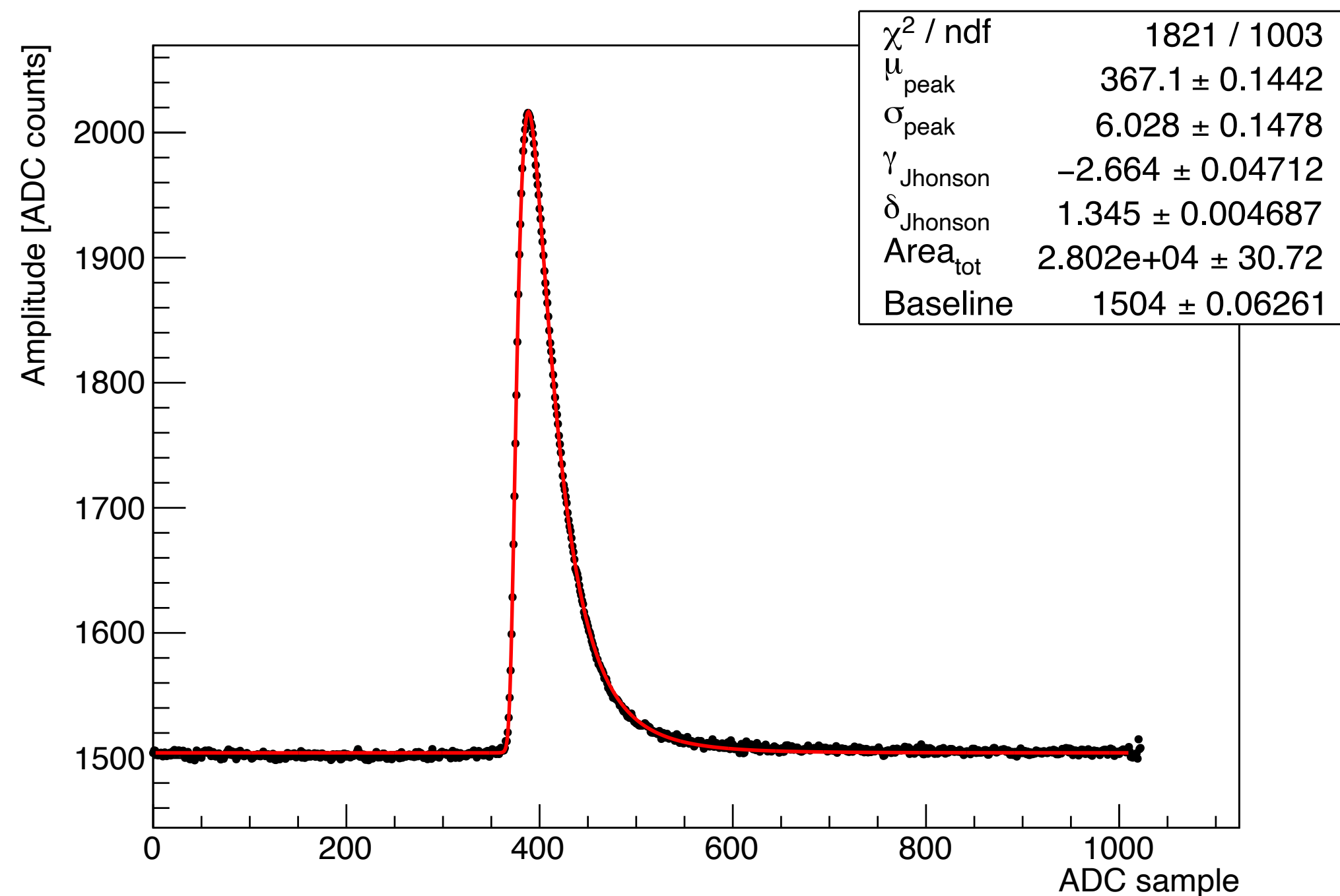
- The green DC light source must be enough powerful to excite all TileCal PMTs with anode currents up to $10 \mu\text{A}$.
- For dimensions, wavelength and light flux, was selected:
 - custom-designed LED array produced by HTDS-France, composed by 16 green LEDs providing a luminous flux exceeding 700 lm at $\lambda = 530 \text{ nm}$.



