

Consiglio di Sezione, 9 luglio 2021

---

**ATLAS**

---

T. LARI

# ATLAS : il rivelatore

# ATLAS

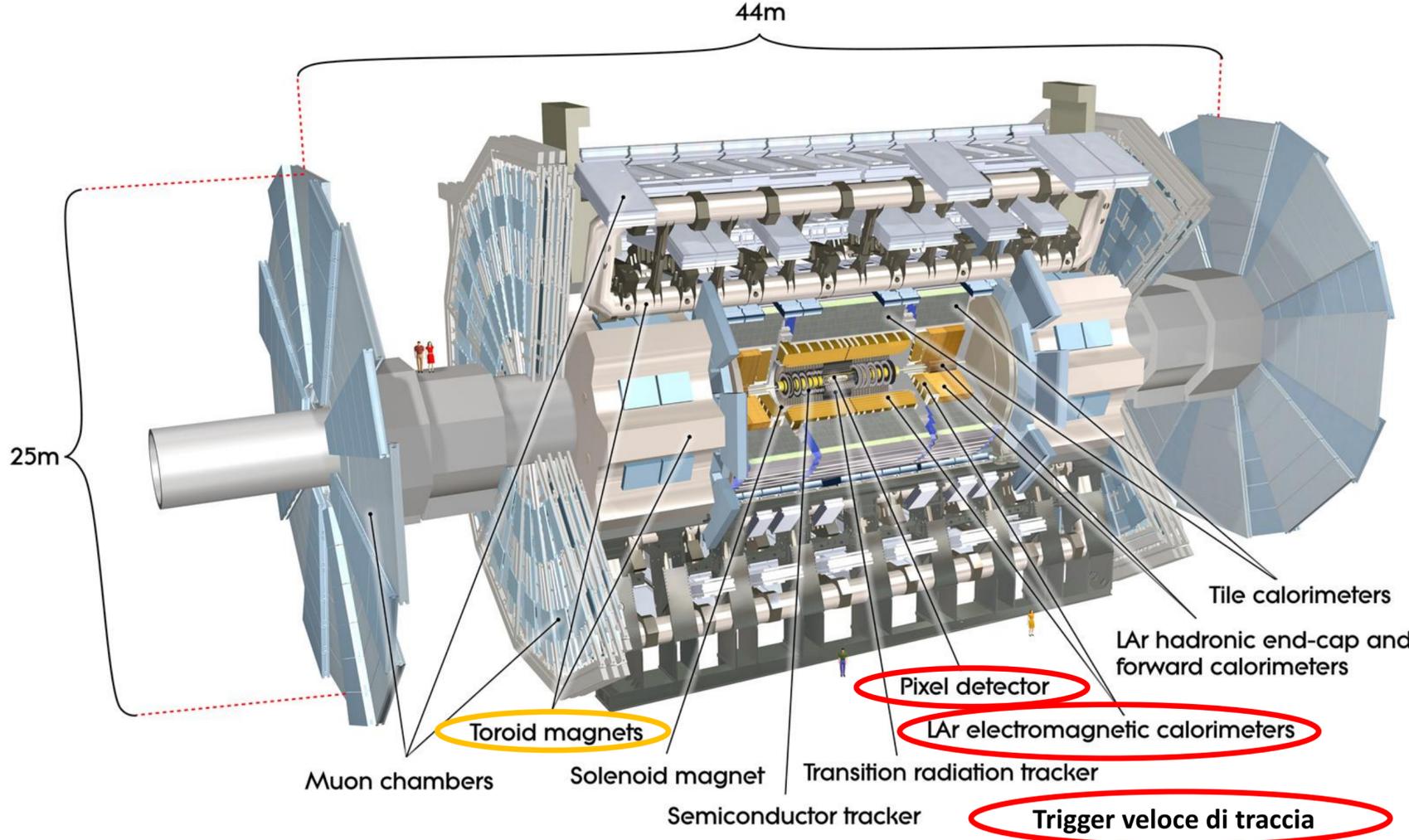
Letter of Intent  
for a  
General-Purpose pp Experiment  
at the  
Large Hadron Collider at CERN

...

Members of the ATLAS Collaboration

...

Physics Department, Milan University and I.N.F.N., Milan, Italy  
G.Battistoni, G.Bellini, D.Camin, D.Cavalli, G.Costa, L.Cozzi, A.Craverio, M.di Corato, A.Ferrari, F.Gianotti, P.Inzani,  
L.Mandelli, M.Mazzanti, L.Perasso, L.Perini, P.Sala, M.Sciamanna



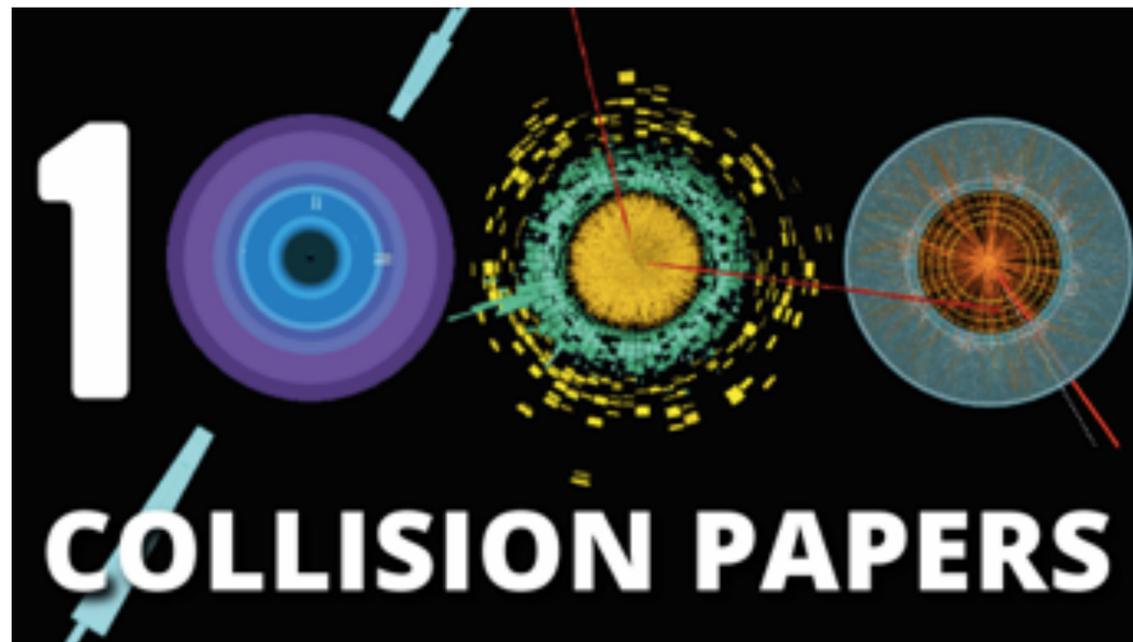
Milano è in ATLAS dalla Letter of Intent (1992)

---

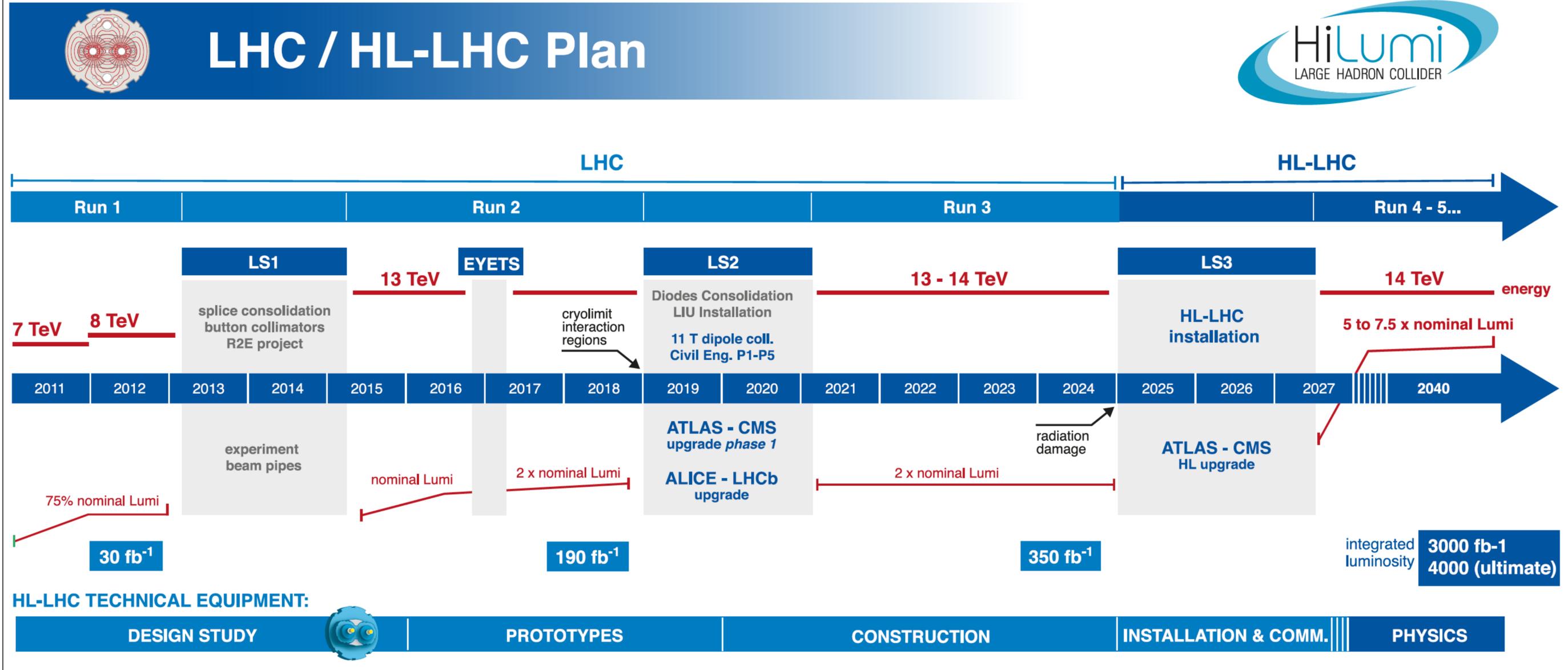
# ATLAS : obiettivi di fisica

- Scoperta e misura delle proprietà del bosone di Higgs
- Ricerca di fisica oltre il modello Standard
- Misure di precisione delle particelle del Modello Standard

Centinaia di misure possibili; in effetti dal 2010 abbiamo pubblicato



# ATLAS, presente e futuro



Il run 3 comincerà un anno dopo il previsto, nel 2022

---

# ATLAS : il nostro contributo

## Rivelatore

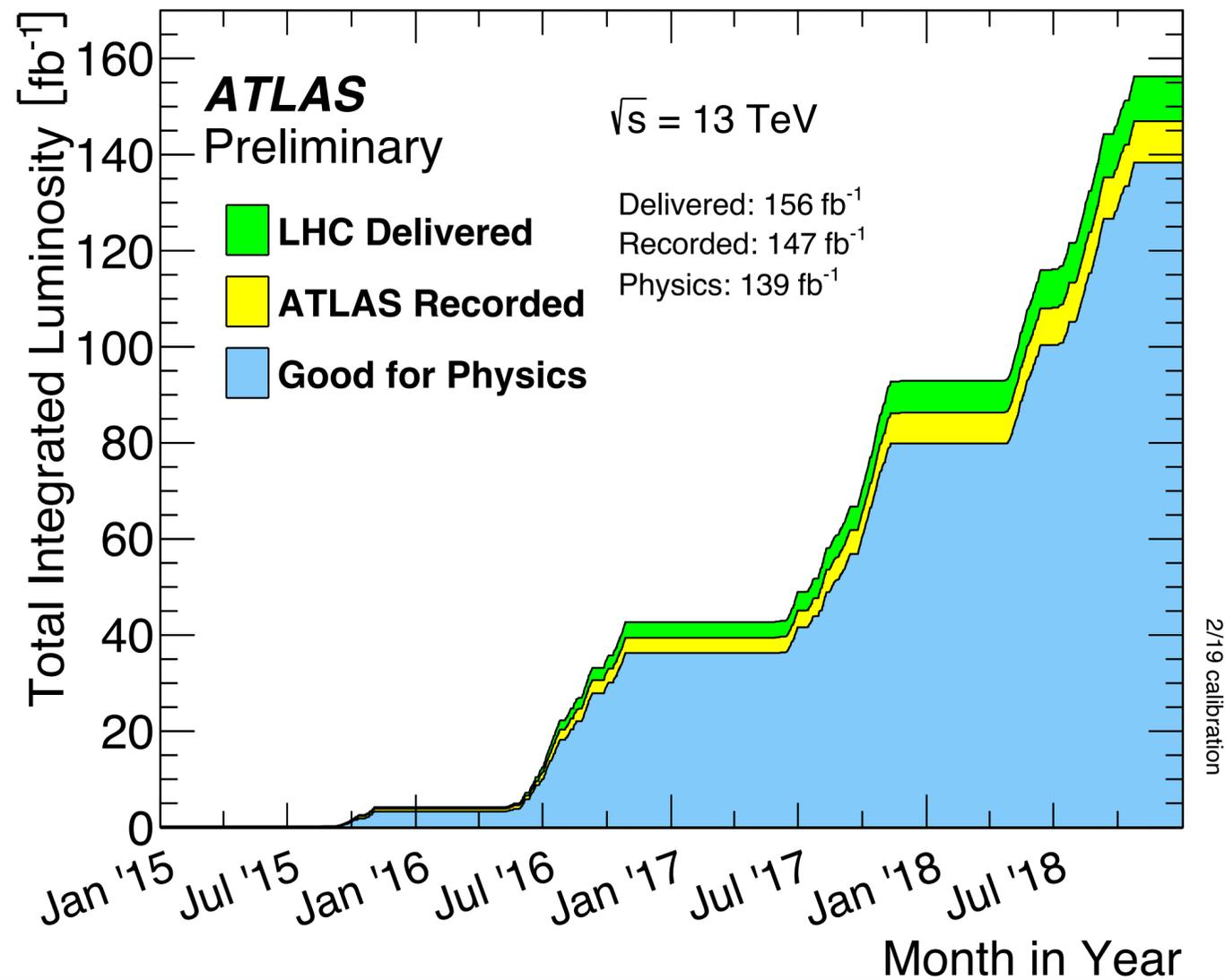
- Costruzione e mantenimento tracciatore a pixel e calorimetro LAr
- Upgrades : elettronica LAr, nuovo rivelatore a pixel, nuovo rivelatore timing, trigger di traccia

