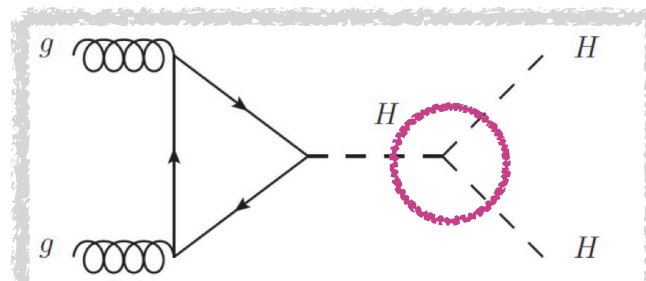


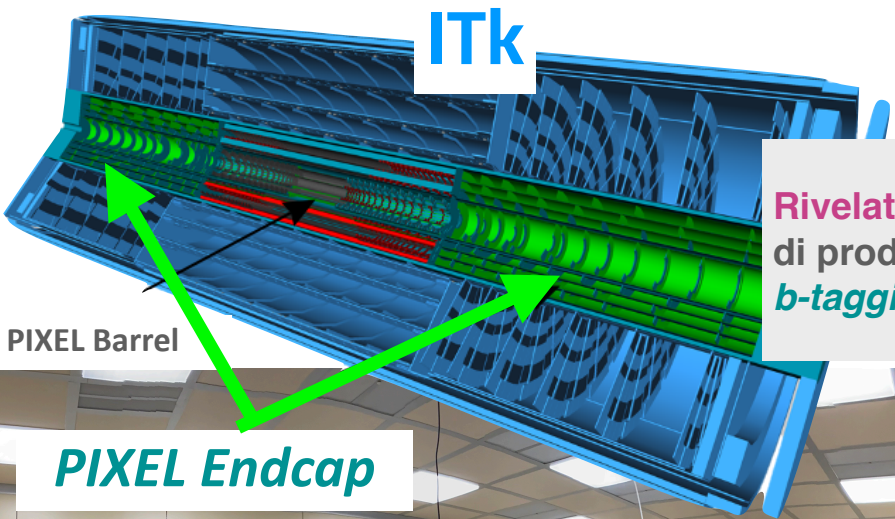
# ATLAS ITk



## costruzione e test del rivelatore a pixel per HL-LHC al CERN



HL-LHC una finestra unica sulla Nuova Fisica alla scala del TeV: Higgs-self coupling  $\lambda_{HHH}$

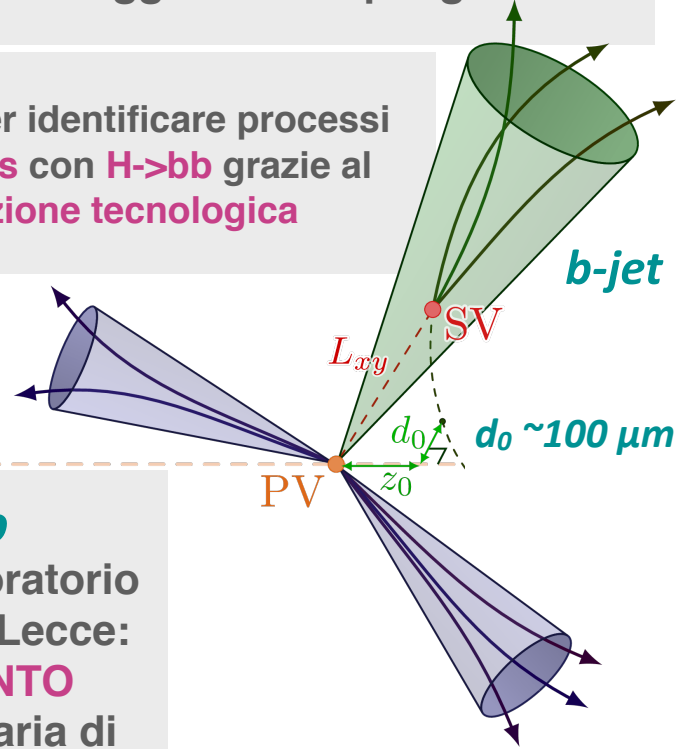


ITk

PIXEL Barrel

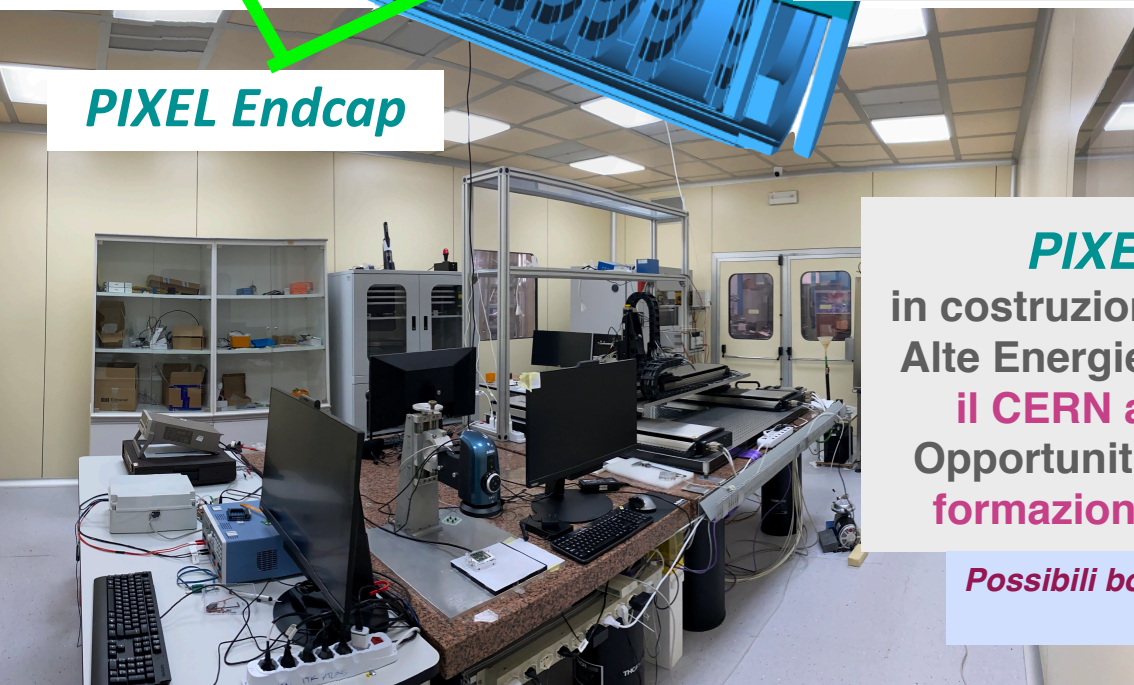
PIXEL Endcap

Rivelatore a Pixel essenziale per identificare processi di produzione di coppie di Higgs con  $H \rightarrow bb$  grazie al *b-tagging*. Formidabile innovazione tecnologica



**PIXEL Endcap** in costruzione nel Laboratorio Alte Energie dell'INFN Lecce: il CERN a UNISALENTO Opportunità straordinaria di formazione internazionale

