



IFAE 2019 – Incontri di Fisica delle Alte Energie

Il nuovo Tracciatore di CMS per la fase di alta luminosità di LHC

Cristiano Turrioni — in rappresentanza della collaborazione CMS
Università e INFN, Sezione di Perugia

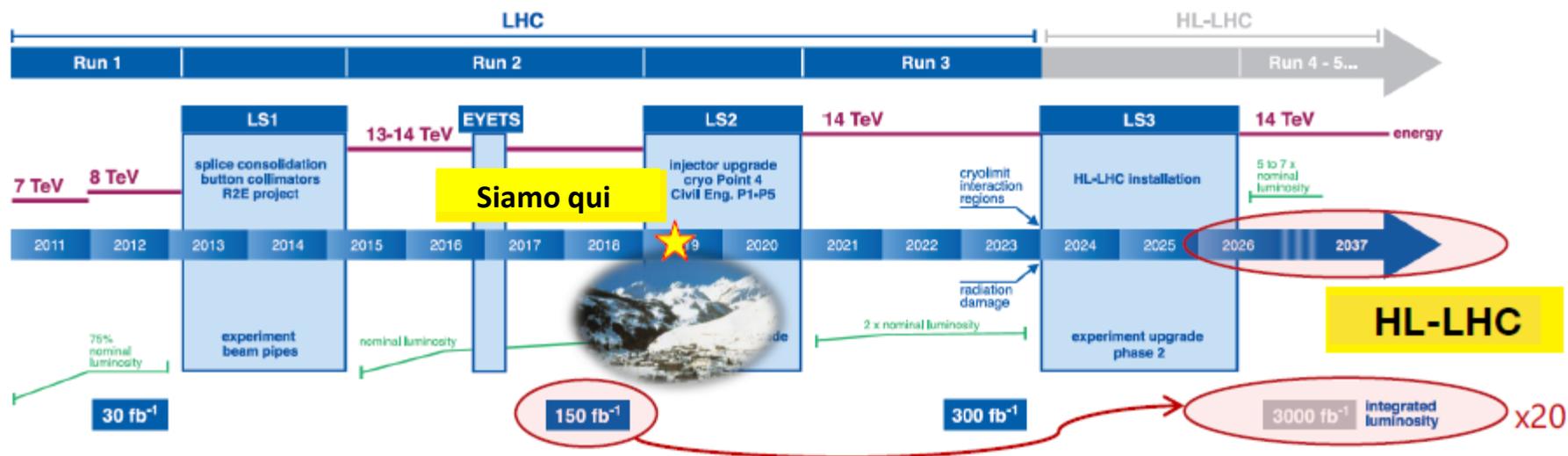
Napoli, 8 – 10 Aprile 2019



IL NUOVO TRACCIATORE DI CMS

La fase di **alta luminosità** di LHC (HL-LHC) rappresenta l'ultima evoluzione della macchina in termini di prestazioni.

Consistente **aggiornamento** degli esperimenti durante LS3.



Si opererà ad una luminosità con picchi fino a $L = 7.5 \cdot 10^{34} \text{ Hz/cm}^2$, fino ad un totale di **3000 fb⁻¹** di luminosità integrata.

Alto pile up: fino a **200 collisioni p-p** per ogni bunch crossing

IL NUOVO TRACCIATORE DI CMS

La fase di **alta luminosità** di LHC (HL-LHC) rappresenta l'ultima evoluzione della macchina in termini di prestazioni.

Consistente **aggiornamento** degli esperimenti durante LS3.

Grande opportunità per la ricerca, ma un lavoro **impegnativo e stimolante** dal punto di vista della realizzazione dei rivelatori.

Si opererà ad una luminosità con picchi fino a $L = 7.5 \cdot 10^{34} \text{ Hz/cm}^2$, fino ad un totale di **3000 fb⁻¹** di luminosità integrata.

Alto pile up: fino a **200 collisioni p-p** per ogni bunch crossing

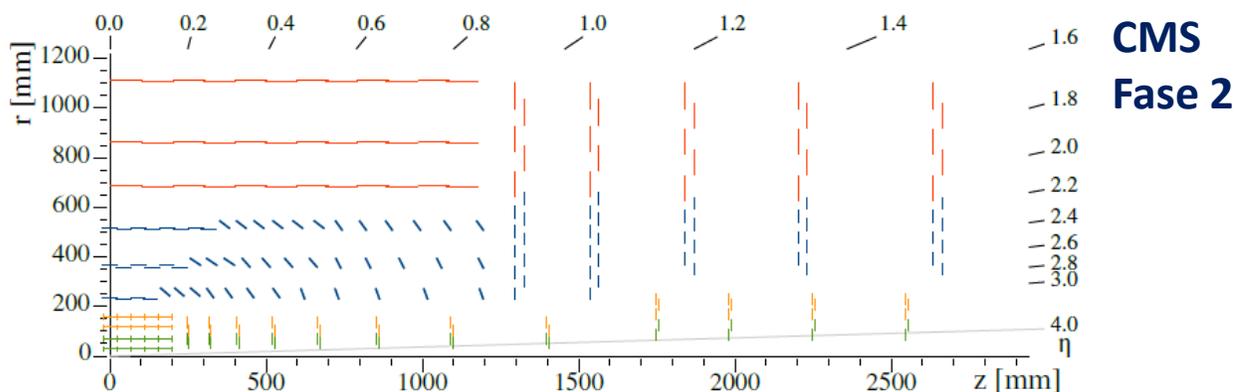
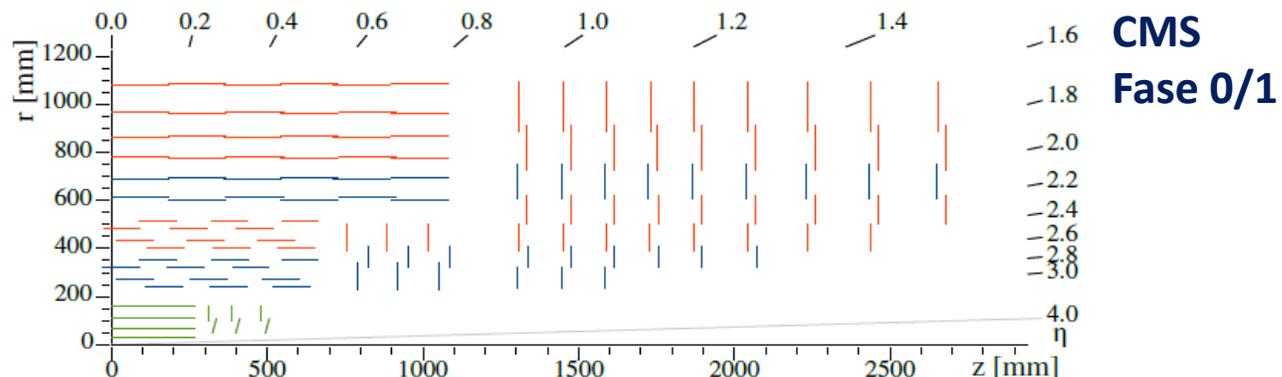
IL NUOVO TRACCIATORE DI CMS

Perché lavoro impegnativo ? ...