## Software e calcolo

- Centro di calcolo di Milano
- Software per i pixel, transverse missing momentum, ricostruzione elettroni e fotoni

## Analisi dati

- Misure di fisica del top, Higgs, fotoni
- Ricerche di supersimmetria, risonanze  $\gamma\gamma$ , HH production, Dark Matter



# I dati del run 2 sono una miniera di opportunità di fisica

Particle	Produced in 140 fb <sup>-1</sup> pp at $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$
Higgs boson	7.8 million
Top quark	275 million (115 million tt)
Z boson	8 billion ( $\rightarrow \ell\ell$ , 270 million per flavour)
W boson	26 billion ( $\rightarrow \ell\nu$ , 2.8 billion per flavour)
Bottom quark	~160 trillion (significantly reduced by acceptance)

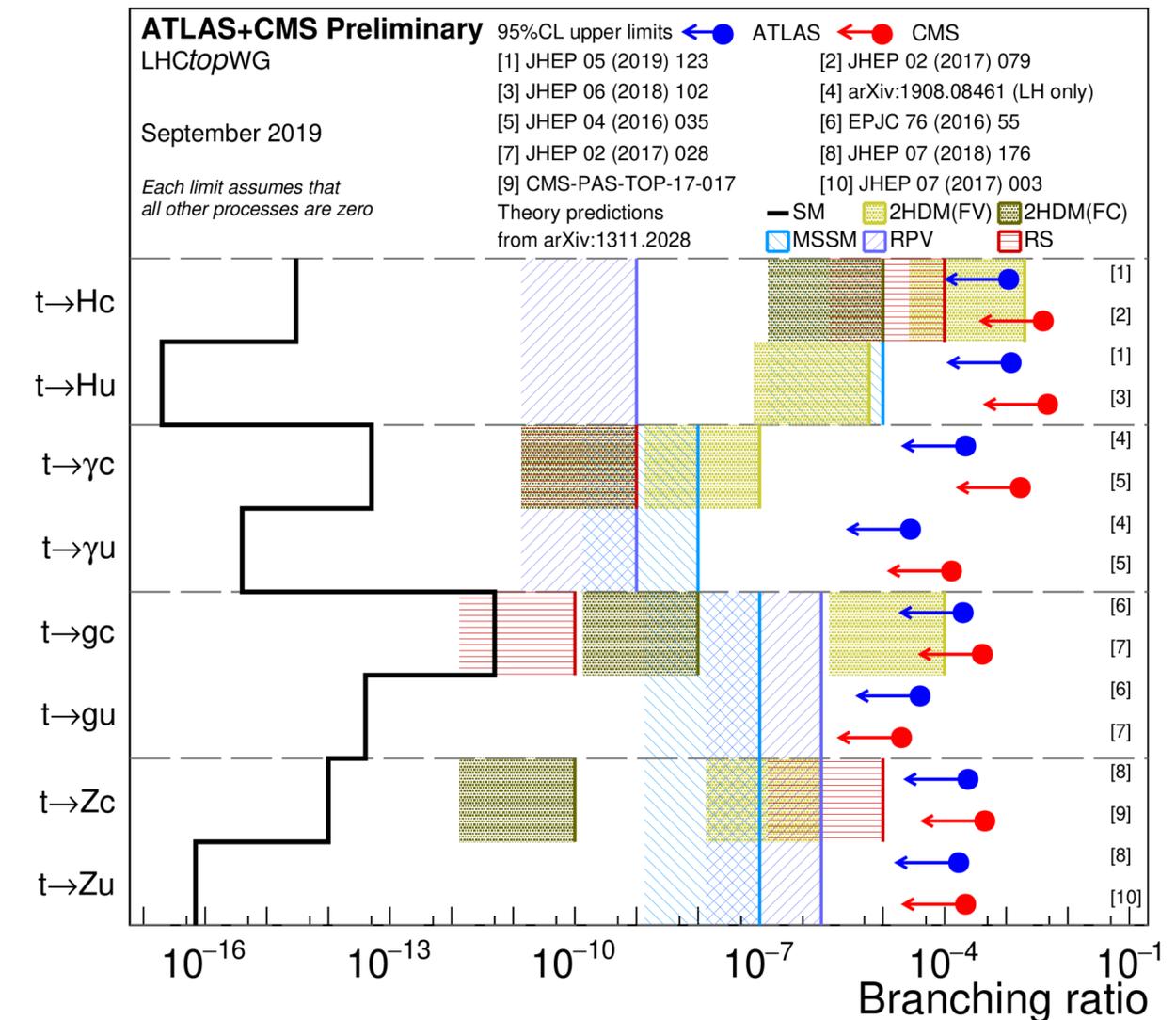
# Analisi dei dati di run 2

# Fisica con il quark top

Dell'Asta, Plebani\*

\* laureando

- Obiettivo : studio accoppiamento del quark top con la Z
- Analisi 1 : ricerca processi FCNC  $t \Rightarrow Zq$ 
  - Notevole miglioramento dei limiti per il BR in  $Zu(Zc)$
  - Analisi unblinded, target la conferenza Top2021 in Settembre
- Analisi 2 : misura produzione  $tZq$ 
  - Migliorare sezione d'urto inclusiva al 10%, prima misura sezione d'urto differenziale
  - Analisi appena iniziata, da completarsi nel 2022

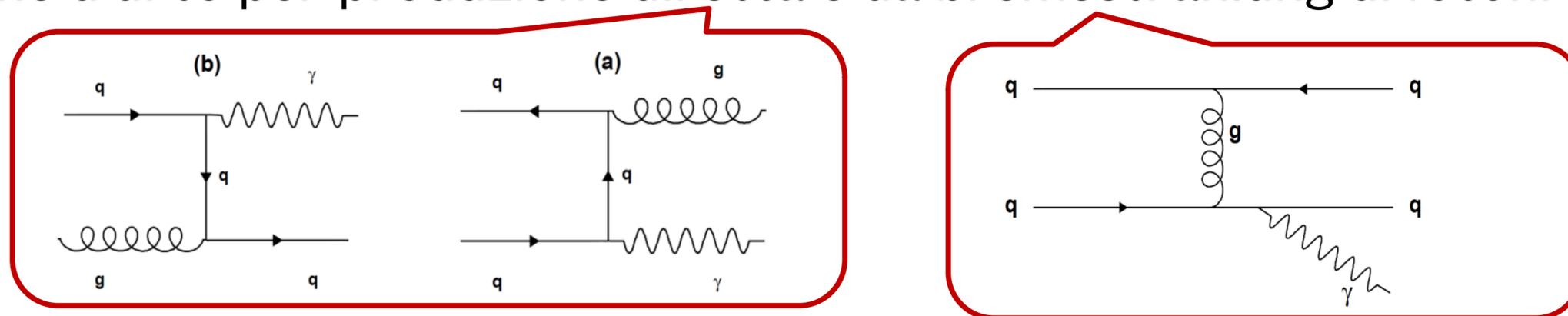


# Sezione d'urto fotoni

Carminati, Cella\*, Turra

\* laureanda

Obiettivo : sezione d'urto per produzione diretta e da bremsstrahlung di fotoni



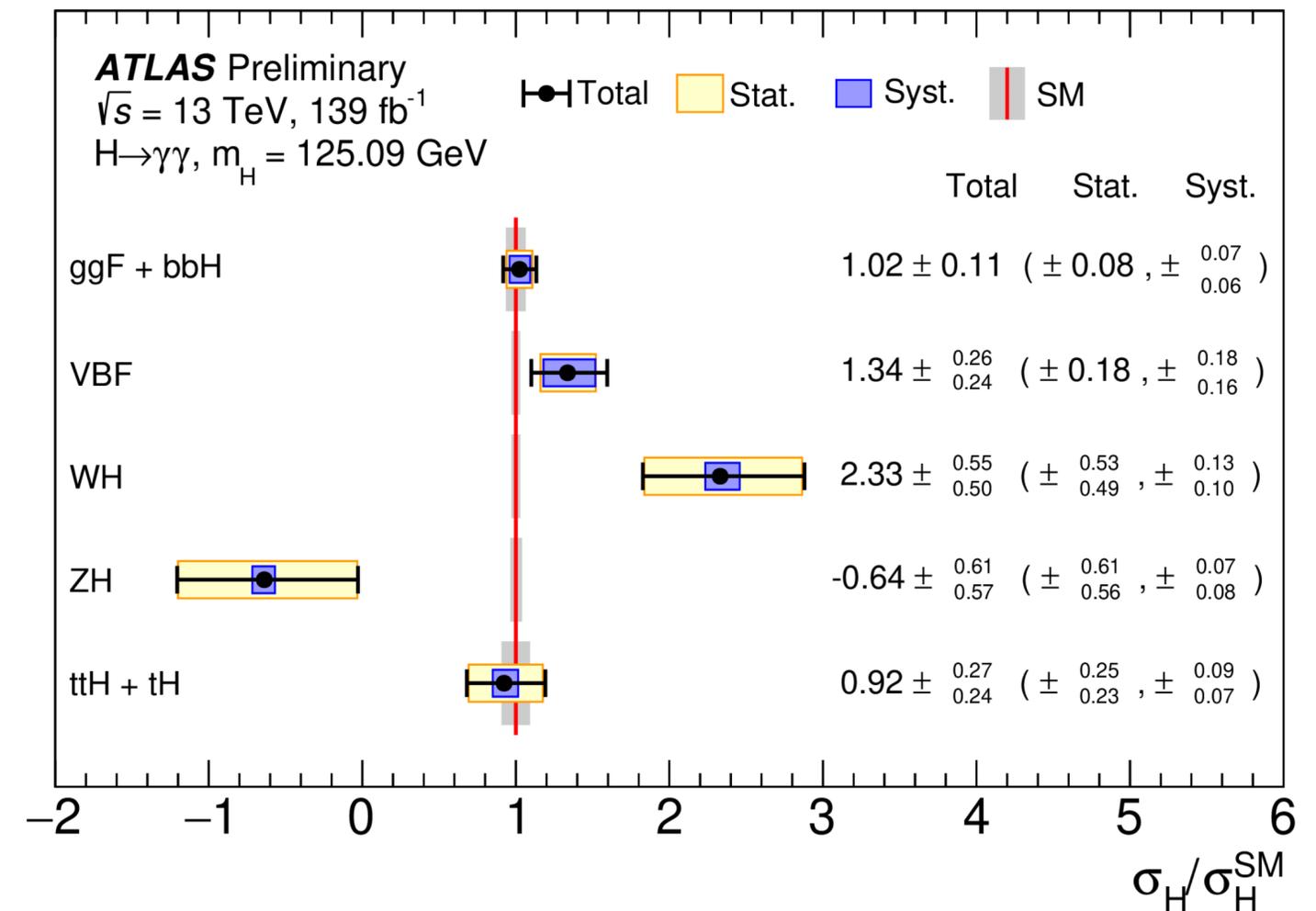
Divergenze collinari nell'emissione dei fotoni sono assorbite nelle funzioni di frammentazione che non sono calcolabili teoricamente

La misura con l'isolamento di Frixione ([arXiv:hep-ph/9809397](https://arxiv.org/abs/hep-ph/9809397)) permette di eliminare il contributo di frammentazione

# Higgs : sezione d'urto

Carminati, Mungo (PhD), Turra

- Le misure dell'Higgs sono critiche per capire se la rottura di simmetria elettrodebole è descritta dal Modello Standard
- Milano lavora con il canale di decadimento  $\gamma\gamma$
- Un'analisi ottimizzata con multiclassification e D-optimality misura 27 sezioni d'urto da 88 categorie di eventi osservate - input ottimale per la teoria
- Stiamo preparando l'articolo finale sulle misure del run2 e la combinazione con gli altri canali