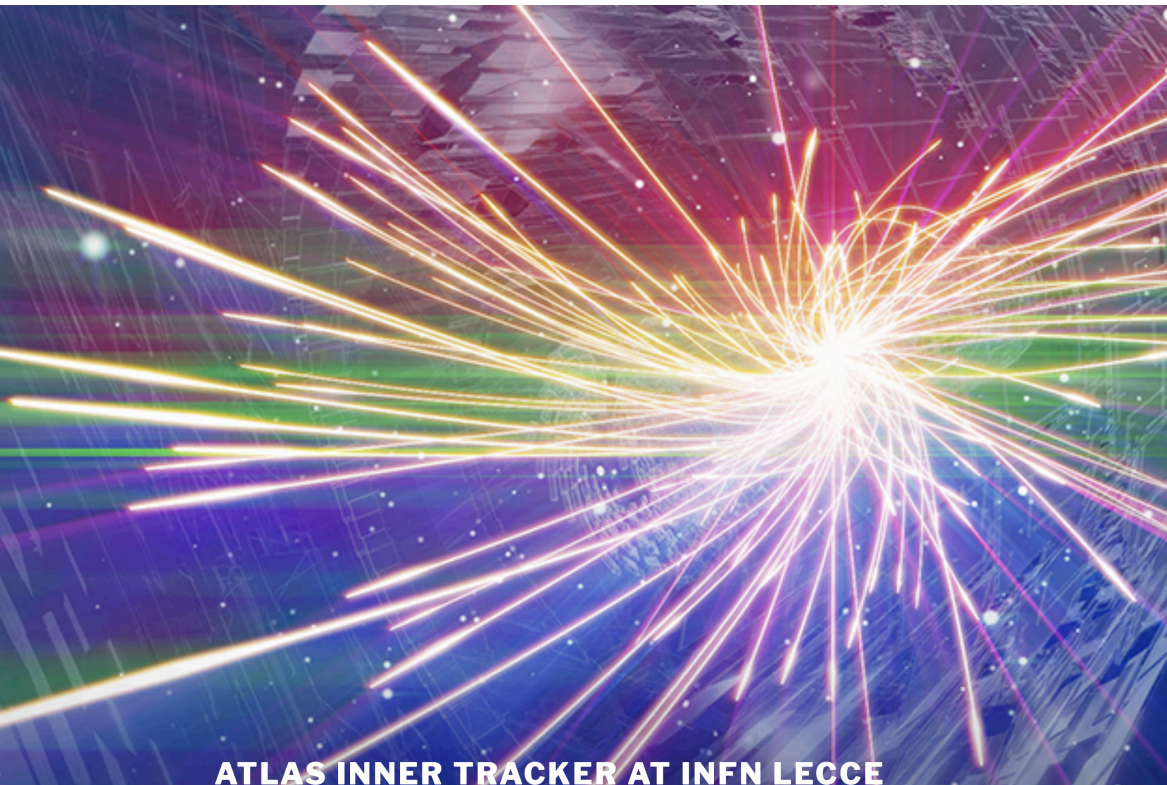
Possibili borse di studio / scambi / viaggi a CERN e UK



