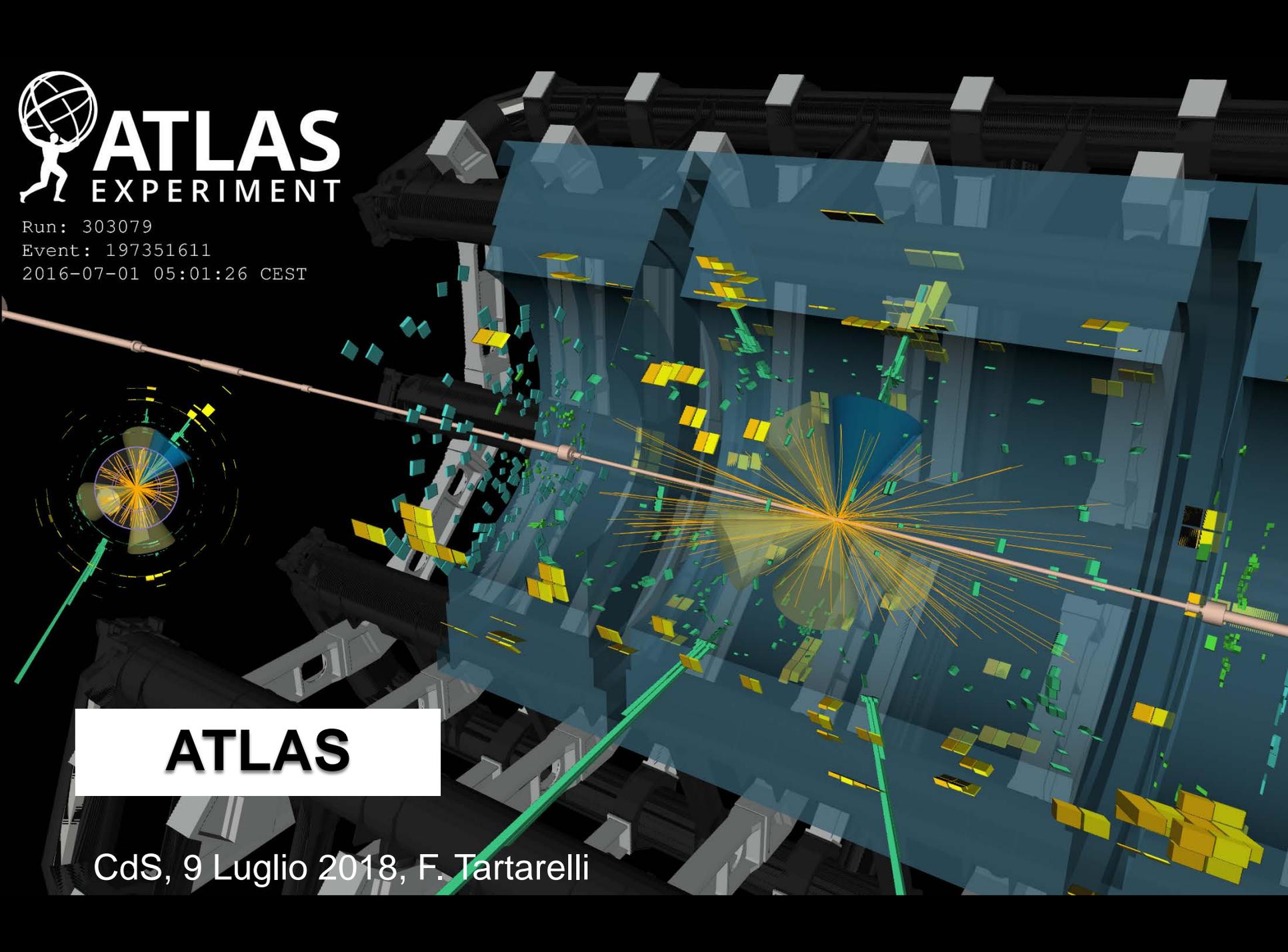




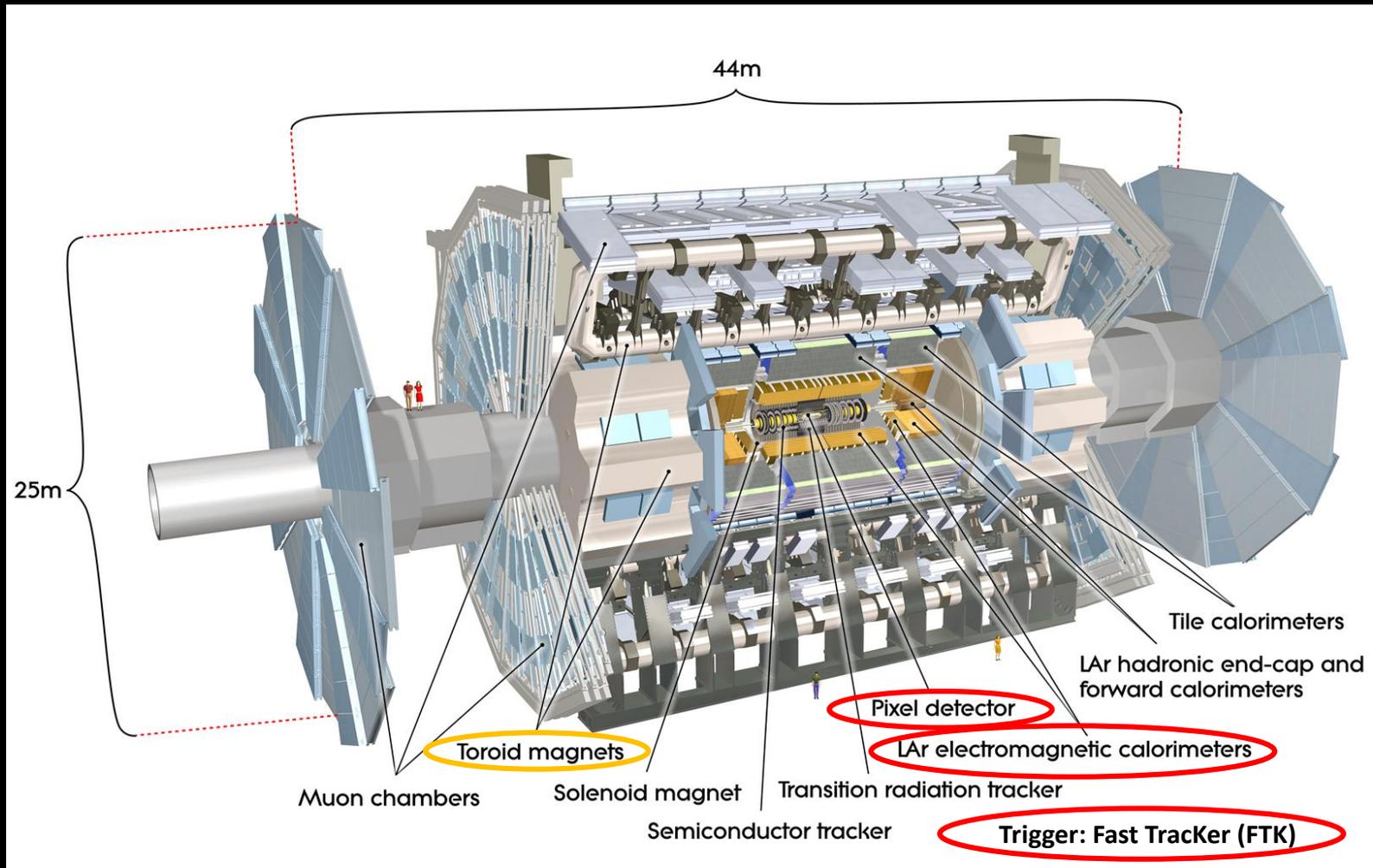
Run: 303079
Event: 197351611
2016-07-01 05:01:26 CEST



ATLAS

CdS, 9 Luglio 2018, F. Tartarelli

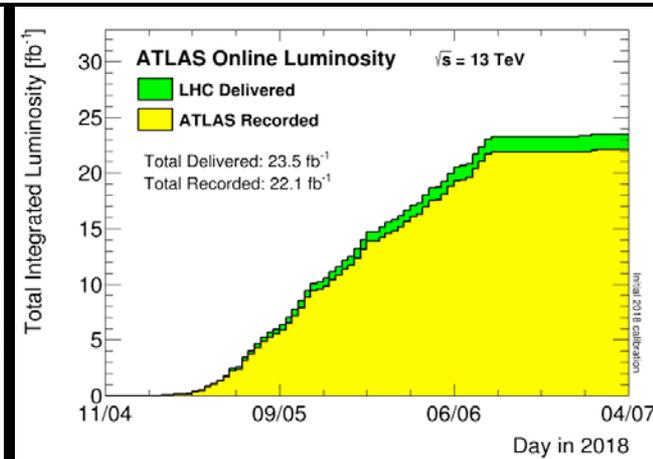
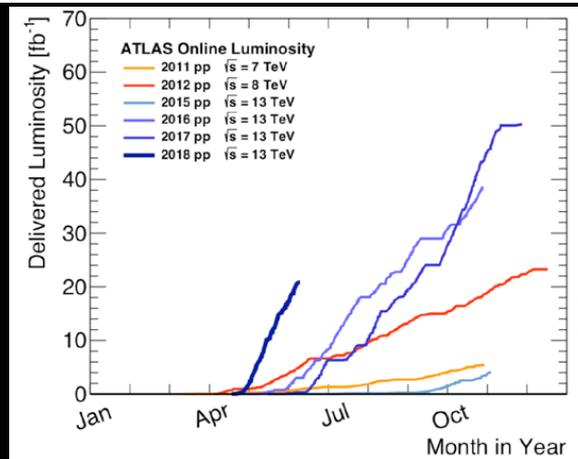
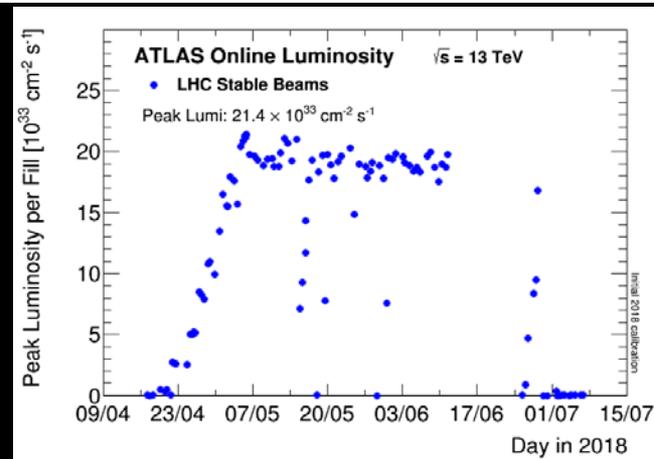
Esperimento ATLAS a LHC