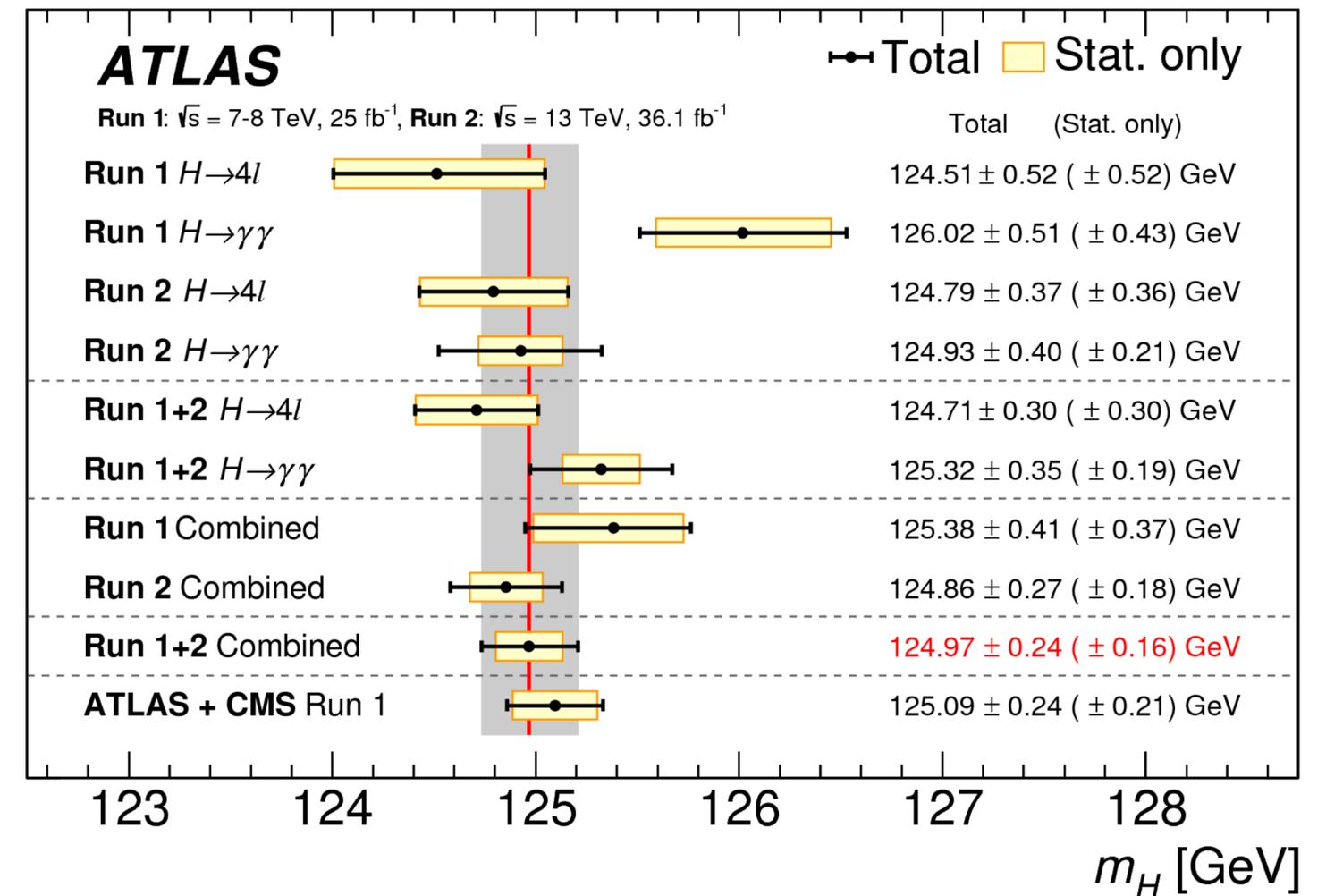


# Higgs : massa

Carminati, Mungo (PhD), Nasella\*, Turra

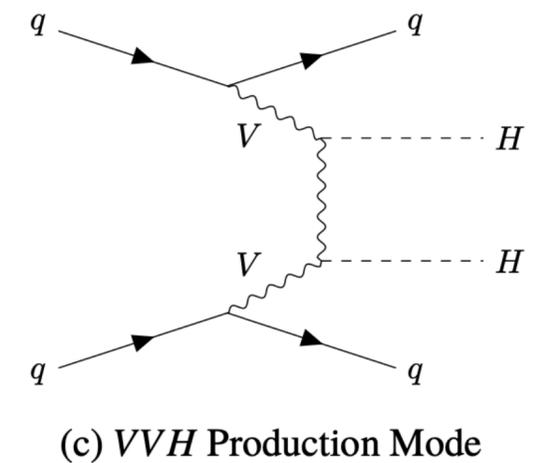
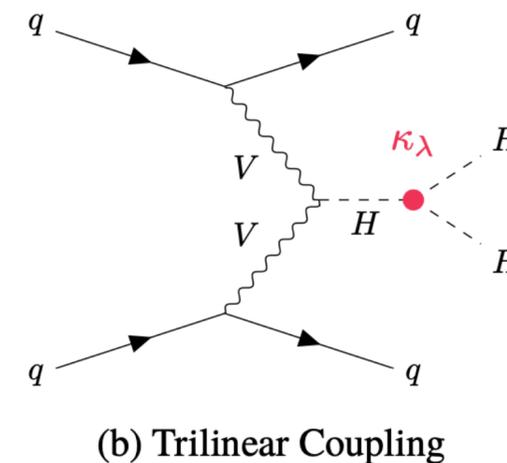
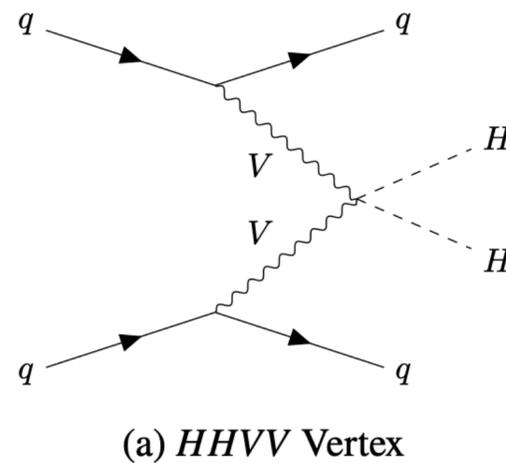
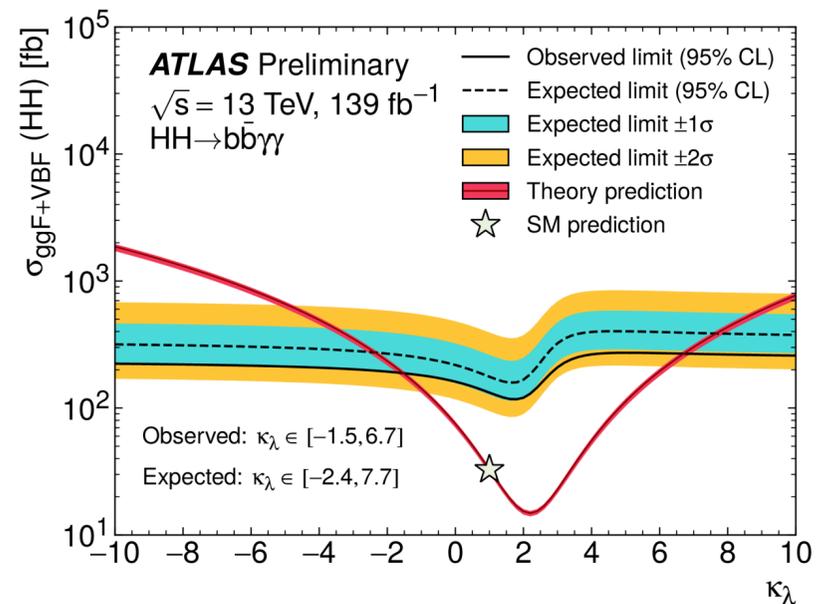
\* laureanda

- Parametro fondamentale del Modello Standard e test di consistenza della teoria
- Misura limitata dalle sistematiche sulla calibrazione dei fotoni
- Risultato dipende da un'ottima comprensione del rivelatore e l'ottimizzazione nell'uso degli eventi a seconda del loro sistematico e rapporto segnale/fondo per minimizzare l'impatto delle sistematiche
- Stiamo preparando l'articolo finale con la misura del run 2



# HH

- L'osservazione di produzione di coppie di Higgs darebbe informazioni cruciali sul potenziale di Higgs e la rottura di simmetria elettrodebole
- Accessibile ad HL-LHC, a meno di grosse deviazioni dal Modello Standard degli accoppiamenti
- Abbiamo fatto uscire un forte risultato in  $bb\ \gamma\gamma$  con tutti i dati di run 2 recentemente
- Miglioramento in corso : vincolare simultaneamente i due accoppiamenti per sfruttare i diversi meccanismi di produzione in modo ottimale

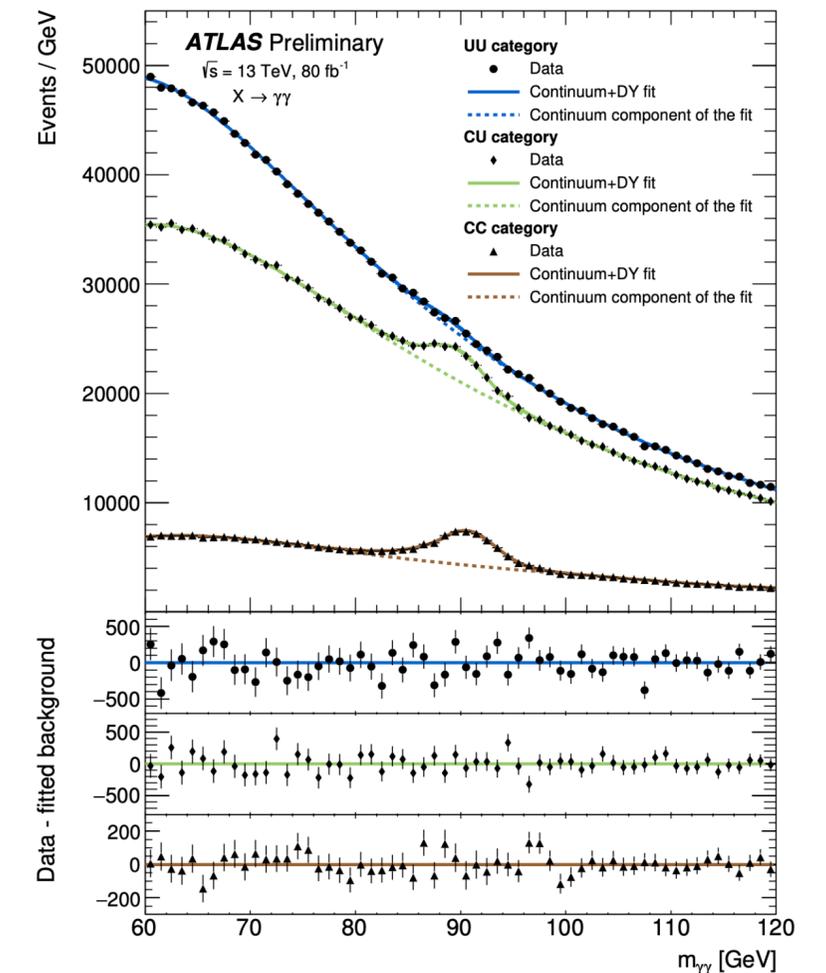
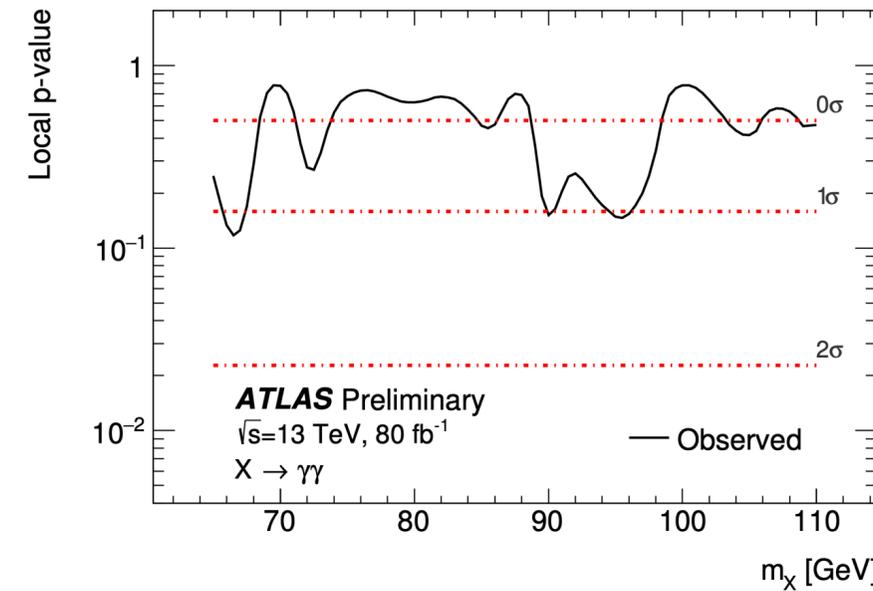


# Risonanze $\gamma\gamma$

Carminati, Mungo (PhD), Turra, Visibile\*

\* laureando

- Ricerca di ulteriori risonanze a bassa massa (65-115 GeV)
- Verifica del modesto eccesso ( $3\sigma$ ) visto da CMS (ma non da ATLAS) coi dati 2015-16 a 95 GeV
- Necessario controllare Zee ricostruito come due fotoni (stima del fake rate  $e \Rightarrow \gamma$ )
- Miglioramento separazione  $e/\gamma$  con BDT



# Materia Oscura

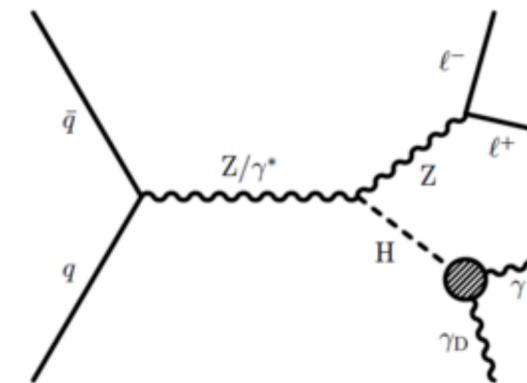
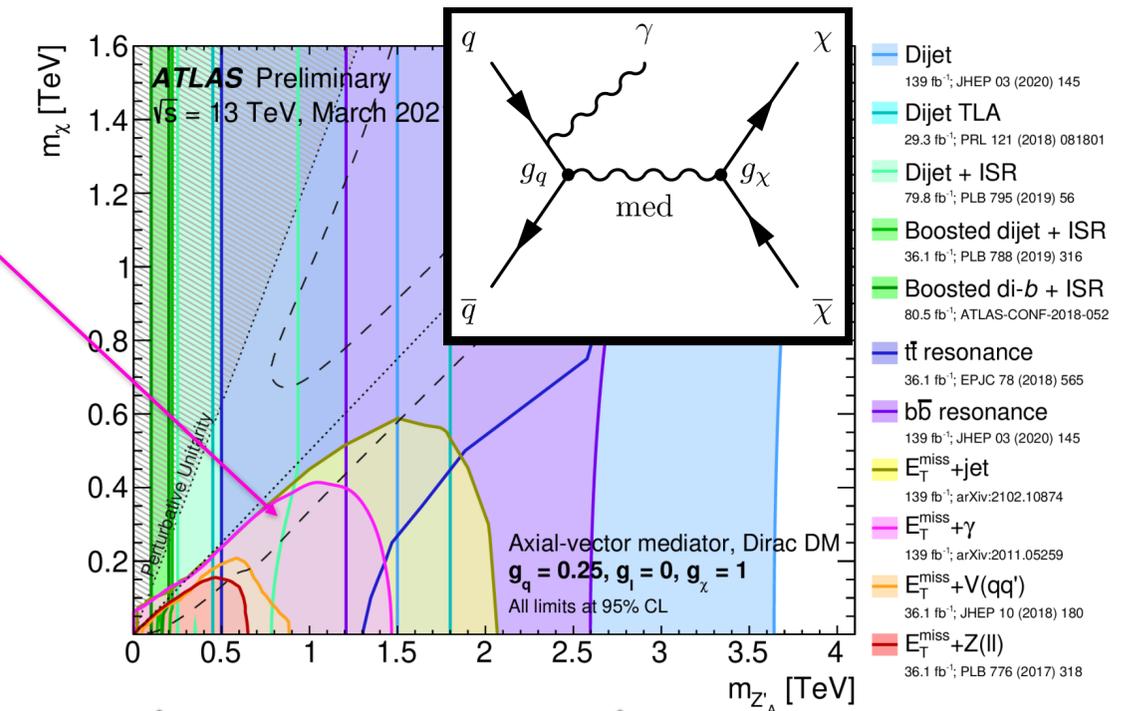
Carminati, Cavalli, Fanti, Fugante\*, Mancuso\*, Mazzeo\*, Mitta\*, Mungo (PhD), Nasella\*, Piazza (PhD), Pullia\*, Resconi, Tantucci\*