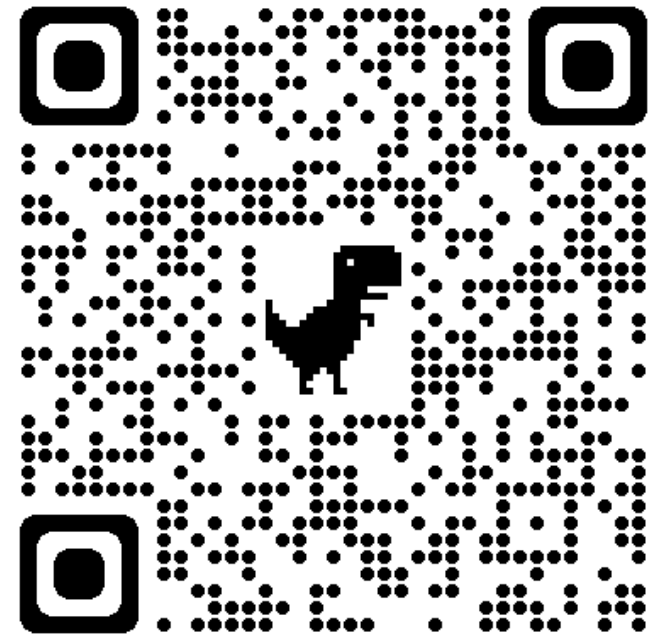
# ATLAS ITk

## costruzione e test del rivelatore a pixel per **HL-LHC** al CERN

<https://web.le.infn.it/atlas-itk/>



ATLAS INNER TRACKER AT INFN LECCE



# ATLAS ITk

## costruzione e test del rivelatore a pixel per **HL-LHC** al CERN

<https://web.le.infn.it/atlas-itk/>



Gabriele Chiodini



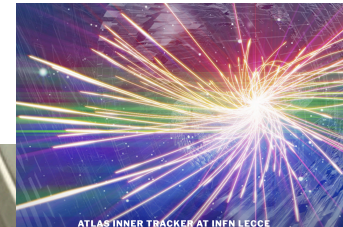
Stefania Spagnolo



M. Rita Coluccia



Antonio Pellegrino

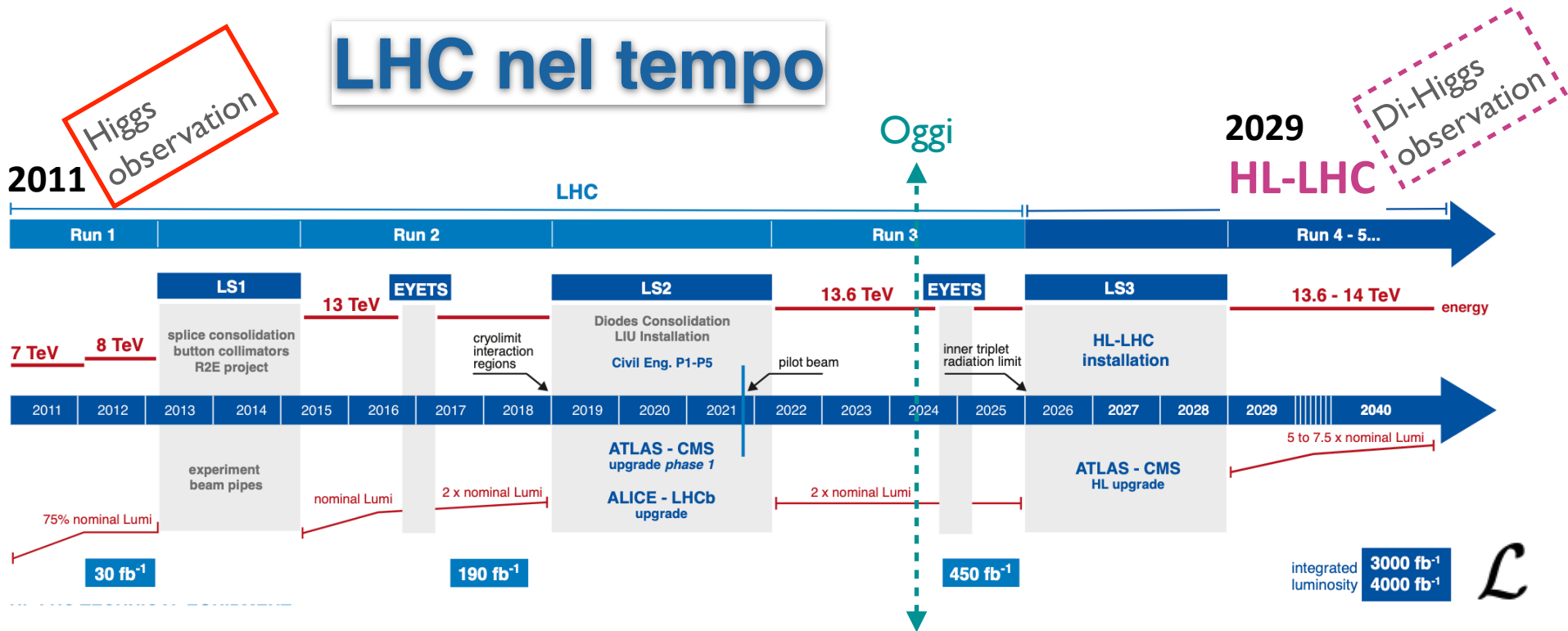


[gabriele.chiodini@le.infn.it](mailto:gabriele.chiodini@le.infn.it)

[antonio.pellegrino@le.infn.it](mailto:antonio.pellegrino@le.infn.it)

[mariarita.coluccia@le.infn.it](mailto:mariarita.coluccia@le.infn.it)

# LHC nel tempo



integrated luminosity **3000 fb<sup>-1</sup>** **4000 fb<sup>-1</sup>**  $\mathcal{L}$

$$N = \mathcal{L} \sigma$$

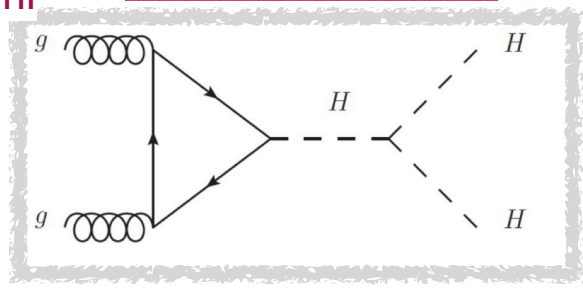
## HL-LHC

il run di alta luminosità di LHC dal 2029 per ~10 anni  
campione di dati 10 x precedente

## ITk

il tracciatore di ATLAS per HL-LHC  
strip e pixel ad altissima granularità

### La fisica di HL-LHC

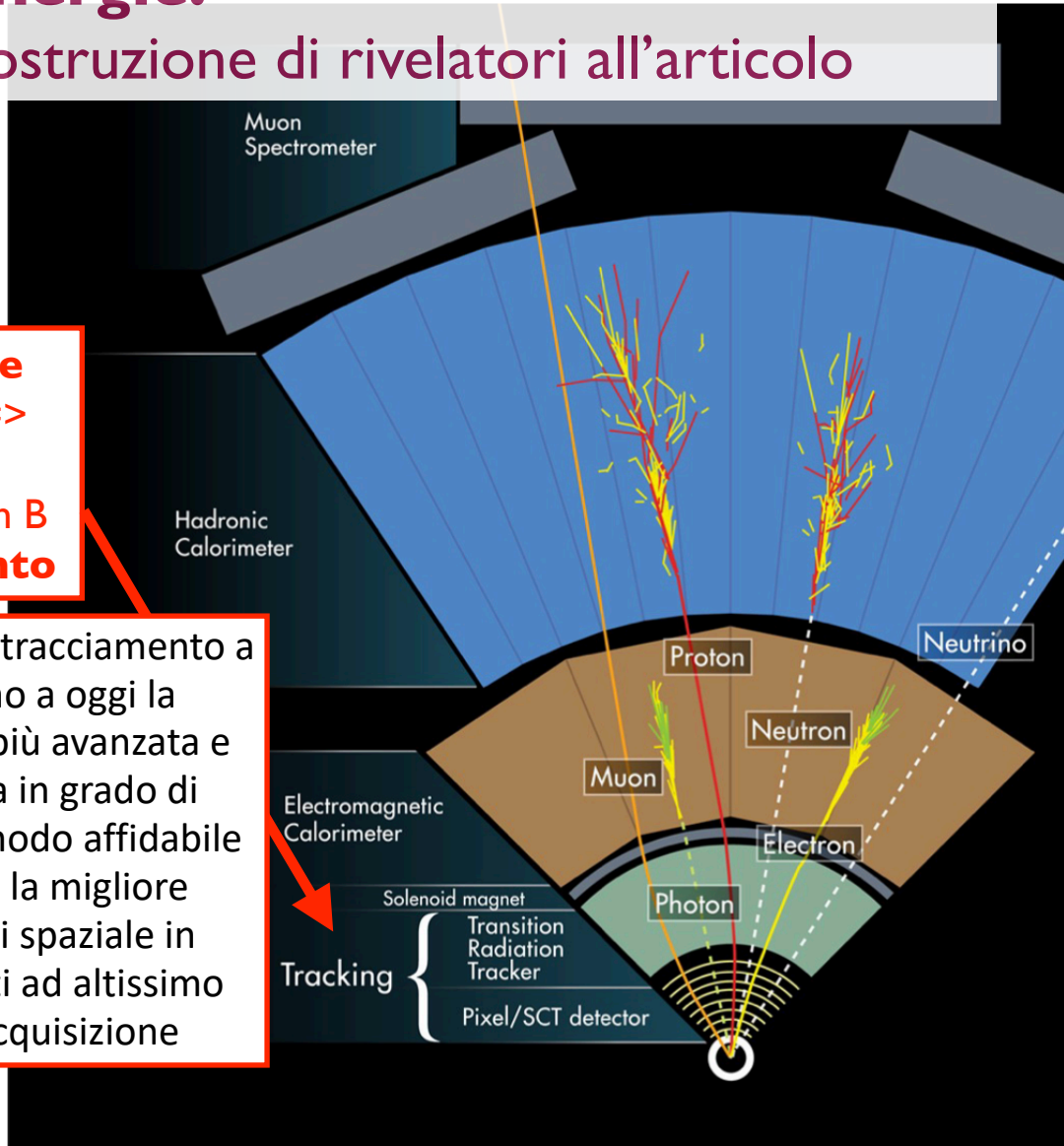


# La fisica sperimentale delle alte energie:

## Dalla costruzione di rivelatori all'articolo

**Particelle cariche =>**  
tracce  
**Curvatura in B => momento**

I rivelatori di tracciamento a pixel sono a oggi la tecnologia più avanzata e innovativa in grado di operare in modo affidabile fornendo la migliore risoluzioni spaziale in esperimenti ad altissimo rate di acquisizione



### Costruzione Rivelatori:

- Progettazione
- Realizzazione
- Test / certificazione di qualità
- Integrazione nell'esperimento

### Ricostruzione:

- tracce e clusters

### Identificazione:

- elettroni
- muoni
- fotoni
- Jet (quark o gluoni)
- Flavour tagging dei jet:
  - b-jet
  - c-jet
  - light-jet
  - $\tau$  in adroni