Alta luminosità = alto campo di radiazione

Alto pile-up = tante tracce da ricostruire

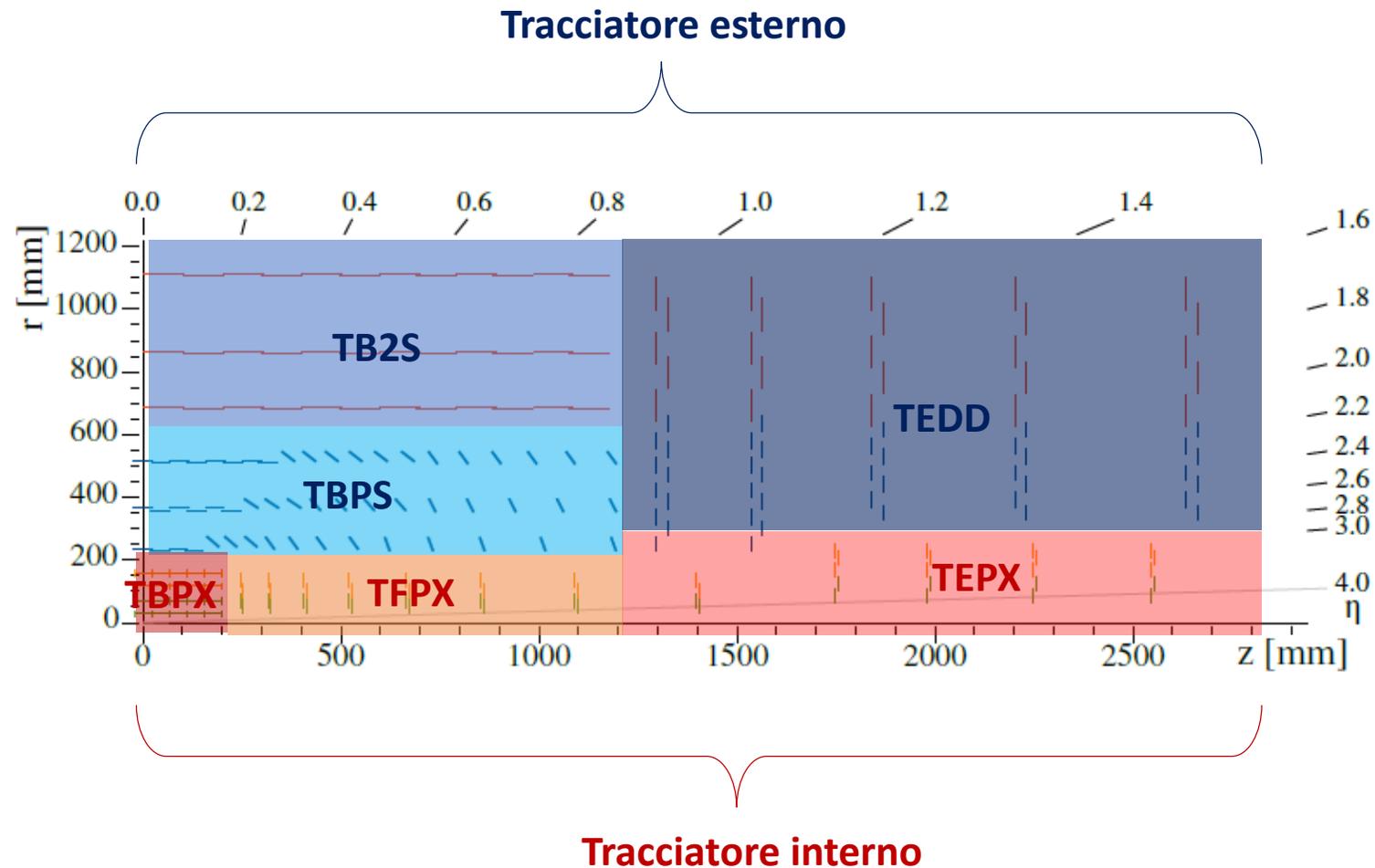
- Per garantire anche in futuro risultati eccellenti il tracciatore di CMS necessita di un **aggiornamento**.
- Affinchè questi requisiti vengano soddisfatti, uno **schema completamente nuovo** è stato realizzato.



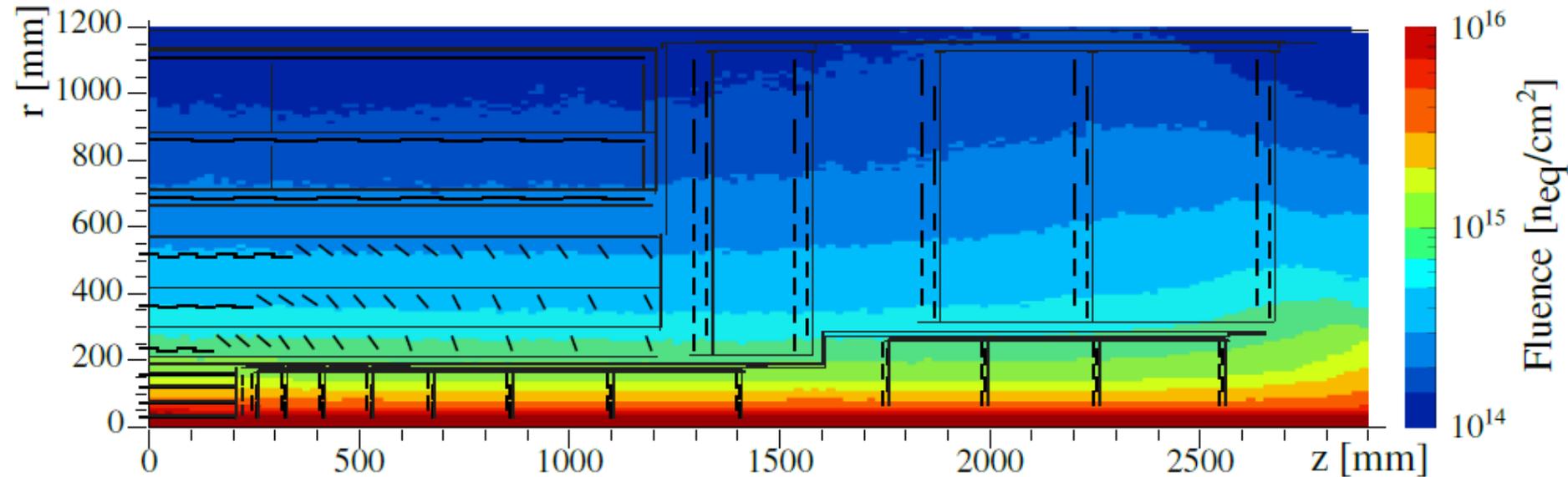
IL NUOVO TRACCIATORE DI CMS

Il nuovo tracciatore dovrà:

- Essere resistente alla radiazione
- Partecipare al Livello 1 (L1) di Trigger
- Avere un' alta granularità
- Ridurre il materiale impiegato nella sua costruzione



L'ambiente del tracciatore in termini di radiazione

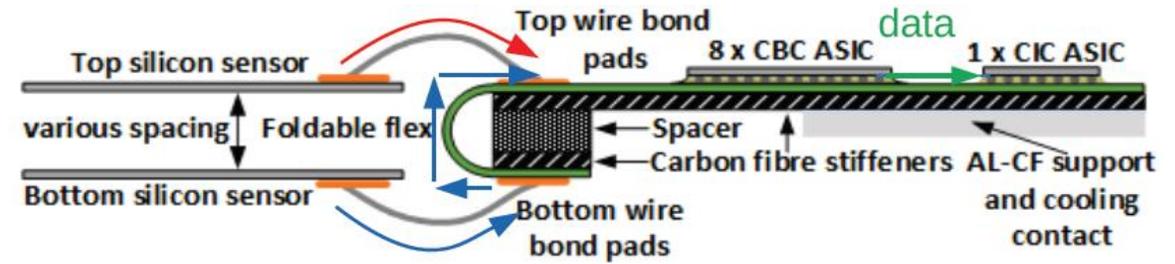
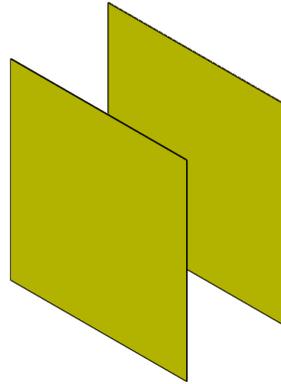


