

Silicon pixel detectors for the CMS Tracker upgrade at HL-LHC

Rivelatori a pixel di silicio per l'upgrade del Tracciatore di CMS a HL-LHC

Relatore:

Candidato: Prof. Raffaello D'ALESSANDRO, candi@fi.infn.it

Irene ZOI

Correlatore:

Dott. Ric. Lorenzo UPLEGGGER, uplegger@fnal.gov

In questo lavoro di tesi sono stati caratterizzati dei rivelatori a pixel di silicio considerati come uno dei possibili candidati per l'upgrade di Fase II del Tracciatore dell'esperimento Compact Muon Solenoid (CMS) al *High Luminosity-Large Hadron Collider* (HL-LHC), del CERN. Il rivelatore a pixel è collocato al centro di CMS ed è utilizzato per ricostruire le tracce delle particelle cariche risultanti dalle collisioni dei due fasci di protoni.

Il programma di ricerca scientifica di CMS prevede tra i suoi numerosi punti la precisa misura delle proprietà del bosone di Higgs, lo studio di molti fenomeni descritti dal Modello Standard e la ricerca di nuova Fisica. Per rendere possibili questi studi la luminosità di LHC sarà aumentata fino a $5 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$, con un *pile up* previsto di ~ 140 vertici ogni 25 ns. Il rivelatore a pixel di Fase II dovrà quindi sia resistere ad un livello di radiazioni molto più elevato che mantenere ottime prestazioni per poter distinguere gli eventi interessanti dal fondo.

Nel rivelatore sono attualmente in uso pixel di dimensioni $100\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$. Pixel di $50\mu\text{m}$ e $25\mu\text{m}$ sono tra i principali candidati per essere utilizzati in Fase II in quanto, sia l'*occupancy*, sia la precisione del tracciamento beneficeranno delle ridotte dimensioni.

La superficie attiva dei prototipi da me studiati è suddivisa in tre zone, ognuna con una dimensione del *pitch* differente, per consentire un confronto tra le prestazioni della geometria standard ($100\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$) e delle altre due zone che presentano un *pitch* ridotto: $50\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ e $25\mu\text{m} \times 600\mu\text{m}$. L'area del singolo pixel è stata mantenuta costante in ogni zona per poter unire i sensori al chip di lettura (ROC PSI46Dig) utilizzato in Fase I e progettato per essere collegato a sensori con la geometria standard.

Tali rivelatori sono stati accuratamente calibrati e provati utilizzando un fascio di protoni presso la *Test Beam Facility* (FTBF) del Fermi National Accelerator Laboratory, durante due prese dati diverse, una prima e l'altra dopo aver irraggiato il dispositivo ad una fluensa di $7 \times 10^{14} n_{eq}/\text{cm}^2$.

I dispositivi sono stati collocati nel mezzo di un telescopio tracciante costituito da rivelatori a pixel identici a quelli usati attualmente nell'esperimento. Tramite i dati acquisiti al *test-beam* è stato ottenuto un allineamento di precisione del telescopio mediante l'apposito software *Monicelli*. Le tracce ricostruite sono state poi usate per studiare l'efficienza di rivelazione, le proprietà di raccolta di carica e la risoluzione spaziale, utilizzando un secondo software dedicato, *Chewie*, che ho dovuto modificare al fine di confrontare le prestazioni delle tre zone, prima e dopo l'irraggiamento.

Questo lavoro di tesi mostra che l'efficienza di rilevamento del sensore irraggiato è molto elevata e simile a quella del non irraggiato e che nessuna differenza significativa è stata osservata fra le tre zone.

Per valutare il danno causato dall'irraggiamento al *bulk* del sensore, ho studiato in dettaglio gli spettri della carica raccolta, che risultano essere in ottimo accordo con i valori attesi e consistenti con altri studi, sia per i dispositivi irraggiati che per quelli non. In seguito all'irraggiamento della struttura cristallina del silicio si formano dei centri di cattura dei portatori che provocano una riduzione della carica raccolta.

Sono stata in grado di mostrare, indipendentemente dai diversi metodi utilizzati per determinare il punto di impatto, che la risoluzione spaziale del rivelatore irraggiato non è peggiorata significativamente nonostante la carica raccolta sia il 65% di quella misurata quando il cristallo di silicio non è danneggiato.

Lo studio di questi prototipi ha dimostrato che è possibile fabbricare geometrie con pixel che hanno il *pitch* estremamente ridotto di soli $25\mu\text{m}$.

Il mio studio mostra che, al livello di irraggiamento considerato, non si osserva alcuna degradazione sostanziale delle prestazioni del rivelatore nonostante il sensore raccolga meno carica. Dal momento che la dose ricevuta dal dispositivo è stata inferiore a quella prevista per Fase II ($2 \times 10^{16} n_{eq}/\text{cm}^2$), ulteriori studi con irraggiamenti a fluense più elevate devono essere eseguiti e sono già in programma per assicurarsi che le capacità di tracciamento dei pixel non saranno degradate in modo significativo.