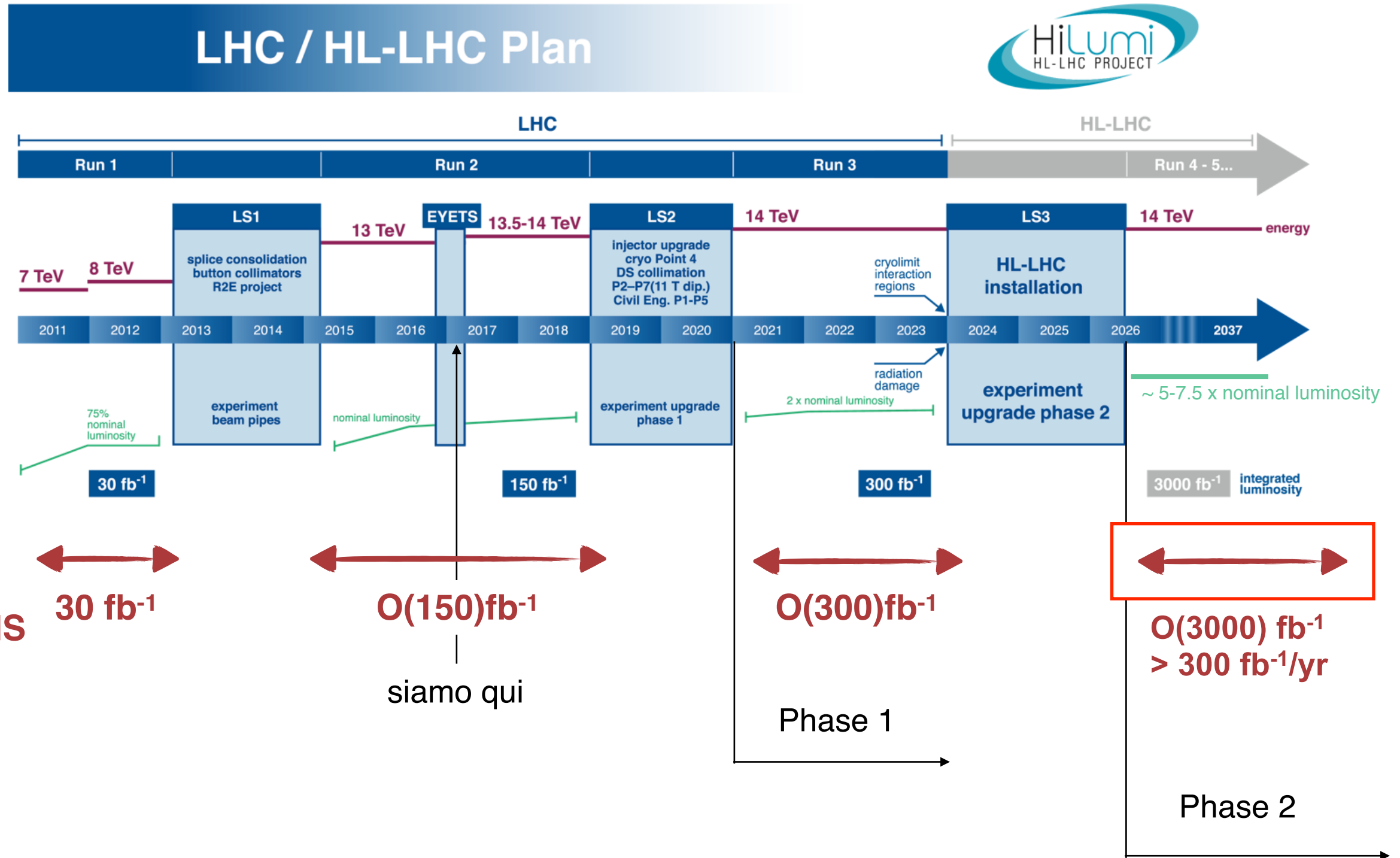


# **Sistemi di power supplies per l'upgrade degli esperimenti ad LHC**

Simone Paoletti - INFN Firenze

ITALY at CERN 2017  
CERN, 4 aprile 2017

# L'evoluzione di LHC



# ALICE e LHCb

Upgrades principali durante il LS2 (in prep. RUN3)

- Già prese diverse delle decisioni sul detector e decise le responsabilità dei vari gruppi

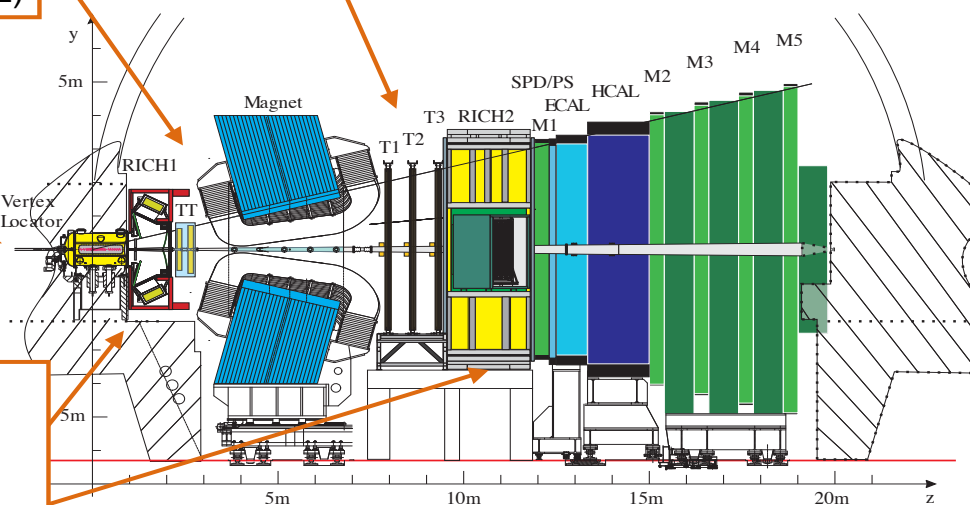
# LHCb, upgrades LS2

Main tracker: nuove T-Stations  
 “Large Scintillating Fibre Tracker”  
 3 stazioni di 4 piani di fibre  
 scintillanti ( $\varnothing 250\mu\text{m}$ ,  $L=2.5\text{m}$ ) lette  
 da SiPM (SiPM tenuti a  $-40^\circ\text{C}$ )

Upstream-Tracker:  
 nuovi Si-Strip (n+ -in- p) →  
 maggiore granularità, nuovo FE  
 e servizi (raffreddamento a  $\text{CO}_2$ )

Nuovo VELO (pixels)

Upgraded RICH  
 - nuovo FE e rivelatori MAPMT  
 (FE chip “CLARO”)  
 - nuova ottica per RICH1



## LHCb

- Per la fase 2 di LHCb l'Italia contribuisce nei seguenti sotto-rivelatori: Upstream Tracker (UT), RICH, Muon System
- UT
  - L'Italia non è responsabile delle Power Supplies
  - Per UT, sia per il LV che per HV, si utilizzeranno gli alimentatori attualmente usati in ST e TT, rivelatori che vengono dismessi con la fase 1, e se necessario si integra con nuovi alimentatori (attualmente non previsti)
- RICH
  - L'Italia non è responsabile delle Power Supplies
  - Si prevede che verranno acquistati alimentatori HV per i MAPMT
  - Gli attuali alimentatori di LV (Maraton) verranno utilizzati anche in fase 2
- Muon
  - Viene cambiata l'elettronica di lettura dei rivelatori ma si mantiene tutta la parte di alimentatori di LV (Maraton). Non cambiando i detector non si prevede di modificare la parte di alimentatori di HV (CAEN + PNPI/Florida)

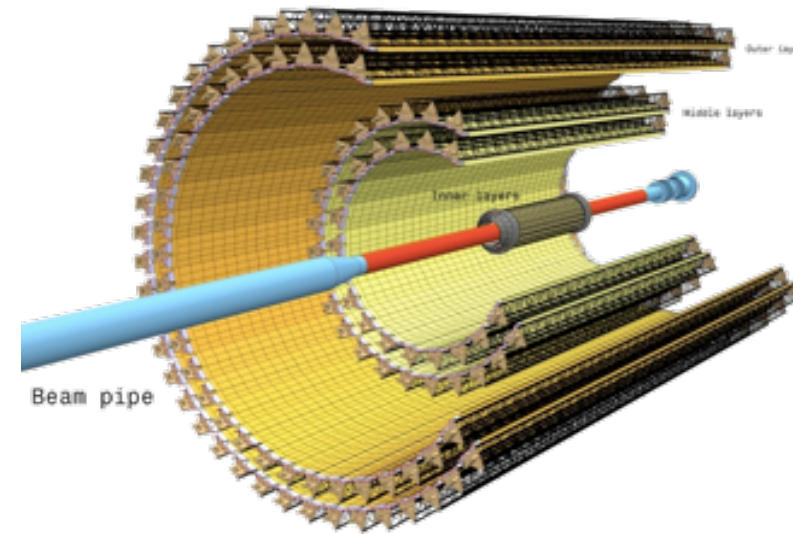


# ALICE upgrade



During LS2 (2019-2020)

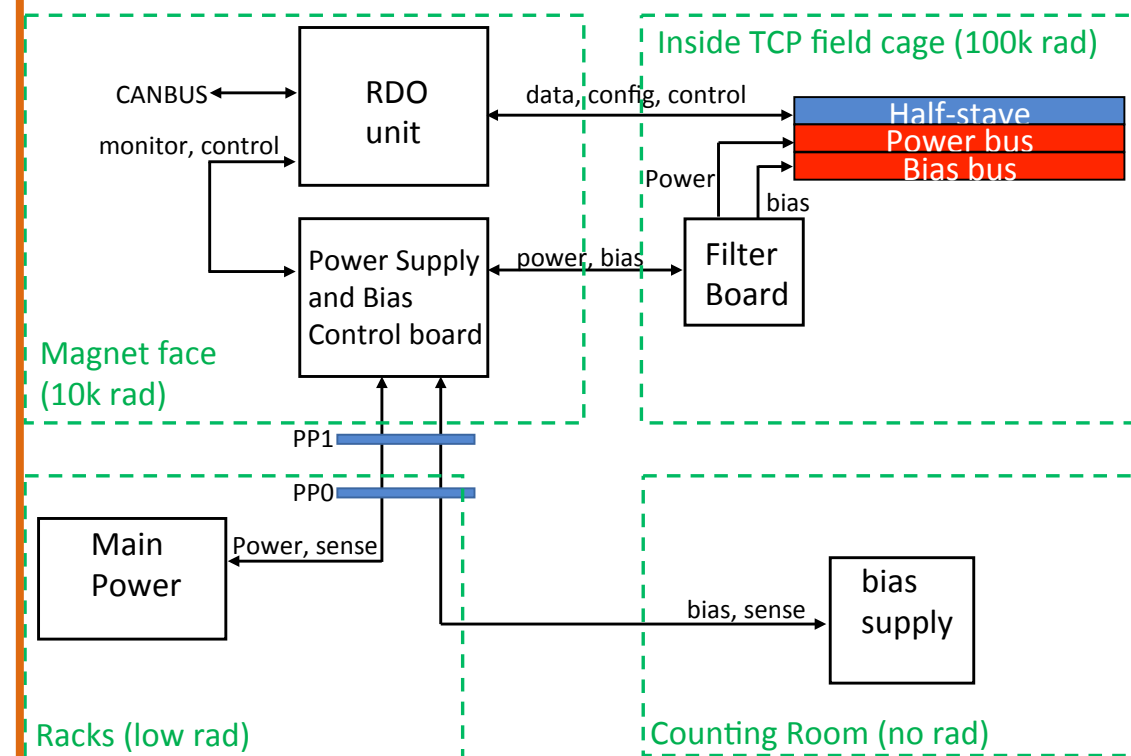
- Major upgrades in ITS (inner tracking system, silicon vertex detector) and TPC
- Several detectors upgraded in terms of readout electronics (TOF, TRD, MUON, ZDC)
- Italian funding agencies (mainly INFN) contributes to upgrade programmes for: ITS, TOF, MUON, ZDC



## Main opportunities for Italian companies:

- Power supply distribution for ITS
- New readout electronics for TOF, MUON, ZDC
- Current power supply systems for TOF and ZDC, based on CAEN modules are expected to be maintained after LS2
- Readout electronics will make use of GBTx chip and VTRx optical receivers