Calcolo: Tier2

□ Milano coinvolta in ATLAS sin dalla costruzione

Presenza dati Run 2



- ATLAS e' in presa dati fino alla fine dell'anno (Run 2)
- Luminosità' istantanea al livello di $2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Raccolti nel 2018 fino ad oggi circa 22 fb^{-1} di dati

- Ancora grosso impegno fino alla fine dell'anno con turni (Control room, on-call, experts) e manutenzione dei sistemi dei quali siamo responsabili
 - Sistema HV e DCS del calorimetro LAr

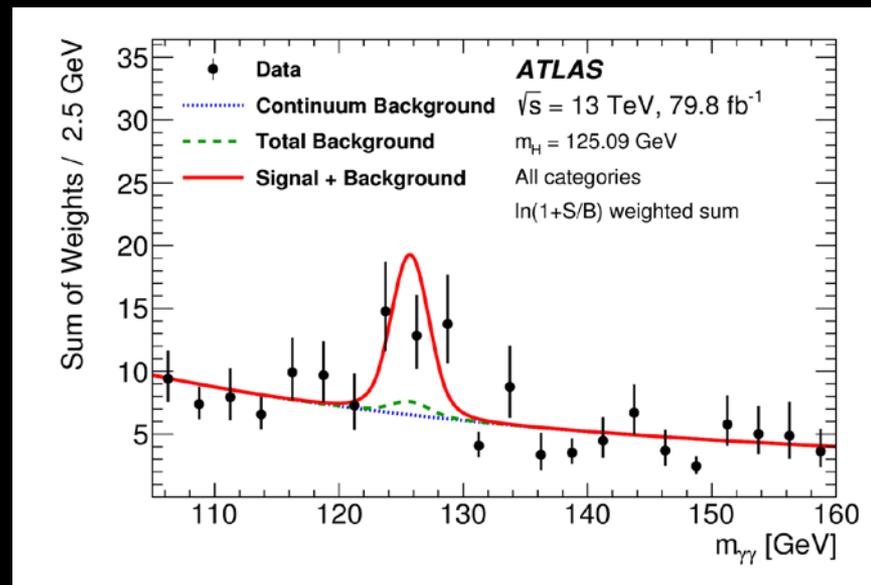
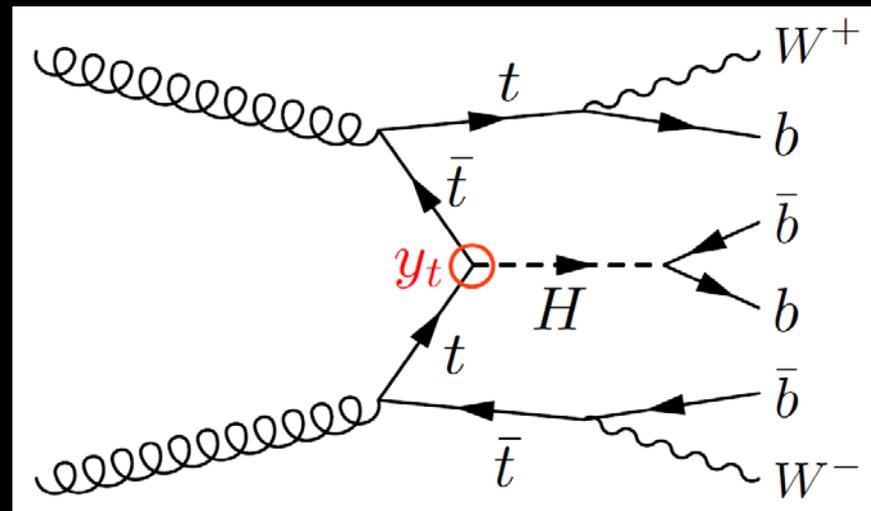
- Milano ospita uno dei 4 Tier2 italiani per il calcolo di ATLAS
 - in via di trasferimento nel nuovo edificio
 - **L. Carminati, L. Perini, D. Rebatto**

Impegni gruppo di Milano analisi dati

- Il gruppo e' impegnato in una serie di analisi riguardanti la fisica dello Standard Model, del bosone di Higgs e la ricerca di SUSY e Dark Matter:
 - Standard Model di-photon analysis
 - Searches for electroweak production of supersymmetric particles with compressed mass spectra (T. Lari, L. Rossini)
 - Search for electroweak production of supersymmetric particles with the ATLAS detector (S. Carra', T. Lari)
 - Search for Dark Matter in the mono-photon and mono jet-channel (L. Carminati, D. Cavalli, S. Resconi)
 - Study of Higgs Boson couplings in $\tau^+ \tau^-$ channel (A. Andreazza, A. Murrone)
 - Higgs mass in the di-photon channel (L. Carminati, S. Manzoni, R. Turra)
 - Higgs couplings (L. Carminati, D. Mungo, R. Turra)
 - Evidence for ttH production ($H \rightarrow \gamma\gamma$: L. Carminati, D. Mungo, R. Turra; Multilepton: A. Andreazza, M. Milesi)

ttH

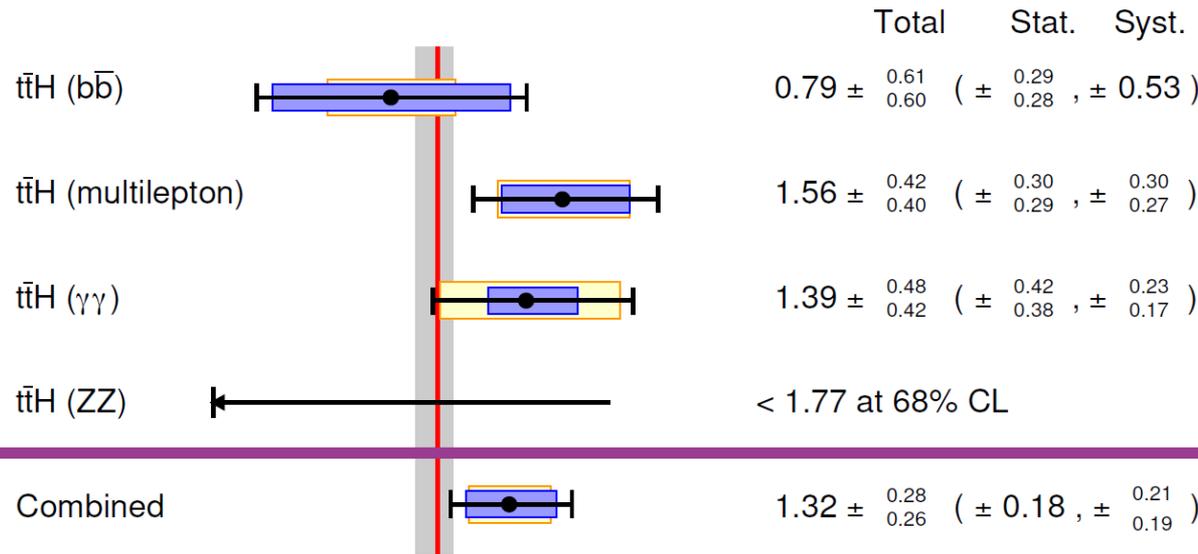
- y_t : Higgs-top Yukawa coupling
 - puo' essere sensibile a nuova fisica
- Misura della sezione d'urto di produzione ttH
- Grosso sforzo nel Run 1 e 2 per questa misura combinando vari canali categorizzati in base al decadimento dell'Higgs:
 - **ttH(bb)**: BR~58%, S/B~1-6%
 - **ttH multi-leptons (WW*, $\tau\tau$,ZZ*)**: BR = 30%, S/B=4-34%
 - **ttH($\gamma\gamma$)**: BR = 0.23%, S/B=5-200%
 - **ttH(ZZ* \rightarrow 4l)**: BR = 0.01%, S/B=50-500%
- Nuova analisi $H\rightarrow\gamma\gamma$ basata su categorizzazione degli eventi
 - 2 categorie principali: adronica ($0l$) e leptonica ($\geq 1l$):
 - sottocategorie (7 in totale) basate su classificatori multivariati che usano per la prima volta informazioni di basso livello dell'evento:
 - 4-vector information of photons ($p_T/m_{\gamma\gamma}$) jets, E_{Tmiss} (both cat), lepton(s) (lep cat), and b-tag (had cat);



ATLAS

$\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}, 36.1 - 79.8 \text{ fb}^{-1}$

—●— Total Stat. Syst. SM



Significance

obs. exp.

1.6 σ 1.4 σ

4.1 σ 2.8 σ

4.1 σ 3.8 σ

0 σ 1.2 σ

5.8 σ 4.9 σ

**Combination with measurements
@7TeV (4.5fb⁻¹) and @8TeV (20.3fb⁻¹)***

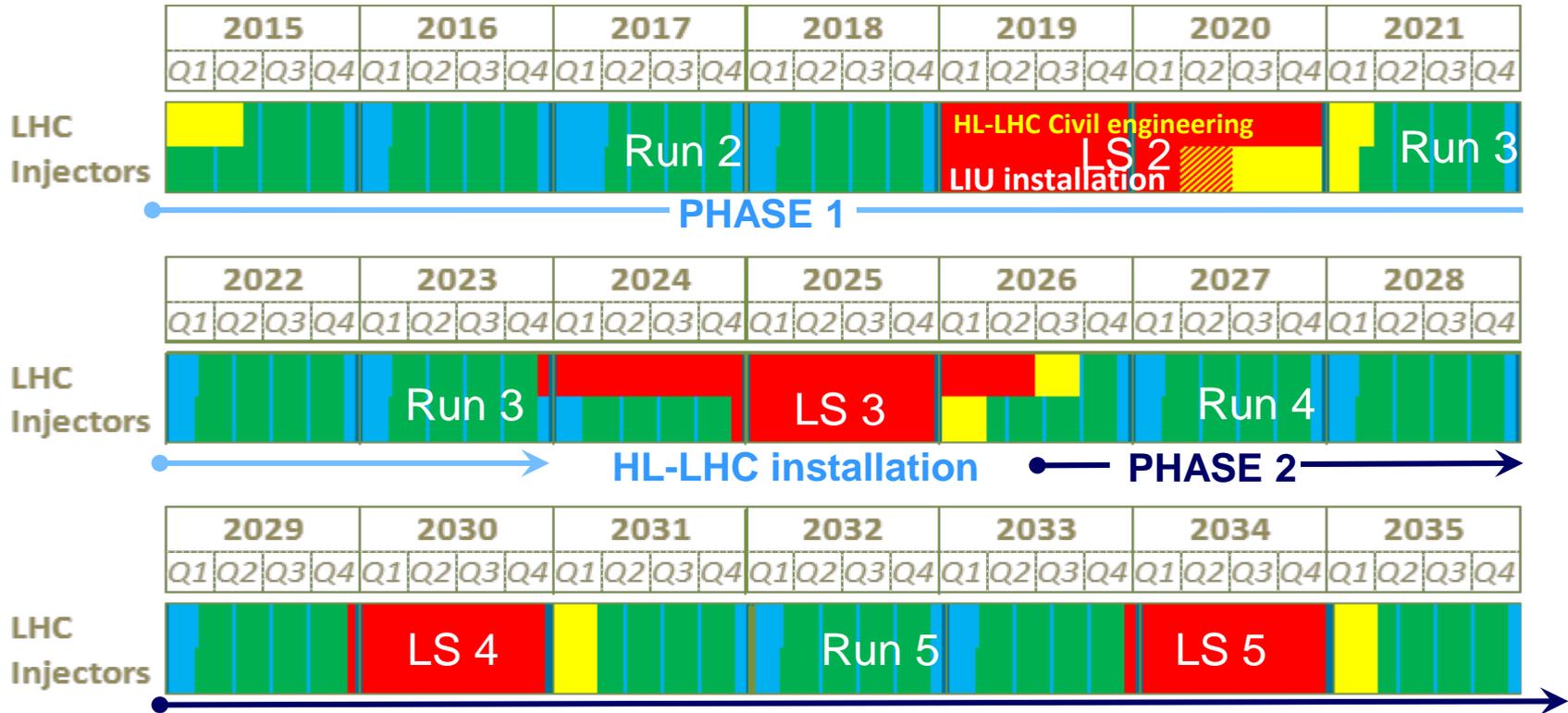
6.3 σ 5.1 σ

$$\sigma_{t\bar{t}H}(13\text{TeV}) = 670 \pm 90(\text{stat})_{-100}^{+110}(\text{sys})\text{fb}$$

