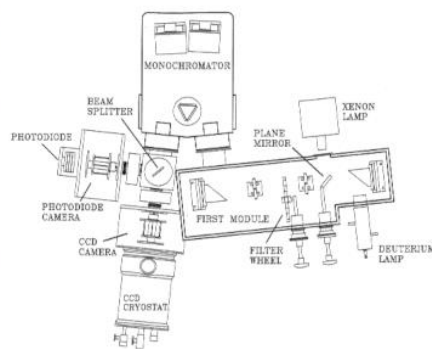
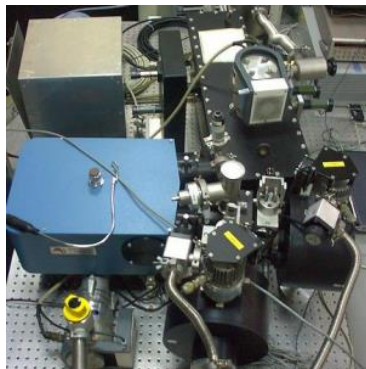




## Rapporti Tecnici INAF INAF Technical Reports

|                                    |                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Number</b>                      | 10                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Publication Year</b>            | 2020                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Acceptance in OA@INAF</b>       | 2020-03-18T11:14:31Z                                                                                                                                                                                  |
| <b>Title</b>                       | Caratterizzazione del SiPM Hamamatsu MPPC LVR3 S14160-3050TSV selezionato per i progetti Muography of Etna Volcano (MEV) e New Muon Portal (NMP)                                                      |
| <b>Authors</b>                     | ROMEO, Giuseppe                                                                                                                                                                                       |
| <b>Affiliation of first author</b> | O.A. Catania                                                                                                                                                                                          |
| <b>Handle</b>                      | <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12386/23351">http://hdl.handle.net/20.500.12386/23351</a> , <a href="http://dx.doi.org/10.20371/INAF/TechRep/10">http://dx.doi.org/10.20371/INAF/TechRep/10</a> |

# Caratterizzazione del SiPM Hamamatsu MPPC LVR3 S14160-3050TSV selezionato per i progetti **M**uography of **E**tna **V**olcano (MEV) e **N**ew **M**uon **P**ortal (NMP)



GIUSEPPE ROMEO\*

- INAF - Osservatorio Astrofisico di Catania, Via Santa Sofia 78, Catania

## Introduzione

La muografia, o radiografia con muoni, è una tecnica analoga alla radiografia X, in cui il ruolo dei raggi X viene svolto dai muoni ( $\mu$ ). Queste particelle elementari sono continuamente prodotte negli strati più alti dell'atmosfera in seguito all'interazione di un raggio cosmico primario con i nuclei presenti (azoto, ossigeno). I muoni hanno una vita media abbastanza lunga ed energie molto elevate e quindi, dopo aver raggiunto la Terra, possono attraversare centinaia o anche migliaia di metri di roccia o suolo prima di essere assorbiti. Dalla misura dell'assorbimento di questa radiazione attraverso un volume specifico, è possibile ottenere una mappa bidimensionale della densità della materia attraversata. Il progetto MEV, acronimo da Muography of Etna Volcano, nasce nel 2016 con due obiettivi: il primo è realizzare la prima radiografia (Figura 1) con muoni ad alta risoluzione del complesso dei crateri sommitali dell'Etna, il più grande e il più alto vulcano attivo d'Europa; il secondo, più ambizioso e di largo respiro, è l'istituzione di una rete di monitoraggio del vulcano tramite muografia.