## Proposed power distribution for the new ITS system



Total power on Detector 5.5 KW

Orders to be placed in 2017 based on solutions commercially available

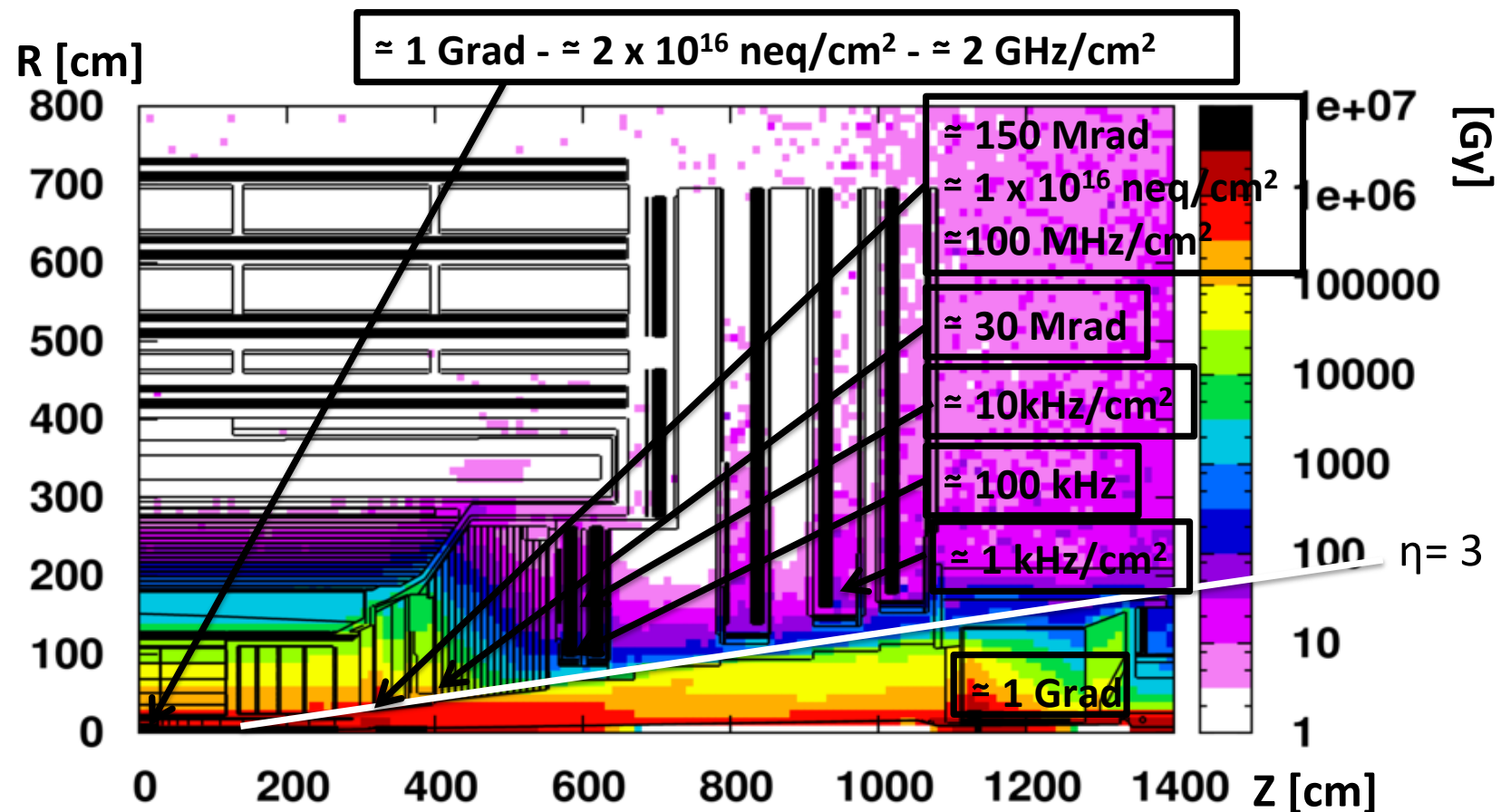
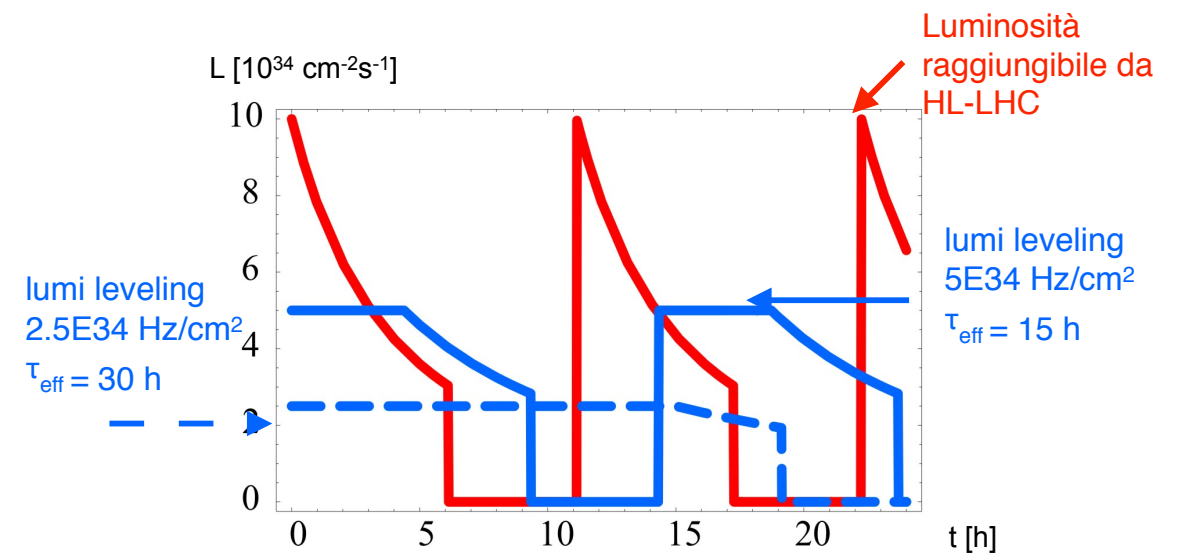
# ATLAS e CMS

- Vari upgrade tra LS1 e LS2 (ben avviati o conclusi) precedendo la fase2
- Gli upgrade di fase2 sono in via di definizione (TDR in scrittura attesi per 2017-2018) e quindi varie decisioni non sono ancora definite

# HL-LHC → PU e radiazione

## Rates di riferimento (ATLAS/CMS) per HL-LHC:

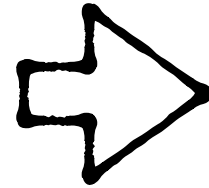
- $L \sim 5-7.5 \text{ E}34 \text{ Hz/cm}^2$
- $\langle \text{PU} \rangle \sim 140-200 \text{ int / bx}$



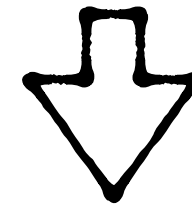
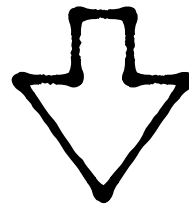
CMS radiation dose map, neutron equivalent fluence and particle rates for luminosities of  $3000 \text{ fb}^{-1}$  (integrated) and  $5 \times 10^{34} \text{ Hz/cm}^2$  (instantaneous)

# Alcune considerazioni generali

- Alti livelli di radiazione
- Alto “pile up”
- Alto data-rate



- sostituzione dei rivelatori più esposti → resistenza alla radiazione, granularità, material budget
- link ottici innovativi e conversione digitale “live” (40 MHz) sul detector
- potenziamento sistemi di trigger e di DAQ, back-end e computing



## Maggiori richieste sui servizi:

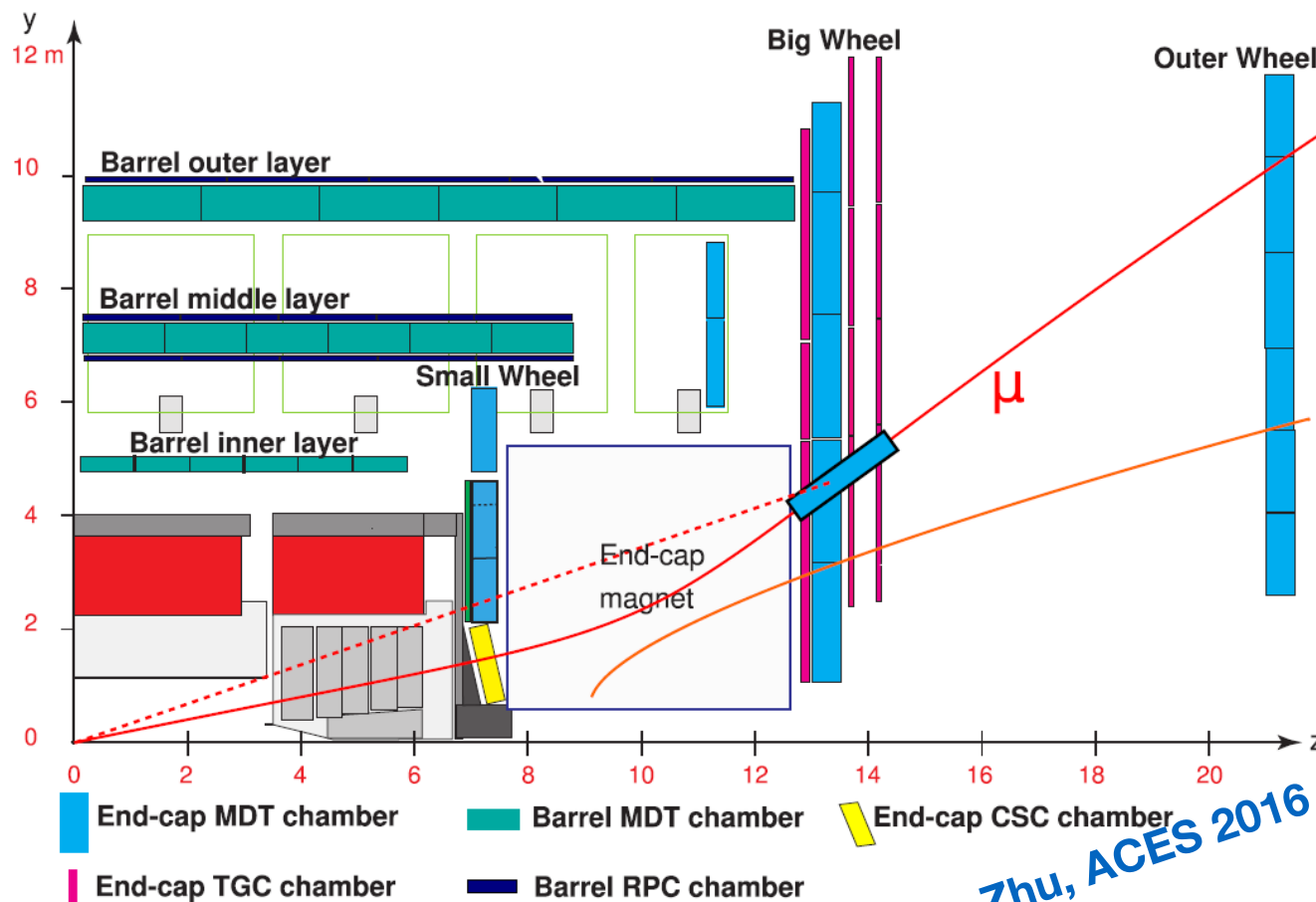
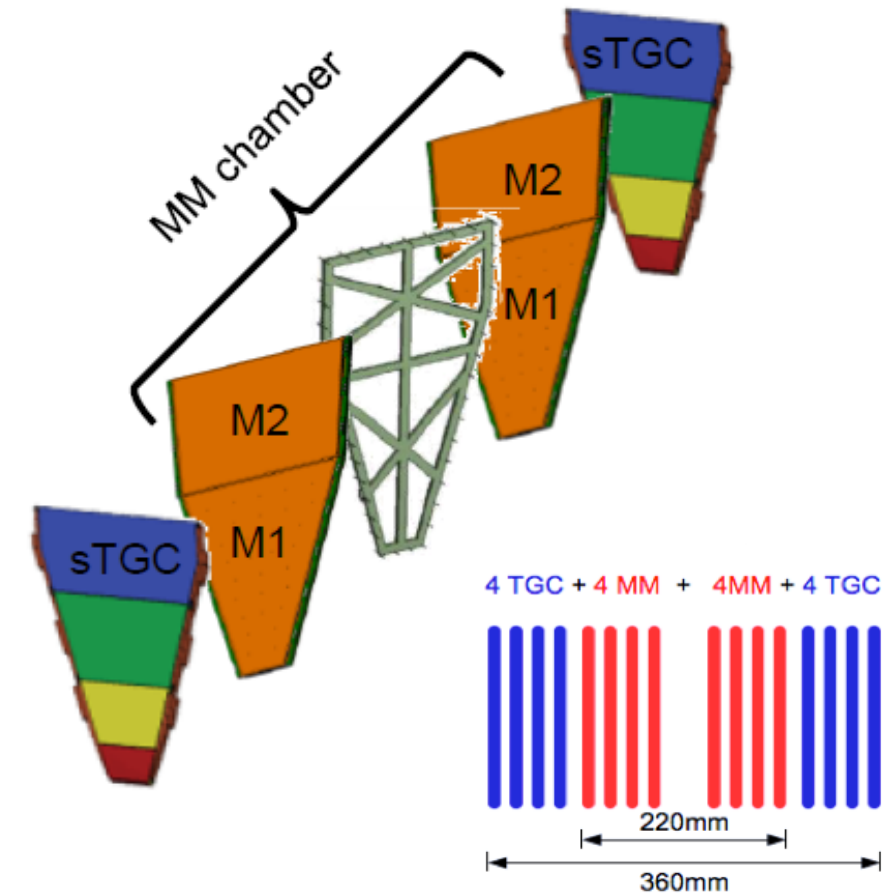
- elevato n.canali → gestione sistemi più complessa
- maggiore richiesta di potenza
- basso V (elettronica a tecnologia 130nm o 65 nm)
- maggiore precisione → rivelatori più “leggeri” (material budget) → limite sulla sezione di rame usabile nei conduttori