\* laureandi

**✓ DONE** Search for dark matter in association with an energetic photon in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV with the ATLAS detector, *JHEP* 2021, 226 (2021), [https://doi.org/10.1007/JHEP02\(2021\)226](https://doi.org/10.1007/JHEP02(2021)226) (contact editor and main analyser from Milano)

**IN PROGRESS** Search for massless dark photon ( $\gamma_D$ ) in decays of Higgs boson produced in association with Z boson ( $ZH \rightarrow \gamma\gamma_D$ ) in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13$  TeV (main analyser from Milano)

Coinvolti in : definizione della strategia di analisi, stima dei fondi principali con tecniche in-situ, valutazione delle sistematiche

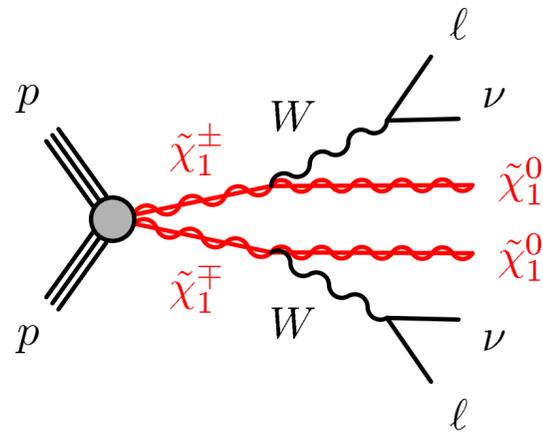


# Supersimmetria

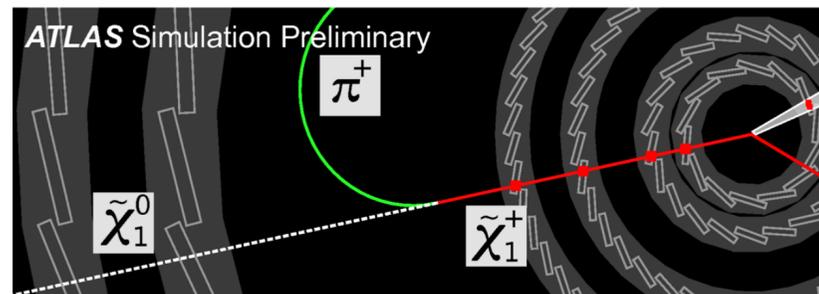
Andreazza, Ballabene (PhD), Dradi\*, Lari, Murrone

\* laureando

Target : processi di produzione elettrodeboli, per cui i limiti di LEP continuano ad essere validi se le differenze di massa sono abbastanza piccole (difficili da triggerare e separare dal fondo a un collisore adronico).



Analisi per  $\Delta m(\chi^\pm, \chi^0) = 20-100$  GeV : ricostruzione leptoni di basso momento, **reti neurali** per separare segnale e fondo



Analisi per  $\Delta m(\chi^\pm, \chi^0) = 0.5-2$  GeV : identificazione **pioni soffici** prodotti a una certa distanza dalla collisione primaria

*We choose **electroweak production with compressed spectra at an hadron collider** and do the other things, not because they are easy, but because they are hard, because that goal will serve to organize and measure the best of our energies and skills, because that challenge is one that we are willing to accept, one we are unwilling to postpone, ...*

---

# Performance, rivelatori, calcolo

- **ITK e pixel software**

- E. Ballabene (PhD) e T. Lari (**coordinatore ITK pixel software**)
- Pixel : studi effetti del danno da radiazioni. ITK pixel : simulazione e risposta del rivelatore

- **Elettroni e fotoni**

- L. Carminati e R. Turra (**prossimo convener del gruppo**)
- Identificazione di fotoni, classificazione elettroni/fotoni, calibrazione, ricostruzione vertice primario in  $H \Rightarrow \gamma\gamma$

- **Momento trasverso mancante MET** (indica la presenza di neutrini o altre particelle debolmente interagenti)

- F. Piazza (PhD), calcolo della MET con global particle flow, S. Resconi, D. Cavalli

- **Calcolo**

- L. Carminati (**responsabile calcolo ATLAS Italia**), L. Perini, D. Rebatto (**responsabile del centro di calcolo Tier-2 di Milano**)

- **Fondo cosmico e di fascio** : S. D'Auria

# ATLAS Weekly News

6 July 2021



Foto : la prima new small wheel [rivelatore trigger muoni] che viene trasportata a point-1 per essere installata



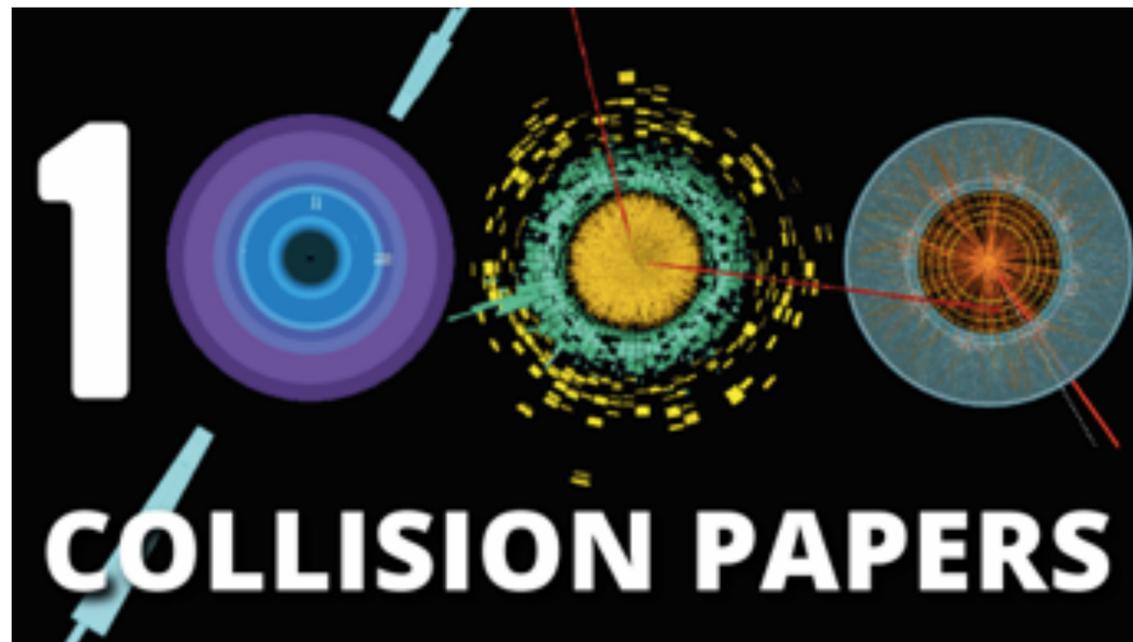
# Verso il run 3

---

# ATLAS : obiettivi di fisica

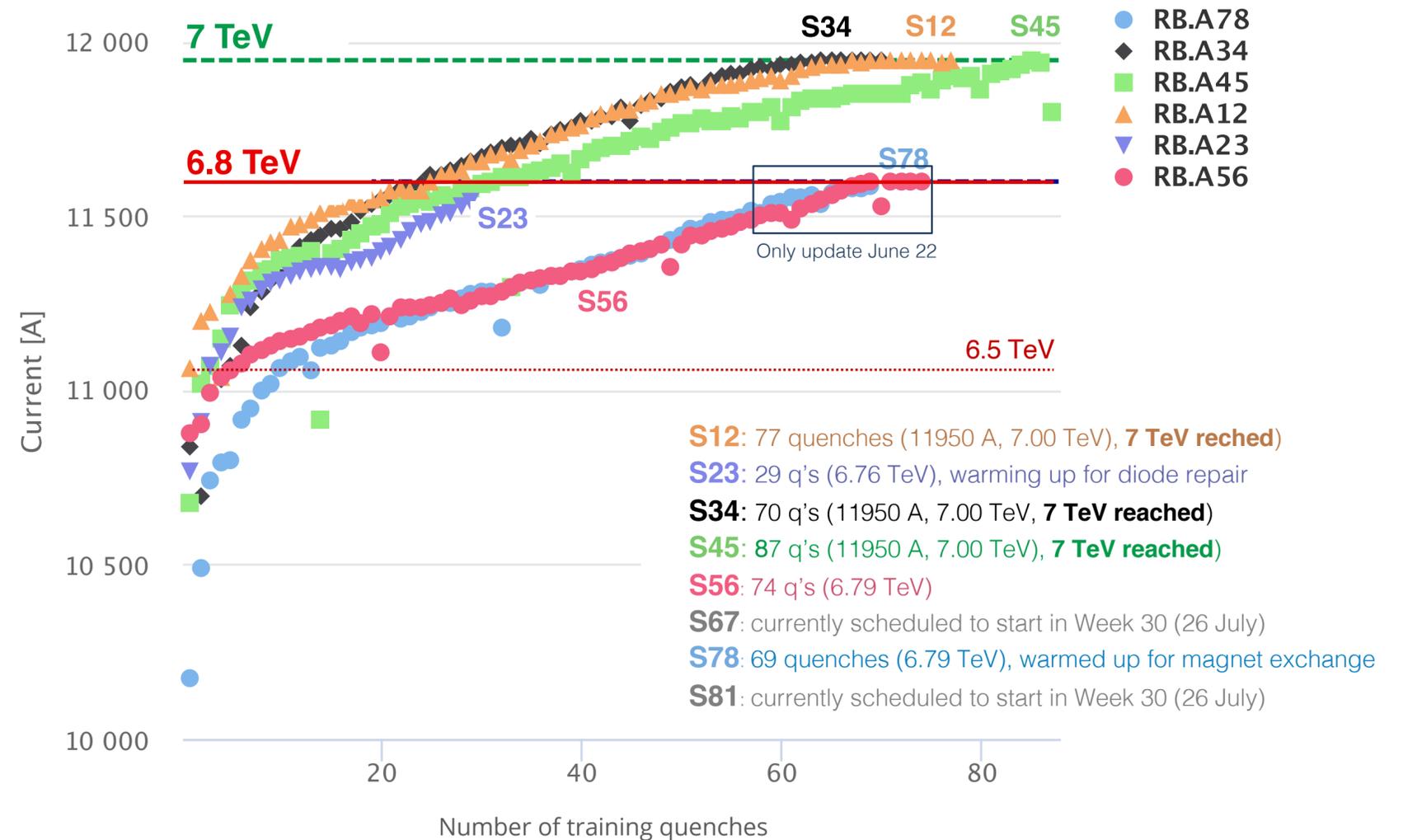
- Scoperta e misura delle proprietà del bosone di Higgs
- Ricerca di fisica oltre il modello Standard
- Misure di precisione delle particelle del Modello Standard

Centinaia di misure possibili; in effetti dal 2010 abbiamo pubblicato



# Partenza del nuovo run

- pilot run (fasci a 450 GeV) in Ottobre
- prime collisioni a 13-14 TeV in Marzo
- training magneti in corso (figura). Target 6.8+6.8 TeV
- Rivelatori in commissioning, presa dati con cosmici (**D'Auria shift leader**)



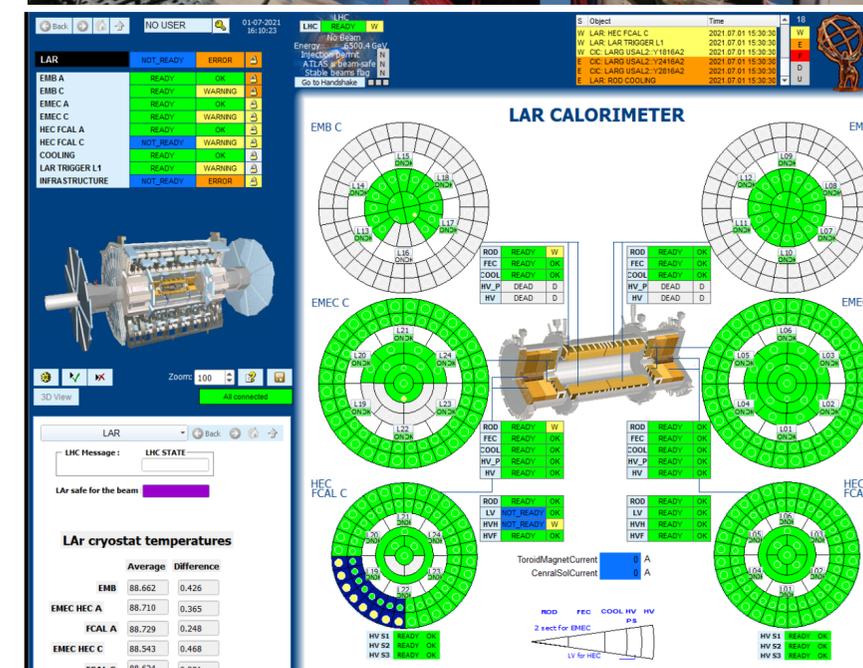
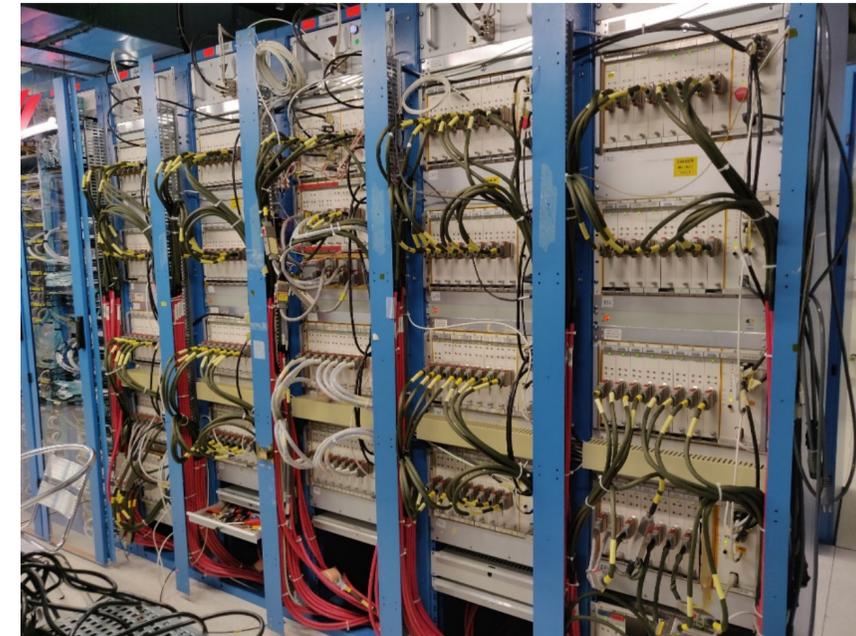
# LAr HV upgrade e manutenzione