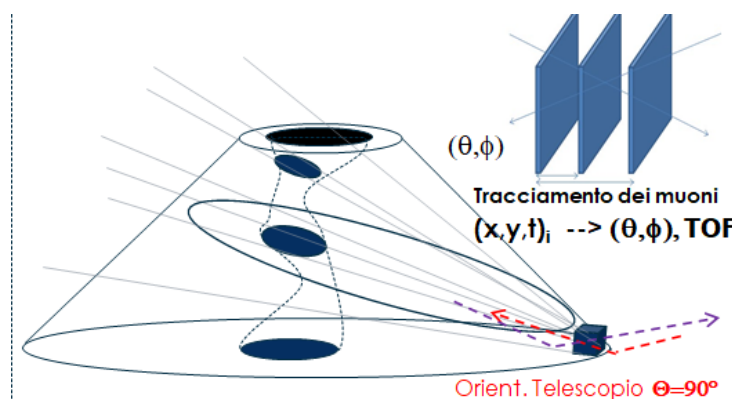
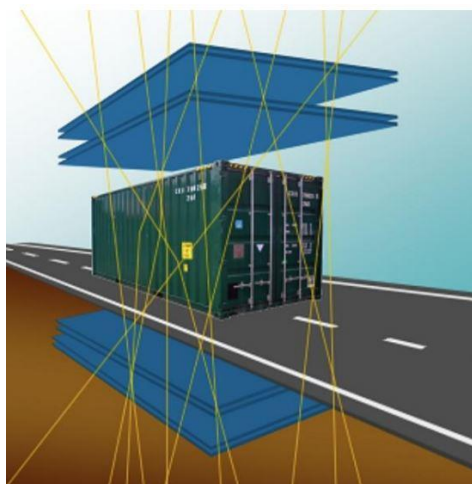


Figura 1. Schema per la muografia vulcanica con pannelli scintillanti

La stessa tecnica è stata utilizzata nel progetto Muon Portal che consiste nella progettazione e realizzazione di un portale atto a rivelare sorgenti fissili nucleari all'interno di container portuali mediante tomografia muonica per evitare il contrabbando di materiale radioattivo. È un progetto finalizzato alla costruzione di un prototipo di rivelatore di dimensioni reali, circa 18 metri quadrati, per il tracciamento di muoni prodotti da raggi cosmici (Figura 2).

L'apparato è stato progettato per ispezionare i container cargo utilizzando la tecnica della tomografia muonica: dalla misura della deflessione dei muoni durante l'attraversamento di materiali ad alto  $Z$ , è possibile ricostruire un'immagine 3D del volume da ispezionare e rilevare la presenza di materiale fissile (i.e. U, Pu) all'interno dei container. Il prototipo è costituito da otto piani X-Y di cui quattro posizionati sotto e quattro piani sopra il volume da ispezionare, di strisce di scintillatori plastici contenenti fibre ottiche WLS che guidano la luce raccolta su fotomoltiplicatori al Silicio (SiPM) posti ad una delle estremità. Oggi si sta studiando per realizzare un nuovo portale, utilizzando sia elettronica che sensori SiPM più performanti in modo da realizzare un sistema ad altissima efficienza.



*Figura 2. Schema struttura progetto New Muon Portal*

Da circa un anno, una campagna di selezione del miglior rivelatore per i progetti Muography of Etna Volcano (MEV) e New Muon Portal (NMP), hanno portato ad una intensa caratterizzazione elettro-ottica di diversi rivelatori di tipo Silicon PhotoMultipliers (SiPM) per la valutazione di parametri come la Dark Count Rate (DCR), l'Optical Cross-Talk (OCT) e la Photon Detection Efficiency (PDE).

Per entrambi i progetti i prototipi dei fotomoltiplicatori di silicio sono stati selezionati avendo come obiettivo massimizzare l'efficienza di rilevazione dei fotoni oltre a garantire bassi valori di OCT.

Il SiPM, l'MPPC LVR3 S14160-3050TSV  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  con microcella da  $50 \mu\text{m}$  (Figura 3), recentemente prodotto da Hamamatsu Photonics (HPK), di cui abbiamo effettuato la caratterizzazione elettro-ottica presentata in questo rapporto, rappresenta un grande progresso per l'ottimizzazione delle prestazioni sopradette.



*Figura 3. SiPM LVR3 S14160-3050TSV  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  con microcella da  $50 \mu\text{m}$*

## Set-up di caratterizzazione

Il set-up utilizzato per la caratterizzazione è mostrato in Figura 4. L'apparato consente di effettuare misure di PDE nell'intervallo spettrale 300 - 850 nm utilizzando 18 sorgenti di luce impulsata. Utilizziamo la stessa configurazione per misurare l'OCT e la DCR in funzione della tensione di overvoltage.