# Nuovi rivelatori per $\mu$ in avanti

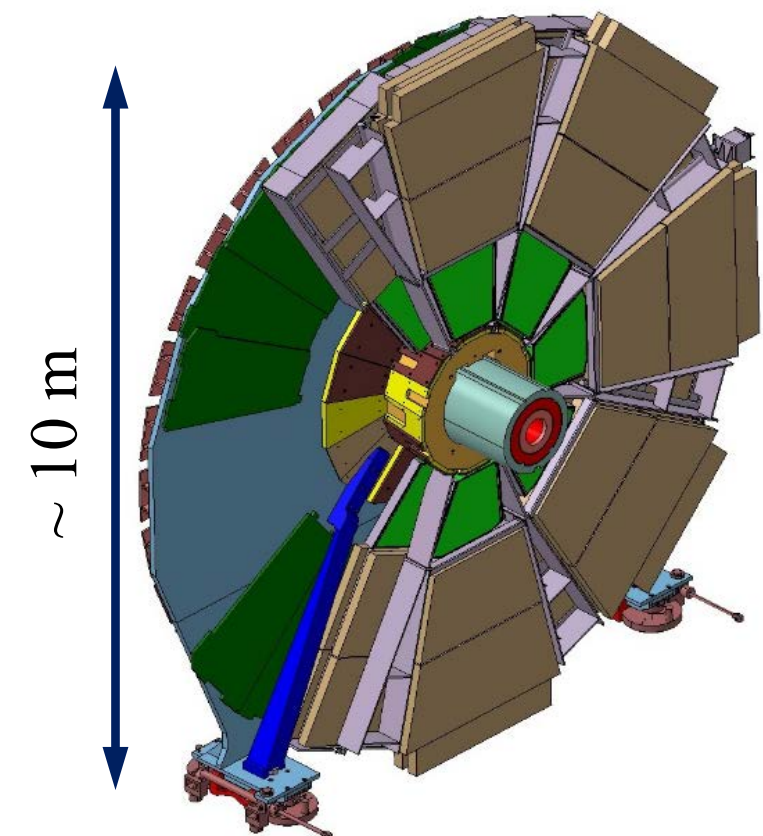
La fisica di HL-LHC richiede di coprire la regione in  
avanti con rivelatori veloci ed innovativi

# ATLAS: New Small Wheel

- stazione  $\mu$  più interna degli endcap, migliora puntamento tracce verso l'origine
- abbatte il n. di falsi trigger al primo livello
- sostituisce MDT+TGC usati nella SM attuale con:
  - ✓ sTGC “small-strip Thin Gas Chamber” ( $\sim 3\text{mm}$  pitch)
  - ✓ Micromesh Gaseous Structure Detector (Micromegas  $\sim 0.5\text{mm}$  pitch)
- rates: fino a  $15\text{ kHz/cm}^2$



Junjie Zhu, ACES 2016





# Sistema di alimentazione per NSW

- HV: <600V (MM) e 2.8kV (sTGC)
  - sistemi “standard” in area non ostile (EASY3000)
- LV: ~ 110kW @ (1.2V - 2.5V) su 7500 boards
  - uso di DC/DC integrati (famiglia FEAST, input: 5-12 V<sub>DC</sub>)
  - alimentati da “Intermediate Conversion Stage” 48V → 12 V

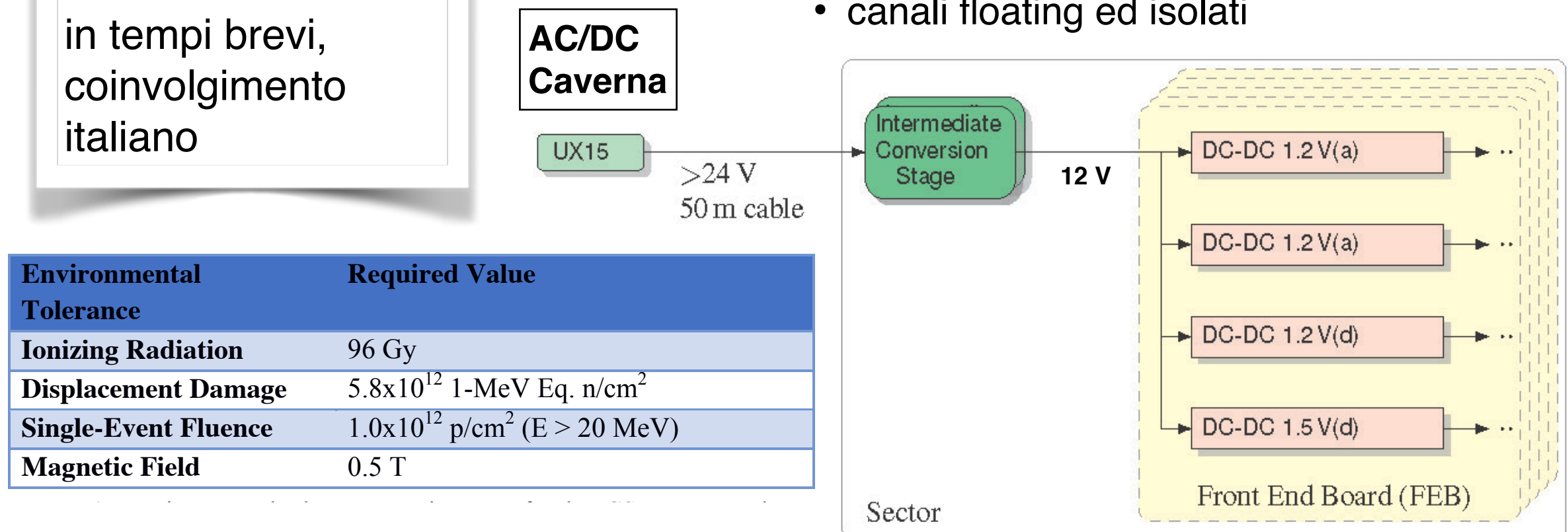
## moduli a 8 canali

- 80 moduli MM
- 48 moduli sTGC

Gara da effettuarsi in tempi brevi, coinvolgimento italiano

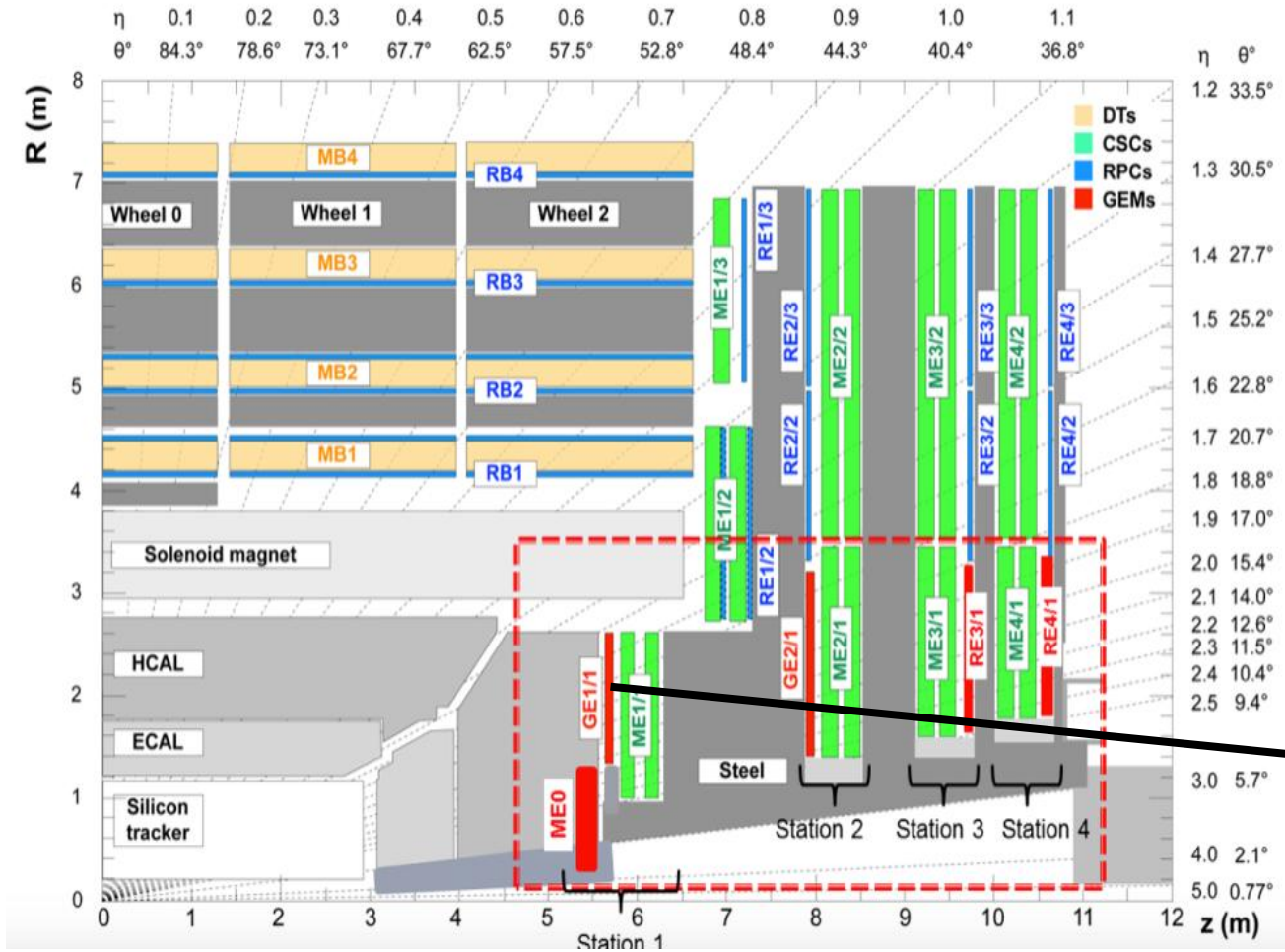
## Intermediate Conversion Stage

- Stand alone box 90x200x200 mm<sup>3</sup>
- Embedded minimal controls and monitoring
- Logica di trip per V<sub>max</sub> e I<sub>max</sub>
- 190 W/ch
- canali floating ed isolati



Environmental Tolerance	Required Value
Ionizing Radiation	96 Gy
Displacement Damage	$5.8 \times 10^{12}$ 1-MeV Eq. n/cm <sup>2</sup>
Single-Event Fluence	$1.0 \times 10^{12}$ p/cm <sup>2</sup> (E > 20 MeV)
Magnetic Field	0.5 T