- L'**ambiente** in termini di radiazione diventerà sempre più **ostile** per il tracciatore nella fase di alta luminosità
 - Gli **strati più interni** del tracciatore, a pochi centimetri dal punto di interazione, dovranno resistere a flussi dell'ordine di **10^{16}** neutroni equivalenti per cm^2 .
 - Gli **strati più esterni** saranno soggetti a più di **10^{14}** neutroni equivalenti per cm^2 .
- Uno scenario simile a quanto accadrebbe ai livelli interni dell'odierno tracciatore dopo **10 anni di LHC**

TRIGGER DI LIVELLO 1 – da punti a segmenti

Il modo migliore per sfruttare l'aumento di luminosità istantanea per la fase di HL-LHC :

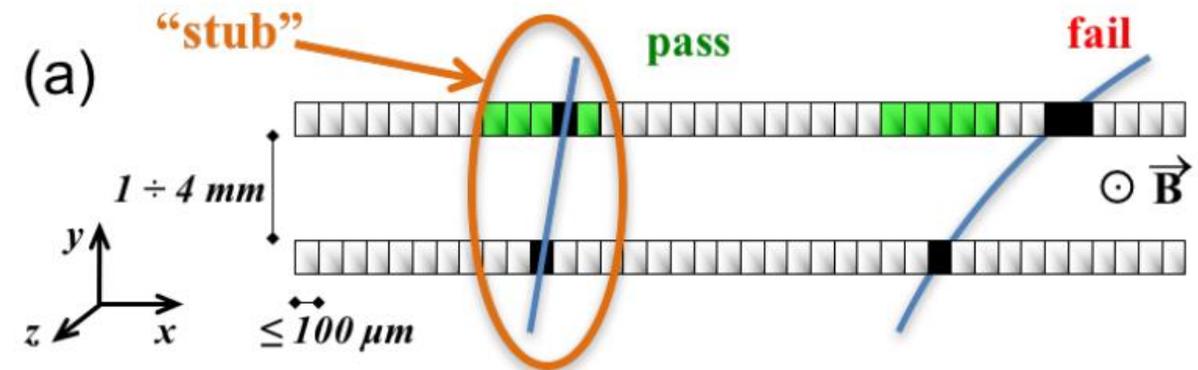
→ Essere più selettivi già a L1



Soluzione: includere le traiettorie nelle decisioni di Livello 1

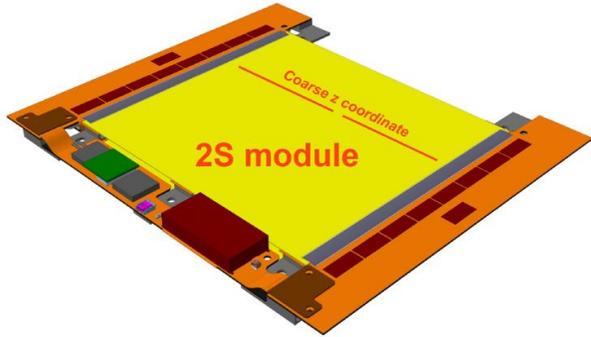
Idea principale: **MODULI pT**

- Accoppiare due sensori di silicio lasciando una piccola distanza tra di loro.
- Utilizzare Ibridi con tecnologia flessibile, che possano leggere entrambi i sensori con un solo ASIC

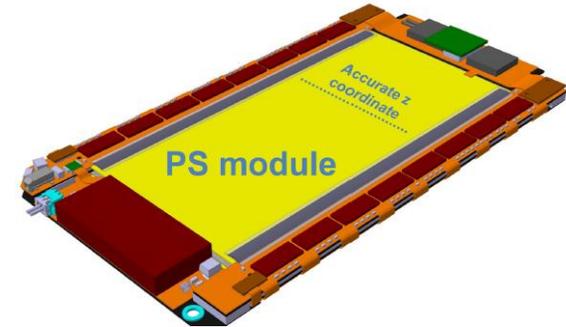


- Utilizzare una **diversa spaziatura** per le varie aree del tracciatore
- La finestra di accettazione può essere regolata
- Possibilità di utilizzare combinazioni di sensori a **micro-strip e pixel**

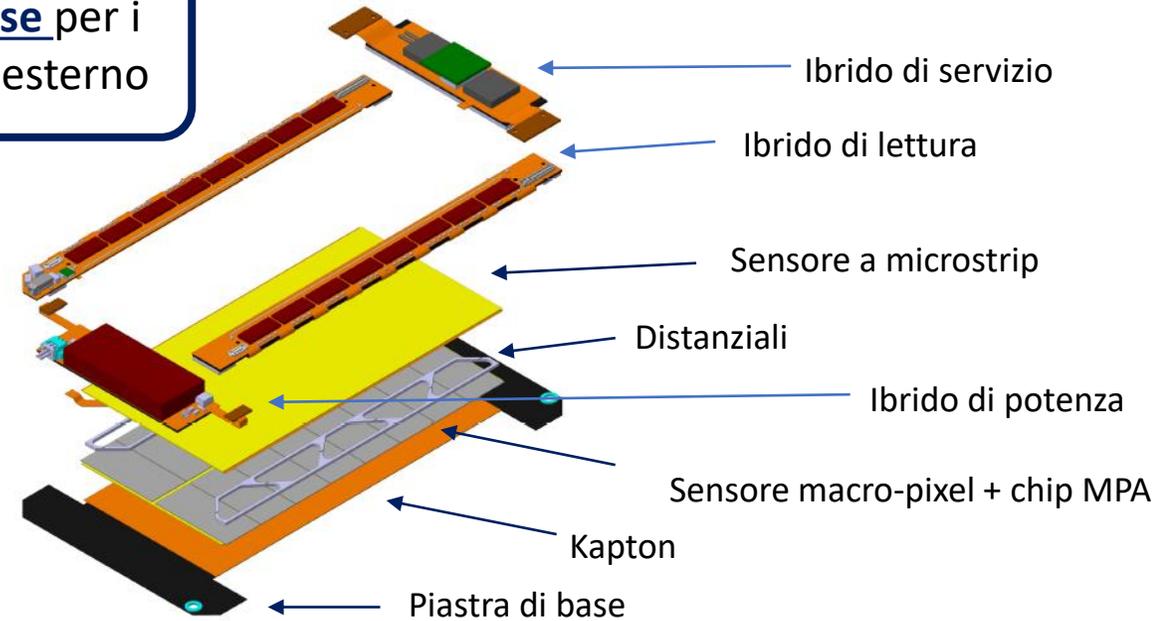
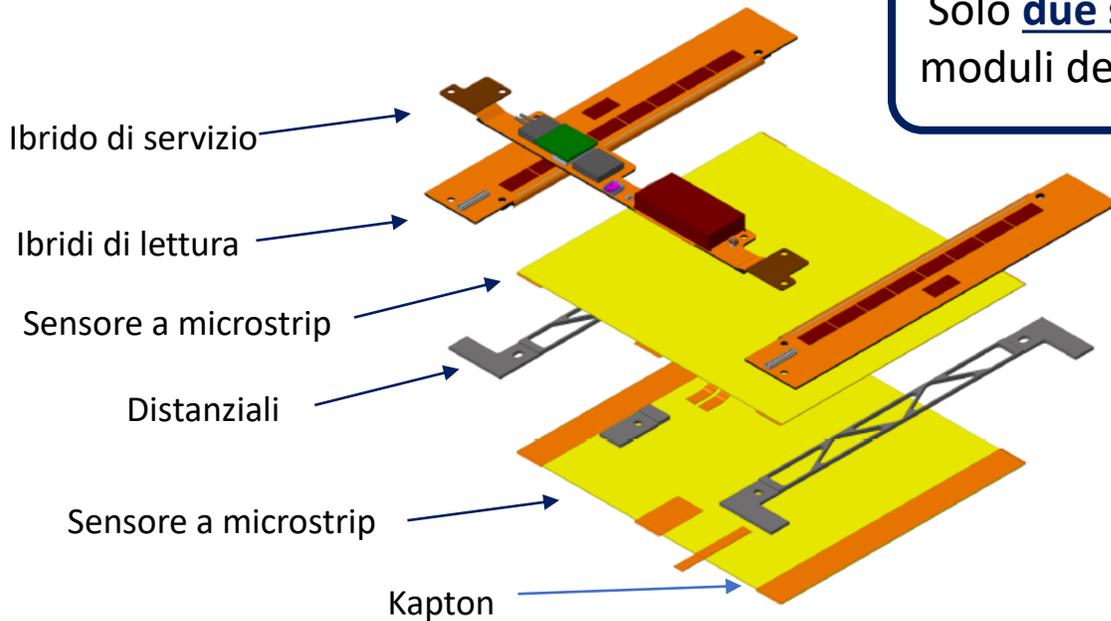
MODULI PER IL TRACCIATORE ESTERNO