$$\sigma_{t\bar{t}H,SM}(13\text{TeV}) = 507_{-50}^{+35}\text{fb}$$

LHC roadmap: according to MTP 2016-2020

LS2 starting in 2019 => 24 months + 3 months BC
 LS3 LHC: starting in 2024 => 30 months + 3 months BC
 Injectors: in 2025 => 13 months + 3 months BC



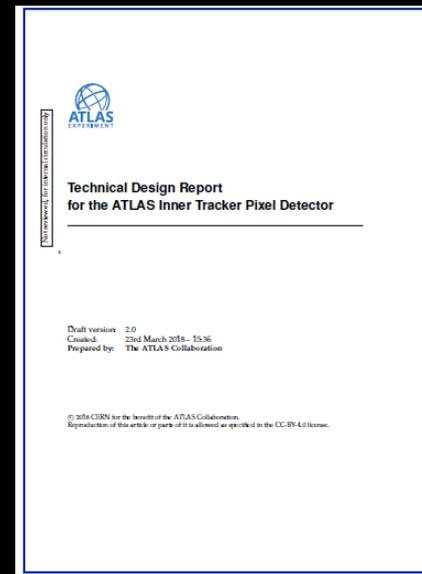
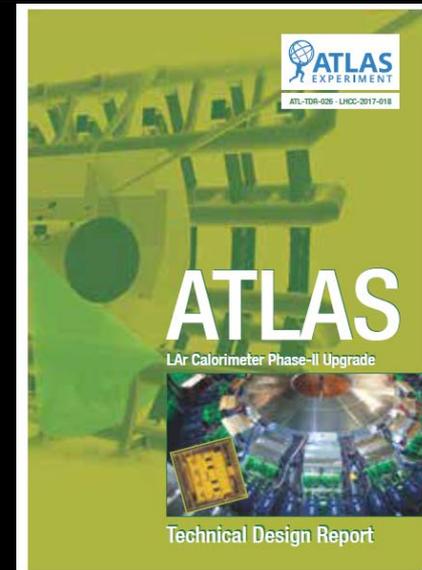
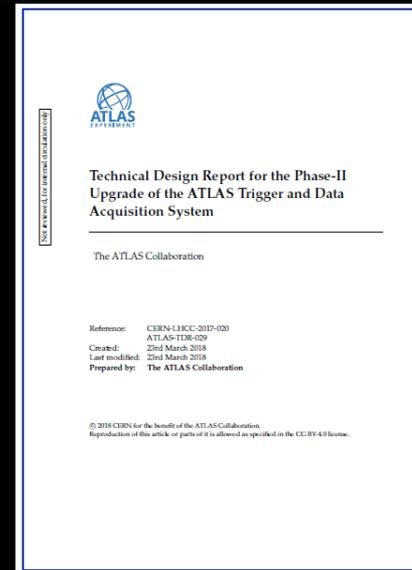
$$\sum(\text{Run1} + \text{Run2}) > 180 \text{ fb}^{-1}$$

$$\sum(\text{Run1} + \text{Run2} + \text{Run 3}) > 300 \text{ fb}^{-1}$$

LHC ha un percorso approvato e finanziato di upgrade per aumento della luminosita':
 Run 2 → Run 3 (Fase 1) → Run 4 (Fase 2) al High Luminosity LHC (HL-LHC)

Upgrades Fase 1 e 2: interessi di Milano

- Upgrades di Fase 1 (per il Run 3):
 - Finalizzazione e installazione nel 2019 e 2020 per essere pronti per il Run 3 che inizia nel 2021
 - Coinvolgimento di Milano:
 - upgrades dell'elettronica di trigger del calorimetro LAr
 - nuovo sistema di trigger di traccia con memorie associative (FTK)
- Upgrades di Fase 2 (per il Run 4, 5,...):
 - Approvati a fine 2017/inizio 2018, Technical Design Reports pubblicati, Memorandum of Understanding tra INFN e ATLAS da definire entro fine 2018
 - Coinvolgimento di Milano:
 - rivelatore a pixel del nuovo tracciatore
 - nuovo trigger di traccia
 - upgrade dell'elettronica di front-end del calorimetro LAr
- Nuovo progetto non ancora approvato:
 - High Granularity Timing Detector (HGTD)



Upgrade di Fase 2: costi

Upgrade costs

	Scoping Doc. Reference Det. MCHF	ATLAS TDR / UCG MCHF
ITk Strips	72,100	60,638
ITk Pixel	32,190	46,882
ITk Common Items	16,080	14,445
ITk Total	120,370	121,965
Muons	30,580	28,172
Larg Calorimeter	41,420	27,882
Tile Calorimeter	8,580	11,129
Trigger/DAQ	43,310	44,880
Timing Detector (HGTD)	4,560	8,533
Common Fund	17,417	24,420
Total Cost	266,237	266,981
Luminosity Detector	0,500	0,500
Total Cost incl. luminosity	266,737	267,481
High- η muon Tagger	3,500	3,500
Forward Detectors	0,800	0,800
Total Sum	271,037	271,781

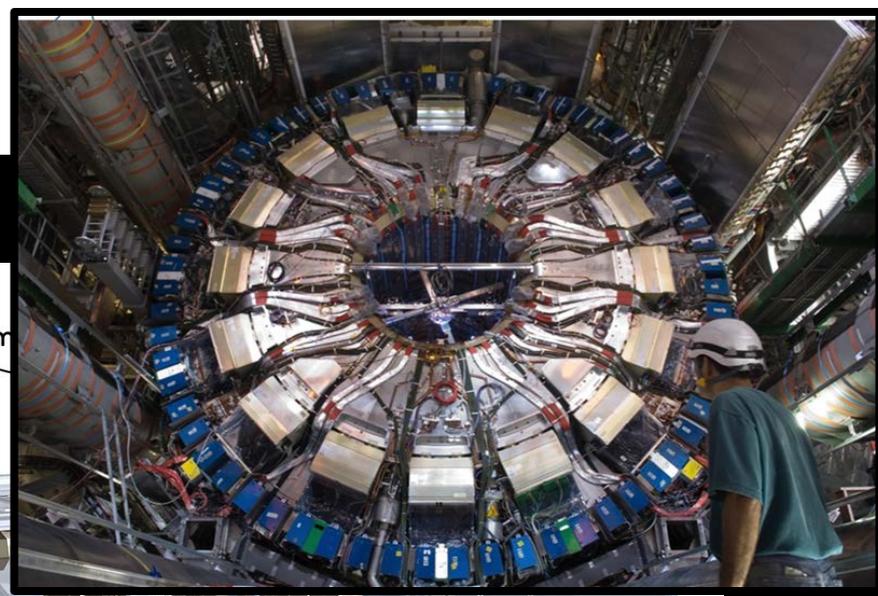
CORE Italia

TUTTO in M€	Core (MCHF)	Core (M€)	Proposta M€
TDAQ	4.0	3.63	3.50
ITK	5.6	5.08	5.08
Lar	1.8	1.64	1.64
Tile	0.6	0.54	0.54
Muon	5.8	5.24	5.11
Lucid	0.3	0.26	0.26
mu-tagger	0.0	0.00	0.00
HGTD	0.7	0.59	-
CommonFund	2.2	2.02	2.02
Totale	20.9	19.00	18.15
€/CHF		1.1	

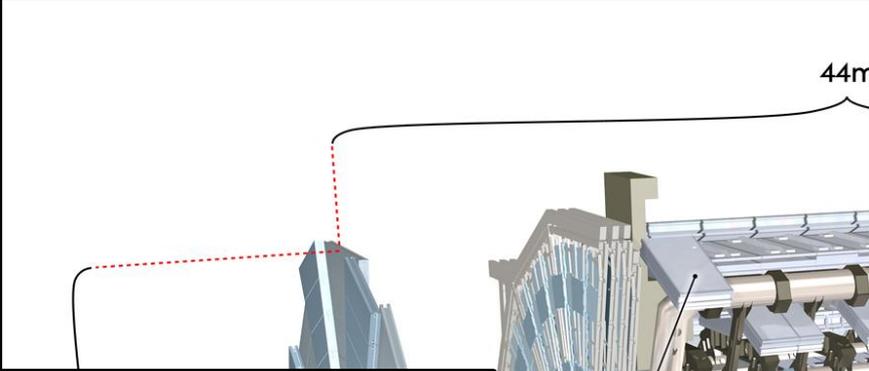
Total ATLAS Phase-II upgrade costs: 267.5 MCHF (CORE)