### Selezione di eventi:

- classificazione segnale / fondo / campioni di controllo

### Interpretazione statistica

- misura
- derivazioni di limiti

Oggi siamo qui

attraverseremo, come in passato, le altre fasi

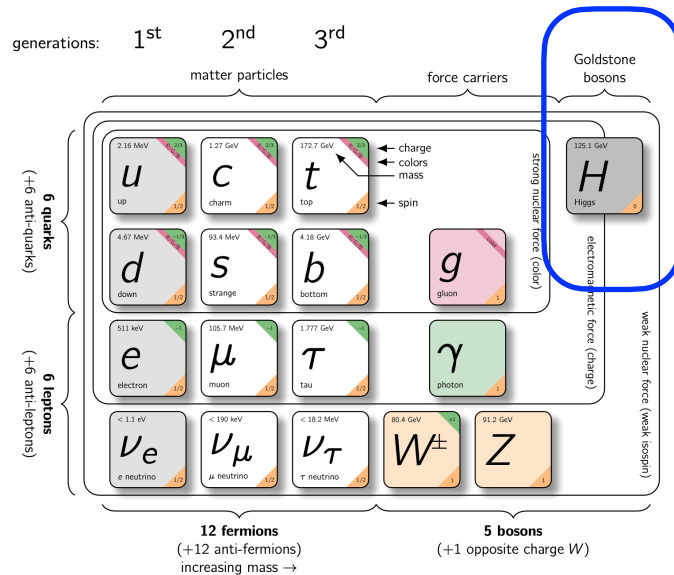
# HL-LHC una finestra unica sulla Nuova Fisica alla scala del TeV: Higgs-self coupling $\lambda_{HHH}$

## IL Modello Standard

*I campi*

di materia e di forza

e il bosone di **Higgs**

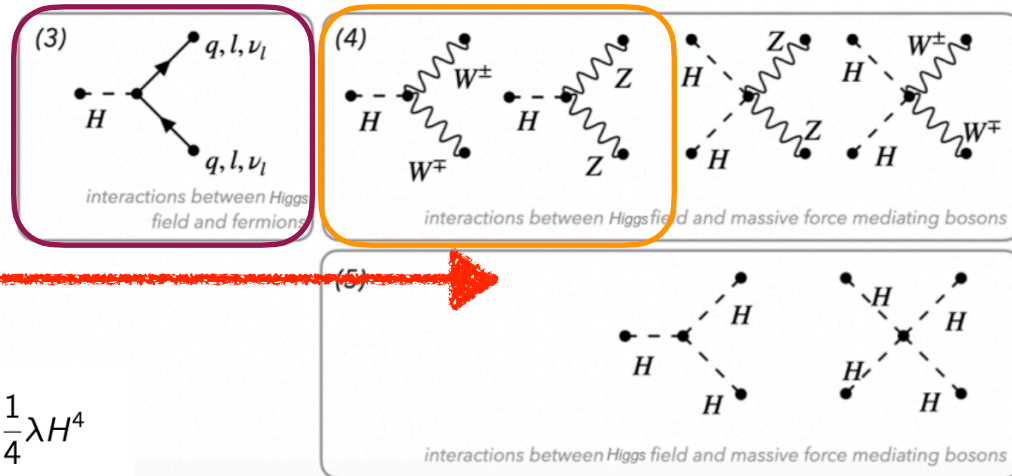


- Osservato, massa misurata, nel 2012
- Accoppiamenti con altre particelle di **materia** e di **gauge** misurati dal 2012 in poi
- **Auto-accoppiamenti**  $\ll$  obiettivo principe del run HL-LHC, post 2028

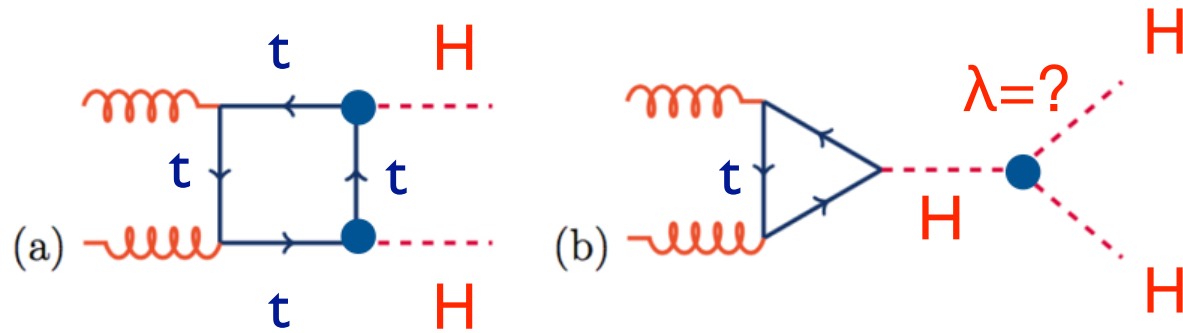
$$(4) + |D_\mu \phi|^2$$

$$-V(\phi)$$

$$V(H) = \frac{1}{2} m_H^2 H^2 + \lambda v H^3 + \frac{1}{4} \lambda H^4$$

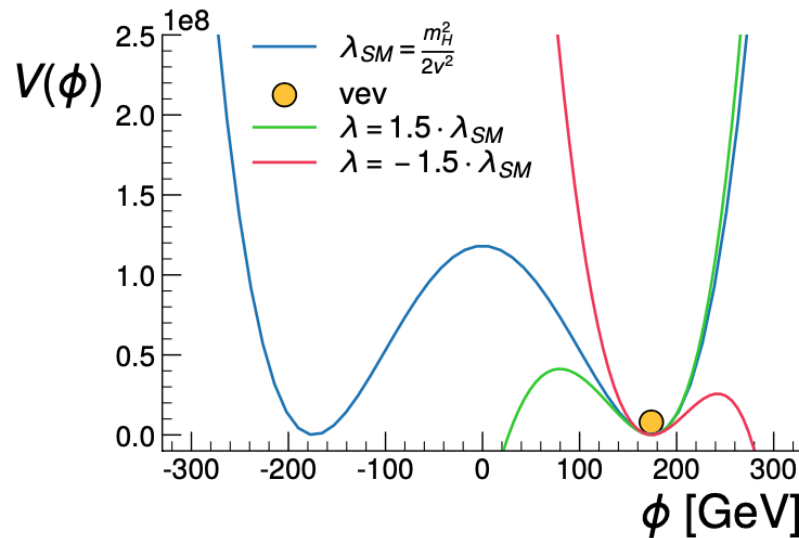


# Il potenziale di Higgs $\lambda$ e la produzione di coppie



Atteso e noto dagli accoppiamenti misurati  $ttH$

Atteso con un certo rate se  $\lambda = \lambda_{SM} = m_h^2/(2v^2)$  ma **incognito**



$$V(H) = \frac{1}{2} m_H^2 H^2 + \lambda v H^3 + \frac{1}{4} \lambda H^4$$

# Riconoscere *b*-jet

L'identificazione dei (rari) *b*-jet e la discriminazione rispetto ai (frequentissimi) light-jet è possibile sfruttando caratteristiche che, ciascuna molto debolmente, differenziano le due classi:

- presenza di un vertice secondario,
- parametri d'impatto (trasverso e longitudinale) delle tracce:  $d_0$  e  $z_0$  sensibilmente  $>0$
- Pattern di hit nelle tracce
- momento delle tracce