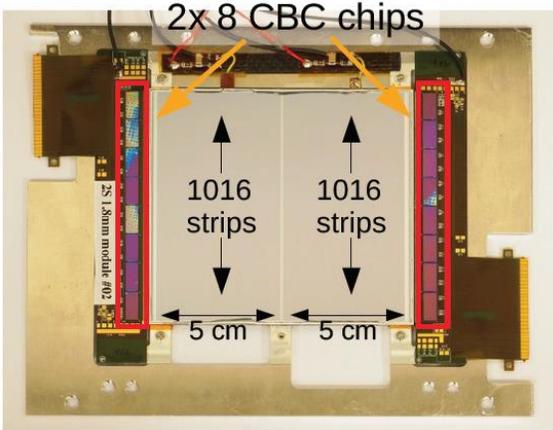


2S module	PS module
$\sim 2 \times 90 \text{ cm}^2$ active area	$\sim 2 \times 45 \text{ cm}^2$ active area
2×1016 strips: $\sim 5 \text{ cm} \times 90 \mu\text{m}$	2×960 strips: $\sim 2.4 \text{ cm} \times 100 \mu\text{m}$
2×1016 strips: $\sim 5 \text{ cm} \times 90 \mu\text{m}$	32×960 macro-pixels: $\sim 1.5 \text{ mm} \times 100 \mu\text{m}$
Front-end power $\sim 5 \text{ W}$	Front-end power $\sim 8 \text{ W}$
Sensor power (-20°C) $\sim 1.0 \text{ W}$	Sensor power (-20°C) $\sim 1.4 \text{ W}$



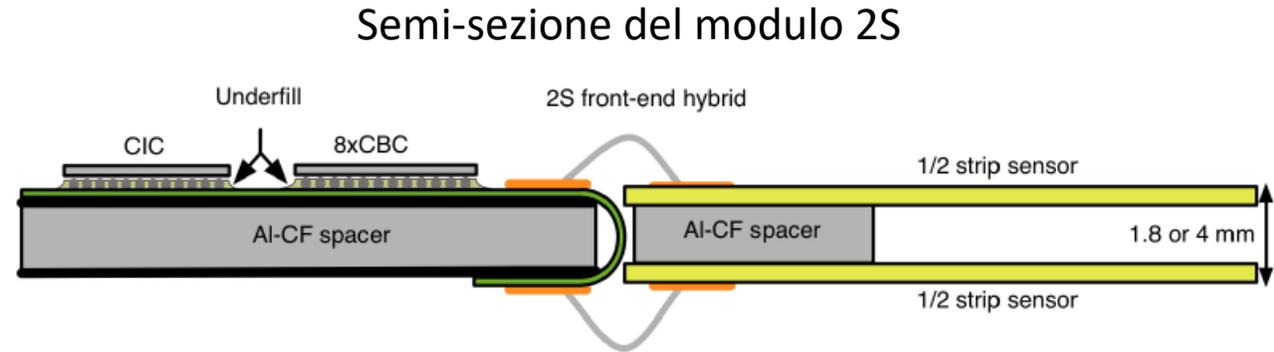
Solo **due schemi di base** per i moduli del tracciatore esterno





ASIC per moduli 2S

- Chip Binario per CMS (**CBC**)
- Ricostruzione di segmenti per L1
- Uno stesso chip legge entrambi i sensori
- 254 canali per chip = 127 per ogni sensore
- Tecnologia a 130 nm

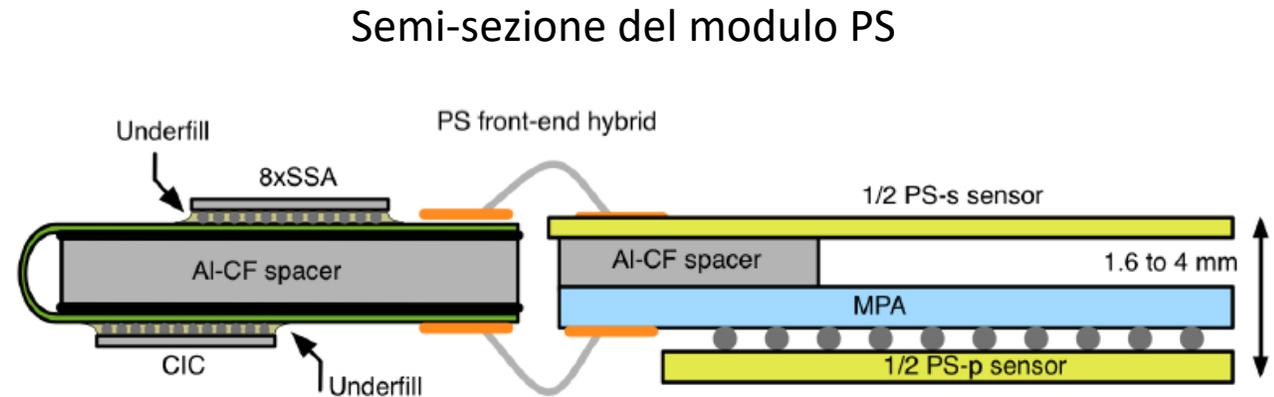


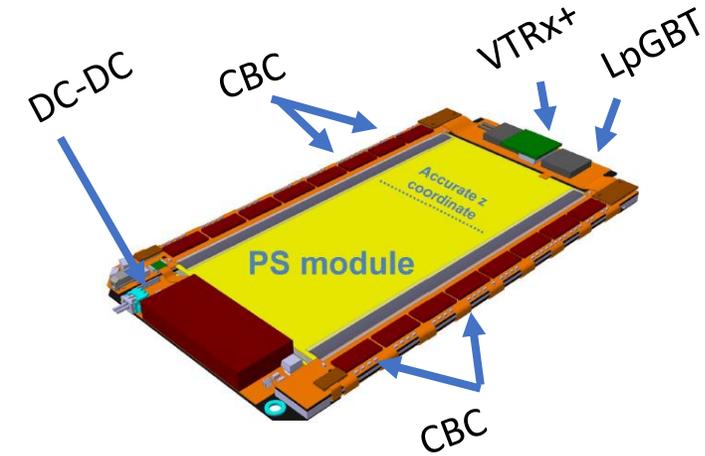
ASIC comuni

- Chip concentratore (**CIC**)
- Riceve informazioni di livello 1 e dati di lettura.
- Concentra i dati degli altri ASIC
- Tecnologia a 65 nm

ASIC per moduli PS

- Macro-pixel ASIC (**MPA**) + Short-Strip ASIC (**SSA**)
- Ricostruzione di segmenti (MPA) + invio informazioni per L1 (SSA)
- Tecnologia a 65 nm