+ options for high- η muon tagger and forward detectors: 271.8 MCHF

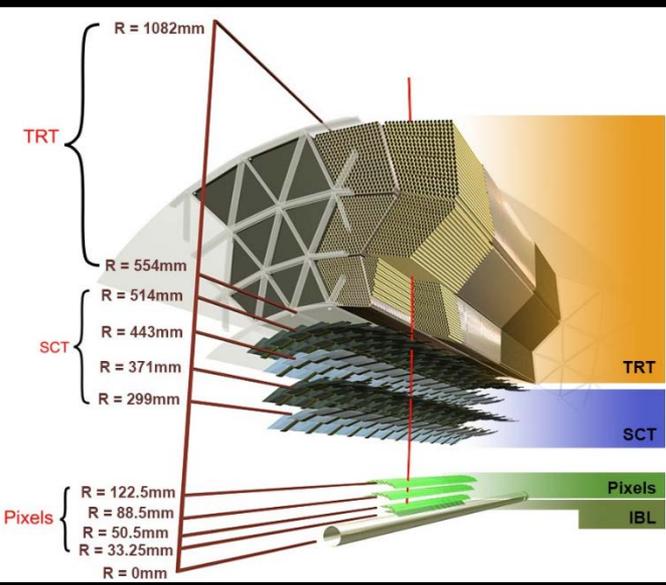
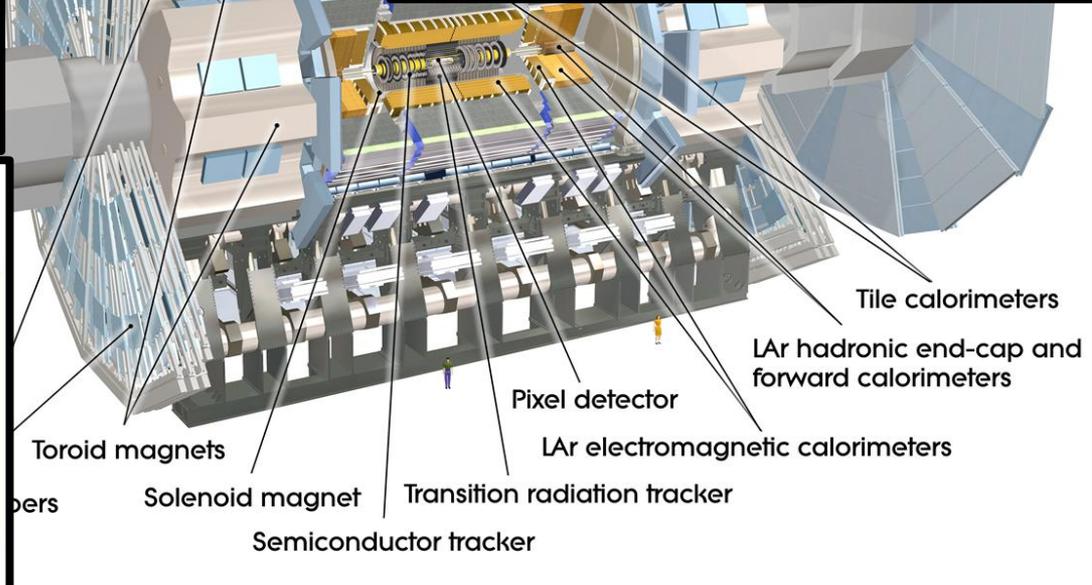
Upgrades (Fase 1)



Nuovo trigger del calorimetro LAr

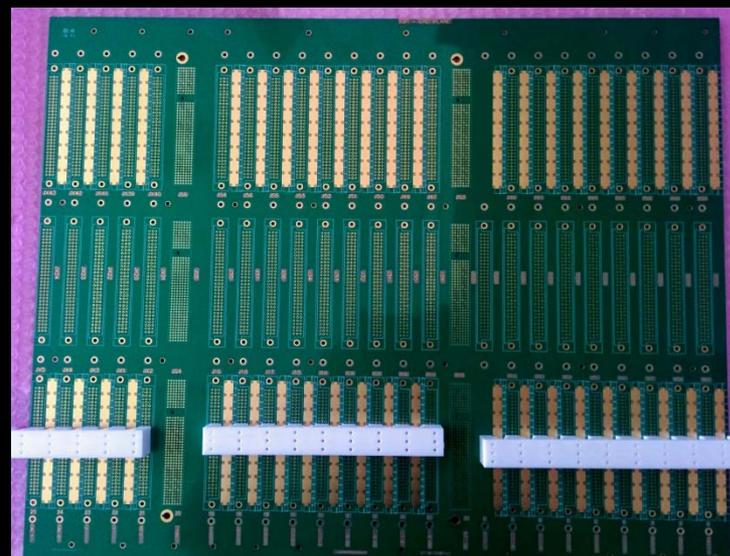


FTK usa 12 layers del tracker:
4 layers of Si pixel and
4 double layers of Si strips (2x4)



Upgrade elettronica trigger calorimetro LAr

- Upgrade del Sistema di trigger per renderlo piu' granulare
 - Possibilita' di implementare algoritmi piu' sofisticati e ridurre il fondo
- Richiede una nuova scheda di trigger e una modifica al baseplane del crate che ospita la scheda di trigger (e il resto delle schede di front-end)
- **Dobbiamo consegnare al CERN, prodotti e testati, i nostri due deliverables per questo upgrade**
 - **8 baseplane di tipo EMEC-special (+spares)**
 - **124 power boards per la alimentazione della nuova scheda di trigger (+spares)**
- Stato:
 - Baseplanes: 2 prototipi realizzati
 - il primo (non equipaggiato) in fase di test, il secondo in fase di equipaggiamento presso la ditta (EES, Genova)
 - abbiamo anche realizzato parte dei tool necessari per l'equipaggiamento



Primi test a Milano:

- **Connettivita'**
- **Rumore totale, rumore coerente, cross-talk**

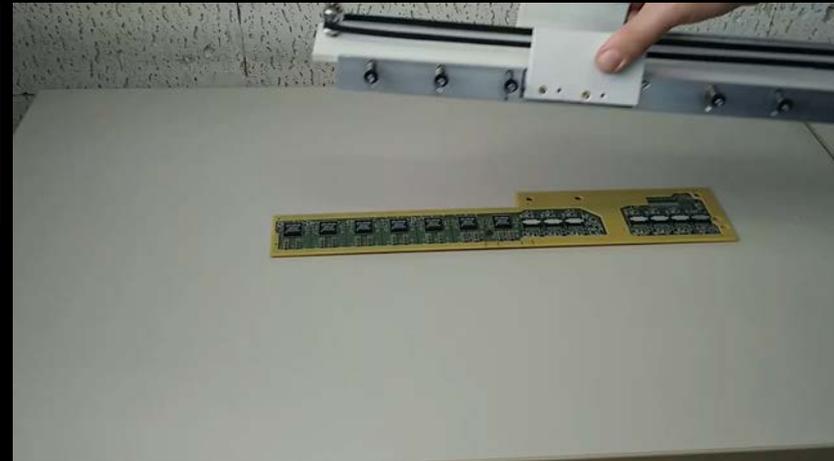
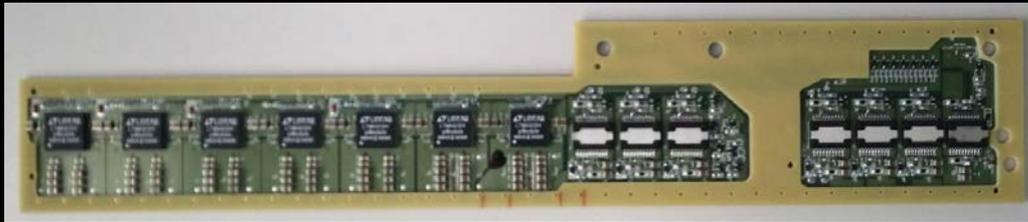
Poi test col resto del Sistema al CERN

E infine inizio produzione finale se tutto ok

- **Mauro Citterio, Fabrizio Sabatini**

Power boards

- ❑ Parte di alimentazione della nuova scheda di trigger, realizzata come mezzanina
- ❑ Prende in input tensioni da 4 a 11 V e crea le tensioni necessarie per alimentare la scheda di trigger tramite:
 - ❑ DC/DC converter della Linear Technology LTM4619 per la parte digitale
 - ❑ Regolatori lineari ST LHC4913 e LHC7913 per la parte analogica
- ❑ Produzione dopo la Production Readiness Review (Ottobre 2018):
 - ❑ test in casa e poi al CERN dopo il montaggio sulla scheda madre



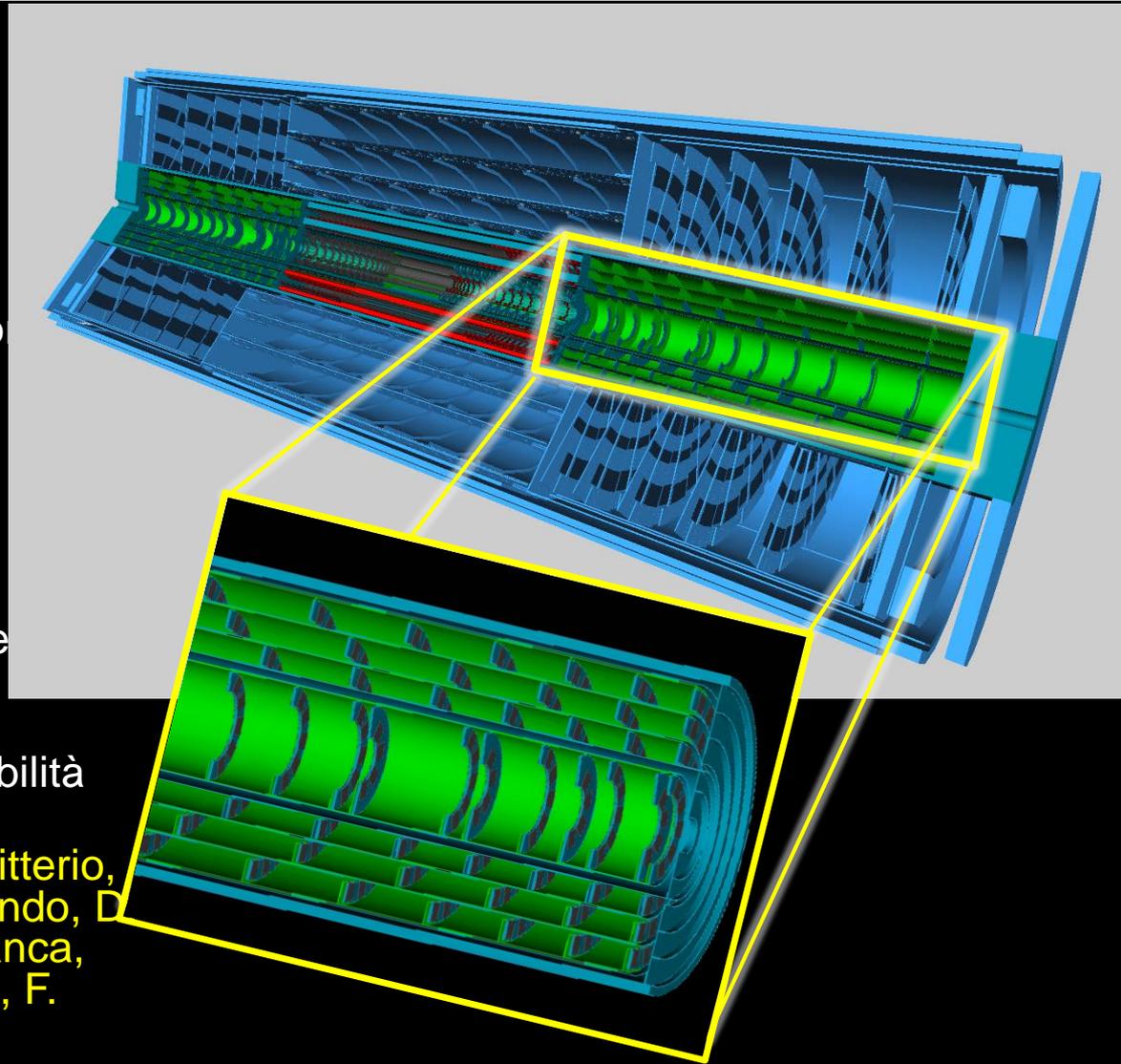
- ❑ Sia per l'attività sui baseplanes che su queste schede di potenza, è prevista una parte di attività di test ancora nel 2019
- ❑ **M. Citterio, S. Latorre, M. Lazzaroni**