L'alta tensione per il calorimetro LAr è una responsabilità di Milano (**Mungo responsabile HV**)

Upgrades/maintenance in corso :

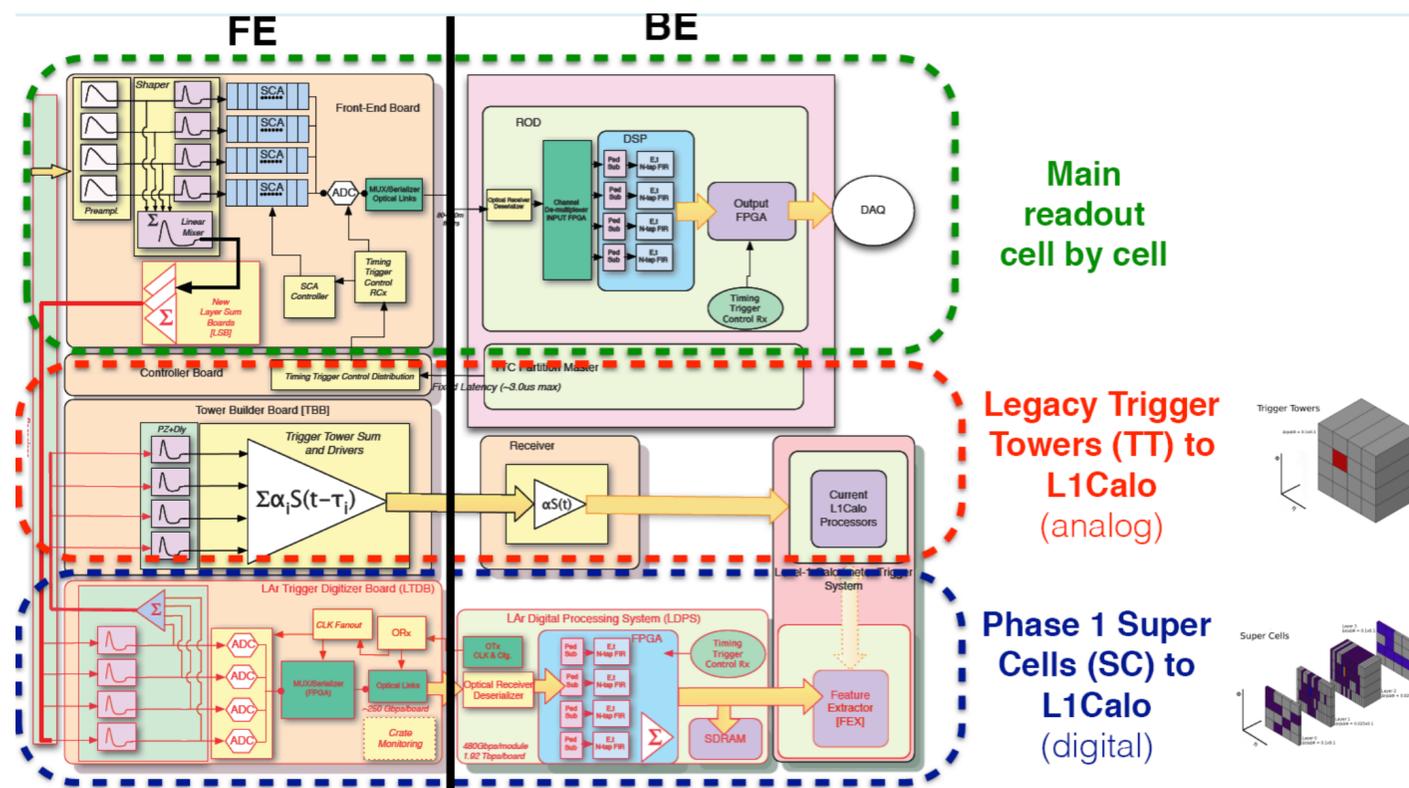
- Nuovi generatori di tensione
- Nuovi server Linux e nuovo software per il controllo del sistema

Test di commissioning in corso; ci serve avere il sistema di controllo del rivelatore in funzione per il pilot run



# Upgrade LAr: trigger

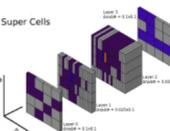
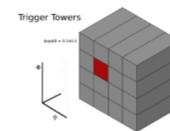
- Aumento 10x della granularità usata nel trigger per mantenere le soglie al livello del run 2, nonostante la maggiore luminosità
- Richiede un nuovo LAr Trigger Digitizer Board (LTDB) per creare le super-celle che sono poi mandate a 40 MHz alla nuova scheda di back-end



Main readout cell by cell

Legacy Trigger Towers (TT) to L1Calo (analog)

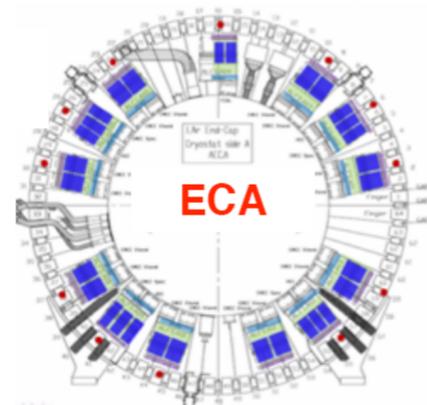
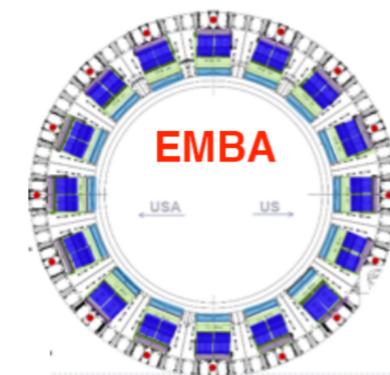
Phase 1 Super Cells (SC) to L1Calo (digital)



# Upgrade LAr : stato

Carbone, Citterio, Latorre, Lazzaroni, Sabatini, Tartarelli

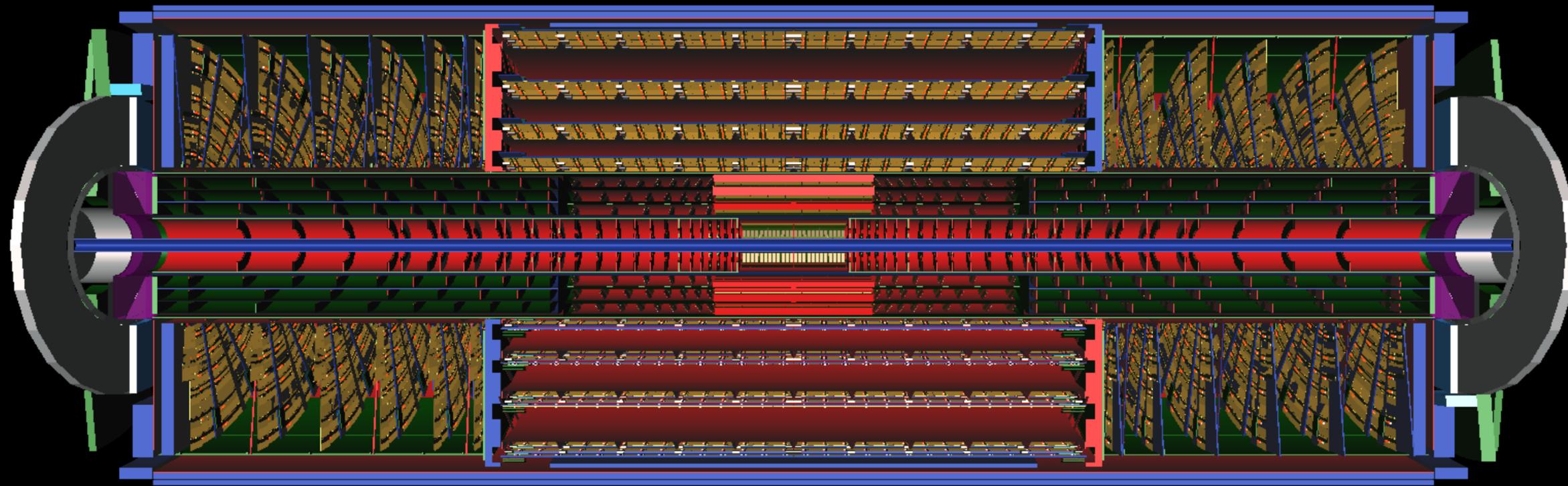
- Bisogna rimpiazzare tutte le scatole di front-end. Un lato del rivelatore (A) completo, al lavoro sull'altro lato (C)
- Gli 8 baseplane prodotti a Milano sono stati già installati
- 122/124 LTDB già al CERN, tutti con le schede di distribuzione di tensione (PDB) progettate e costruite a Milano
- Ancora da fare a Milano :
  - 6 schede da produrre per sistemare un problema di cablaggio
  - PDB di scorta da produrre



- All LTDBs delivered to CERN, except 2 that are expected by end of June
- spares under repair/test

 baseplane exchanged  
FEC with legacy boards reinstalled  
(3rd step)

 **DONE**  
Completely refurbished and recabled FEC with two LTDBs and replaced LVPS cooling hoses  
\* LVPS intervention performed in parallel to the installation

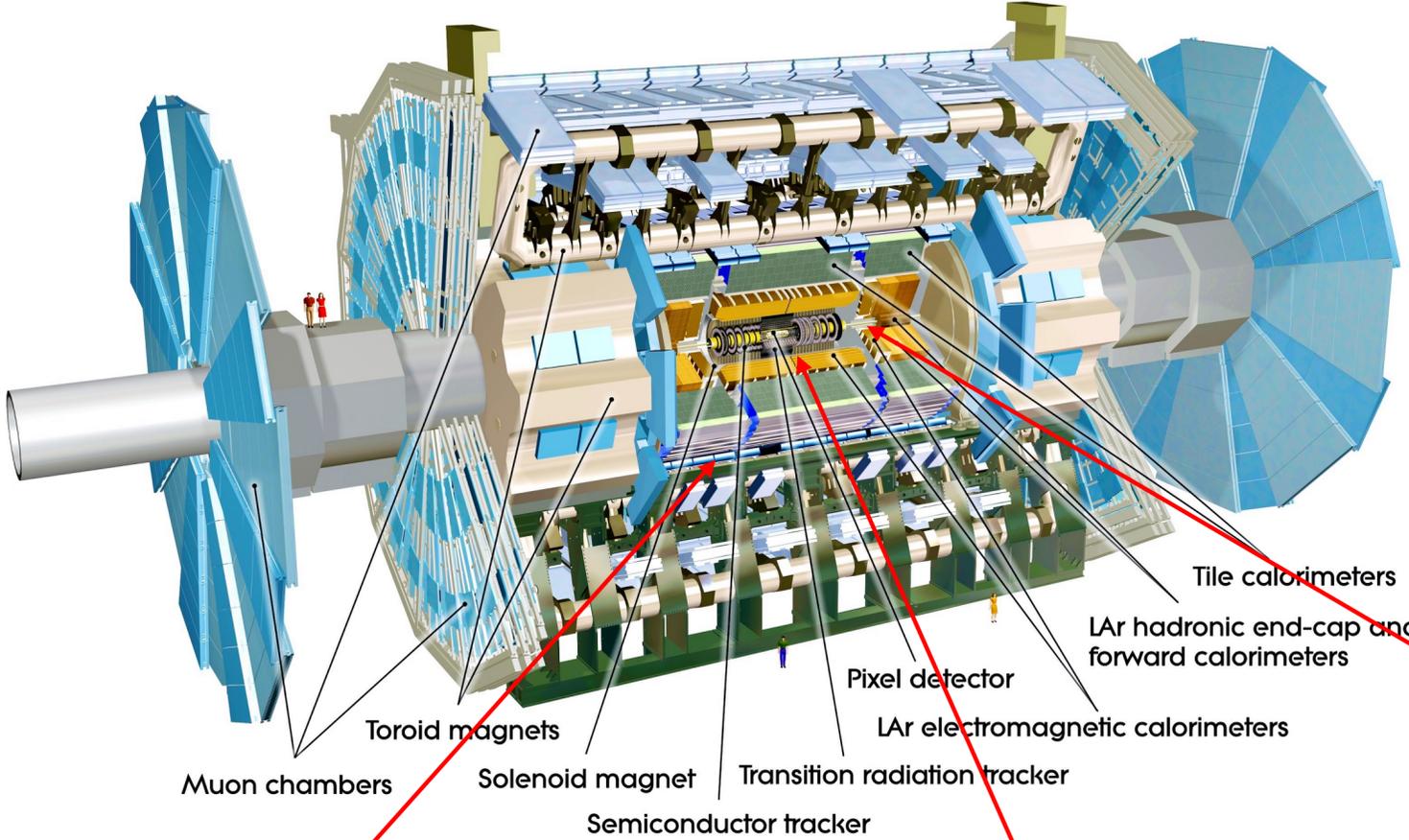


---

# Upgrade di fase 2

---

# Attività per HL-LHC a Milano



**New Muon Chambers**  
Inner barrel region



**New Inner Tracking Detector (ITk)**  
All silicon, up to  $|\eta| = 4$

**Upgraded Trigger and Data Acquisition system**

L0 at 1 MHz  
Improved High-Level Trigger (100 kHz full-scan tracking)