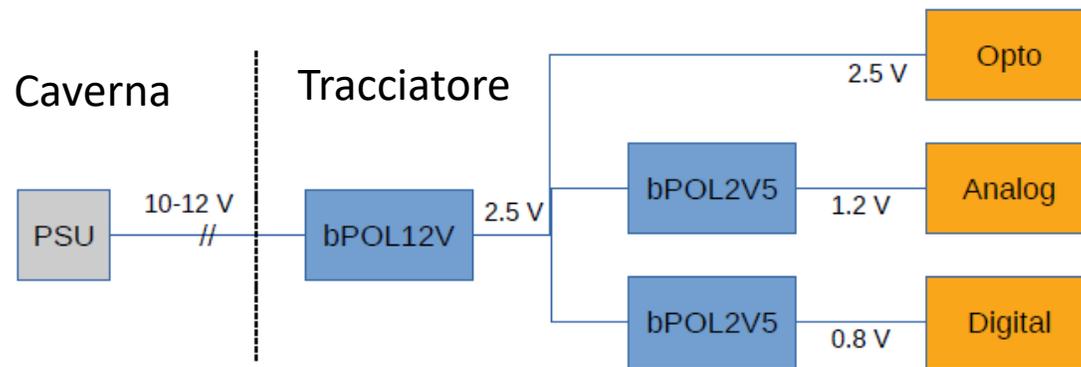
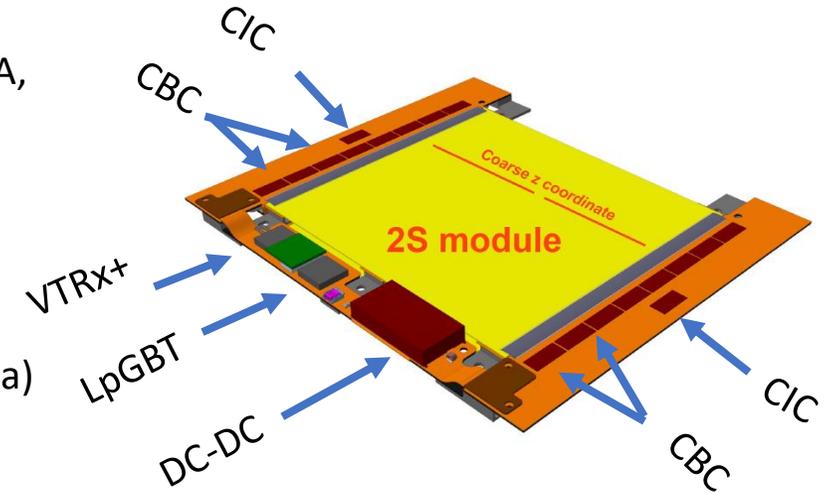


Gli ibridi frontali ospitano i chip di lettura (CBC, SSA, MPA) e i concentratori (CIC)

Gli ibridi di servizio ospitano:

- **LpGBT** (Ricetrasmittente a bassa potenza)
- **VL+** (Versable Link Plus)
- **DC-DC** (Convertitori corrente continua-continua)

Il modulo è un sistema a sé stante – non sono necessarie altre schede o aggregatori fino al backend

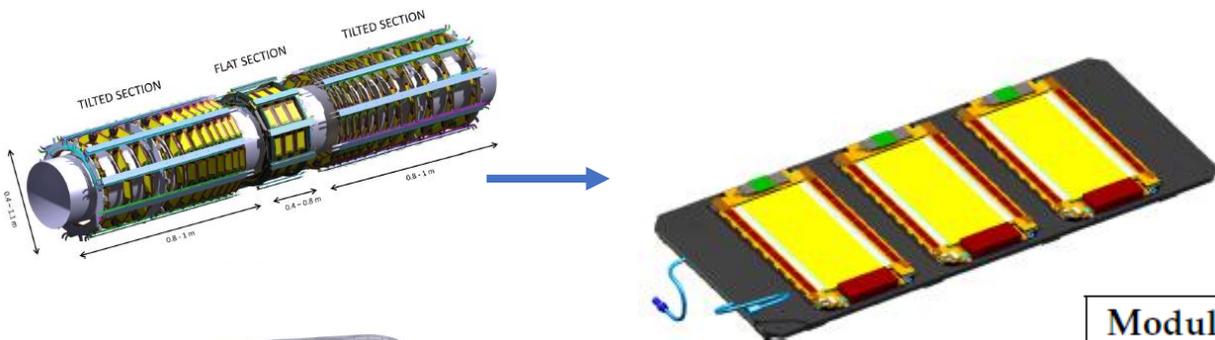


Schema di potenza: conversione multilivello

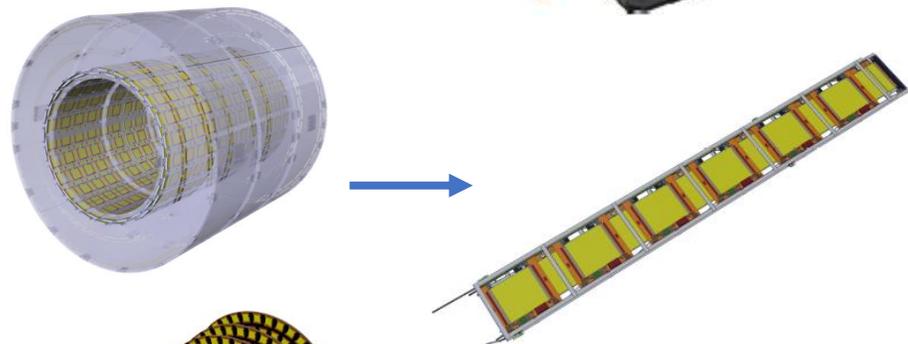
- Obiettivo: ridurre le perdite nei cavi il più possibile
- Alimentazione da PSU a 10-12 V
- Primo livello di conversione DCDC : 10-12 V → 2.5 V
- Secondo livello di conversione DCDC: 2.5 V → 1.2 V
2.5 V → 0.8 V

STRUTTURE MECCANICHE – tracciatore esterno

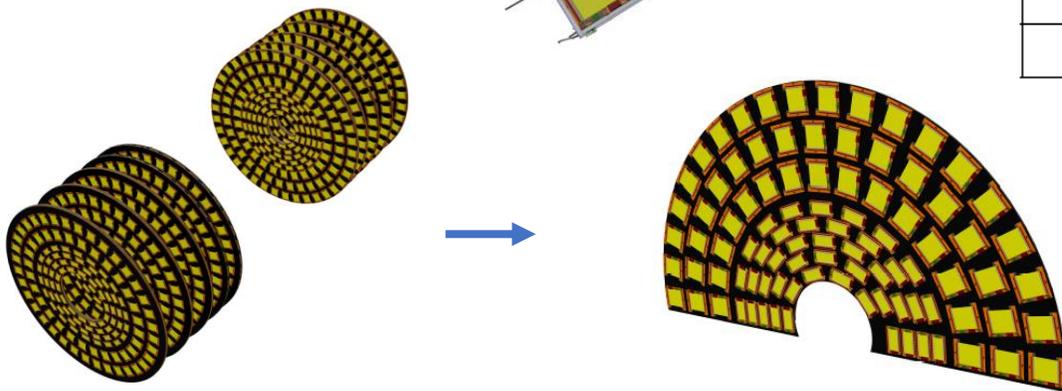
TBPS
 Parte planare: tavole
 Parte inclinata: anelli