Upgrade di Fase 2

- ❑ Upgrades di ATLAS per prepararsi ad operare alle condizioni di HL-LHC:
 - ❑ Luminosità istantanea fino a $7.5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - ❑ Pile up medio di 200 collisioni inelastiche per beam crossing
 - ❑ 10 anni di operazioni per raccogliere 3000 fb^{-1}
- ❑ Gestione del pile-up e resistenza alle dosi di radiazioni attese richiedono sostanziali upgrade di ATLAS, tra cui:
 - ❑ Completa sostituzione del tracciatore
 - ❑ Sostanziale upgrade del Trigger e della Data Acquisition (TDAQ)
 - ❑ Sostituzione di elettronica di front-end obsoleta, non rad-hard e non compatibile con il nuovo schema di acquisizione dati

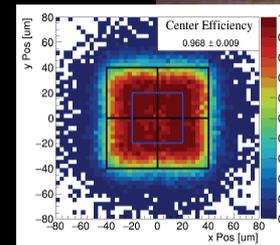
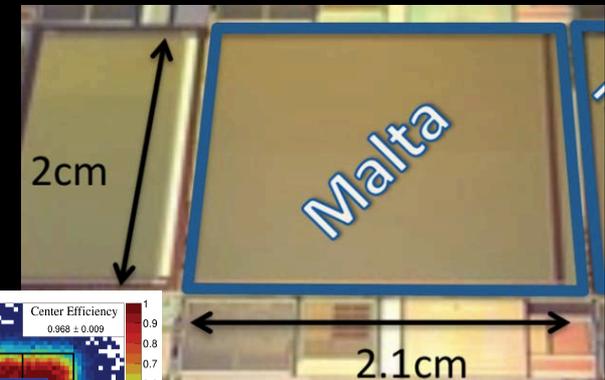
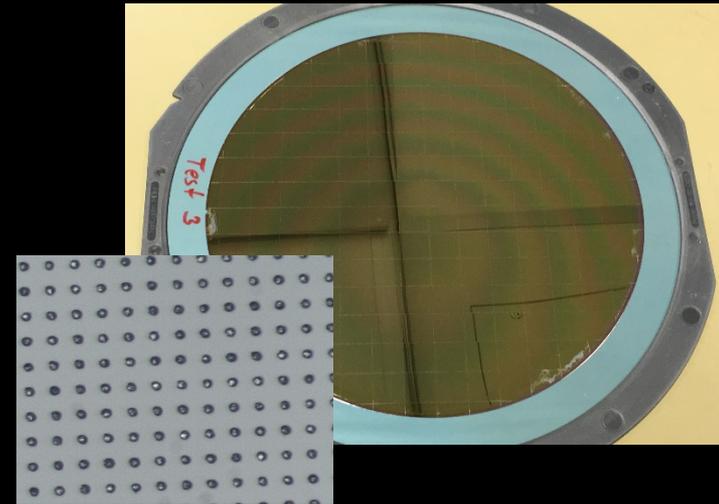
ITk, nuovo tracker per HL-LHC

- ❑ Sostituzione totale dell'attuale tracciatore
- ❑ Full-silicon tracker:
 - ❑ 5 pixel layers
 - ❑ 4 strip double layers
 - ❑ accettazione $|\eta| < 4$
- ❑ L'INFN partecipa al pixel detector
 - ❑ $50 \text{ mm} \leq R \leq 271 \text{ mm}$
 - ❑ $|z| < 3.5 \text{ m}$
 - ❑ 12 m^2
 - ❑ TDR approvato in aprile
- ❑ Principali contributi italiani
 - ❑ sensori per la parte più interna (FBK)
 - ❑ costruzione di uno dei due endcap (l'altro di responsabilità UK)
- ❑ G. Alimonti, A. Andreazza, M. Citterio, S. Coelli, S. D'Auria, M. Gesmundo, D. Giugni, T. Lari, V. Liberali, F. Manca, S. Monzani, C. Meroni, M. Monti, F. Ragusa, F. Sabatini, D. Trotta



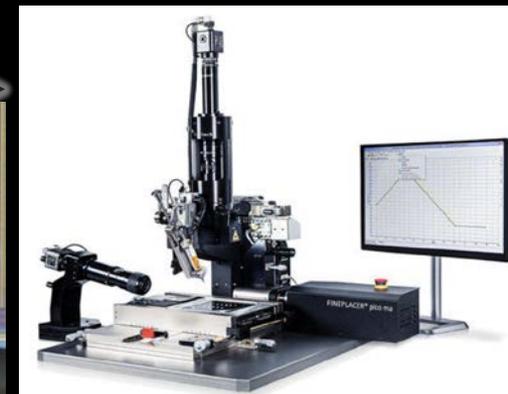
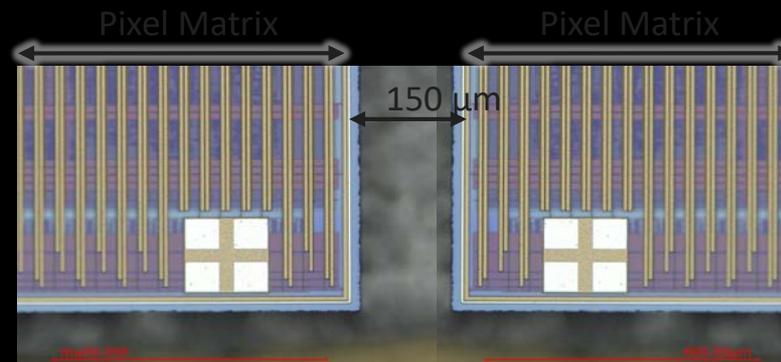
ITk-Milano sensori

- Sviluppo di bump-bonding pixel ibridi
 - Leonardo (Finmeccanica)
 - Messa a punto processo con wafer a 12" (deposizione, thinning, dicing)
 - Prime prove di assottigliamento sensori 3D FBK
 - Market Survey CERN in preparazione
- Depleted CMOS monolitici
 - Realizzati prototipi su grande area
 - Costi e tempi di produzione estremamente competitivi
 - Preliminary Design Review in ottobre
 - Prototipi per decisione finale 2019



ITk-Milano moduli

- ❑ Costruzione in Italia di ~1400 moduli:
 - ❑ Milano+Genova
 - ❑ Diverse tipologie (inner layers, endcap, CMOS)
 - ❑ Sviluppo degli ibridi flessibili
 - ❑ QA condiviso con BO, TN, UD
 - ❑ Qualifica nel 2019, produzione 2020-2
- ❑ Occasione per aggiornare e completare le dotazioni della sezione:
 - ❑ Wire bonder
 - ❑ Pull tester
 - ❑ Pick-and-place



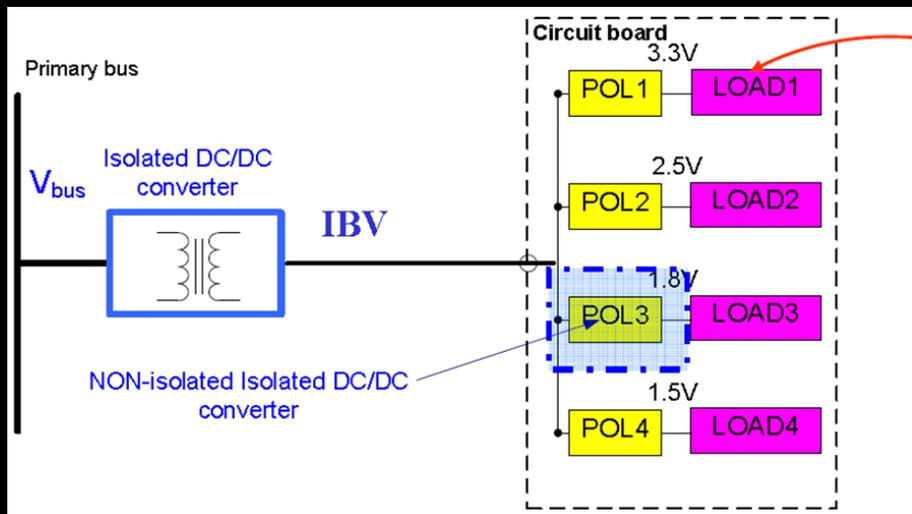
Track Trigger

- Le condizioni “estreme” di HL-LHC richiedono algoritmi di trigger piu’ sofisticati ai livelli piu’ bassi della catena di trigger
 - La ricostruzione HW di tracce (sia “regional tracking” che “full scan”) strumento fondamentale per ridurre i rate e tenere soglie di trigger simili alle attuali
- **Evoluzione di FTK: L1Track/Eftrack (regional), FTK++ (full scan)**
- **Alla base di questi progetti c’e’ un’evoluzione del chip di memoria associativa usato per FTK**
- Milano ha la leadership nella collaborazione di questi sviluppi che porteranno al chip AM09 che verra’ usato in ATLAS

□ **L. Frontini, V. Liberali, S. R. Shojaii, A. Stabile**

Calorimetro LAr

- ❑ La attuale elettronica di front-end del calorimetro non e' compatibile con la nuova architettura di trigger
- ❑ Tutta l'elettronica andra' sostituita: 1524 FEBs, 120 board di calibrazione, tutta l'elettronica di back-end
- ❑ La nuova elettronica di FE funzionera' a tensioni diverse (piu' basse) di quelle attuali e quindi tutto il sistema di alimentazione andra' riprogettato
- ❑ **Milano ha la responsabilita' di realizzare:**
 - ❑ **lo schema di alimentazione per la nuova elettronica di Front-End**
 - ❑ **la distribuzione e regolazione delle alimentazioni sulle schede di Front-End**



Ingredienti:

- Bus primario: 280 V
- Bus intermedio: 24 o 48 V
- POL sulla scheda per creare le tensioni necessarie all'elettronica di FE