# CMS: $\mu$ -tagging ad alto $\eta$



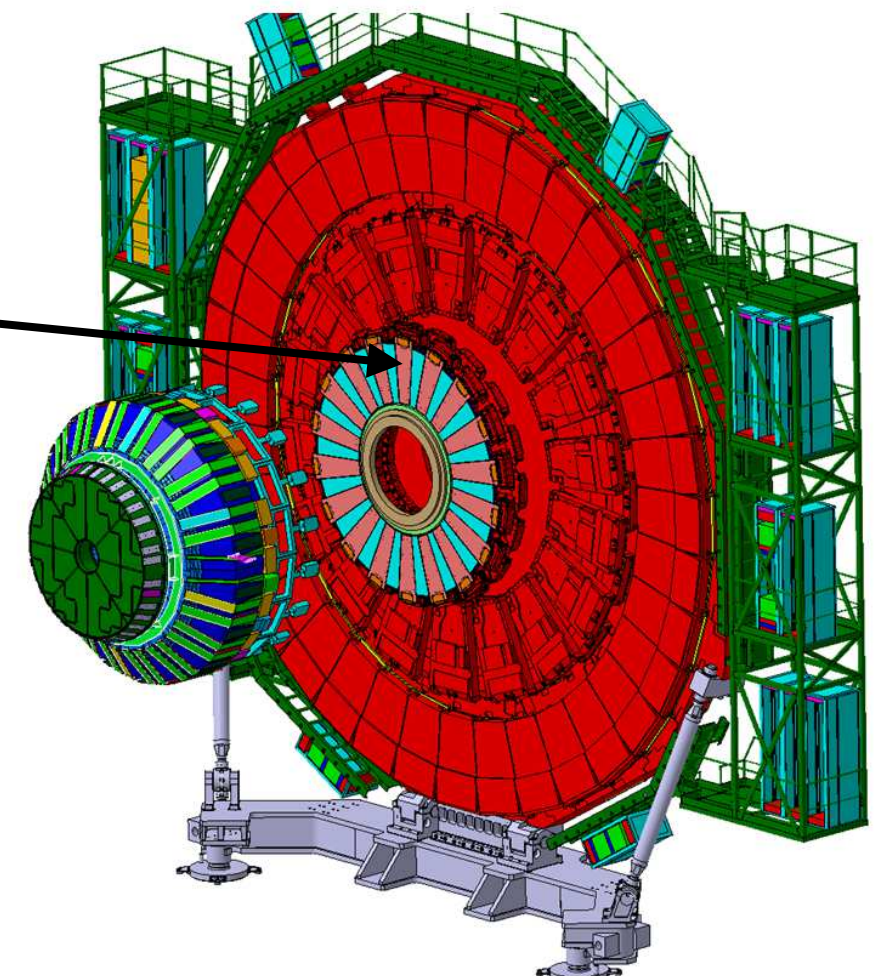
## RPC fino a LS3:

Continuare con il sistema EASY:

120 **A3009** + 150 **A3512**

(con upgrade infrastrutturali: AC/DC, EASY, SY)

**RE31 e RE41** (se approvati): 24 A3512 + 20 A3009



## GE11 (2016-2019):

- Sistema HV distribuito collocato in area non ostile (USC)
  - **A1515TG** Floating High Voltage Power Supplies: (70-80 ?)
- Low voltage “standard” con sistema EASY: (50 ?)

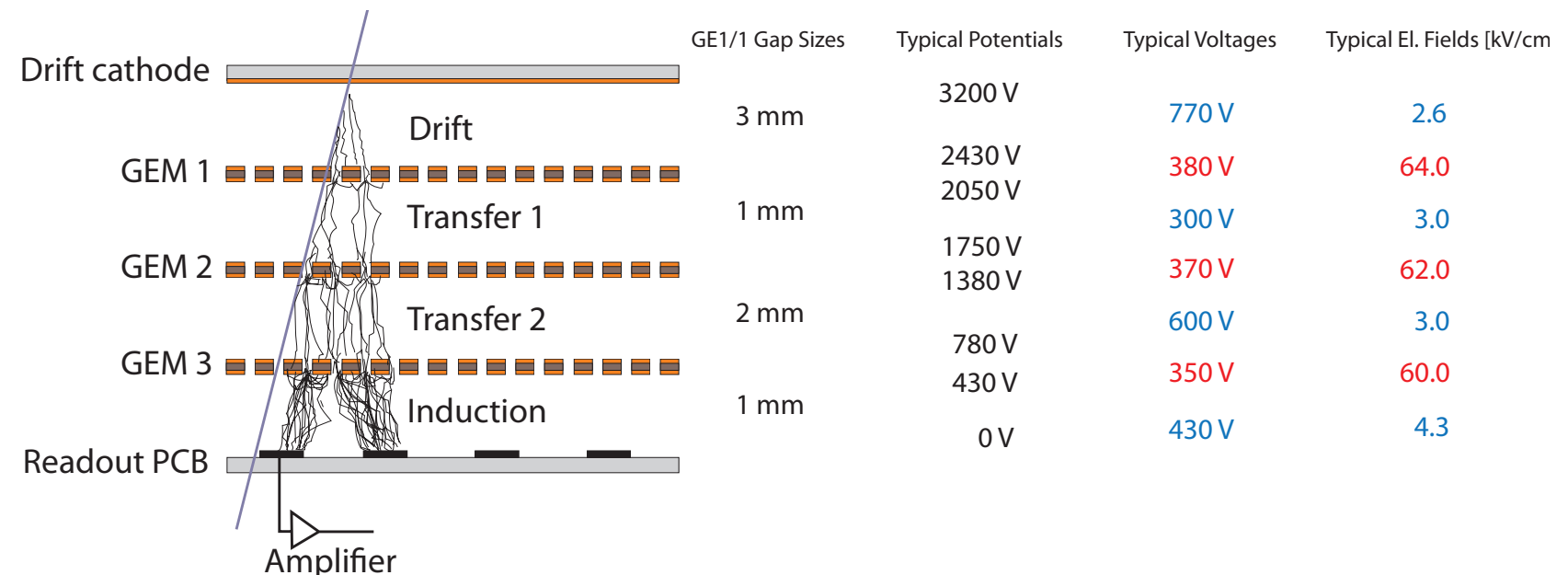
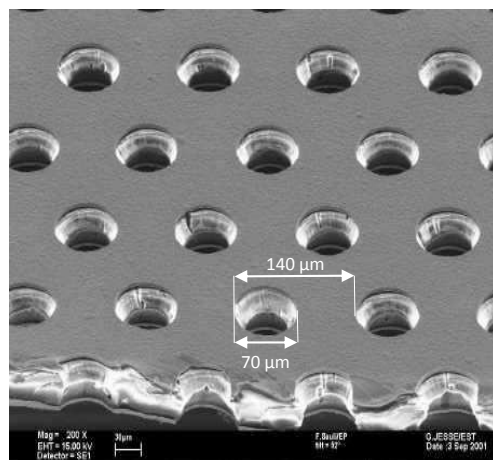
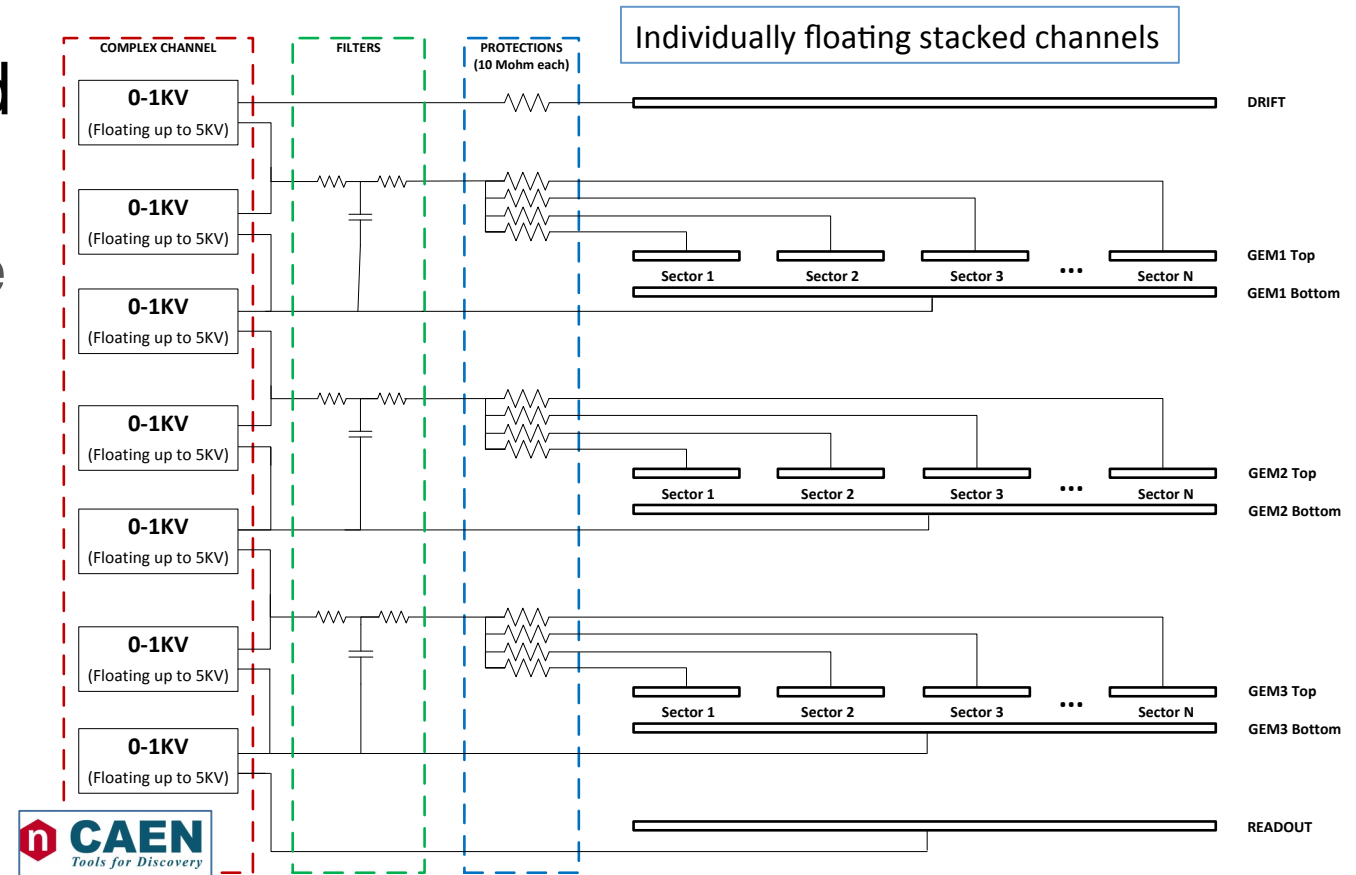
## GE21 (2023): simile a GE11

ME0 (2023) è in fase di definizione

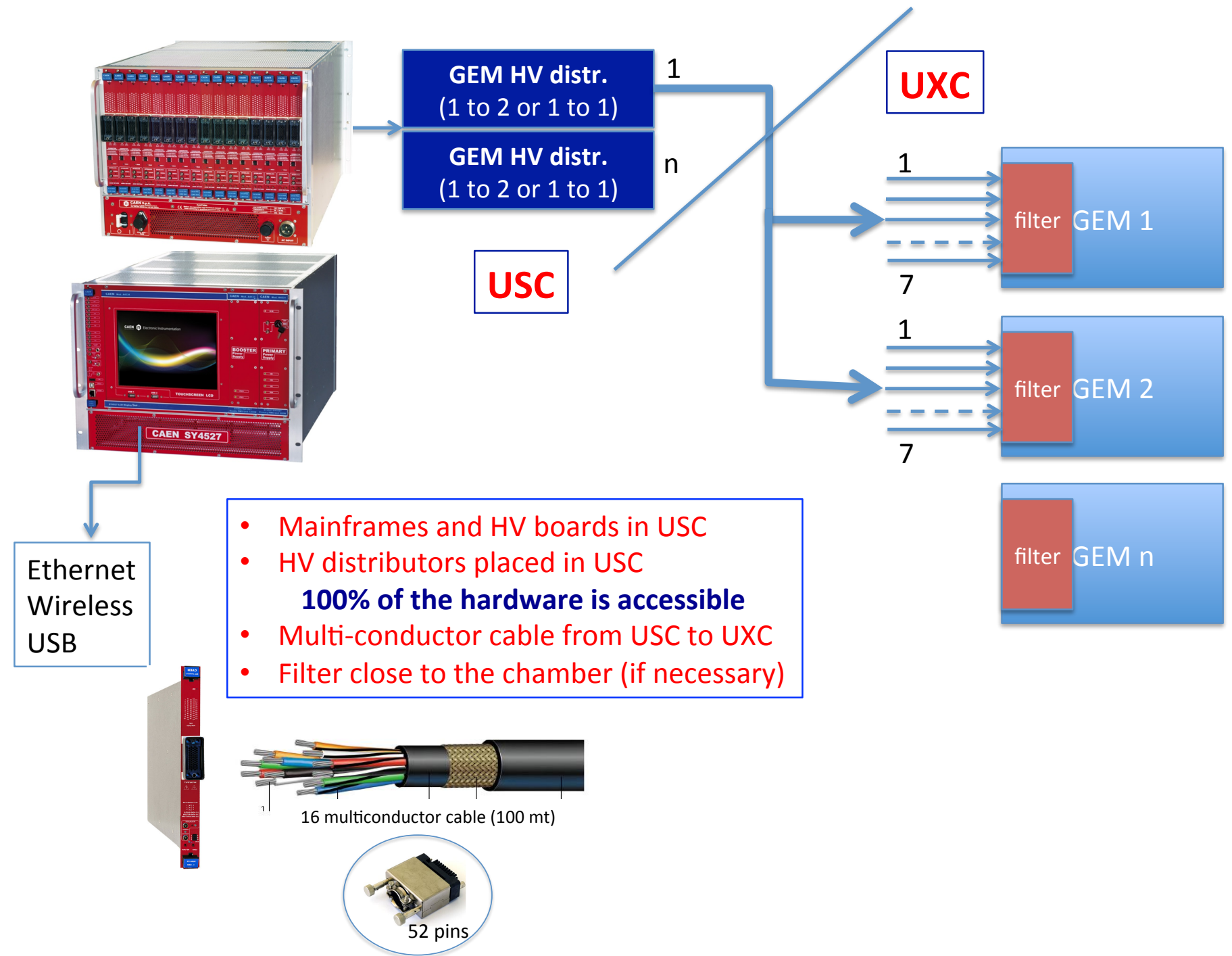


# Sistema di canali HV complessi

- GE1/1: 7 canali HV indipendenti ed isolati
  - sistema “compatto” in area non ostile
  - ramp-up/down ben sincronizzato (controllo  $\Delta V$  tra i fogli)
  - in caso di short su 1 segmento HV, l'alimentatore mantiene la tensione assicurando la corrente attraverso le protezioni a 10 M $\Omega$