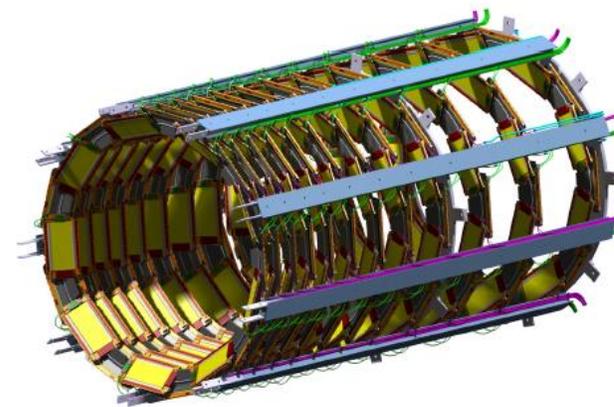
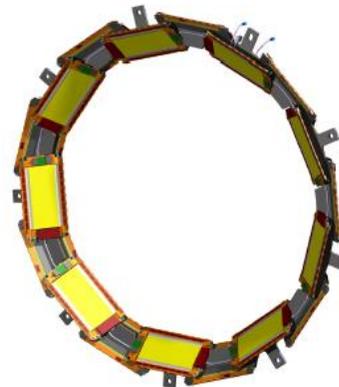
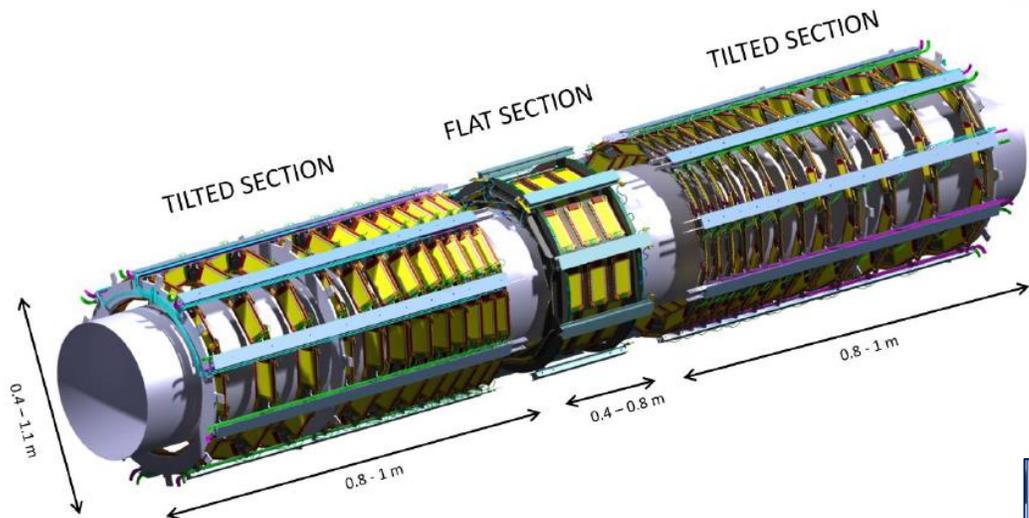
TB2S
 Struttura base: «scala»



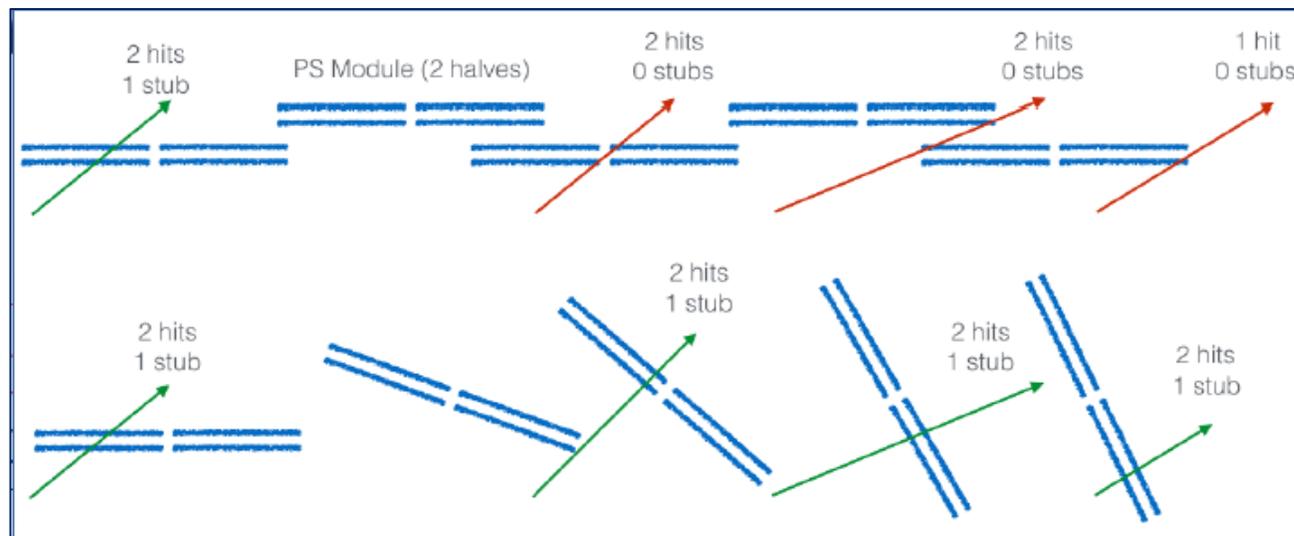
TEDD
 Struttura base:
 «DEE» – semi-dischi

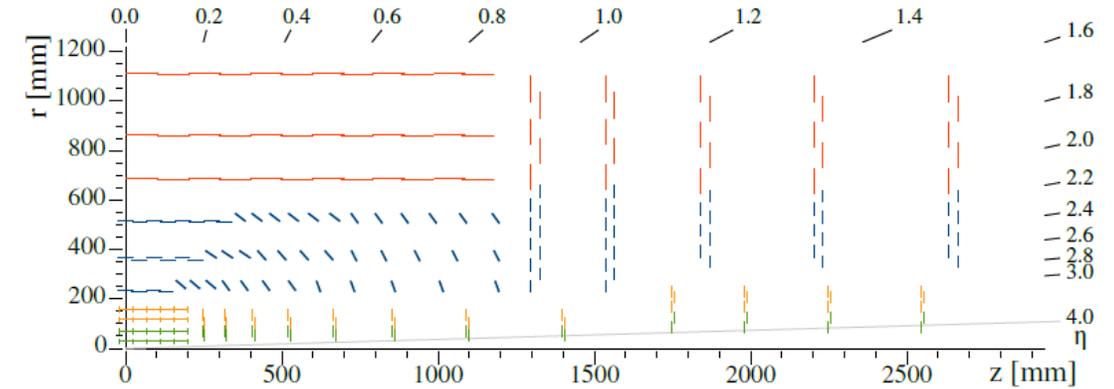
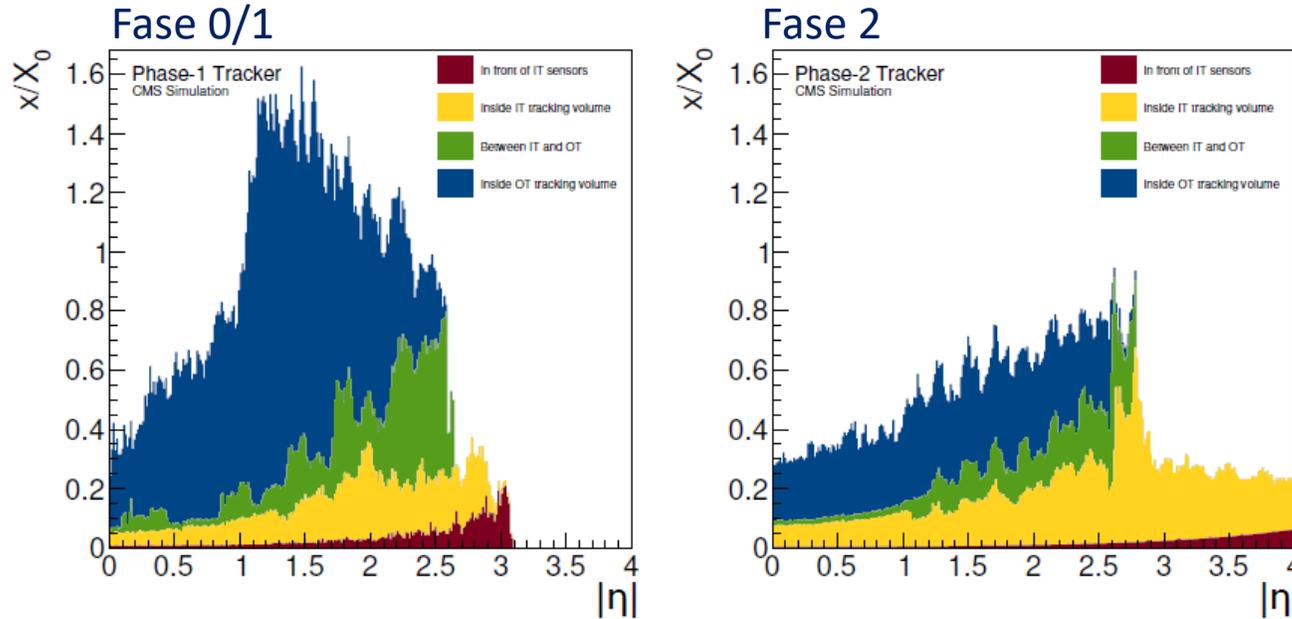