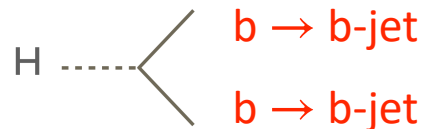
Un problema non banale di classificazione

Uso pesante di Machine Learning per **flavour tagging dei jet**

Ma prima di tutto: **tracciamento di precisione**

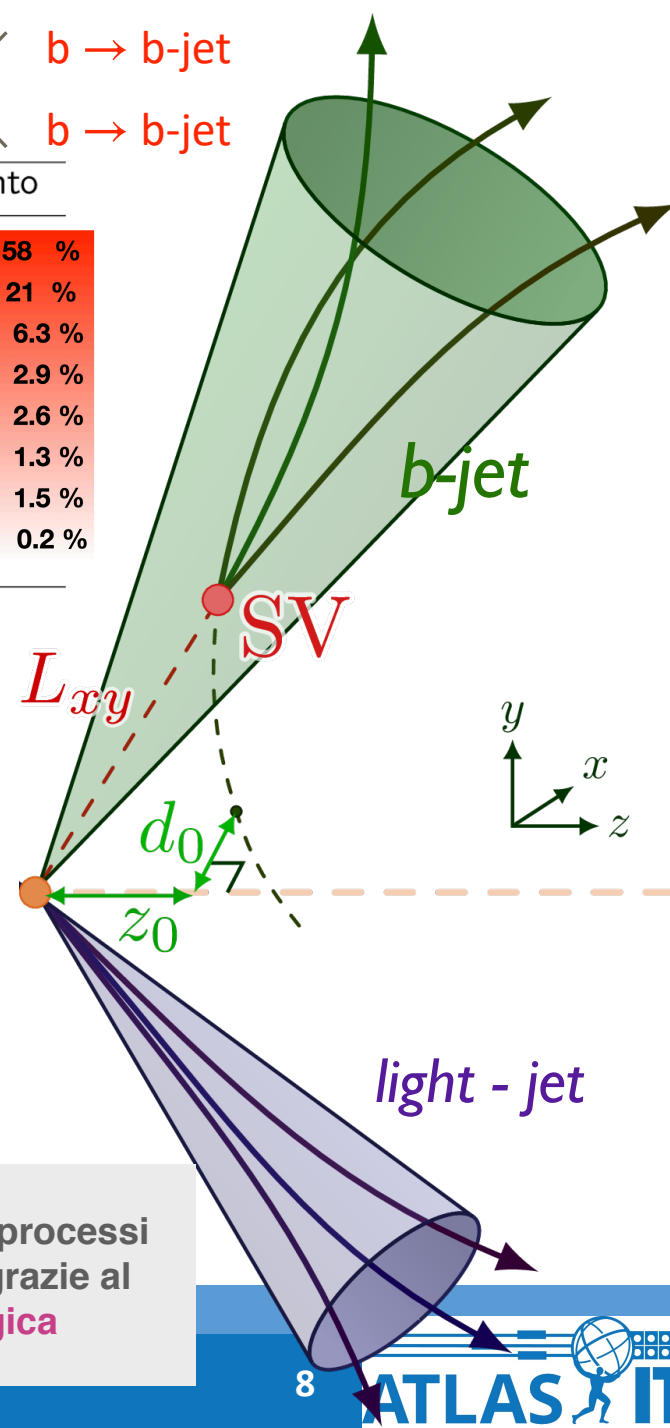
=> **Pixel di ITk**

**Rivelatore a Pixel** essenziale per identificare processi di produzione di **coppie di Higgs** con **H->bb** grazie al **b-tagging**. Formidabile **innovazione tecnologica**



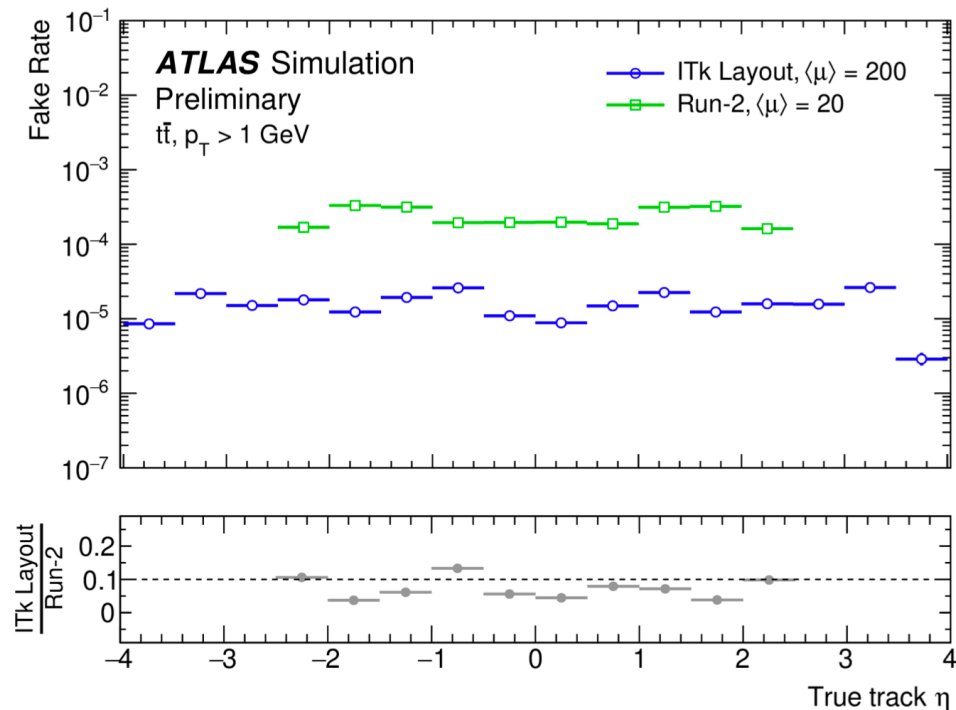
Canale di decadimento

$H \rightarrow b\bar{b}$	58 %
$H \rightarrow W^+W^-$	21 %
$H \rightarrow \tau^+\tau^-$	6.3 %
$H \rightarrow c\bar{c}$	2.9 %
$H \rightarrow ZZ$	2.6 %
$H \rightarrow \gamma\gamma$	1.3 %
$H \rightarrow Z\gamma$	1.5 %
$H \rightarrow \mu^+\mu^-$	0.2 %