# CAEN A1515TG



Assure a very high **stability** of the detector

- No over-voltage during the ramping
- Voltage stability = 0.01%/°C
- Voltage stability at fixed temperature < 0.01%

**Low noise** induced on the chamber and front-end

**Very fast feedback** in case of local discharge

Operating Range 0-5 KV and 0-1 mA

**Accessibility** (great part of the system)

Hardware and software voltage **limitation**

Compatible with CMS DCS and DSS system

# Rinnovamento dei vecchi sistemi di alimentazione

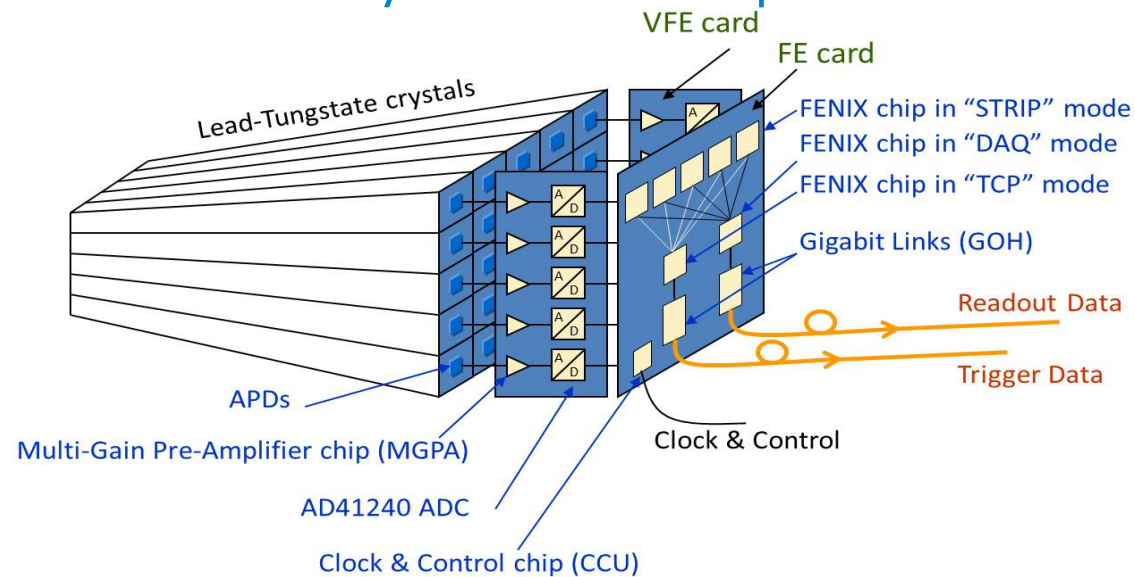
- Sostanziale il coinvolgimento italiano nei sistemi di alimentazione dei rivelatori per  $\mu$  già installati, sia per ATLAS che CMS
- Da capire lo scenario di manutenzione/sostituzione per HL-LHC.
- Esempio: sistemi LV e HV per ATLAS: MDT, RPC, TGC
  - basati su sistema CAEN EASY 3000
  - Obsolescenza. Reperibilità dei componenti. Contratto di manutenzione in scadenza.
  - Rinnovo dei sistemi di controllo:
    - ✓ necessità di adottare nuovi protocolli di comunicazione per evitare collo di bottiglia
  - Invecchiamento da radiazione. Il sistema è certificato per una luminosità integrata di  $\sim 1700 \text{ fb}^{-1}$ : abbastanza per finire la fase1 ma non per terminare la fase2
- Il sistema può funzionare fino al 2029 ma non fino al 2034.
  - Elevato il costo per rimpiazzare tutto insieme:  $\sim 10 \text{ M€}$
- sostituzione graduale dei componenti distribuita su 4-5 anni di tempo
  - sistema retro-compatibile con i protocolli DCS già in uso

# Calorimetri

Rivelatori nuovi (calorimetro di CMS in avanti) o comunque FE nuovo dei rivelatori → sistema di alimentazione da rifare

# CMS ECAL barrel

61200 PWO crystals with APD photon sensors.



## Principali upgrades:

- abbassamento T esercizio (8 deg) → mitigato l'effetto della rad. sulla risoluzione
- nuova elettronica VFE/FE/BE
- GBT @ 10Gbps → trasferimento dati dai cx a 40 MHz

**LV:** adesso: regolatori low-voltage resistenti alla radiazione (LHC4913 ST-microelectronics) → upgrade: convertitori DC-DC serie "FEAST". Pronto il primo prototipo della scheda con i DC-DC montati.

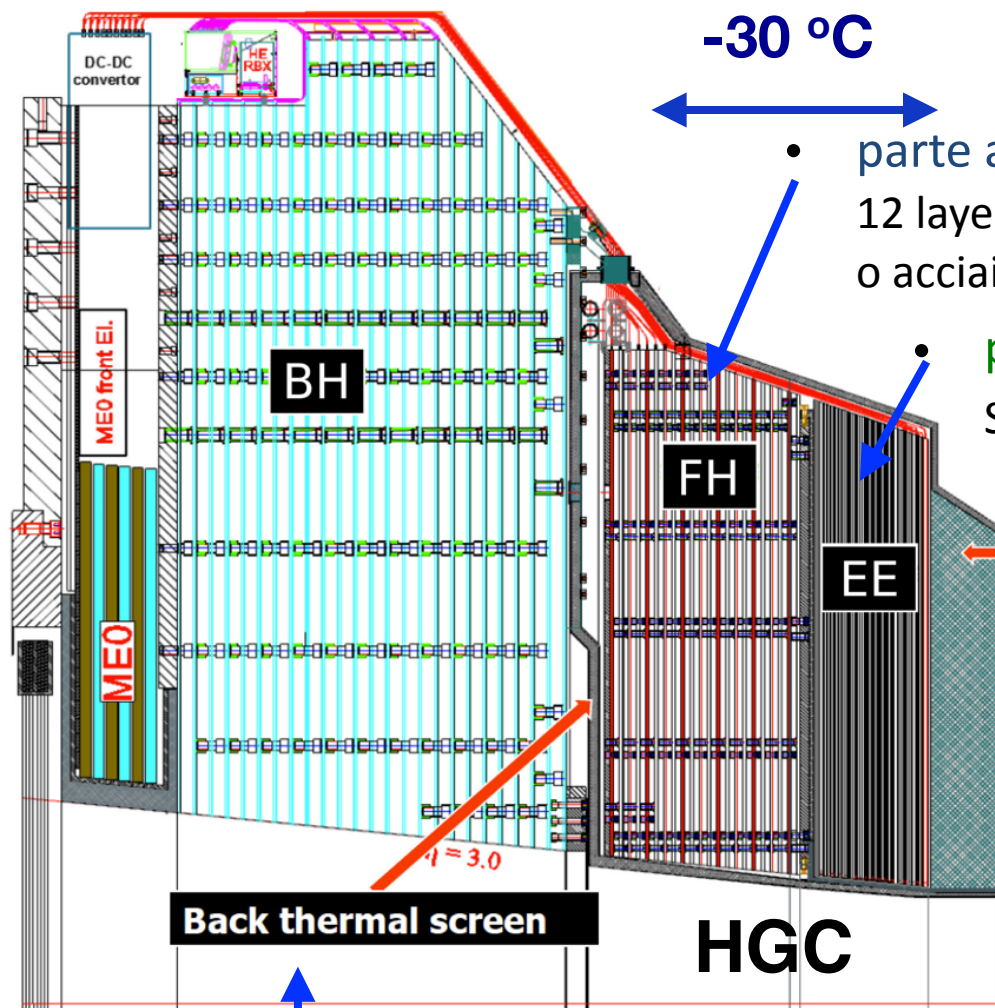
**LV:** back-end: basato su sistema Maraton della Wiener, collocato nella caverna di CMS. Power ~ 150 kW → upgrade: **nuovo sistema da rifare.**

**HV** for the APDs: adesso CAEN SY4527+ board A1520PE (1224 channels), installata in USC (HV fino a 500 V,  $I < 15\text{mA}$ , estrema stabilità e precisione su 120 m di cavi, sistemi dotati fili di sense). → Da rifare per l'upgrade a causa dell'obsolescenza dei componenti.



# CMS HGC

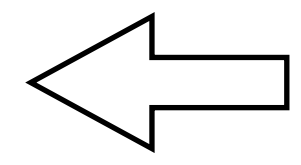
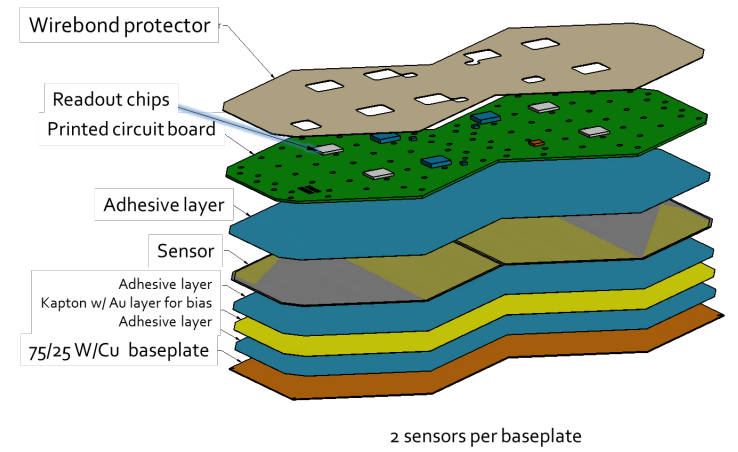
- sostituzione dei calorimetri negli endcap di CMS
- misura di jets,  $\tau$ -jets, boosted jets, ...