**Electronics Upgrades**

LAr Calorimeter  
Tile Calorimeter  
Muon system



**High Granularity Timing Detector (HGTD)**

Forward region  
Low-Gain Avalanche Detectors (LGAD)



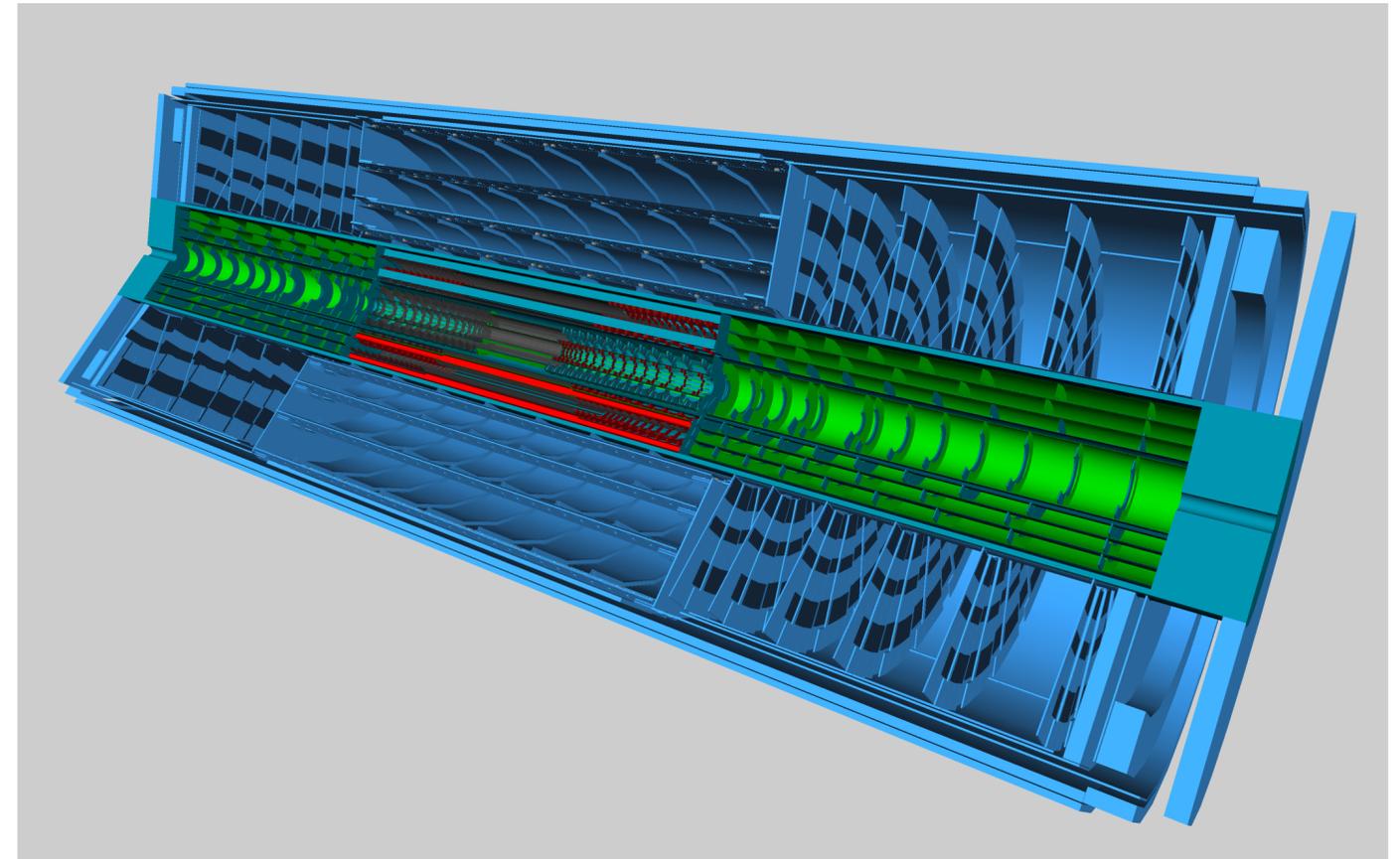
**Additional small upgrades**

Luminosity detectors  
HL-ZDC

Alimonti, Andreani\*\*, Andreatza, Ballabene (PhD), Capsoni\*\*, Carbone, Cervato, Citterio, Coelli\*\*, D'Auria, Dell'Asta, Fioriti, Giugni, Lari, Manca\*\*, Monti\*\*, Murrone, Petri, Raciti\*, Sabatini\*\*, Vigano\*\*, Viscione\*\*

\* laureanda \*\* servizi (officina, elettronica)

- Sostituzione totale dell'attuale tracciatore.
- Full silicon : 5 layer di pixel, 4 doppi layer di strip, accettanza  $|\eta| < 4$
- L'INFN partecipa alla costruzione dei pixel (uno degli endcap + sensori 3D per lo strato più interno)
- Attività Milano :
  - Montaggio e test dei moduli
  - Sviluppo, test e costruzione del sistema di raffreddamento dell'outer endcap



# ITK - outer endcap cooling

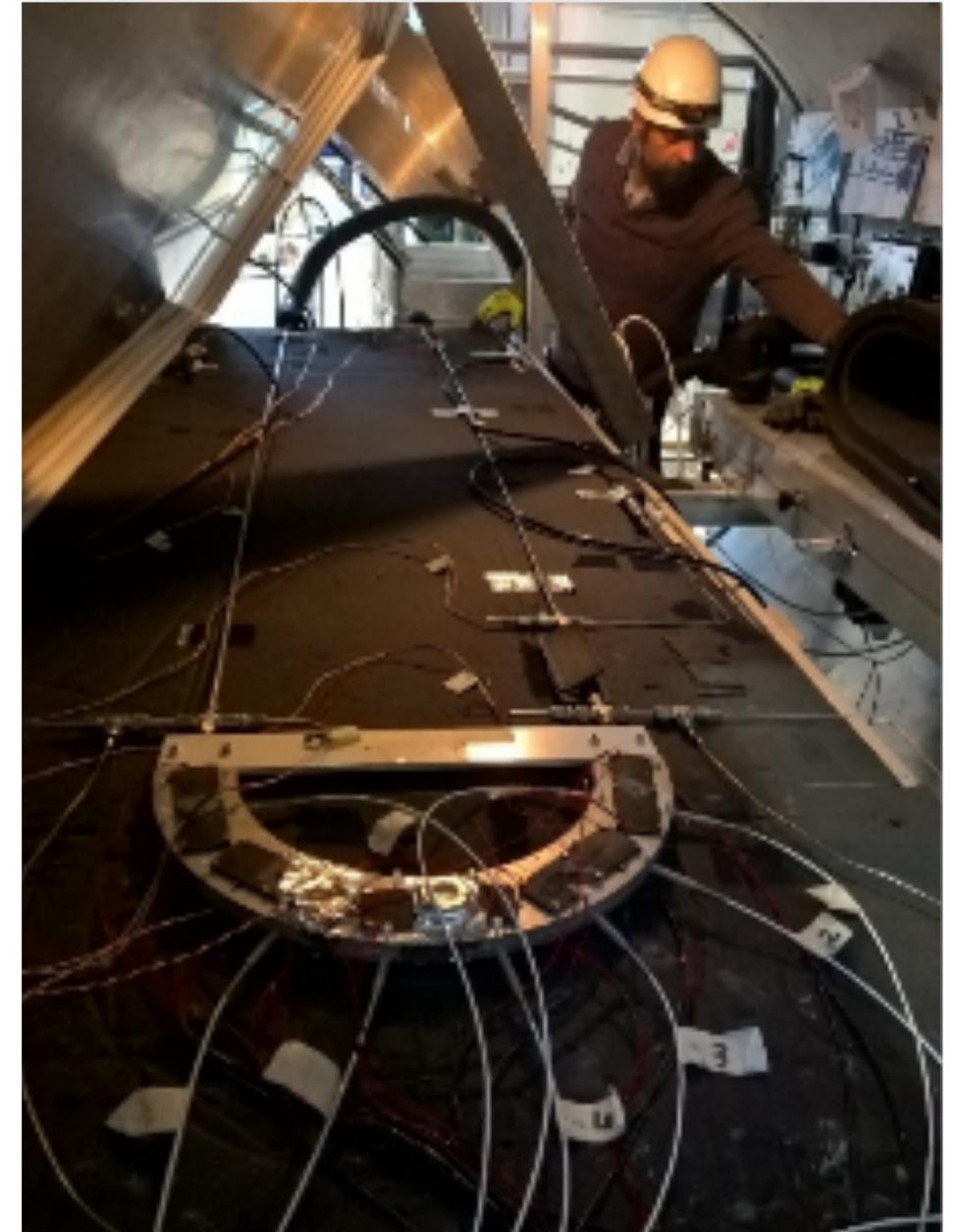
Review e attività correlate :

Bare local support **Final Design Review** [10.2021]

- Test al CERN di una linea di raffreddamento. Setup pronto, disponibilità della facility al CERN (Baby Demo) per 30.08 - 10.09
- Analisi a Elementi Finiti per lo studio delle performance termiche e della stabilità meccanica del sistema

Global mechanics **FDR** [04.2022]

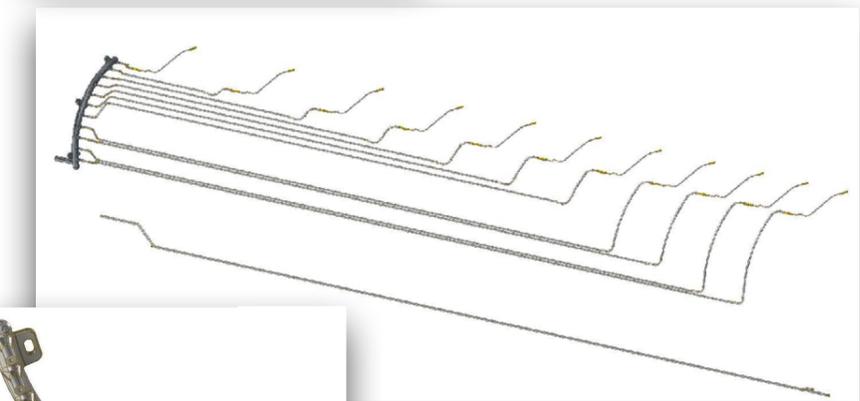
- Test di un setup semplificato delle linee di raffreddamento di un layer. Setup da montare a Milano, test al Baby Demo a fine anno



# ITK -outer endcap cooling

Attività di costruzione del rivelatore 2021/22

- Qualifica dell'officina di Milano come sito di saldature tubi in titanio. Saldatura orbitale e macchina taglia-tubi in via di acquisizione
- Costruzione delle linee di raffreddamento on-detector [07.2022-12.2022]. Produzione degli evaporatori (saldatura e test) e della box per il loro trasporto.
- Costruzione delle linee di raffreddamento off-detector [06.2022-04.2023].
  - Produzione dei tooling di supporto delle linee
  - Stampa 3D dei manifold in titanio con il laboratorio LAMA di Udine
  - Saldatura tubi in titanio al manifold e test
  - Produzione della box di trasporto dei manifold + linee

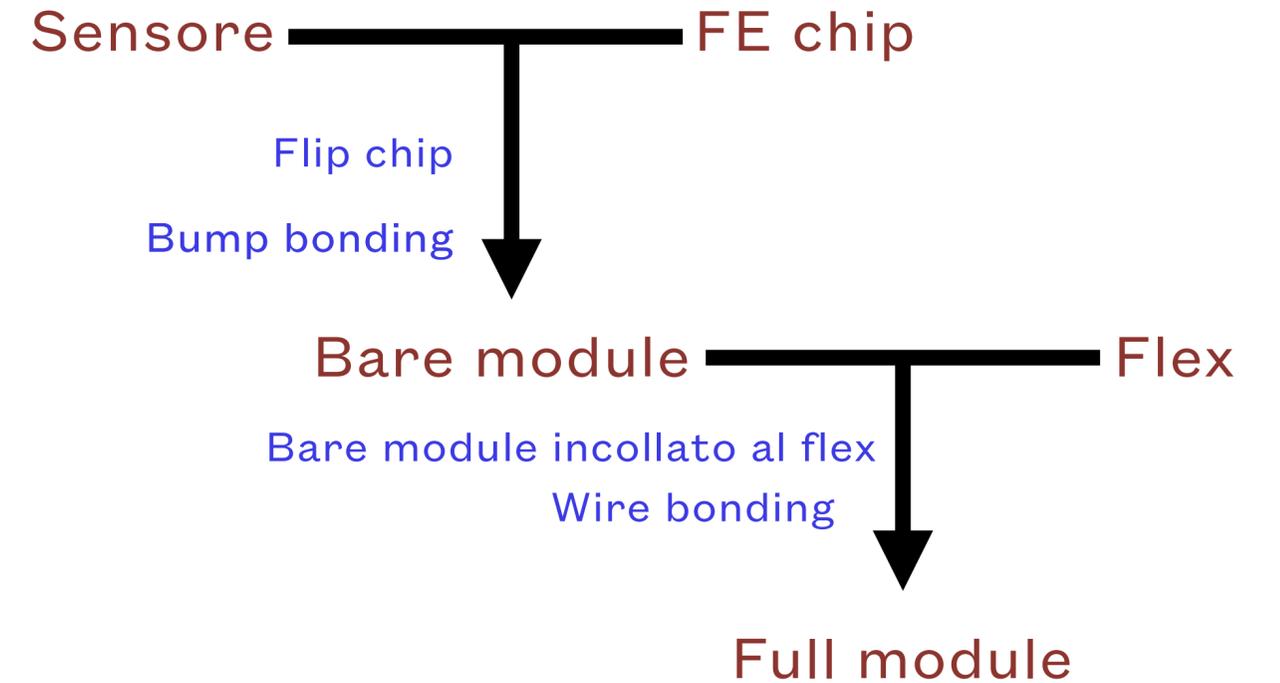


# ITk Moduli

Diversi tipi di moduli previsti nel rivelatore:

