

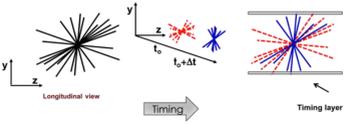
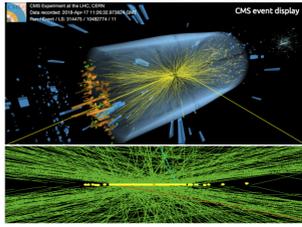
Tornago M. (1)(2), Arcidiacono R. (1)(3), Borghi G. (4), Boscardin M. (4)(6), Cartiglia N. (2), Costa M. (1)(2), Dalla Betta G.F. (5)(6), Ferrero M. (1)(2), Ficorella F. (4)(6), Mandurrino M. (2), Pancheri L. (5)(6), Paternoster G. (4)(6), Siviero F. (1)(2), Sola V. (1)(2), Staiano A. (2)

(1) Università degli Studi di Torino, (2) INFN Torino, (3) Università del Piemonte Orientale (Novara), (4) Fondazione Bruno Kessler (Trento), (5) Università degli Studi di Trento (Povo), (6) TIFPA-INFN Trento (Povo)

MISURE DI TIMING A CMS AD HIGH LUMINOSITY LHC

DA LHC A HIGH LUMINOSITY LHC

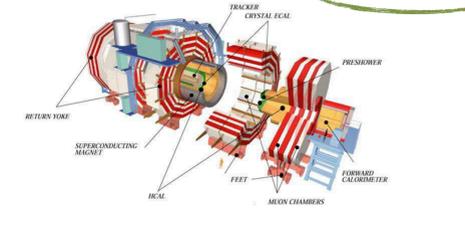
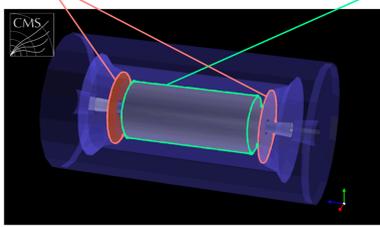
High Luminosity LHC prevede un aumento di un fattore 5 della luminosità istantanea rispetto all'attuale LHC. In tali condizioni, per ogni bunch crossing (uno ogni 25 ns) si verificheranno 140-200 collisioni protone-protone all'interno di una finestra temporale di 150 ps.



Per poter mantenere le attuali prestazioni di **CMS** occorrerà migliorare l'efficienza del rivelatore. Nel nuovo ambiente di HL-LHC l'aggiunta dell'**informazione temporale** permetterebbe di distinguere eventi che il tracciatore vede come sovrapposti nello spazio, ma che si verificano in tempi diversi. A tal fine è prevista la costruzione di un **Timing Layer** per CMS caratterizzato da una risoluzione temporale di ~ 30 ps.

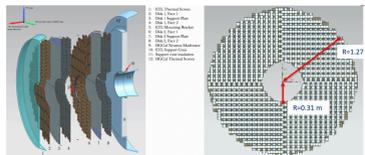
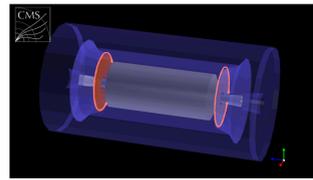
IL MIP TIMING LAYER DI CMS

Il Minimum Ionizing Particles (MIP) **Timing Layer** permetterà di effettuare un **tracciamento in 4D** grazie all'associazione dell'informazione temporale alle tracce ricostruite dal tracciatore. Il MIP **Timing Layer** sarà provvisto di un rivelatore di **LYSO+SiPM** di 38 m² nella regione di barrel (BTL) e da due dischi di **UFSD** di 7 m² nella regione di endcap (ETL).



L'ENDCAP TIMING LAYER DI CMS

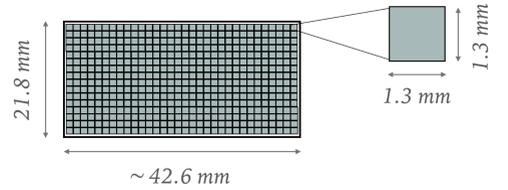
Per mantenere le prestazioni di CMS, sono richiesti specifici requisiti per i sensori dell'**Endcap Timing Layer (ETL)**. Oltre alla richiesta di una risoluzione temporale $\sigma_t \sim 30$ ps, sarà necessario essere in grado di produrre sensori di grandi dimensioni con un'**ottima uniformità**. Inoltre, poiché l'ETL ricoprirà la regione di rapidità $1.6 < |\eta| < 2.9$, la regione più centrale del rivelatore (il 14% dell'area totale) dovrà **resistere a fluenze di radiazione pari a $1.7 \times 10^{15} n_{eq}/cm^2$** , mentre la massima fluenza raggiunta nelle zone più esterne sarà di $1.1 \times 10^{14} n_{eq}/cm^2$. Infine, ogni disco dell'ETL dovrà raggiungere una copertura superiore al **95%**, per cui sono richiesti sensori con un'area inattiva ridotta.