-30 °C

• parte adronica: (3.5  $\lambda$ ):  
12 layers di Silicio/ottone  
o acciaio

• parte e.m. (26  $X_0$ , 1.5 $\lambda$ ): 28 layers di  
Silicio con assorbitore W/Cu



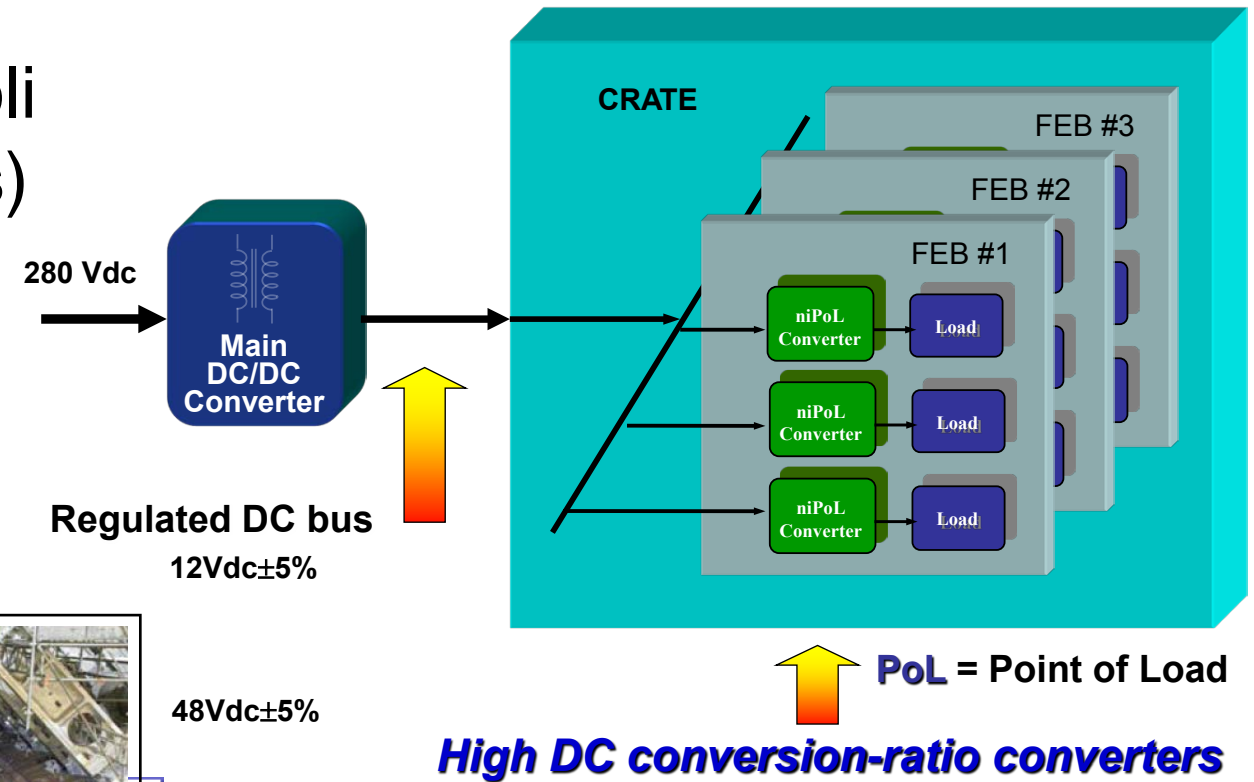
**~ 2 x 50 kW @ 1.2V**  
uso di DC/DC  
**Backend da definire.**

• BH (5  $\lambda$ ) → 12 layers di  
Scintillatore/ottone (acciaio)

- 593 m<sup>2</sup> di silicon
- 6M canali, celle di 0.5-1 cm<sup>2</sup>
- 52 layers
- 21,660 moduli (sensori 8" o 2x6")

# ATLAS LAr

- Elettronica FE e BE da cambiare → uso di PoL sul FE.
- sviluppo di alimentatore DC/DC intermedio in zona ostile con forti vincoli di spazio (constrained b/w 2 tile fingers)
- alternativa: sistema BE in area non-ostile
- TDR per autunno 2017



March 8, 2016

ACES - CERN

Mauro Citterio

DC-DC Main Converter  
Constrained between two Tile fingers  
Dimensions: ~ 15x30x40 cm<sup>3</sup>  
Water cooled

Front-end Electronics  
Equivalent Load: ~ 3kW  
Load will not increase in Phase II

*Power Supply exposed to*  
- radiation  
- "moderate" magnetic field (< 1 kG)

*NOT accessible → Reliability/Redundancy*  
*Single Point of Failure*

	Simulation (one year)	Safety Factor	Test Target* (10 years)
<b>Ionizing Dose</b>	3.0 rad	10	100 krad
<b>1 MeV eq. Neutron</b>	$6.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$	2	$1.2 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$
<b>Hadrons (&gt;20 MeV)</b>	$8.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$	2	$2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$

\*1 LHC year =  $10^7$  s,  $\sigma_{pp} = 80$  mb, Luminosity =  $5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

**x 10**

# Tracciatori

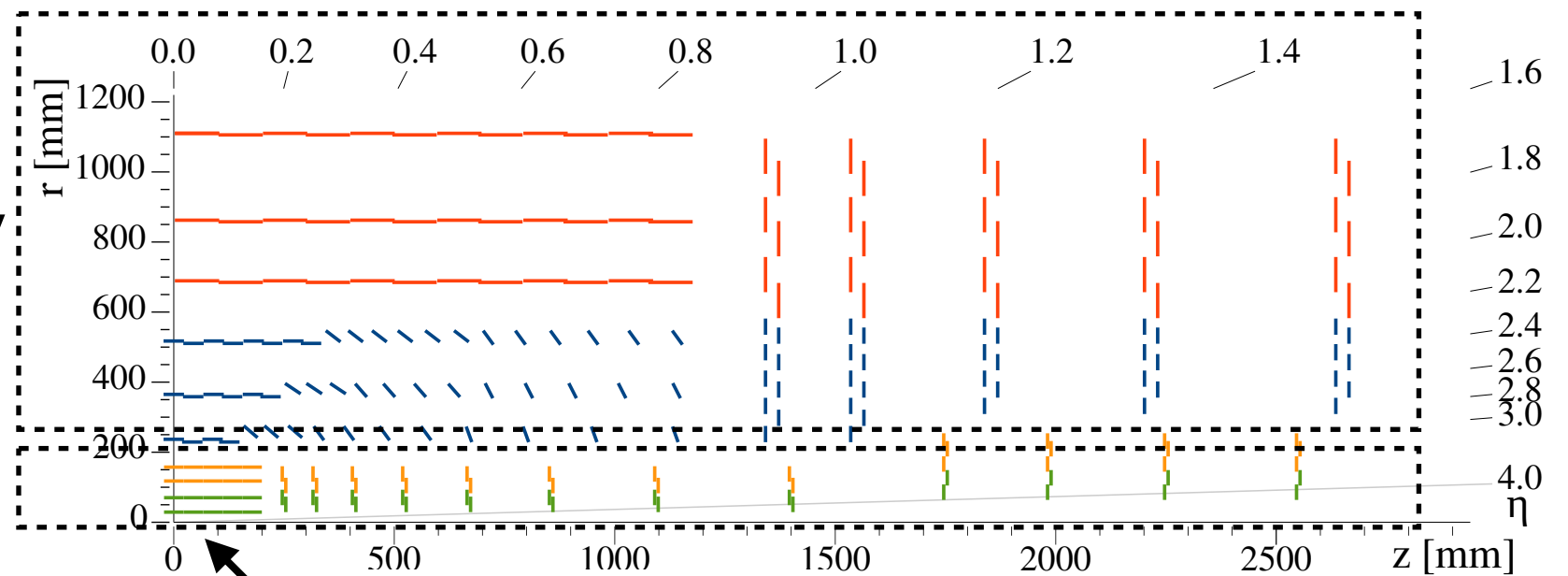
Sia ATLAS che CMS devono sostituire interamente i tracciatori → sistemi fortemente innovativi per resistere alla radiazione ed assicurare il flusso di dati necessario



# tracker di CMS per HL-LHC

Outer Tracker  
~100 kW @ ~ 11V

Internal Tracker  
~40 kW @ ~ 1.2V



Hadron fluence after 3000 fb<sup>-1</sup>

■  $2 \times 10^{16} \text{ n}_{\text{eq}} \text{ cm}^{-2}$  @  $r=3 \text{ cm}$

■  $3 \times 10^{15} \text{ n}_{\text{eq}} \text{ cm}^{-2}$  @  $r=11 \text{ cm}$

**Inner Tracker (pixels):**

~ 4000 modules

~ 13000 R/O chips (RD53)

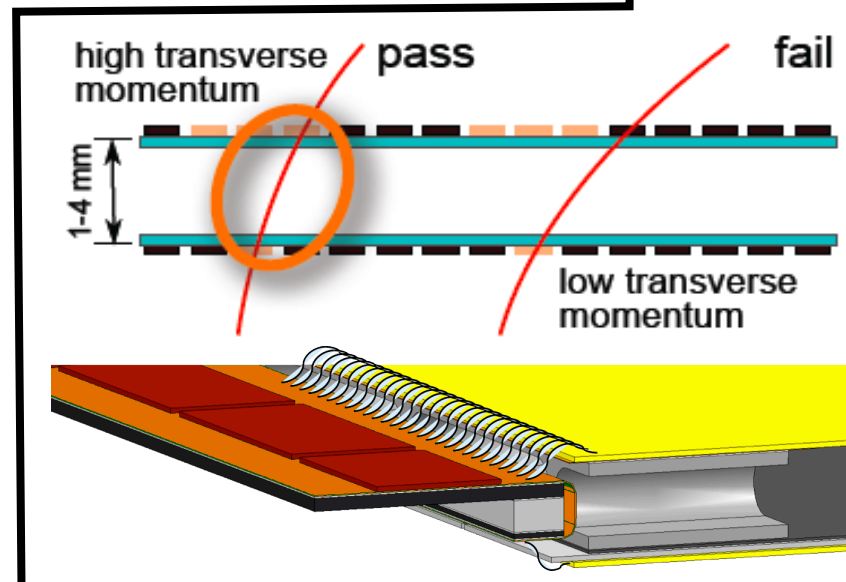
**Studi in sinergia con ATLAS:**

- tecnologia dei sensori (n-in-p: 3-D, planari con/senza bordo attivo, ...)
- chip di lettura → RD53
- alimentazione → serial powering

**Outer Tracker:**

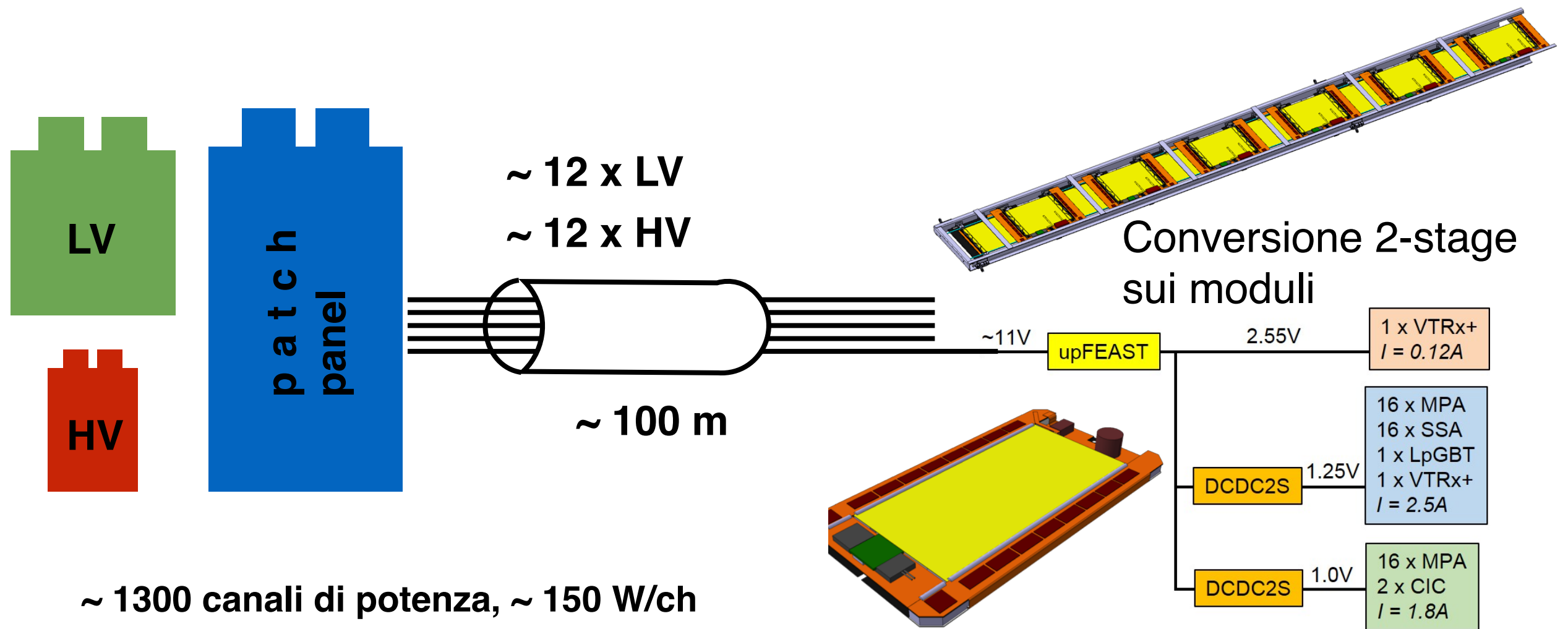
~ 8200 2S modules

~ 5300 PS modules



Correlazione sopra/sotto effettuata dall'elettronica di FE sul modulo

# Possibile schema OT CMS



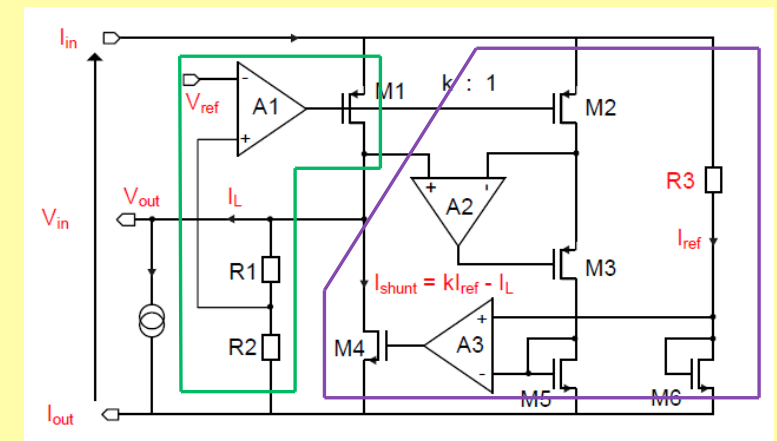
~ 1300 canali di potenza, ~ 150 W/ch  
~ 13000 fili LV da back-end a detector da gestire (monitoring, controlli)