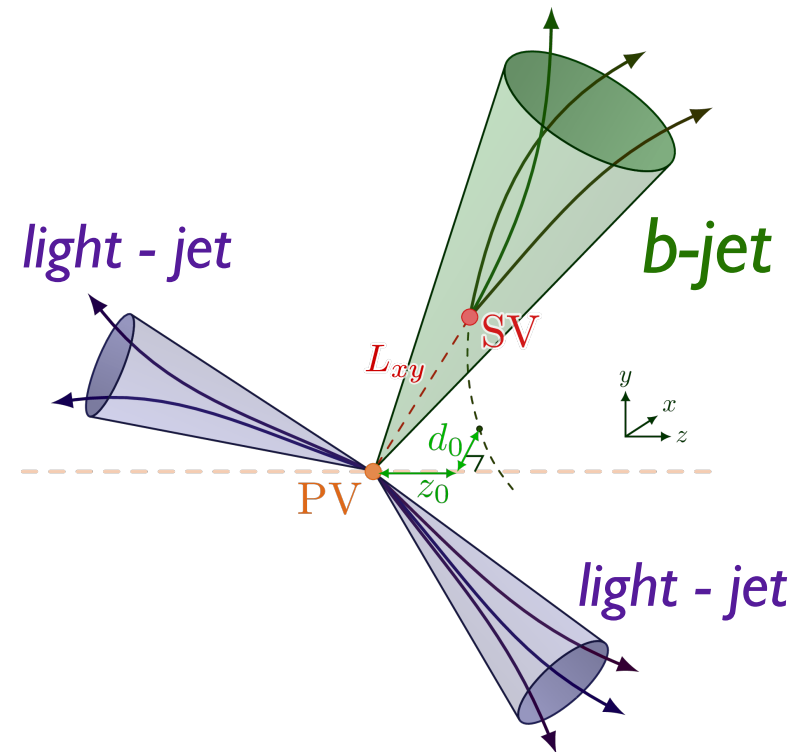
# Riconoscere *b*-jet



ATLAS Collaboration,

Expected Tracking Performance of the ATLAS Inner Tracker at the HL-LHC,

ATL-PHYS-PUB-2019-014 (2019)

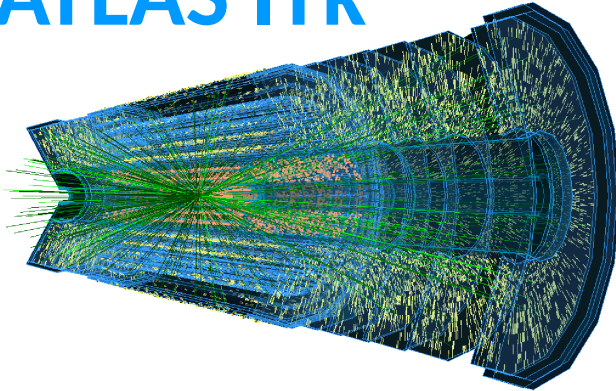


## Il ruolo di ITk

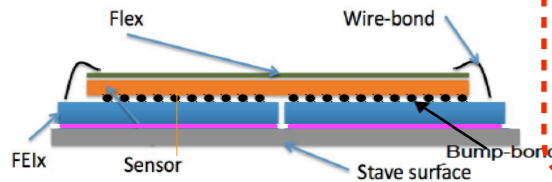
- quasi raddoppiata la regione utile per il **b-tagging**
- Ridotta di oltre un fattore 10 la probabilità di confondere altri jet con *b*-jet

# Il rivelatore a Pixel di ATLAS ITk

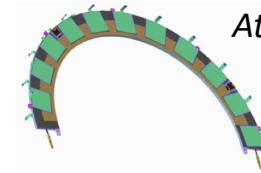
## ATLAS ITk



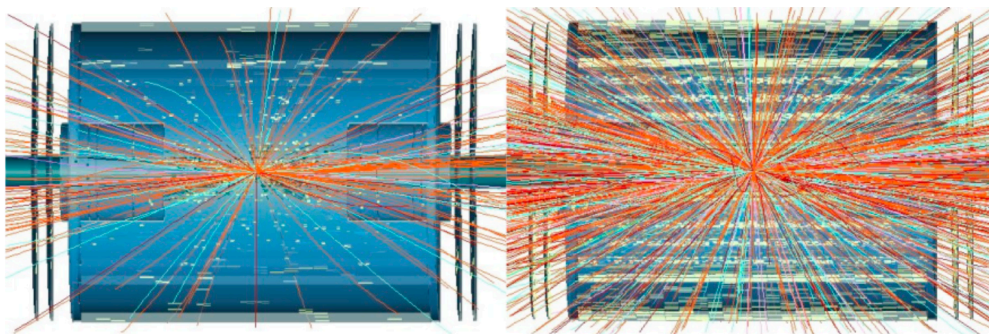
About 13000 Pixel Modules,  
pixel size  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$



Mounted on fibre carbon supports with  $< 50 \mu\text{m}$  accuracy

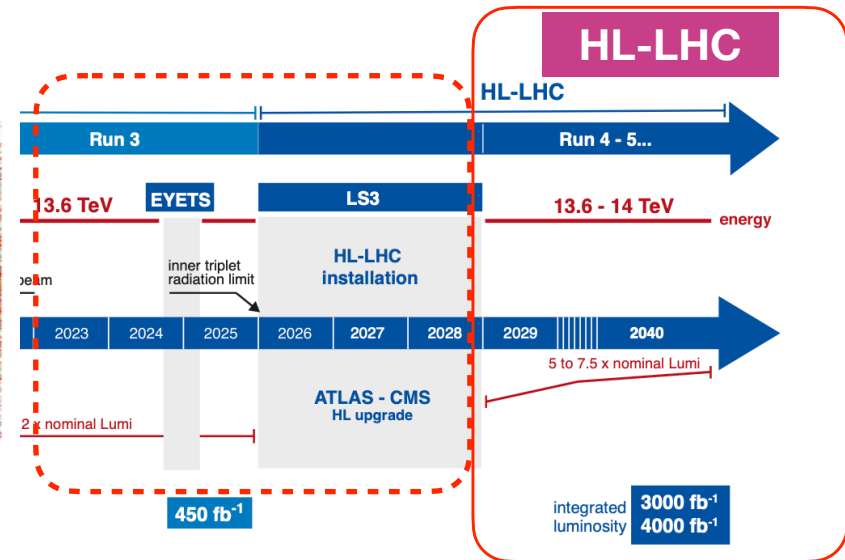


*Attività in corso nel  
Lab. Alte Energie  
INFN-Lecce e  
Dipartimento*



Run 1

HL-LHC



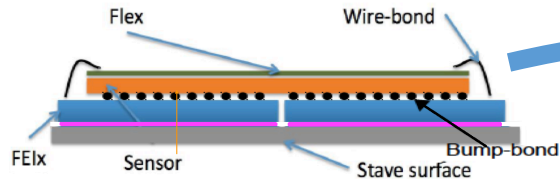
*Collaborazioni particolarmente intense con CERN e UK  
(RAL, Oxford, Liverpool, Manchester) + altri*

## PIXEL Endcap

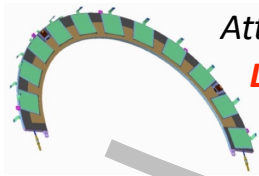
in costruzione nel Laboratorio  
Alte Energie dell'INFN Lecce:  
**il CERN a UNISALENTO**  
Opportunità straordinaria di  
**formazione internazionale**