I SENSORI DELL'ENDCAP TIMING LAYER DI CMS

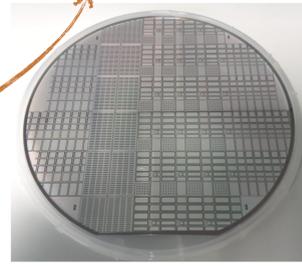
LA GEOMETRIA DEL SENSORE CMS ETL

Il sensore finale per l'Endcap Timing Layer sarà costituito da **32x16 pads**. Ciascuno di essi avrà un'area pari a **1.3x1.3 mm²** e una capacità di **3.4 pF**.



Per scegliere la geometria dei sensori sono stati considerati due principali fattori. Il primo è l'**occupancy**, definita come la probabilità che più particelle passino nello stesso sensore; perché l'ETL possa raggiungere le prestazioni richieste è necessario che l'occupancy sia $< 5\%$. Il secondo fattore determinante è dato dall'**elettronica di lettura**, che per soddisfare i requisiti di CMS necessita di essere collegata a sensori con una capacità ridotta, dove la capacità è proporzionale all'area del pad.

IL PROGETTO UFSD



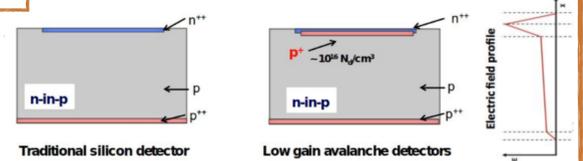
Produzioni: UFSD1 (2016), UFSD2 (2017), UFSD3 (2018)

Ultra-Fast Silicon Detectors è un progetto nato a Torino (INFN e Università) in collaborazione con la Fondazione Bruno Kessler e l'Università di Trento. L'obiettivo è quello di produrre rivelatori al Silicio basati sulla tecnologia dei **Low-Gain Avalanche Diodes** e ottimizzati per le **misure di tempo**, che siano finemente segmentabili e in grado di resistere ad **alte fluenze di radiazione**.

Grazie alle loro caratteristiche, gli UFSD sono stati scelti come sensori per l'Endcap Timing Layer di CMS ad HL-LHC.

LOW-GAIN AVALANCHE DIODE (LGAD)

Gli **LGAD** sono rivelatori al silicio con guadagno moderato, compreso tra 10 e 20

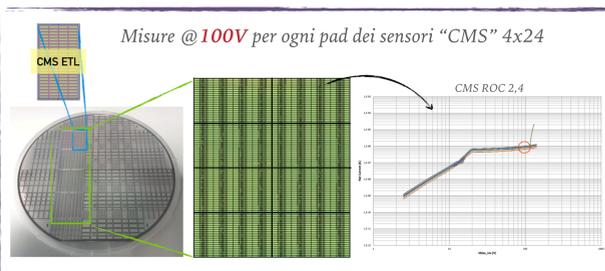


Un **LGAD** è un dispositivo caratterizzato dalla presenza di un sottile strato fortemente drogato vicino alla giunzione p-n (**layer di guadagno**). Una volta che il dispositivo viene polarizzato inversamente, in corrispondenza del layer di guadagno si genera un **elevato campo elettrico locale**. Gli elettroni primari in questa regione raggiungono una velocità sufficiente a scalzare altri elettroni, generando il fenomeno di **moltiplicazione a valanga**. Il numero di elettroni generati nella valanga da ciascun primario determina il guadagno del sensore, che deve essere moderato per evitare che il rumore di moltiplicazione diventi dominante e quindi per **massimizzare il rapporto segnale/rumore**.

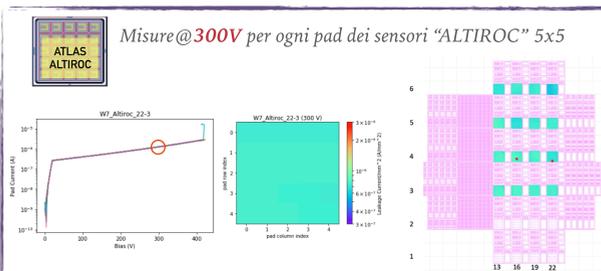
MISURE DI LABORATORIO E SIMULAZIONE NUMERICA

UNIFORMITA' DI SENSORI MULTIPAD

Per studiare l'**uniformità** di grandi sensori multipad viene acquisito il **valore della corrente di buio ad un valore fisso di tensione** per ogni pad di ogni sensore per ogni wafer prodotto. La misura è stata effettuata su diverse strutture, sia su fetta alla Fondazione Bruno Kessler sia su strutture singole presso il Laboratorio dei Silici Innovativi dell'Università di Torino. I risultati dimostrano un'ottima uniformità per la produzione **UFSD3**.