LVPS

- ❑ Fondamentale e' la realizzazione del power supply (LVPS) che prende in input 280V (o voltaggio simile) e crea 24 o 48V.
 - ❑ Potenza necessaria: 3 kW
- ❑ Gli attuali LVPS sono situati on-detector in una posizione non accessibile durante la presa dati (richiede apertura di ATLAS):
 - ❑ **Grosso punto di debolezza del sistema: un malfunzionamento potrebbe rendere inutilizzabile una grossa parte del calorimetro per mesi**
- ❑ Abbiamo recentemente dimostrato che e' possibile spostare i nuovi LVPS in una posizione piu' esterna e quindi piu' facilmente accessibile
 - ❑ Minor livello di radiazioni
 - ❑ Campo magnetico piu alto (0.5 T)
- ❑ Riceveremo a breve un prototipo da CAEN di un alimentatore
- ❑ Stiamo testando i cavi (voltage drop, temperatura, noise) che collegano l'alimentatore e il crate di front-end
 - ❑ 20 m di cavo di 95 mm²
- ❑ Qualifica (noise e resistenza a radiazioni) dei POL e DC/DC converter da utilizzare nel sistema
- ❑ **M. Citterio, S. Latorre, M. Lazzaroni, F. Tartarelli**

Responsabilita' in ATLAS

- A. Andreazza: coordinatore HVCMOS ITk pixel
- S. D'Auria: convenor Non-collision Background Group
- T. Lari: convenor Fast Chain Simulation Group
- D. Giugni: ITk pixel project engineer
- D. Giugni: Pixel engineer
- L. Perini: Software & Computing Speakers Committee
- A. Stabile: Responsabile AM chip FTK, FTK++
- F. Tartarelli: Chair Institute Board LAr
- F. Tartarelli: coordinatore LVPS per LAr Phase 2 upgrade
- C. Troncon: Chair Inner Detector Speaker committee
- R. Turra: convenor gruppo $H \rightarrow \gamma\gamma$

Richieste finanziarie

Richieste ITK:	Item	2019 new	
		R	SJ
	Purchase 2 wafers ATLAS chip	0.0	
	Bump-bonding three 3D sensor wafers w/ ATLAS chip		31.0
	Bump-bonding three planar sensor wafers w/ ATLAS chip		31.0
	Thinning and dicing 2 wafers ATLAS chip		4.0
	Mask for planar sensors		2.0
	Prototipi flex moduli (planari)	5.0	
	Setup and consumi per assemblaggio moduli	4.0	
	Prototipi di chip monolitici CMOS (~10% di tutto ATLAS)	0.0	
	Produzione flex ibridi per rivelatori CMOS	5.0	
	Consumabili per prototipaggio cooling (electrical brakes, orifizi)	10.0	
	Test di brasatura verso ditta esterna		15.0
	Probe card test con ATLAS chip		2.0
	DAQ card per CMOS		5.0
	2nd DAQ system for module characterization	5.0	
		29.0	90.0

Richieste FTK++:

- 15 k€ per maschere + dies per chip AM08
 - 14 k€ per il package
 - 12 k€ per le testboards
 - 17 k€ per extra wafer per le PRMTot
- Tot.: 58 k€

Richieste finanziarie

□ Richieste LAr

Item	2018	2019	2020	2021	2022
FEB	20	15	10	10(*)	start of CORE spending for PDB2
LVPS	25	20	15	15(*)	start of CORE spending for LVPS
Test rad	15	15	15		
Total	60	50	45	25	

□ + Electronic Load: 12 keuro

□ Richieste calcolo Tier2

□ in via di definizione

Richieste finanziarie

Proposed Sharing of System-specific M&O-B Contributions for ATLAS in 2019 by Funding Agency (kCHF)

Funding Agency	Category-B items budgeted										Comp. B (FTE)
	Pixel	SCT	TRT	IDGen	LAr	TileC	Muon	FD	TDAQ	Total	
Hong Kong							31			31	0
Israel							11		2	13	2
Italy	165			74	43	54	141	44	5	526	7
Japan	5	87		34			107		4	237	2
Morocco					5					5	1
Netherlands		16		8			49		2	75	0
Norway		28		22						50	4

- Missioni:
 - circa 300 keuro

			Atlas	Phase I	Fase2_Atlas	ATLAS Gr. V	AIDA	sum ATLAS
1	Alimonti	Gianluca	10	0	50	0	20	80
2	Andreazza	Attilio	10	0	70	10	0	90
3	Capra	Stefano	0	0	10	0	0	10
4	Carminati	Leonardo	20	0	80	0	0	100
5	Carra'	Sonia	100	0	0	0	0	100
6	Cavalli	Donatella	0	0	0	0	0	0
7	Citterio	Mauro	0	10	50	10	0	60
8	Coelli	Simone	0	0	40	0	0	40
9	D'Auria	Saverio	30	0	70	0	0	100
10	Fanti	Marcello	70	0	20	0	0	90
11	Frontini	Luca	0	0	55	45	0	100
12	Giugni	Danilo	0	0	100	0	0	100
13	Lari	Tommaso	70	0	30	0	0	100
14	Lazzaroni	Massimo	0	0	70	0	0	70
15	Liberali	Valentino	0	10	50	40	0	100
16	Mandelli	Luciano	0	0	0	0	0	0
17	Monzani	Simone	20	0	0	0	80	100
18	Meroni	Chiara	10	0	70	0	20	100
19	Mungo	Davide	20	20	60	0	0	100
20	Murrone	Alessia	100	0	0	0	0	100
21	Perini	Laura	90	0	0	0	0	90
22	Ragusa	Francesco	0	0	70	0	0	70
23	Rebatta	Davide	100	0	0	0	0	100
24	Rossini	Lorenzo	100	0	0	0	0	100
25	Resconi	Silvia	70	0	30	0	0	100
26	Shojaii	Jafar	0	0	25	25	0	50
27	Stabile	Alberto	0	0	90	10	0	100
28	Tartarelli	G. F.	0	0	100	0	0	100
29	Troncon Clara	Clara	100	0	0	0	0	100
30	Turra Ruggero	Ruggero	40	0	60	0	0	100
31	Villaplana	Miguel	100	0	0	0	0	100
	FTE		10.6	0.4	12	1.4	1.2	25.5

Nel DB 31 persone (2 senior): 25.5 (ATLAS+FASE2_ATLAS+attività correlate)

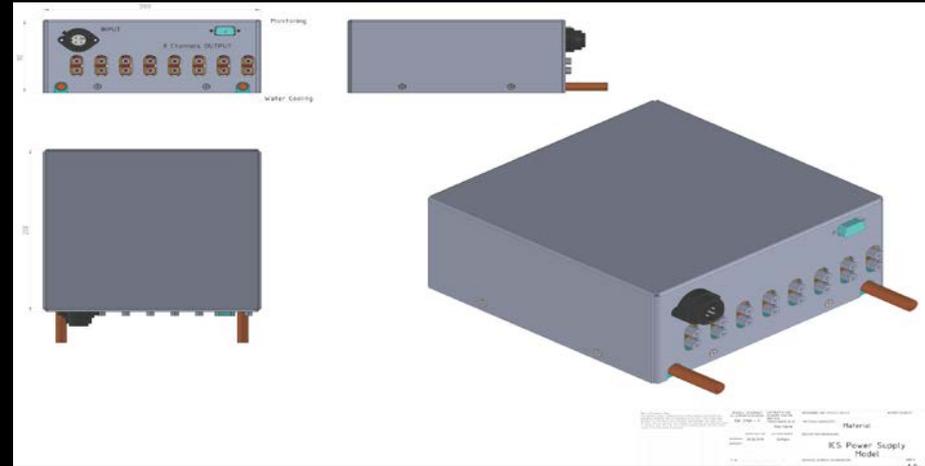
NSW LVPS

- ❑ For the LVPS we favor a commercial solution
- ❑ We will evaluate if the on-going development for the LVPS of the NSW can be a starting point for our design
 - ❑ CAEN and Wiener
- ❑ Main specs:
 - ❑ V_{in} : 48-300 V (OK for us)
 - ❑ V_{out} : 12 V (shouldn't be a problem to go to 24 or 48V)
 - ❑ nominal output power: 190 W (not easily scalable to higher power, it could require a new development)
- ❑ Radiation resistance:
 - ❑ TID: 96 Gy (LAr needs 0.39 kGy in Barrel and 1.11 kGy in Endcap – TDR numbers)
 - ❑ NIEL: $5.8 \times 10^{12} n_{eq}/cm^2$ ($2.4 \times 10^{12} n_{eq}/cm^2$ in Barrel and $5.9 \times 10^{12} n_{eq}/cm^2$ in Endcap)
 - ❑ SEE: $1.0 \times 10^{12} p/cm^2$ ($E > 20$ MeV) ($3.4 \times 10^{11} h/cm^2$ in Barrel and $9.8 \times 10^{11} h/cm^2$ in Endcap)
- ❑ Magnetic Field: 0.5 T (needed 0.55 T)

CAEN



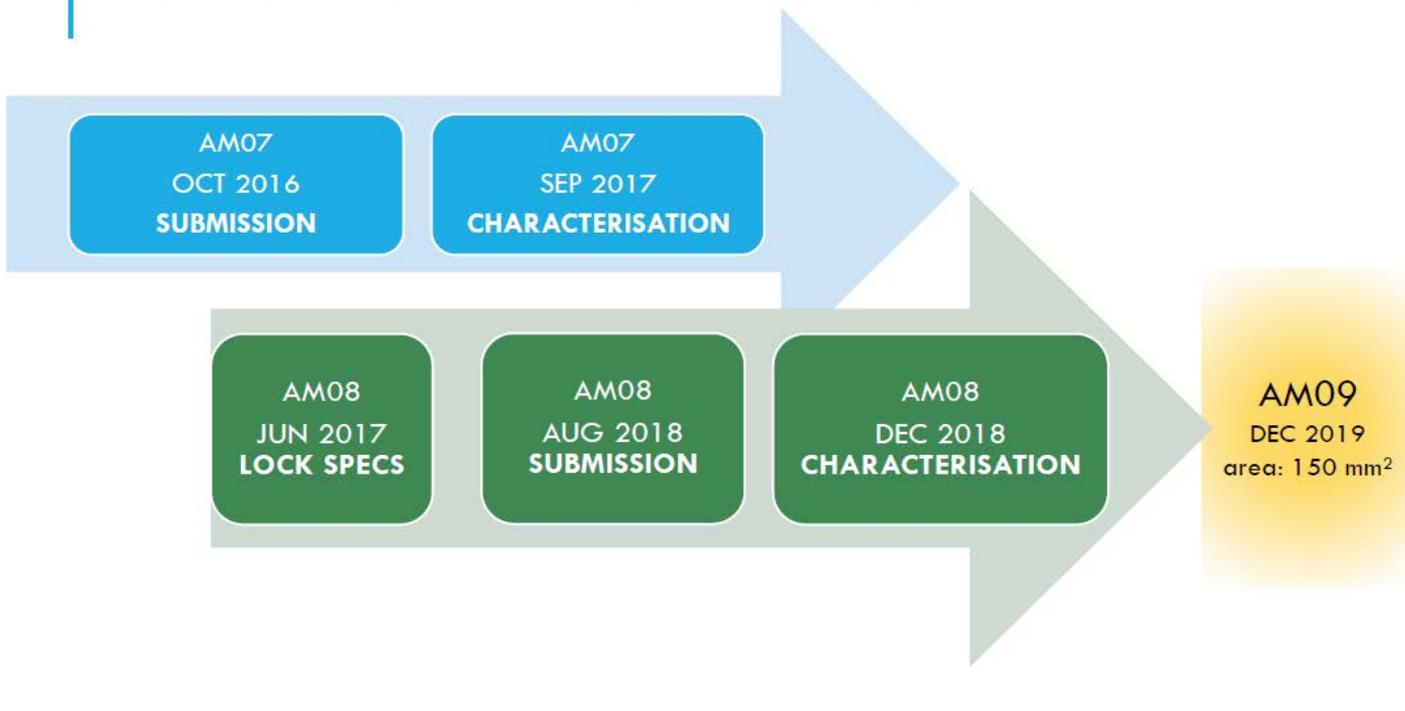
WIENER



- ❑ 8 channels/module (must allow two channel outputs to be paralleled for redundant supplies)
- ❑ 4 modules/crate
- ❑ Module size: 200 x 200 x 90 mm³
- ❑ **Both companies are late but should deliver a prototype probably this week (8 channels for CAEN, 2 channels for Wiener)**
 - ❑ then electrical test, magnetic field tests, radiation tests at CHARM
 - ❑ (CAEN individual components/pre-prototypes have been tested up to 300 Gy and 0.7 T in 2016-17)
- ❑ A configuration with two modules in parallel would provide about 3 kW