Module type and variant		TBPS	TB2S	TEDD	Total per variant	Total per type
2S	1.8 mm	0	4464	2792	7256	7680
	4.0 mm	0	0	424	424	
PS	1.6 mm	826	0	0	826	5616
	2.6 mm	1462	0	0	1462	
	4.0 mm	584	0	2744	3328	
Total		2872	4464	5960	13296	



- Con una **geometria planare**, i segmenti di traiettoria che attraversano moduli differenti colpendo i soli sensori e inferiori
- Con una **geometria inclinata**, le inefficienze sono compensate





Nonostante l'incremento del numero di canali, il bilancio di materiale impiegato nella struttura è stato **notevolmente ridotto** rispetto alle fasi 0/1.

Principali «ingredienti»

- Geometria inclinata
- Materiali più leggeri
- Diminuzione del numero di livelli
- Utilizzo di convertitori DCDC
- Raffreddamento tramite CO₂

SISTEMA DI RAFFREDDAMENTO

Potenza totale dissipata dal Tracciatore Esterno di CMS fase-2: **100 kW**

Il tracciatore di CMS userà **CO₂** come refrigerante

Vantaggi

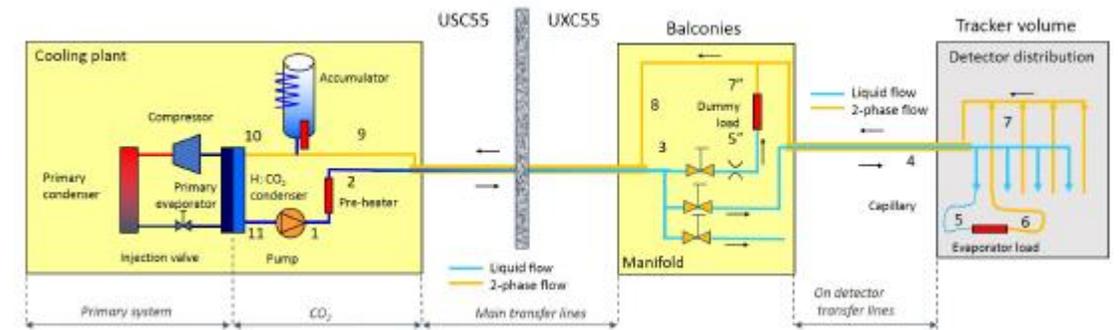
- Utilizzato con successo già in LHCb, ATLAS, CMS fase 1 (pixel)
- Possibilità di lavorare con tubazioni di massa ridotta
- Fluido bifase in ebollizione → alta capacità di rimozione del calore.
- Basso impatto ambientale

Svantaggi

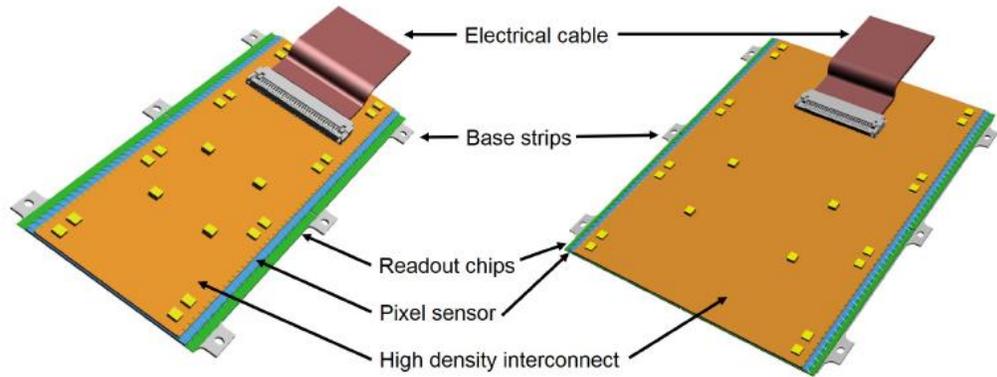
- Richiede una alta pressione di esercizio MA l'energia immagazzinata (pressione x volume) è paragonabile ad altri refrigeranti.

$$Q = hA(T_{mod} - T_{CO_2})$$

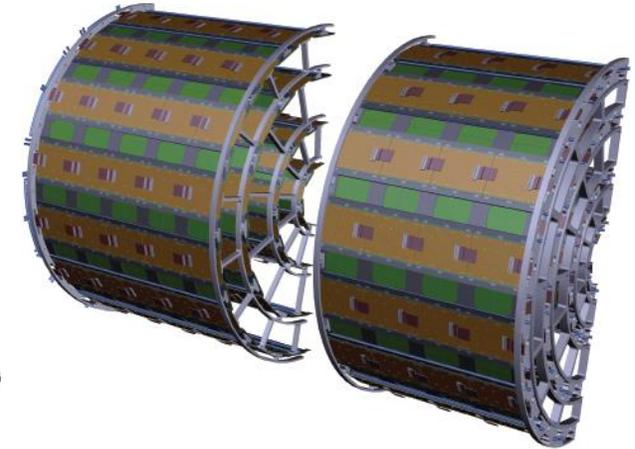
Coefficiente di scambio termico $\approx 5\,000\text{ W/m}^2\text{K}$