Solo lo **0.1%** dei pad misurati (~15000) registra un alto valore di corrente

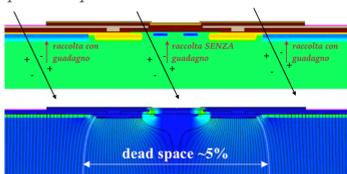


Il numero di pad con corrente elevata è **~0.7%**

STUDIO DELL'AREA INATTIVA DEI SENSORI

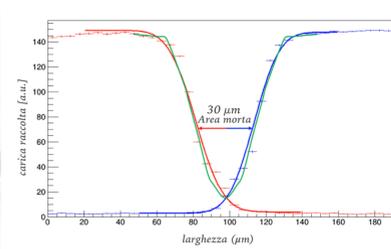
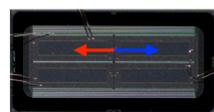
È necessario implementare delle strutture di terminazione del guadagno, che introducono un'area senza moltiplicazione. In UFSD3 sono stati implementati 4 diversi design con diverse geometrie per le strutture di terminazione: **Aggressive, Intermediate, Safe e Super Safe**.

L'**area morta** (no gain) è la regione tra pad o strip adiacenti in cui non si verifica la moltiplicazione di carica. Dalle caratteristiche degli impianti di terminazione dipende la quantità di cariche raccolte nell'area morta.



Impatto diretto sul Timing Layer di CMS per cui è necessario un **fill factor > 95%**

Raccolta di carica ai bordi dell'area morta: scansione 1D effettuata con un laser lungo la finestra ottica posizionata tra due pad adiacenti.



I valori di interpad misurati per **UFSD3 FBK** sono compresi tra **15 e 40 μm**, mentre per UFSD2 l'area attiva era di 66 μm.

RESISTENZA ALLE RADIAZIONI

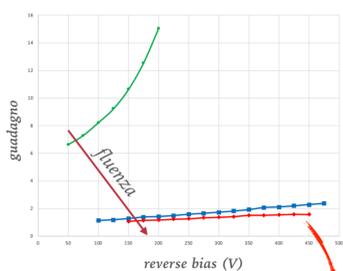
In un dispositivo n-in-p, uno degli effetti principali della radiazione è la **disattivazione del drogaggio p nel gain layer** dovuto alla produzione di difetti interstiziali. Si è osservato che l'aggiunta di **Carbonio** permette di contrastare questo fenomeno, in quanto gli atomi di Carbonio prendono il posto del Boro nei difetti interstiziali.

Per studiare il fenomeno sono state effettuate delle campagne di radiazione: alcuni sensori di **UFSD3** sono stati irraggiati con **neutroni** a diverse fluenze a Ljubljana.

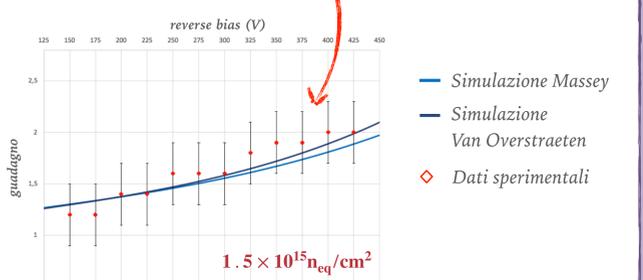
Sensori **UFSD3 PiN+LGAD**



Misura delle **curve di guadagno** di UFSD3 irraggiati



All'aumentare della fluenza il guadagno del sensore irraggiato diminuisce per la disattivazione del drogaggio p del gain layer.



$1.5 \times 10^{15} n_{eq}/cm^2$

Si ringraziano le seguenti agenzie e collaborazioni:

INFN - Gruppo V; Horizon 2020, ERC - Advanced Grant UFSD; Horizon 2020, MSCA - INFRAIA Grant AIDA2020; Ministero degli Affari Esteri, Italia, MAE, "Progetti di Grande Rilevanza Scientifica"; Dipartimenti di Eccellenza (ex L. 232/2016, art. 1, cc. 314, 337)