Track Trigger

SCHEDULE FOR THE NEXT CHIPS

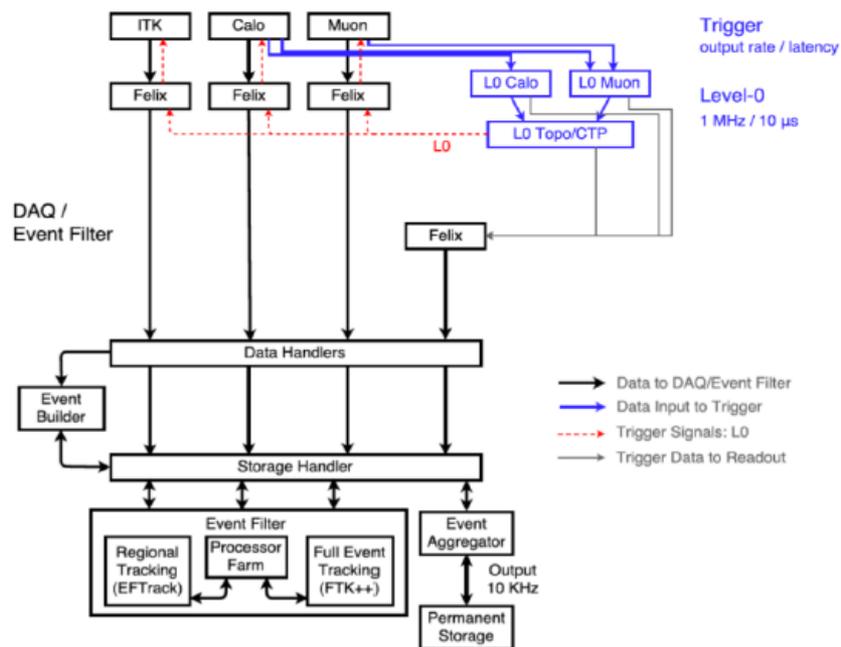
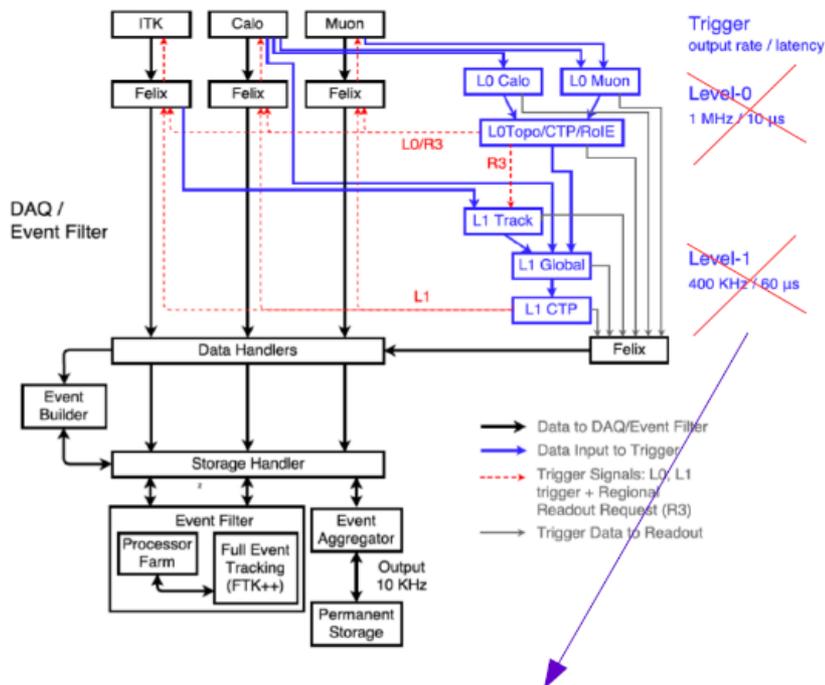


- Milano ha la leadership nella collaborazione di questi sviluppi che porteranno al chip AM09 che verra' usato in ATLAS
- V. Liberali, A. Stabile, L. Frontini

TDAQ Architecture

2 levels: L0/L1

L0 only (baseline)



Low-Latency option ("evolution"):

2-4 MHz / 5-6 μs @ L0

0.6-0.8 MHz / 20-22 μs @ L1

- start w/ baseline (2026)

- in case evolve to LLL0/L1 [>~2030]

STATE-OF-THE-ART: THE FTK SYSTEM

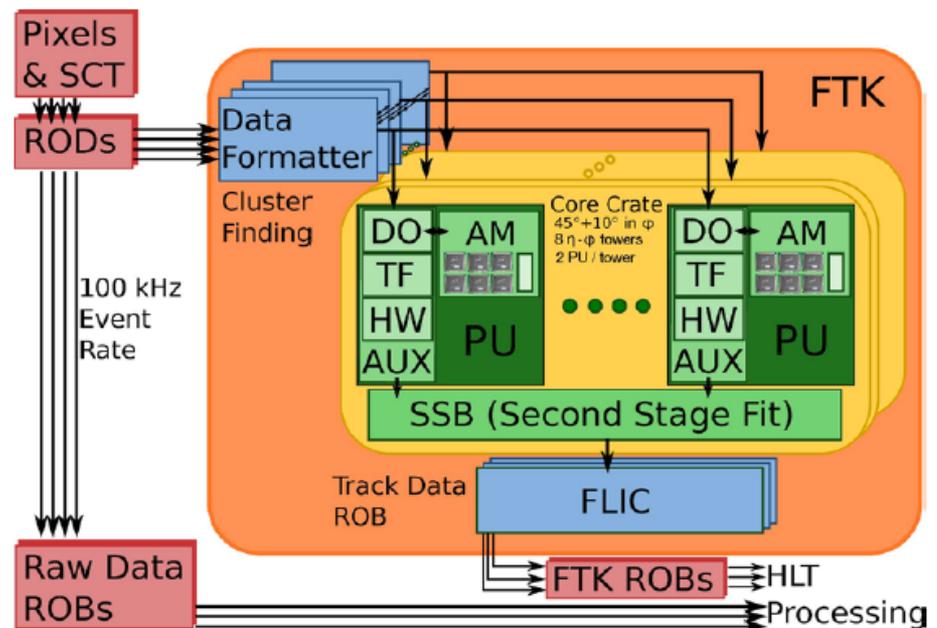
The whole FastTraKer (FTK) system stores **one billion (10^9) patterns**

- **8 Mpatterns** per board (128 boards)
- **128 kpatterns** per chip (64 AM chips / board)
- A pattern is composed by $18 \text{ bits} \times 8 \text{ words}$

Major concerns:

- high pattern density
 - ▶ **large silicon area**
- I/O signal congestion at board level (**solution: 2 Gbit/s serial links**)
- Maximum power limited by cooling (because we are fitting 8192 AMchips in 8 VME crates): **250 W per AM board**

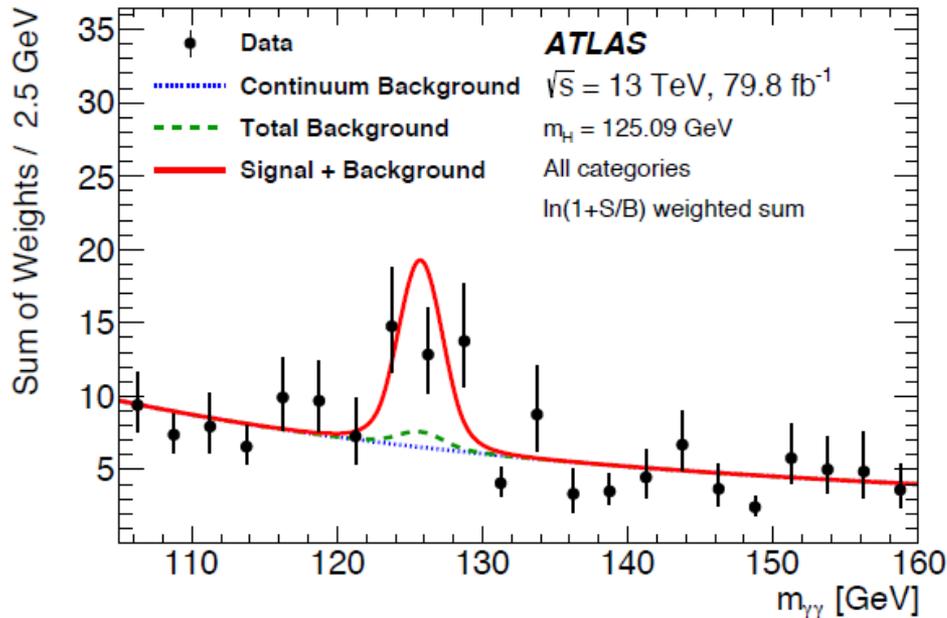
¹A. Andreani et al., "The AMchip04 and the processing unit prototype for the FastTracker," *IOP J. Instr.* 7 (2012) C08007



Events with low values of the BDT response are removed: about 85% (97%) of the $t\bar{t}H^-$ signal events are selected and about 89% (43%) of the non-resonant background events are rejected in the Had (Lep) region

Background estimation and **signal extraction** performed by simultaneous **unbinned fit** of $m_{\gamma\gamma}$ spectra (105-160 GeV) in all **7 categories**.