**Attività in corso nel  
Lab. Alte Energie INFN-Lecce e Dipartimento**

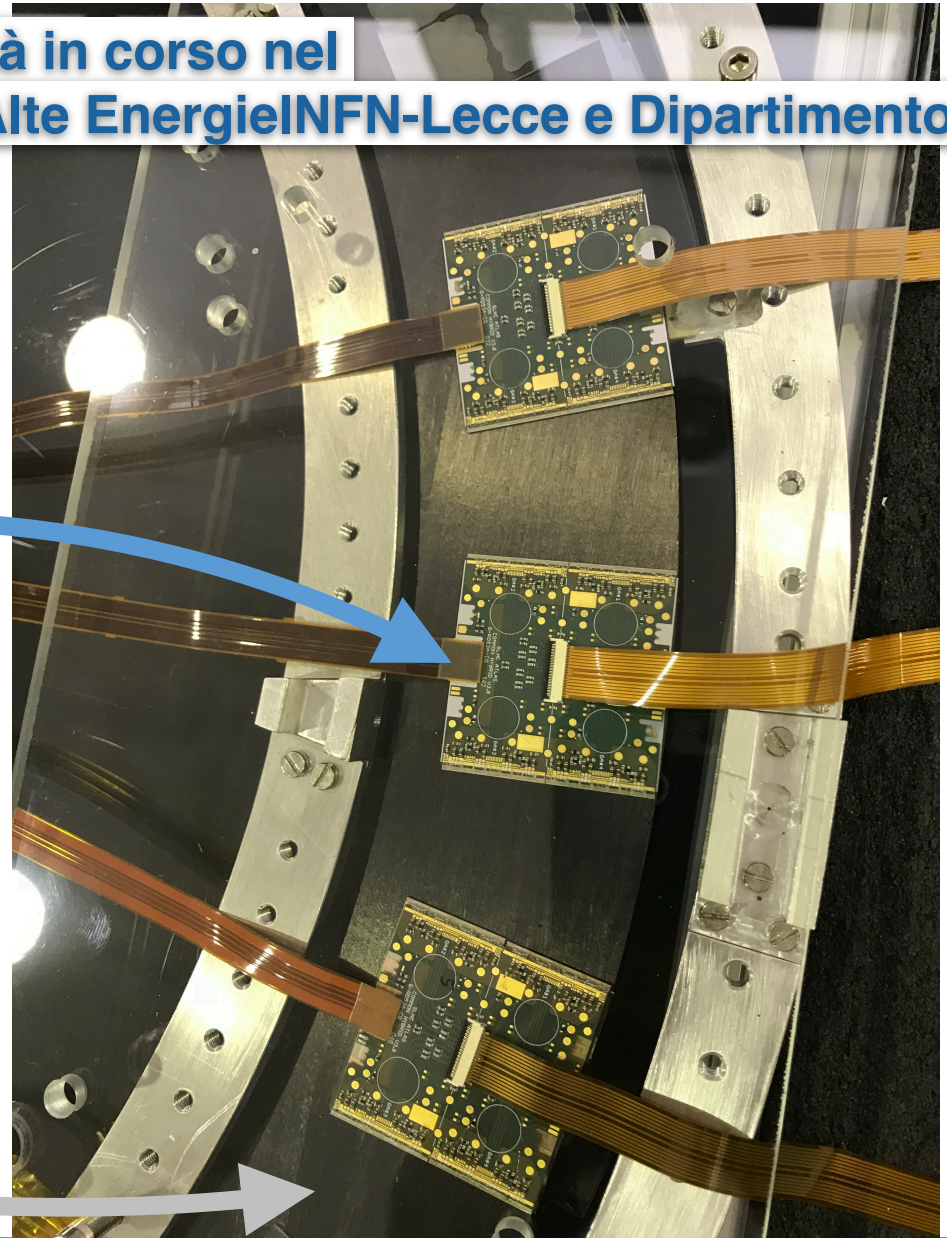
About 13000 Pixel Modules, pixel size  $50 \times 50 \mu\text{m}^2$



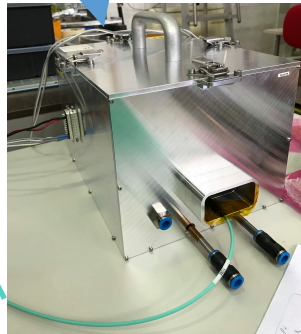
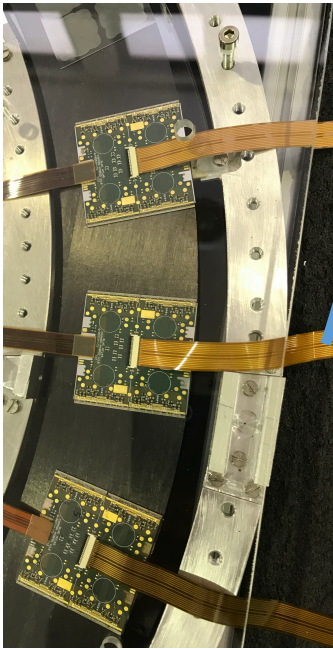
Mounted on fibre carbon supports with  
< 50um accuracy



*Attività in corso nel  
Lab. Alte Energie  
INFN-Lecce e  
Dipartimento*



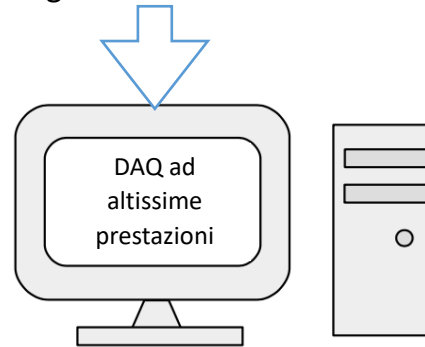
**PIXEL Endcap**  
in costruzione nel Laboratorio  
Alte Energie dell'INFN Lecce:  
**il CERN a UNISALENTO**



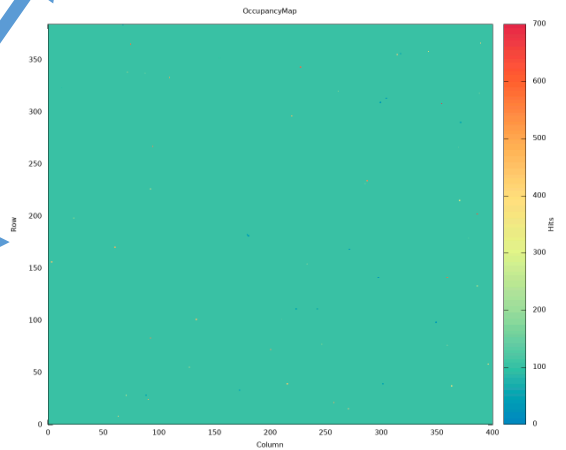
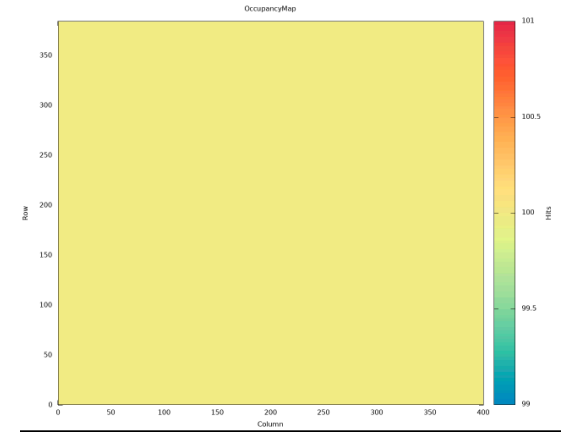
Conversione di segnali  
elettrici in segnali ottici