IL TRACCIATORE INTERNO

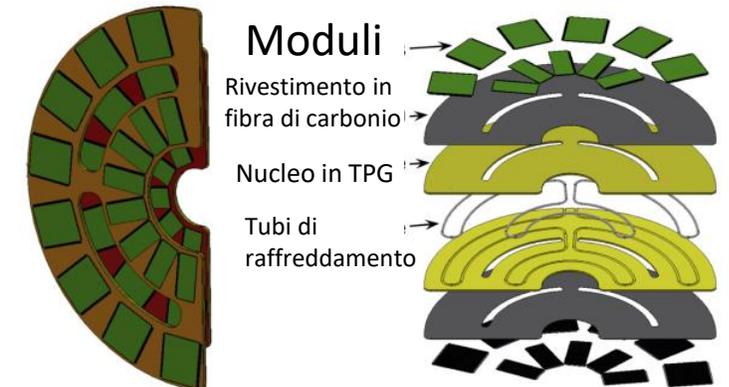
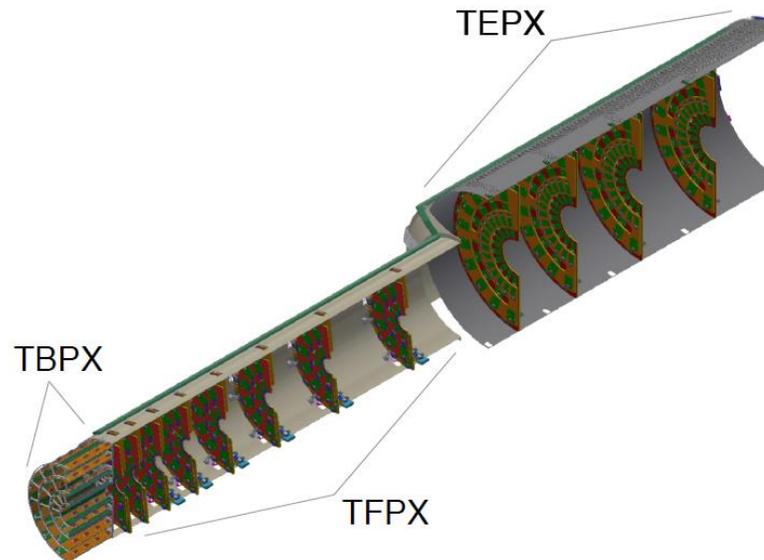


Strutture meccaniche per il tracciatore interno:
ottimizzazione degli spazi disponibili



Due tipologie di sensori

	TBPX	TFPX	TEPX	Total
Modules (type)	360 (1 × 2)	832 (1 × 2)	768 (1 × 2)	1960 (1 × 2)
	504 (2 × 2)	896 (2 × 2)	992 (2 × 2)	2392 (2 × 2)
Sensors	864	1728	1760	4352
Pixel chips	2736	5248	5504	13488
Pixels [$\times 10^6$]	395	757	794	1947
Silicon area [m ²]	0.99	1.89	1.99	4.87



La ricostruzione delle traiettorie nel back-end sarà **basata su FPGA**
È necessario che le traiettorie siano trovate in $5 \mu\text{s}$ circa.

Due livelli:

- Riconoscimento del modello
- raccordo della traccia

Sono stati allestiti sistemi hardware per entrambi gli approcci:

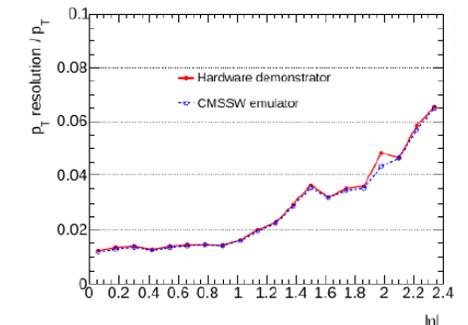
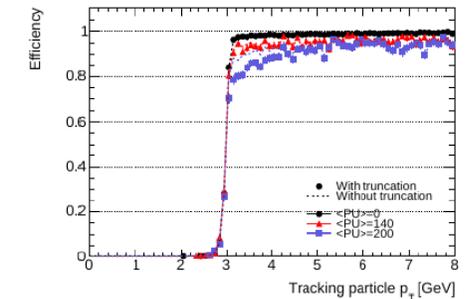
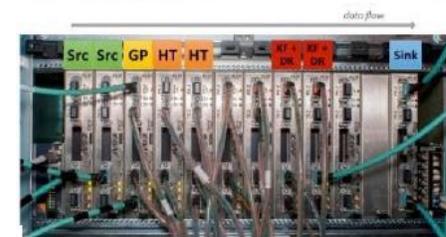
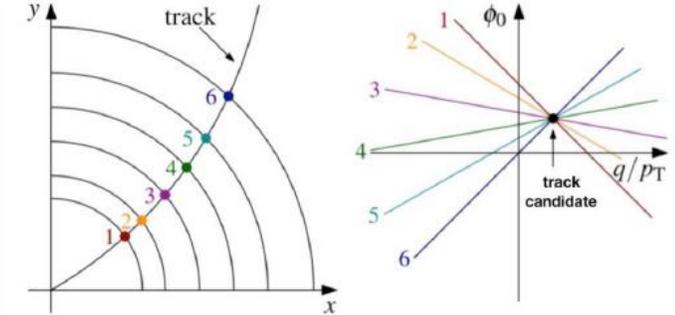
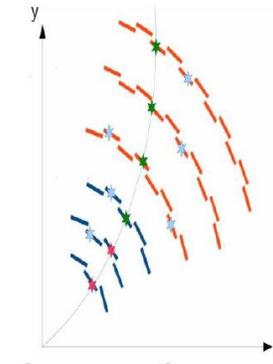
Eventi simulati come input

Entrambi gli approcci producono risultati compatibili

I vincoli temporali sono in accordo

Tempo per produrre una traccia: minore di $5 \mu\text{s}$

Latenza del trigger in fase 2: $12.5 \mu\text{s}$



PRESTAZIONI ATTESE E SVILUPPI FUTURI

- Risoluzione dei parametri di traiettoria del tracciatore di fase 2 compatibili o migliori di quelli per fase 0/1

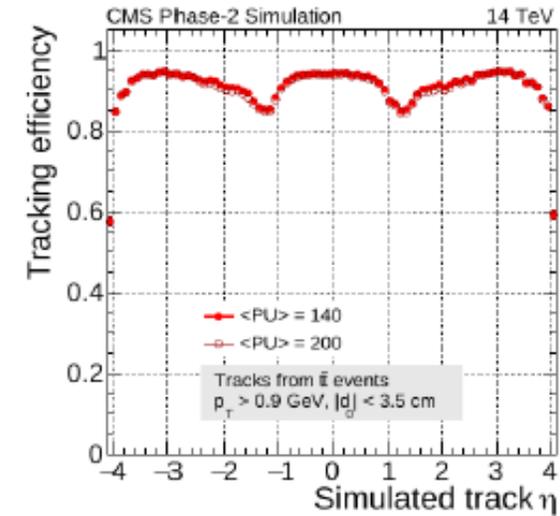
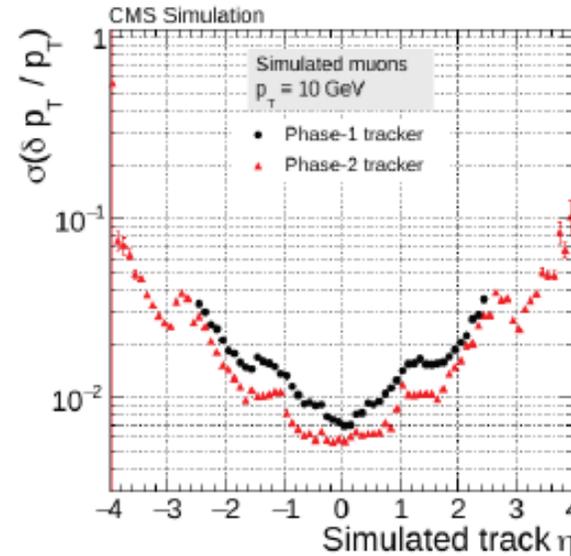
→ **Celle di dimensioni minori**

→ **Meno materiale**

- Alta efficienza di tracciatura anche in presenza di 140 o 200 eventi di pile-up.

→ **Circa il 90% di efficienza per le traiettorie con $p_T > 0.9$ GeV con un tasso di insuccesso minore del 2%**

- L'attività di Ricerca e Sviluppo sta volgendo al termine e **sta iniziando la prototipizzazione dei moduli** del tracciatore (per l'Italia Bari e Perugia saranno due dei centri di assemblaggio per Moduli PS).
- Ci stiamo quindi avvicinando all'inizio della produzione. **L'installazione del detector** è prevista durante il long Shutdown 3 (LS3) intorno il 2025 .



GRAZIE PER L'ATTENZIONE