- Higgs signal parametrisation: double-sided Crystal Ball function;
- Continuous background parametrisation: smooth function (power-law or exponential)

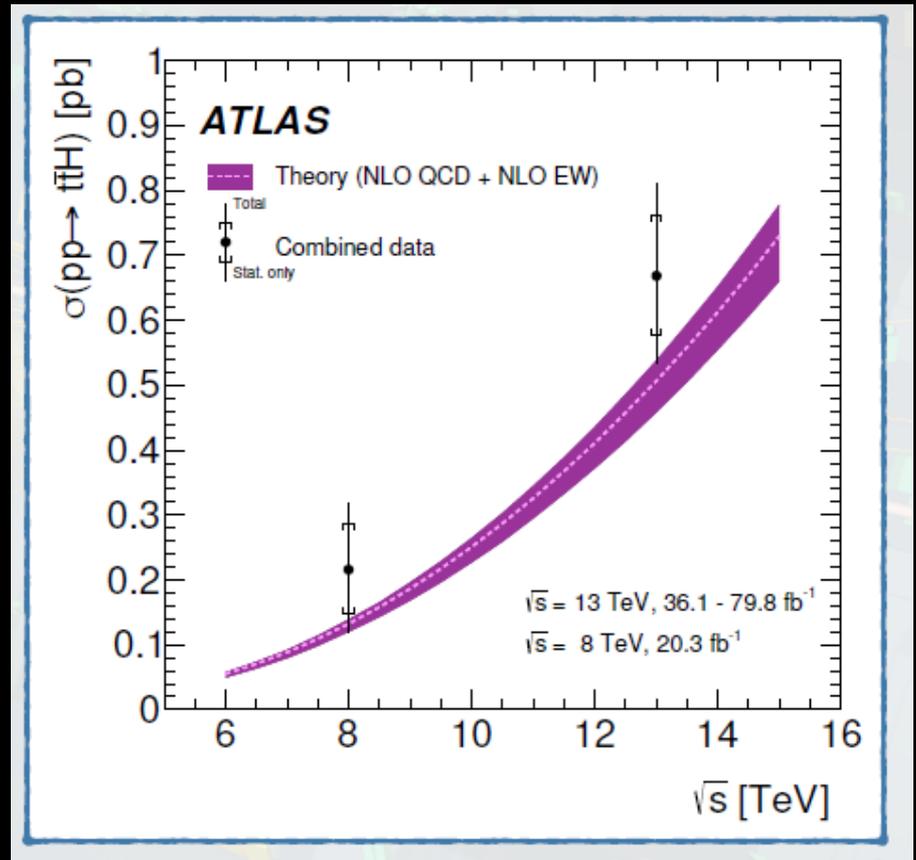
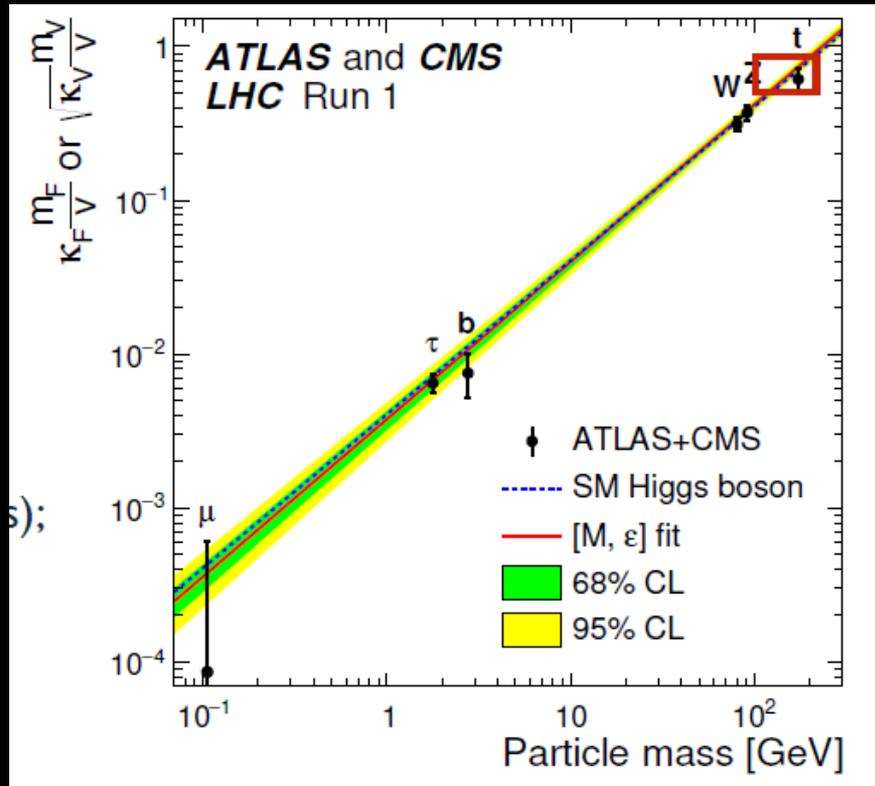


Dominant uncertainties

- Statistical (~29%);
- $t\bar{t}H$ parton shower model (8%);
- photon isolation, energy resolution & scale (8%);
- Jet energy scale & resolution (6%);

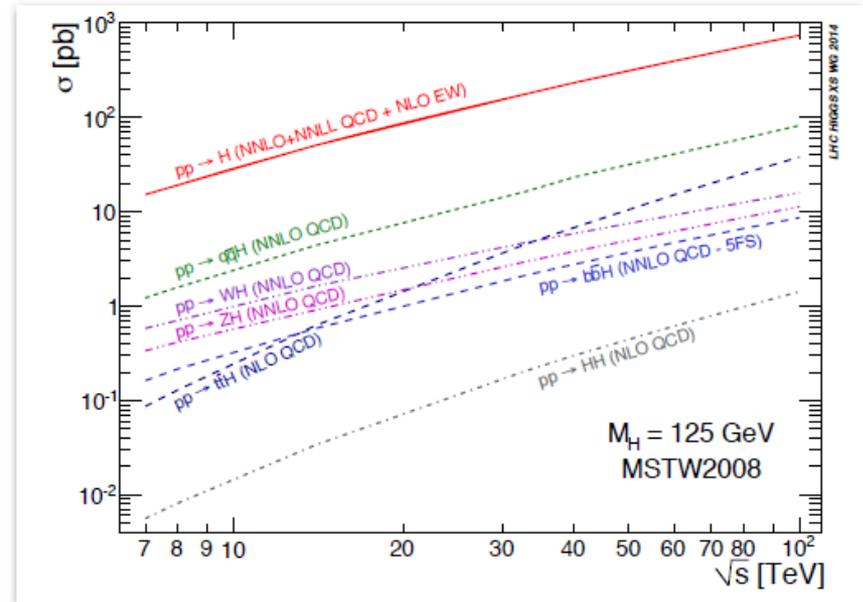
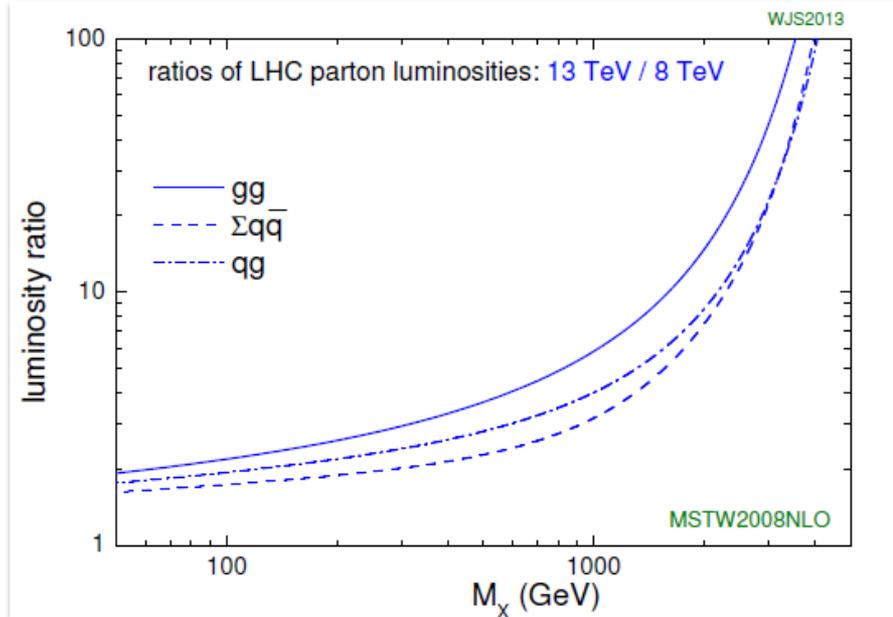
Uncertainty source	$\Delta\sigma_{t\bar{t}H}/\sigma_{t\bar{t}H}$ [%]
Theory uncertainties (modelling)	11.9
$t\bar{t}$ + heavy flavour	9.9
$t\bar{t}H$	6.0
Non- $t\bar{t}H$ Higgs boson production modes	1.5
Other background processes	2.2
Experimental uncertainties	9.3
Fake leptons	5.2
Jets, E_T^{miss}	4.9
Electrons, photons	3.2
Luminosity	3.0
τ -lepton	2.5
Flavour tagging	1.8
MC statistical uncertainties	4.4

Bin	Expected				Observed Total
	$t\bar{t}H$ (signal)	Non- $t\bar{t}H$ Higgs	Non-Higgs	Total	
$H \rightarrow \gamma\gamma$					
Had 1	4.2(11)	0.49(33)	1.76(55)	6.4(13)	10
Had 2	3.41(74)	0.69(56)	7.5(11)	11.6(15)	14
Had 3	4.70(88)	2.0(17)	32.9(22)	39.6(32)	47
Had 4	3.00(55)	3.2(31)	55.0(28)	61.3(47)	67
Lep 1	4.5(10)	0.25(9)	2.19(59)	6.9(12)	7
Lep 2	2.23(39)	0.27(10)	4.59(91)	7.1(10)	7
Lep 3	0.82(18)	0.30(13)	4.58(91)	5.70(88)	5
$H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\ell$					
Had 1	0.169(31)	0.021(7)	0.008(8)	0.198(33)	0
Had 2	0.216(32)	0.20(9)	0.22(12)	0.63(16)	0
Lep	0.212(31)	0.0256(23)	0.015(13)	0.253(34)	0



$$\sigma_{t\bar{t}H}(13\text{TeV}) \sim 4 \times \sigma_{t\bar{t}H}(8\text{TeV})$$

Phase space opening
+
 $M_X = 2M_t + M_H$ in gg



	$\sigma(13 \text{ TeV}) / \sigma(8 \text{ TeV})$
gg → H	~2.3 ($M_X = M_H$)
qq → H	~2.4 (probes high M_X)
qq → VH	~2.0 ($M_X = M_V + M_H$)
qq → ttH	~3.9 (phase space + M_X)
tt	~3.3 (gg → tt dominates)