Server con scheda  
di acquisizione di  
segnali ottici

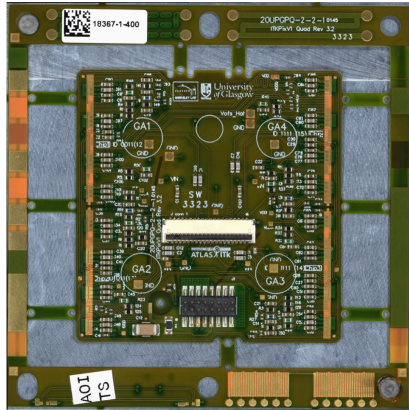


Certificazione della funzionalità  
dell'elettronica digitale ed analogica  
delle 4 matrici di pixel nel modulo



Opportunità straordinaria di  
**formazione internazionale**

# Deep Learning to build Pixel Silicon Detectors



32 Mbyte image of Flex PCB

## Anomaly detection

Many possible defects:

- Scratches
- Contamination
- Soldermask irregularity
- Solder spill
- Components misalignment

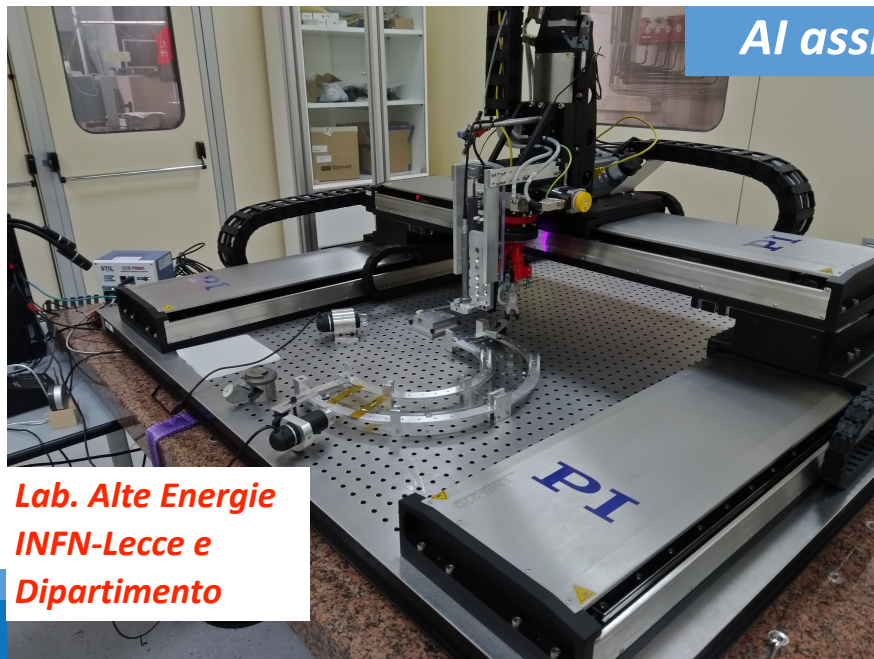
Further examples: [arXiv:2203.08969\[hep-ex\]](https://arxiv.org/abs/2203.08969)

“Deep learning applications for quality control in particle detector construction”

Quality control on components

CNN and Auto-encoders used to detect defects.

NB.: Not yet replacing human visual inspection

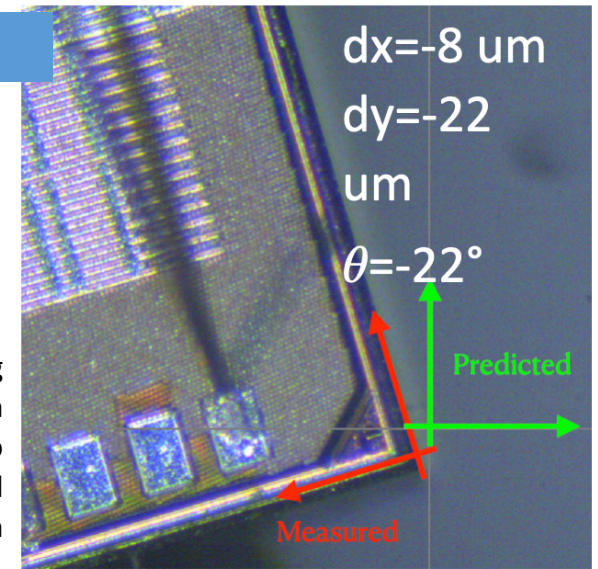


Lab. Alte Energie  
INFN-Lecce e  
Dipartimento

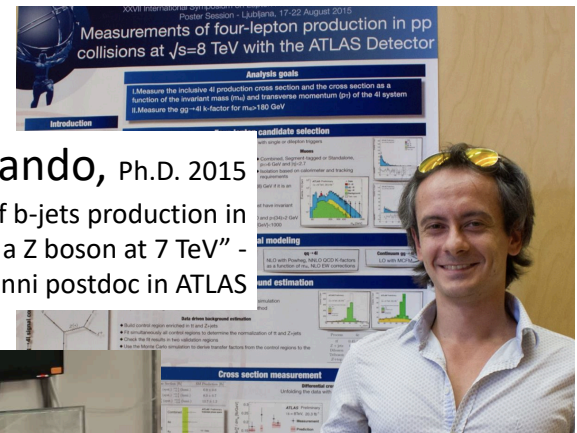
## AI assisted metrology

Robotic Gantry for  
Pick&Place  
modules on  
supports

Deep Learning  
for pattern  
recognition to  
estimate position and  
orientation



# Le nostre credenziali



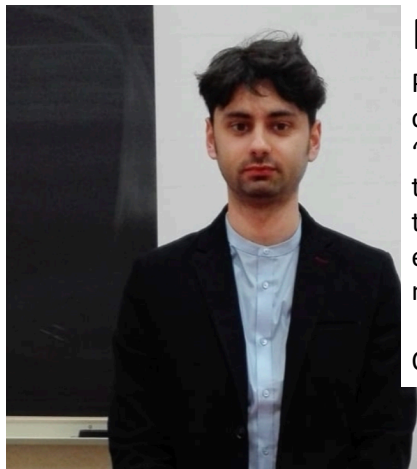
Nicola Orlando, Ph.D. 2015  
“Measurement of b-jets production in association with a Z boson at 7 TeV” - per oltre 10 anni postdoc in ATLAS

Federica Oliva, Ph.D. 2021  
“The PADME Active Diamond Target and Positron Bremsstrahlung Analysis”  
oggi ricercatrice a Edimburgo



Premio Conversi - per la miglior tesi INFN in fisica sperimentale agli acceleratori 2021

Isabella Oceano, Ph.D. 2022  
“The PADME experiment, study of the e+e- annihilation” - oggi ricercatrice a Amburgo



Martino S. Centonze, Ph.D. Innovativo con caratterizzazione industriale - 2023  
“Machine Learning applications for the reconstruction and analysis of the data from the ATLAS experiment and for lake monitoring surveys”  
Oggi post-Doc Bologna

Alessandra Palazzo, Ph.D. tesi sottomessa  
“Search for new resonances decaying to VV / Vh bosons with the ATLAS experiment and pixel modules testing for the Inner Tracker upgrade”  
Oggi in industria - Olanda



**NOTATE** le tesi su argomenti di analisi di fisica, misure, ricerche di nuova fisica + rivelatori

# ATLAS ITk



costruzione e test del rivelatore  
a pixel per **HL-LHC** al CERN



<https://web.le.infn.it/atlas-itk/>

*Venite a trovarci  
per  
sperimentare  
personalmente*