~ 8 W per PS module  
~ 5 W per 2S module

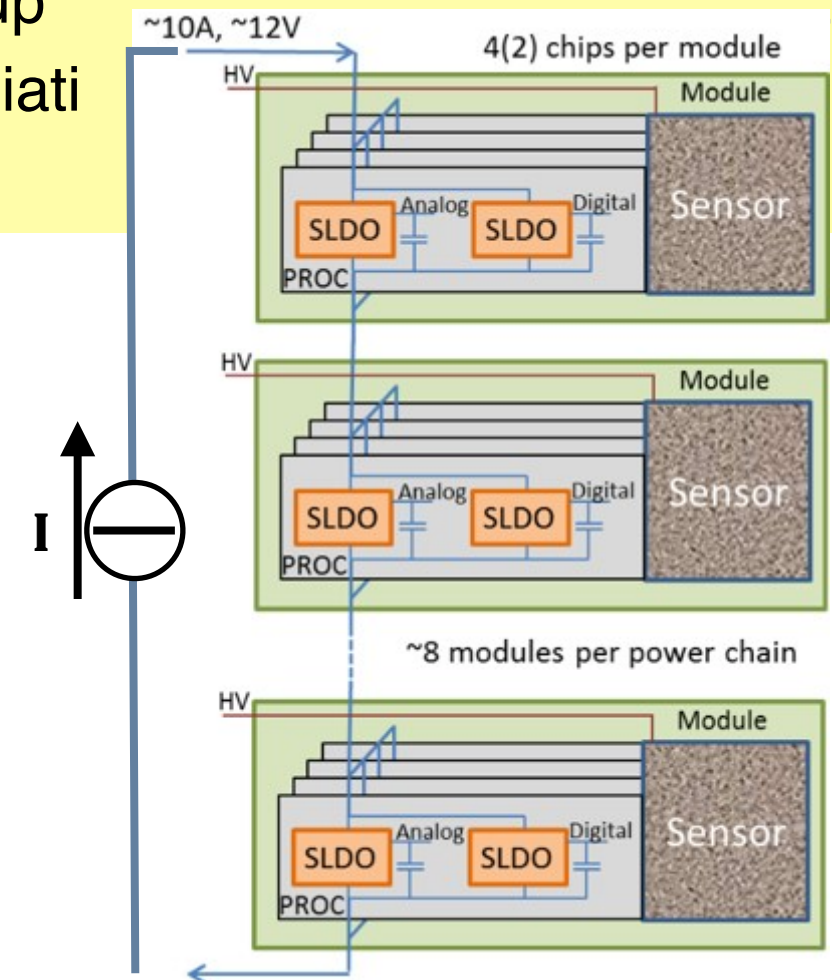
- Ubicazione ? (UXC/USC)
- Sezione dei cavi ?
- Compensazione della caduta sui cavi ?

# Inner Tracker: Serial Powering

- livelli di radiazione e vincoli di spazio e material budget escludono l'uso dei DC/DC sui moduli pixel
- l'opzione di base per ATLAS e CMS è uno schema di alimentazione in serie (SP)
- sviluppo in collaborazione tra ATLAS e CMS:
  - ✓ ATLAS parte dall'esperienza fatta col progetto IBL
  - ✓ FEI3, FEI4 sono dotati di circuito "shunt-LDO" e possono essere configurati per S.P.
  - ✓ in corso studi su SP utilizzando FEI4 in piccoli setup
  - ✓ prossimi tests su 65nm Shunt-LDO test chip irraggiati
  - ✓ shunt-LDO verrà incluso nel chip RD53



SHUNT-LDO. credits: M.Karagounis



Possibile configurazione del sistema:

- ~500 power loops in corrente
- $I \sim 10A$
- $V \sim 10-20 V$

Collaborazione INFN-CAEN nell'ambito del progetto della Regione Toscana NEOLITE per lo sviluppo di una sorgente di corrente

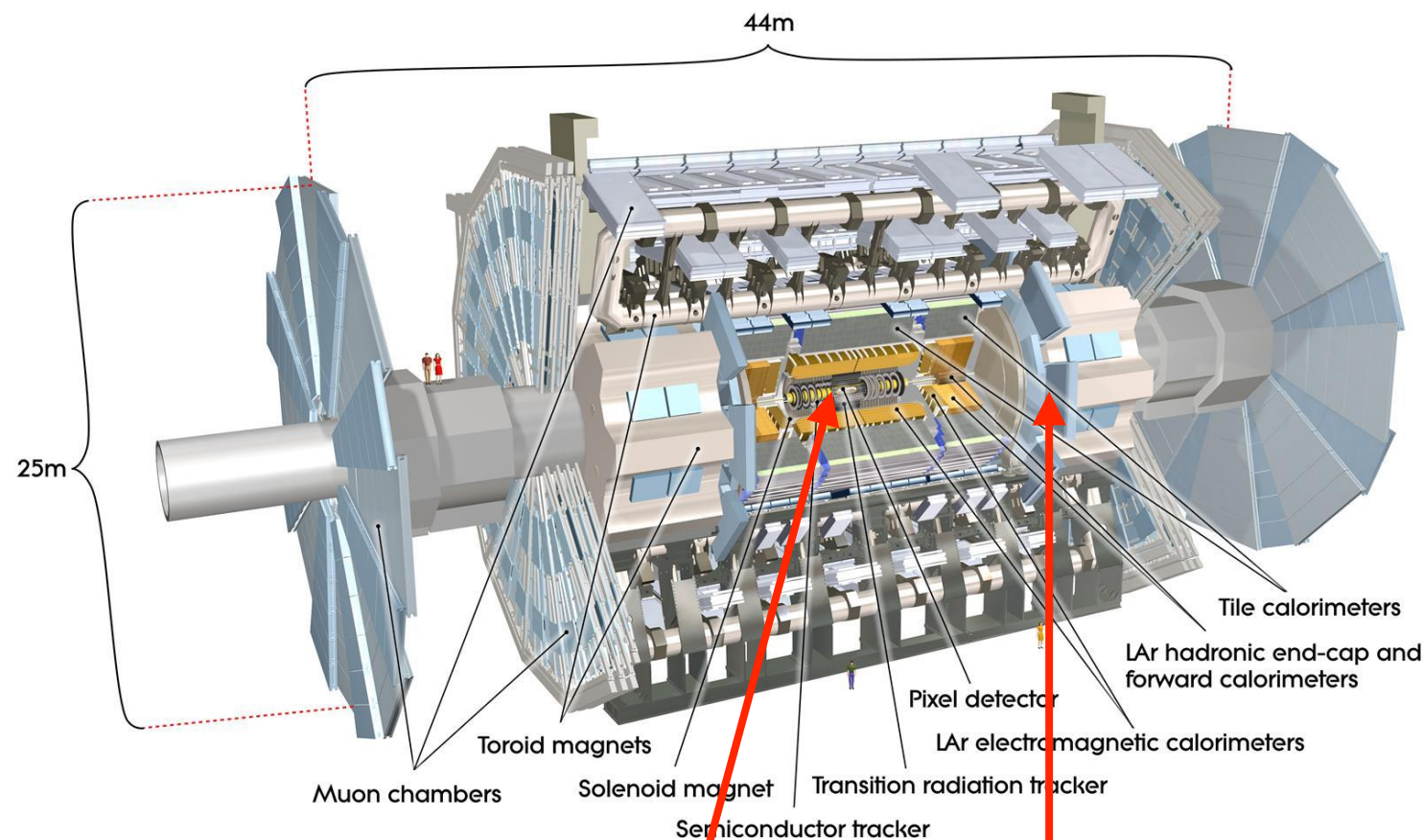
# Conclusioni

- Le future fasi di funzionamento di LHC comporteranno delle richieste mutate sui rivelatori e sulle alimentazioni:
  - maggiore densità di canali
  - elettronica di FE di nuova generazione
  - ambiente in caverna ~ 10x più ostile
- Necessità comune di aggiornare l'infrastruttura e standard di comunicazione (es. DCS)
- In particolare per calorimetri e tracciatore:
  - maggiore modularità e potenza richiesta a tensioni più basse
  - uso diffuso di DC/DC converter sul detector o nelle vicinanze
  - studio in corso per alimentazioni con schema in serie per i rivelatori pixel

**backup**



# ATLAS, upgrade di fase 1



## (LS1) IBL e nuova beam pipe

- px layer a 3.3mm dai fasci
- 14 staves x (12 sens. planari + 8 sens. 3-D letti da chip FEI4)

## NSW - New Small Wheel

- stazione più interna degli endcap dello spettrometro a muoni. sTGC + Micromegas.
- r/o e trig "PHASE2 READY"

## Nuovo TRIGGER L1

- 100 KHz L1-accept rate
- supercelle calorimetriche ad alta granularità.
- Dati processati da tre "Feature Extractors" (FEX's) per p.ID (eFEX: e- $\gamma$ , jFET: Jets, gFET: large R-jets)

## FTK (Fast Tracker)

- tracking completo ( $p_t > 1 \text{ GeV}$ ) a 100 kHz @ HLT
- pattern recognition e track fitting basati su AM e FPGA

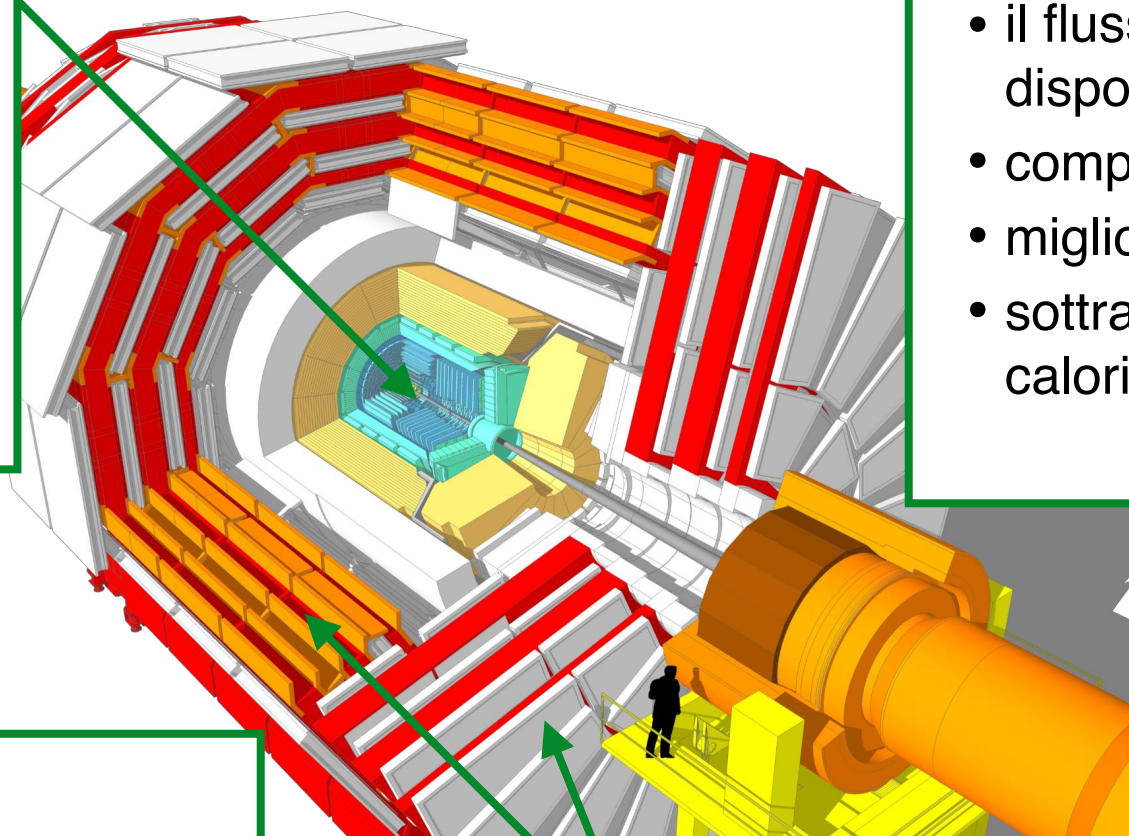
## LAr Phase-1 Upgrade

- L1 trigger - incremento di un ordine di grandezza nella segmentazione delle torri di trigger (granularità fino a  $\Delta\eta \times \Delta\phi = 0.025 \times 0.1$ )
- digitalizzazione on-detector

# CMS, upgrade di fase 1

## NEW pixel

- chip r/o permette di operare @  $2E34$  Hz/cm<sup>2</sup> fino a  $L_{int} \sim 500fb$
- 4 layer barrel, 3 dischi → migliorata risoluzione in IP e efficienza HLT
- riduzione material budget → nuova meccanica di supporto e nuovi servizi: DC-DC power, cooling bifase a CO<sub>2</sub>



## TRIGGER L1.

Elettronica “back end” rinnovata (sistema modulare basato su FPGA). Trasmissione dati su fibra ottica.