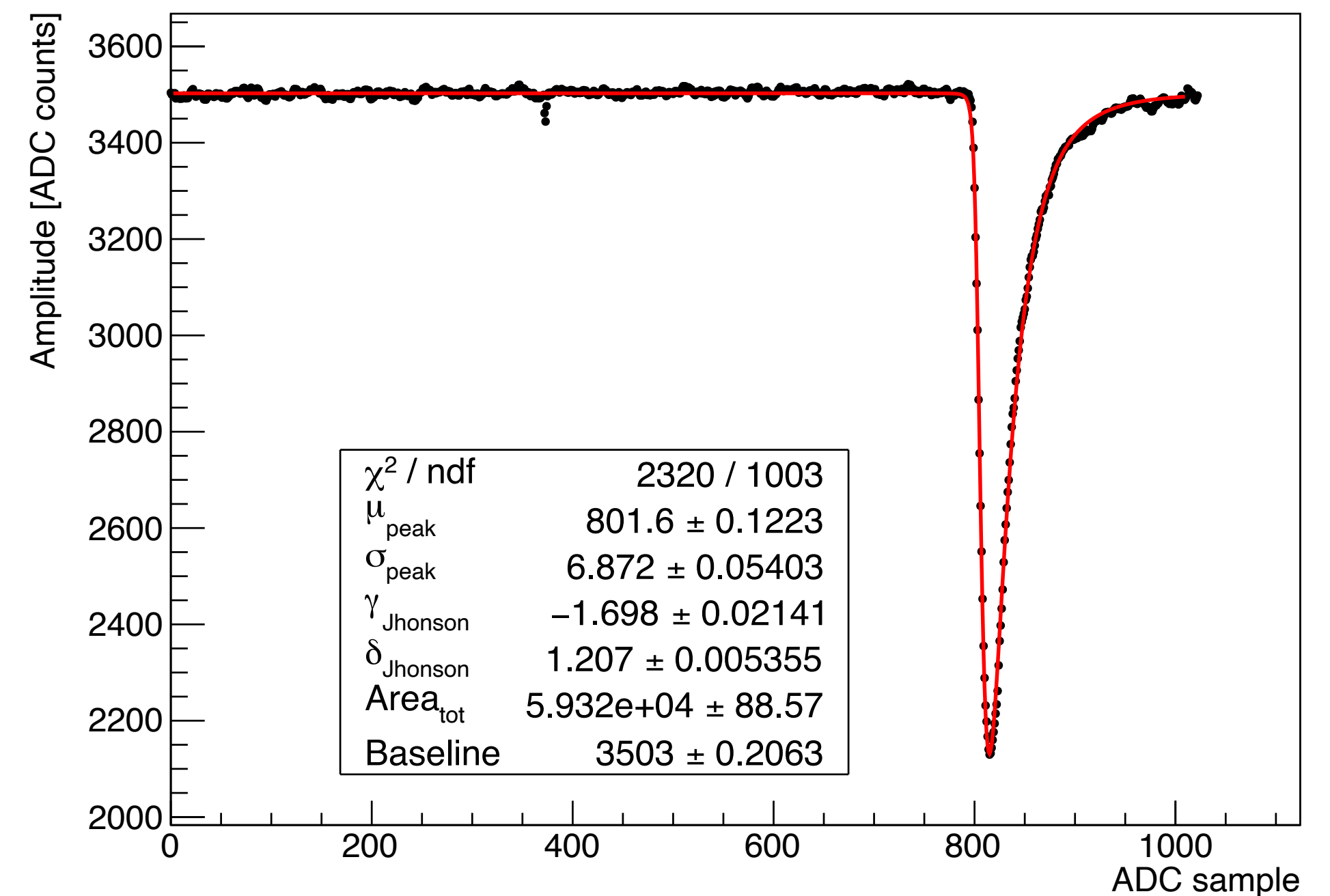
Waveform Fit with the *Johnson SU*

Example signal waveforms (both polarities) fitted using the Johnson SU distribution [1]:

PD signal Event 2 fitted



PMT signal Event 2 fitted



[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Johnson%27s_SU-distribution