- Sensori 3D nel layer più interno ( $R=34\text{ mm}$ ,  $\text{NIEL}=10^{16}\text{ n/cm}^2$ )
- Sensori planari

Quota INFN 100 moduli, ~10% del rivelatore (Milano e Genova)



# ITK moduli

Processo di produzione messo a punto con prototipi dell'elettronica di lettura (RD53A)

## 1. Bump bonding tra sensore e front-end di elettronica

- qualificata Leonardo SpA per bump bond con Indio
- tender per la produzione in preparazione

## 2. Test sotto punte dopo bump-bonding

## 3. Integrazione con ibrido flessibile

- Tecniche diverse per 3D (pick-and-place) e planari (jig calibrati)
- **Completata qualifica per costruzione moduli planari**
- 3D in autunno

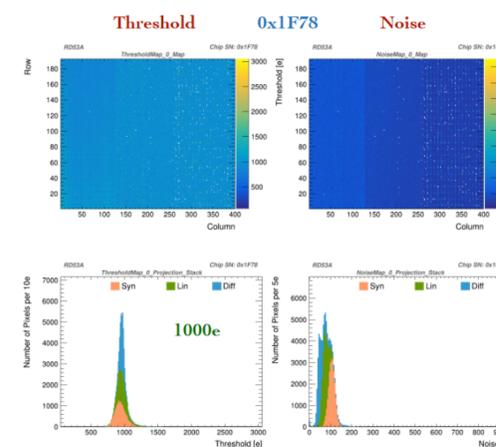
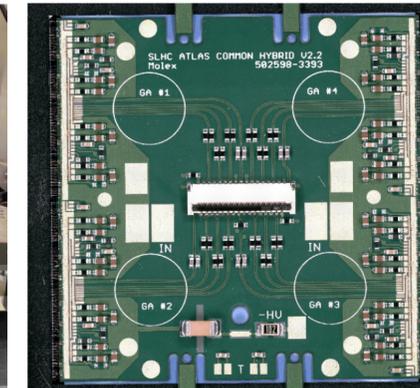
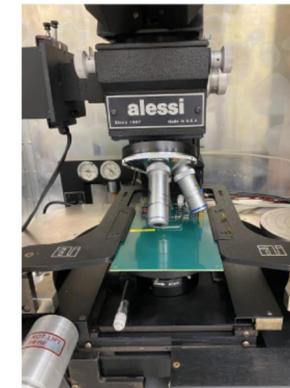
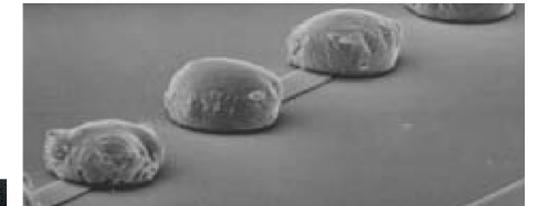
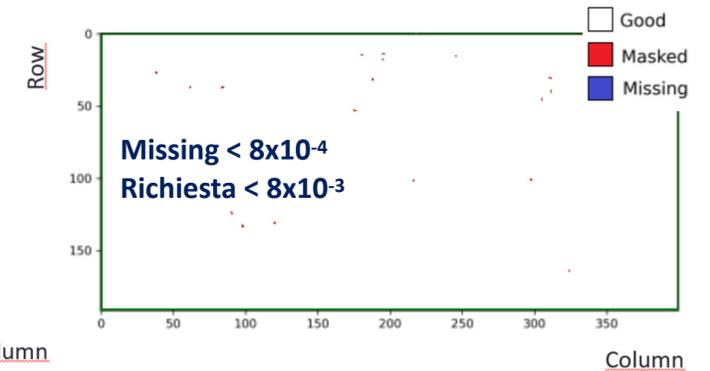
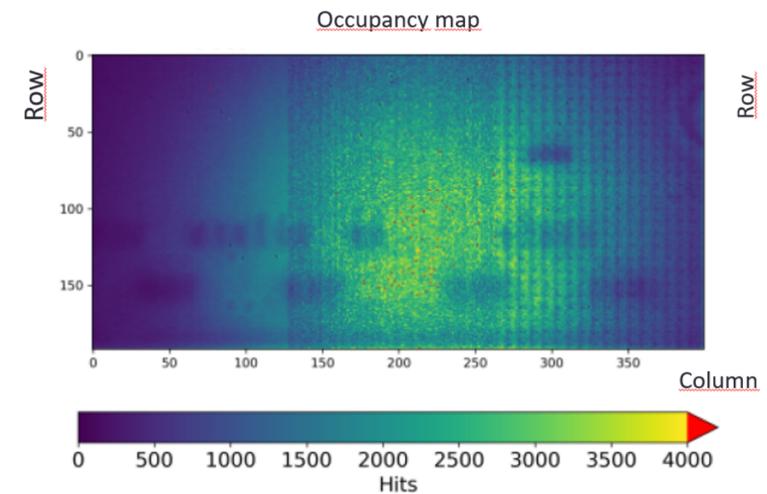
## 4. Wire bonding

- Consegnata nuova macchina F&K M17L

## 5. Coating con parylene

- Protezione wire bond e HV
- Gara in corso per l'acquisto della macchina per la produzione italiana

## 6. Caratterizzazione moduli e test con raggi X



macchina raggi x

---

# ITk moduli

Nel 2022 rendere operativa la catena di produzione

- Chip di preproduzione ITkPixV1.1 (binary readout)
- Pre-produzione ~50 moduli
- Produzione a regime nel 2023-2025 con elettronica definitiva (~500 moduli)

Varie responsabilita' individuali : **Andreazza responsabile produzione moduli, D'Auria convener sottogruppo test, contatto parilenizzazione siti italiani**

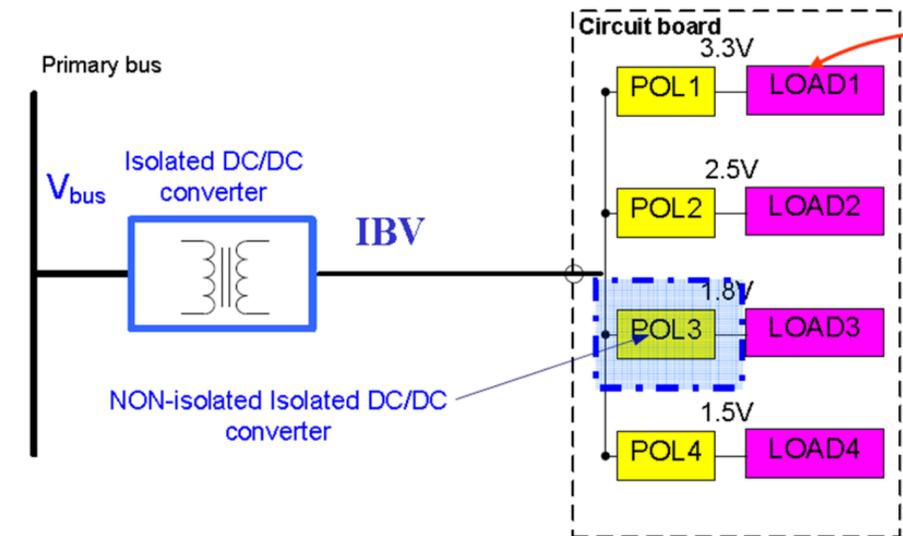
**Due persone al CERN (Fioriti e Ballabene) per validare il chip di elettronica e fare il test dei moduli**

# Elettronica LAr in fase 2

Carbone, Citterio, Latorre,  
Lazzaroni, Riva\*, Tartarelli

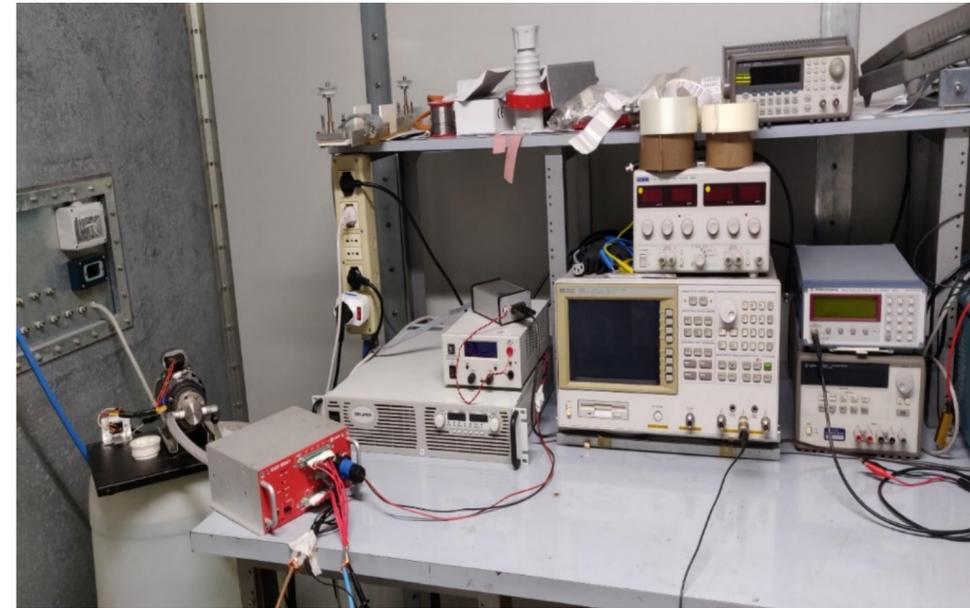
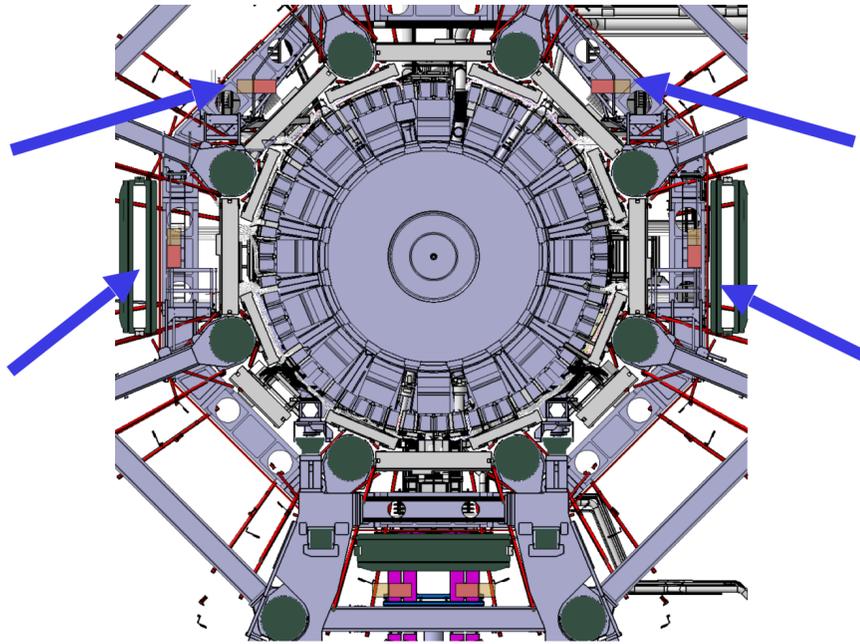
\*laureando

- Tutta l'elettronica del calorimetro LAr va sostituita per essere compatibile con la DAQ di fase 2
- La nuova elettronica di FE funzionerà a tensioni più basse per cui il sistema di alimentazione va riprogettato
- Milano ha la responsabilità per
  - lo schema di alimentazione ed gli alimentatori (LVPS) per il bus intermedio a 48 V
  - lo schema DC/DC per passare da 48 V ai 1.2/2.5 V delle nuove schede di front-end
  - le nuove mezzanine (PDB2) per le schede di trigger che vanno a sostituire quelle (PDB) già prodotte per fase 1



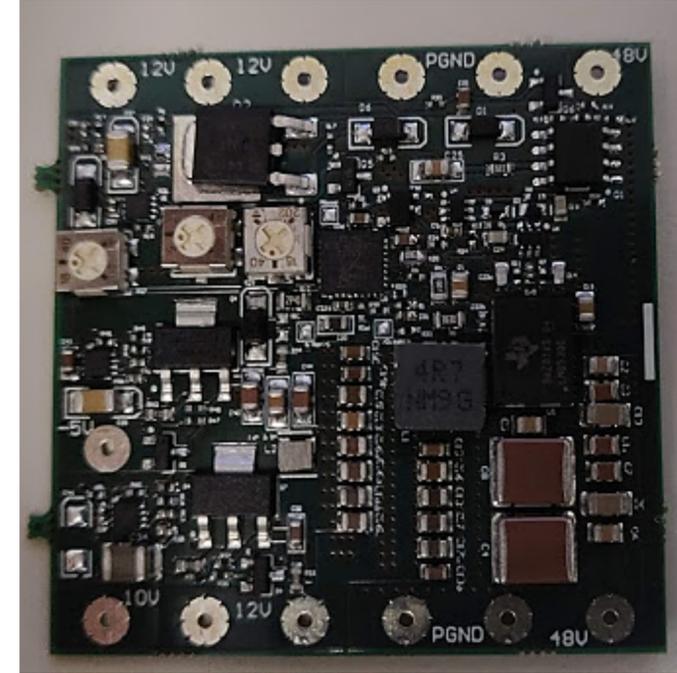
# Upgrade elettronica LAr fase 2

- Sono state individuate le posizioni in ATLAS per i 58 nuovi LVPS, nell'area dei toroidi (assicura che il campo magnetico stia entro le nostre specifiche,  $< 0.6$  T)
- Finalizzazione delle specifiche LVPS per procedere ad ordinare un prototipo (in particolare la potenza massima, circa 4 kW, che dipende dall'elettronica del crate di front-end)
- Fino a oggi effettuati test con un prototipo della CAEN a potenza ridotta (1.2 kW) in laboratorio ed in gabbia di Faraday