Incrementati sostanzialmente:

- il flusso di dati e la granularità disponibili a L1
- complessità nelle decisioni L1 (es.  $\tau$  ID)
- migliore integrazione del sistema  $\mu$
- sottrazione PU sulle primitive calorimetriche

## HCAL (HB, HE, HO):

- nuovi fotorivelatori (SiPM al posto di HPD)
- elettronica “Front End” + “Back End”

## - HF:

- nuovi fotorivelatori: MA-PMT al posto dei PMT

## Rivelatori $\mu$

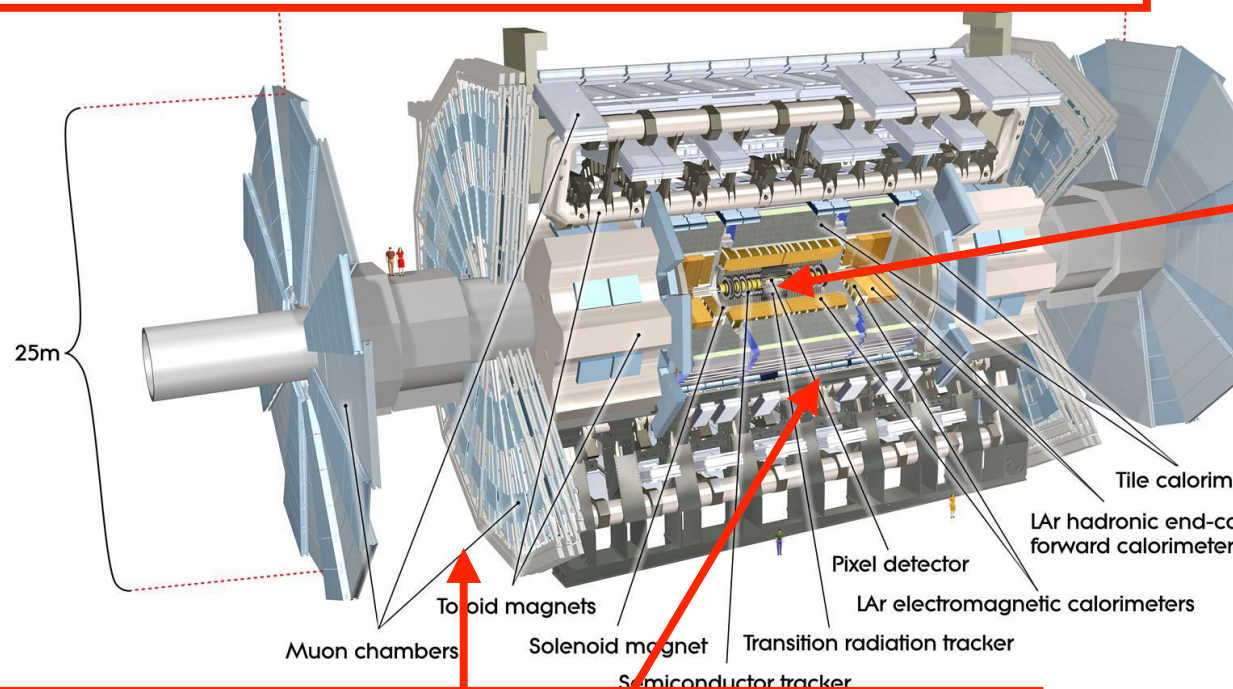
- YE4 → quarto endcap  $\mu$  (CSC, RPC) durante LS1
- DT: sostituita l’elettronica sulle camere (minicrate). ROS (readout server) e TSC (trigger sector collector) spostati in USC. Segnale digitalizzato sulle camere e trasferito via link ottico in USC.



# ATLAS, upgrade di fase2

## Nuova architettura TRIG

- L0 [Calo+muon] rate  $\sim 1$  MHz, latenza  $\sim 6/10 \mu\text{s}$
- Event Filter: (10KHz output)
  - L1 Track  $\rightarrow$  "regional tracking" ( $p_t > 4\text{GeV}$ ) ad alto rate
  - FTK++  $\rightarrow$  tracciatura  $p_t > 1\text{GeV}$  @100kHz



## Camere a muoni

- Nuova elettronica r/o per RPC e TGC
- Nuova elettronica r/o per MDT (L1)
- Nuove "thin-gap" RPC + sMDT (30mm  $\rightarrow$  15mm) nel layer più interno del barrel
- high- $\eta$  tagger per coprire fino a  $|\eta|=4$

## ITK

- Nuovo tracciatore interno interamente al silicio. Layout da finalizzare. Copertura fino a  $\eta=4$
- Strips:
  - 4 layers barrel, 6+6 dischi endcaps, moduli doppia faccia
  - sensori n-in-p (p-stop) spessi  $320\mu\text{m}$ .
  - Lettura digitale tramite "ABC130" (130 nm CMOS) con doppio buffer.
  - Alimentazione: DC/DC converter sul rivelatore
- pixels:
  - 5 layers barrel, vari layers endcap
  - varie opzioni ancora aperte per la scelta della tecnologia dei sensori

## Front End upgrade:

- Elettronica LAr (FE+BE): streaming di tutti i dati con digitizzazione "on detector" a 40/80 MHz
- Elettronica del Tile Cal.



# CMS, upgrade di fase2

## TRIGGER:

- L1 Track Trigger (hw)
- 750 kHz L1 rate, 12.5  $\mu$ s latency
- 7.5 kHz HLT output

## ECAL B:

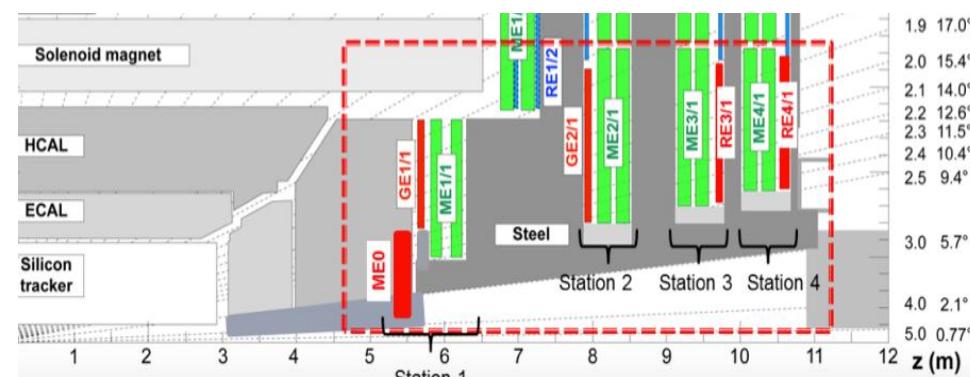
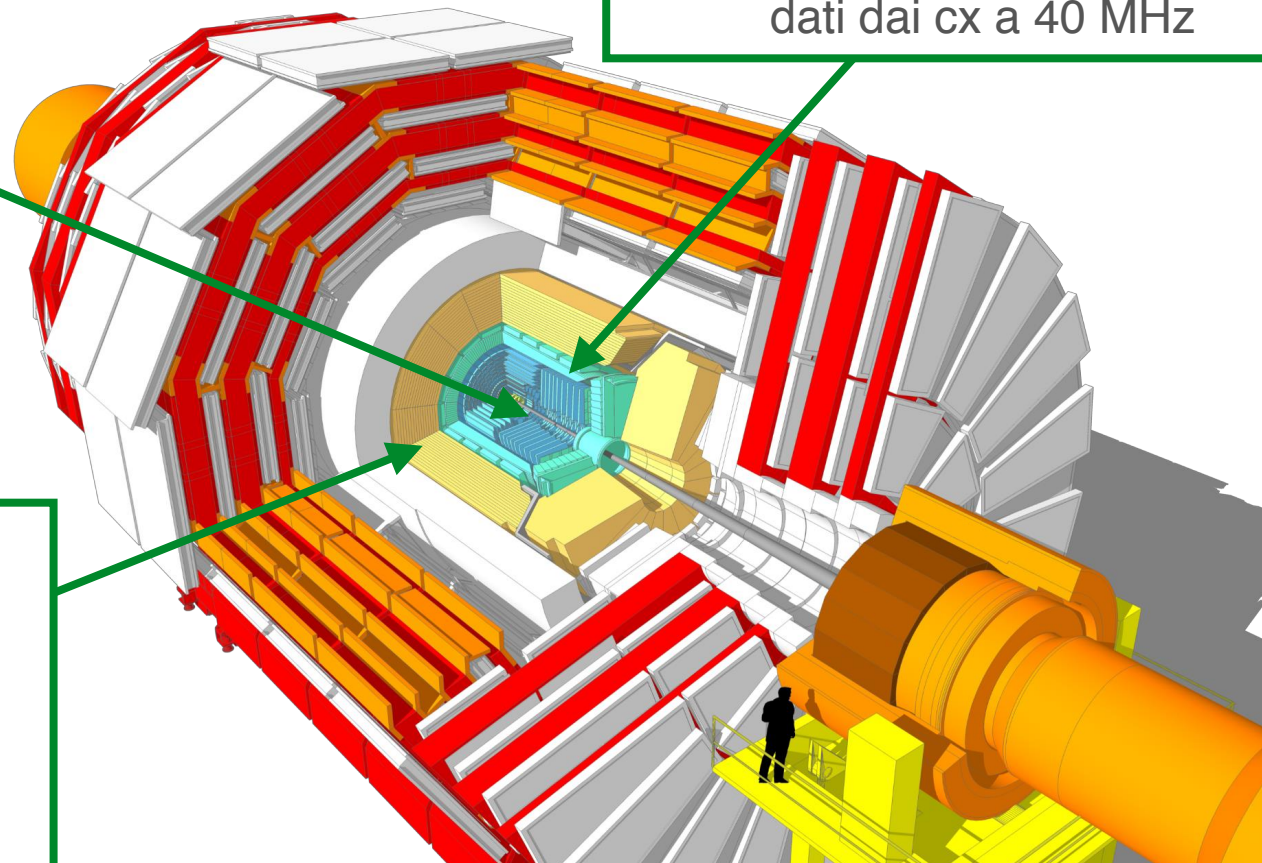
- diminuita T (8 deg)  $\rightarrow$  mitigato l'effetto della rad. sulla risoluzione
- nuovi VFE/FE/BE
- GBT @ 10Gbps  $\rightarrow$  trasferimento dati dai cx a 40 MHz

## Nuovo tracciatore: px+outer tracker

- Rad. tolerant - piú leggero - maggiore granularità
- r/o selettivo a 40 MHz per L1 trigger
- Accettanza estesa fino a  $\eta \approx 3.8$

## Nuovo endcap "High Granularity Calorimeter"

- Rad. tolerant
- segmentazione trasversale e longitudinale
- capacità di timing



## Potenziamento rivelazione $\mu$

- nuova elettronica FE/BE per (DT+CSC)
- RPC  $\rightarrow$  fino  $\eta < 2.4$
- $\mu$ -tagging ad alto  $\eta$ : GEM/FTM/iRPC/ $\mu$ R-well ...

# Rivelatori per $\mu$

- ATLAS: MDT, RPC, TGC LV e HV:

- sistema CAEN EASY3000
- HV fino a 10kV, LV power 122kW
- certificato per B, rad corrispondenti a 10y di LHC L nominale ( $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ )

✓ tests di irraggiamento a varie facility:  
Louvain-La-Neuve (p e n), Uppsala (p),  
Prospero (n), Casaccia ( $\gamma$ )

✓  $\gamma$ : 140 Gy, HEH:  $2 \times 10^{11} \text{cm}^{-2}$ ,  $n_{1-\text{MeV}}$ :  
 $2 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$

✓ B: 2kG

- Composizione:

✓ schede con canali HV e LV “floating” sulle balconate

✓ sistema “bulk” di AC/DC converter in US15 (100m cavo) o sulle balconate (RPC-TGC, 20m cavo)

- in base alle simulazioni ed alla revisione dei fattori di sicurezza, la vita media del sistema è stimata in  $1700 \text{fb}^{-1}$  → abbastanza per finire la fase1 ed iniziare la fase2, ma non per portarla a termine.