# Sviluppo di DC/DC converter 48 => 12 V

- Sviluppo custom di un DC/DC converter 48 → 12 V rad hard
- Già prodotta una mezzanina per testare la soluzione proposta
  - buoni risultati in termini di stabilità e rumore
- Prevista una nuova produzione a breve per correggere alcuni problemi riscontrati e ridurre ulteriormente il rumore
- Effettuati test con raggi X al CERN, neutroni ancora da fare (ritardi dovuti al Covid)
- Nei prossimi mesi riceveremo un prototipo della scheda di front-end (FEB) per testare la nostra mezzanina
- Test molto importante per validare questa soluzione di alimentazione con l'intera catena di alimentazione (AC/DC converter, cavi, etc...)
- Passo successivo, già in via di progettazione : mezzanina che converta direttamente da 48 V alle tensioni di alimentazione dell'elettronica della scheda di front-end: 1.2 V, 2.5 V



Mezzanine

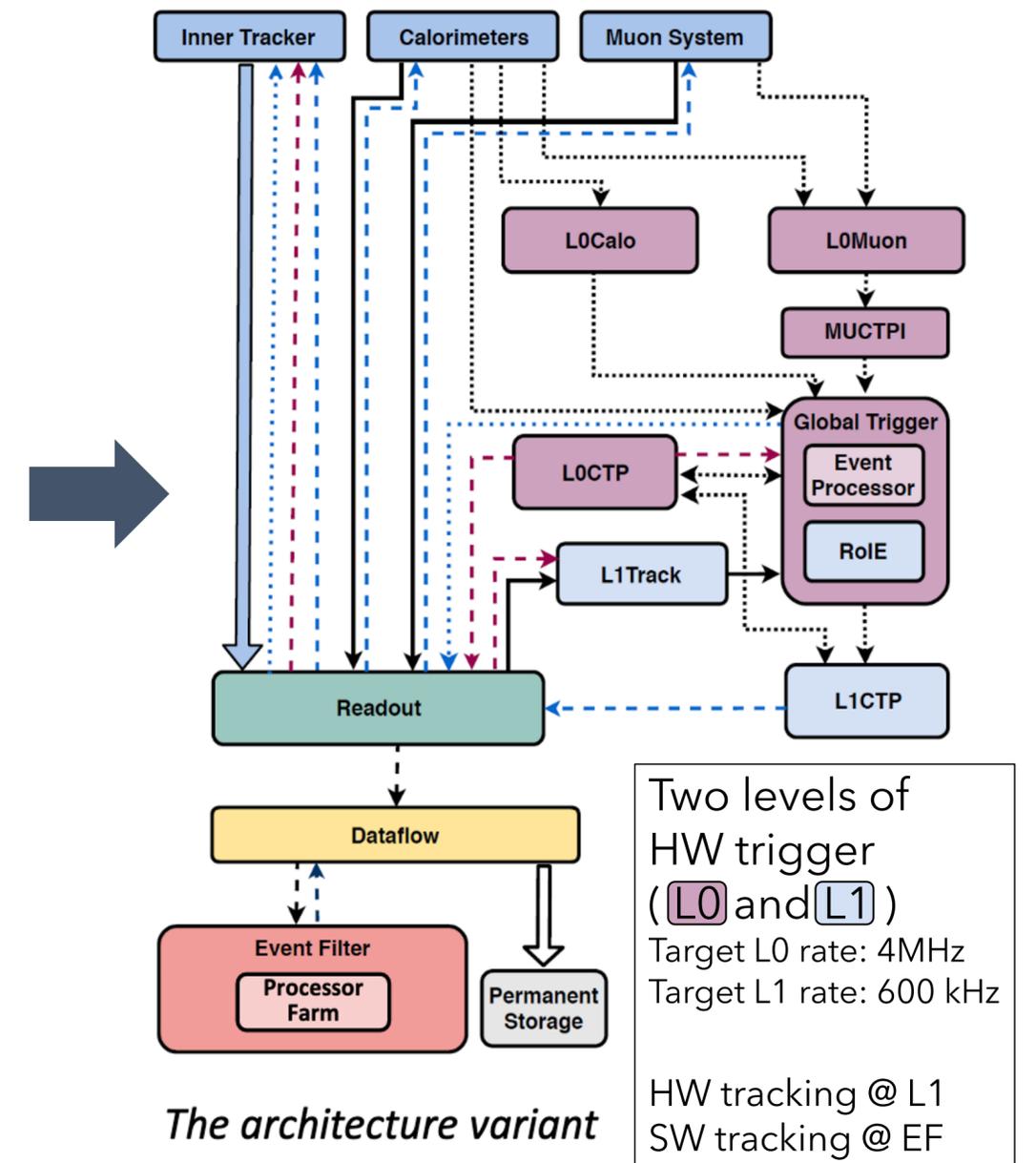


FEB2 test board

# Hardware Track Trigger

Frontini, Lari, Liberali, Monti,  
Stabile, Tartarelli

- La ricostruzione di tracce nel trigger è uno strumento fondamentale per ridurre i rate e tenere le soglie a livelli simili a quelli attuali
- Nel TDR, viene proposto un sistema hardware per la ricostruzione delle tracce il cui cuore sono le memorie associative - i dati nei layer esterni del traccia sono confrontati con pattern pre-definiti per trovare candidati di traccia
- Utilizzabile nell'Event Filter (ricostruzione delle tracce di tutto l'evento a 100 kHz) ma anche attorno a oggetti di interesse a Livello 1 a 4 MHz nello schema proposto per il run 5
- Memorie associative sviluppate a Milano, evoluzione del sistema (FTK) costruito per run 2 e run 3, ma poi cancellato per il ritiro degli Stati Uniti dal progetto



---

# Memorie associative

- AM08 : prototipo in 28 nm, con tutte le funzionalità del chip finale ma in scala ridotta (12k patterns invece di 384k)
- Sottomesso in Dicembre, consegna prevista dopo l'estate per i test di caratterizzazione
- AM09 : chip finale, progettazione consegnata, review (era) prevista in primavera 2022

---

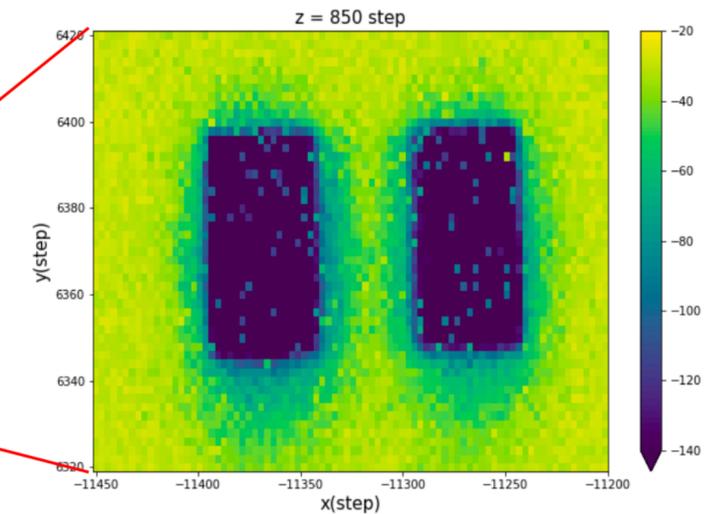
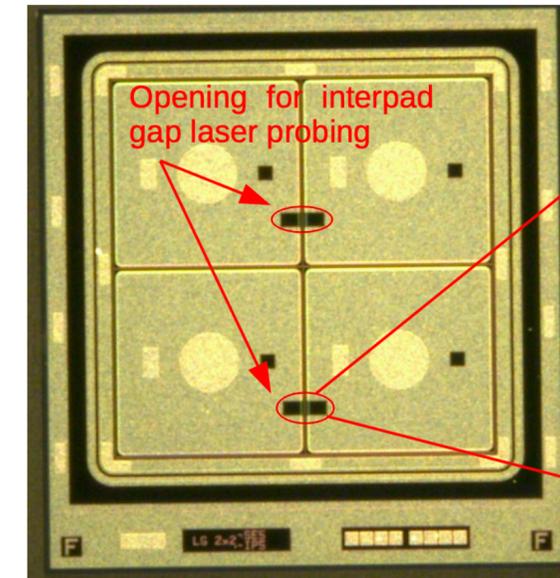
# HTT decisioni di ATLAS

- In Ottobre è stato deciso di non fare il trigger hardware a due livelli per il run 5, per semplificare il lavoro sul tracciatore (e contenere il ritardo di ITk). Questo elimina l'applicazione a 4 MHz.
- Il sistema è stato riottimizzato per un'applicazione nel solo Event Filter, riducendo di circa un fattore 4 il costo complessivo di HTT
- Allo stesso tempo, altre soluzioni alternative sono state considerate
- I revisori scelti da ATLAS e lo steering del TDAQ hanno raccomandato di adottare una soluzione commerciale basata su tracking software (CPU) eventualmente con acceleratori commerciali (GPU, FPGA, ecc)
- Scelta basata sui bassi costi delle CPU e lo sviluppo di algoritmi di tracciamento veloci che rendono la soluzione competitiva e con meno rischi (non richiedendo custom hardware)
- Se adottata (il voto degli istituti del TDAQ e' oggi pomeriggio) questo termina il progetto di HTT
- Prevediamo comunque di caratterizzare AM08 e pubblicare un articolo
- Il progetto AM ha spin-off in gruppo 5

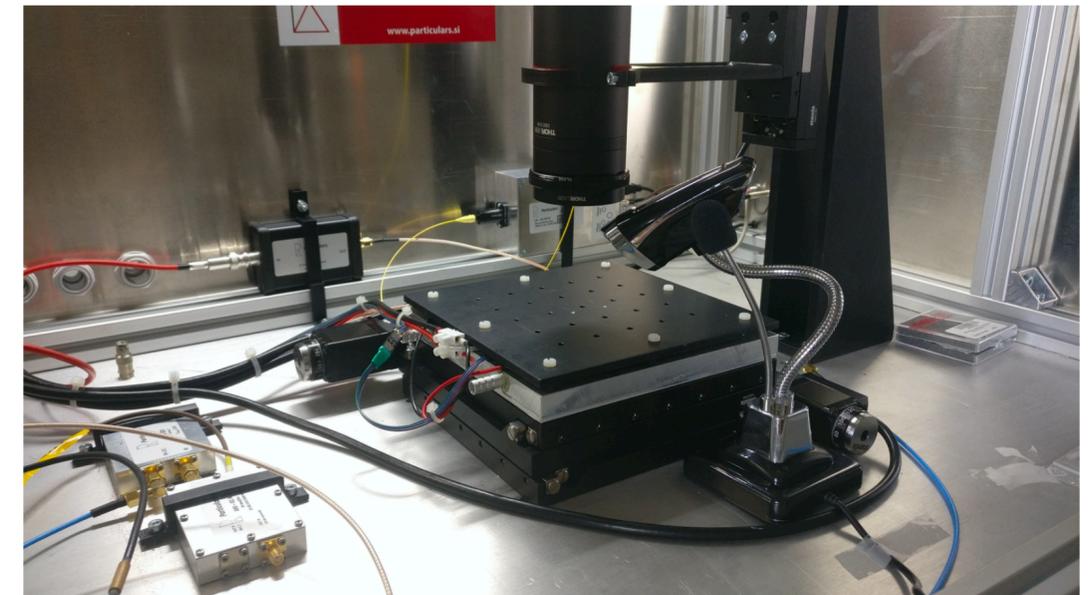
# LGAD per timing detector

Carminati, Rossi, Turra

- ❑ Nuovo rivelatore (High Granularity Timing Detector) nella regione in avanti, misura della posizione con risoluzione temporale  $\sim 30$  ps
- ❑ Utile per ridurre il pileup (200 collisioni per bunch crossing, separate in spazio e tempo)
- ❑ Cruciale provare che la risoluzione viene mantenuta anche dopo l'esposizione alle (alte) dosi di radiazione previste



- ❑ TCT-scan per misurare l'interpad-gap
- ❑ In preparazione setup per misurare curve IV/CV curves per sensori nuovi e irraggiati, sia singoli che multipad
- ❑ Partecipazione all'analisi dei dati di Test Beam (ma non ancora alla presa dati)



---

# Preventivi 2022

---

---

# Responsabilità

Marcello Fanti, convener gruppo Standard Model getti e fotoni

Ruggero Turra, convener gruppo elettroni/fotoni (da Settembre)

Tommaso Lari, convener gruppo simulazione (da Settembre)

Danilo Giugni, project engineering ITk

Attilio Andreazza, convener produzione dei moduli di ITk pixel

Attilio Andreazza, coordinatore pixel Atlas Italia

Francesco Tartarelli, coordinatore LAr Atlas Italia

Leonardo Carminati, coordinatore calcolo Atlas Italia

Francesco Tartarelli, chair Institute Board LAr

Francesco Tartarelli, membro dello steering group LAr fase 2

Clara Troncon, chair Institute Board pixel

Clara Troncon, Inner Detector speaker committee

# Anagrafica

	luglio 2020	luglio 2021
<b>PERSONE*</b>	34	30
<b>FTE ATLAS</b>	6.65	7.3
<b>FTE FASE2</b>	16.1	17.5
<b>FTE SIGLE SINEGICHE</b>	0.85	1.8
<b>FTE TOTALE</b>	23.6	26.6

\* Ricercatori, tecnologi, dottorandi e borsisti

---

# Richieste finanziarie

- Missioni 460 keuro
- Calcolo 252 keuro
  - CPU 84.5 keuro
  - Disco 140.0 keuro
  - Overhead 28.0 keuro
- Maintenance and Operation classe B (CERN-RB-2021-031, Aprile 2021)
  - pixel 134 kCHF
  - ID gen 72 kCHF
  - LAr 82 kCHF

---

# Richieste finanziarie

- ITk : in via di definizione
- LAr : 150 kEuro per alimentatore, SJ alla definizione delle specifiche

---

# Richieste ai servizi

Da discutere martedì ; ai responsabili dei servizi abbiamo chiesto

meccanica : 70% tecnologo + 24 mesi uomo tecnici per progettazione e officina

elettronica : 24 mesi uomo (12 per LAr + 12 per ITk)