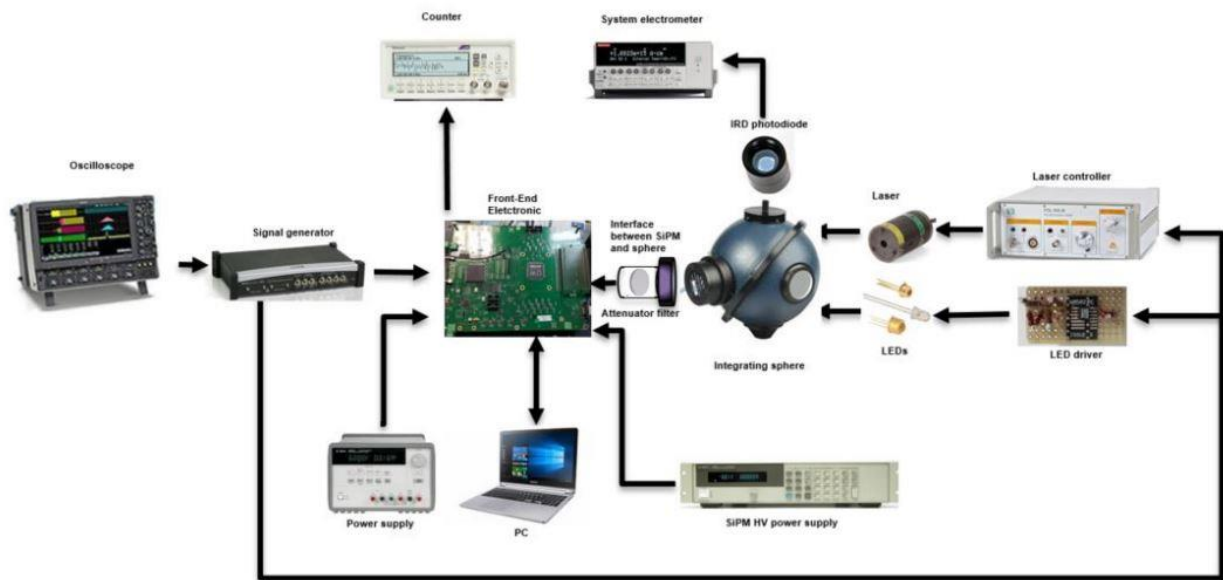


Figura 4. Set-up di caratterizzazione usato per le misure

Il sistema è costituito da:

- Alimentatore Agilent 6634B (per l'alta tensione dei SiPM)
- Alimentatore Agilent E3631A (per alimentare il LED driver)
- Contatore Tektronics FCA 3000 (per effettuare misure di staircase)
- Femto-amperometro Keithley 6514 (per misurare la foto-corrente del fotodiode di riferimento)
- Fotodiode calibrato IRD NIST traceable (per rilevare il flusso luminoso dentro la sfera integratrice)
- Oscilloscopio LeCroy wavePro 725Zi 2.5GHz (per processare i segnali di sincronizzazione per la sorgente a luce impulsata)
- Generatore di impulsi LeCroy ArbStudio 1104 (per generare i segnali di sincro per le sorgenti impulsive)
- Driver LED
- controller laser PicoQuant PDL 200-B (per pilotare i lasers)
- Sfera integratrice Labsphere (per ottenere un flusso di luce omogeneo sulle superfici dei sensori)
- Front-end electronics basata sul chip CITIROC 1A (per processare i segnali dei SiPM)
- Sensore di temperatura LMT70 e controller ADAM 4017 (per controllare la temperatura del SiPM in modo di compensare la tensione di alimentazione per mantenere costante il guadagno del rivelatore)
- 16 LED come sorgenti impulsive e 3 LASER
- Filtri neutri calibrati della Thorlabs ND30B, ND20B, ND13B and ND10B

## Misure di Darkstairs e Optical Cross-Talk

Durante le misure è estremamente importante mantenere stabili le condizioni operative del SiPM rispetto alla temperatura di lavoro onde evitare variazioni della tensione di breakdown e quindi scompensi nella tensione di polarizzazione del rivelatore. Per effettuare le misure di darkstairs, il segnale di dark viene amplificato e discriminato, generando un impulso logico in uscita ogni volta che l'impulso attraversa un livello di tensione predefinito che costituisce la soglia. In Figura 5, sono rappresentate le funzioni di darkstairs relative a tre valori di overvoltage.

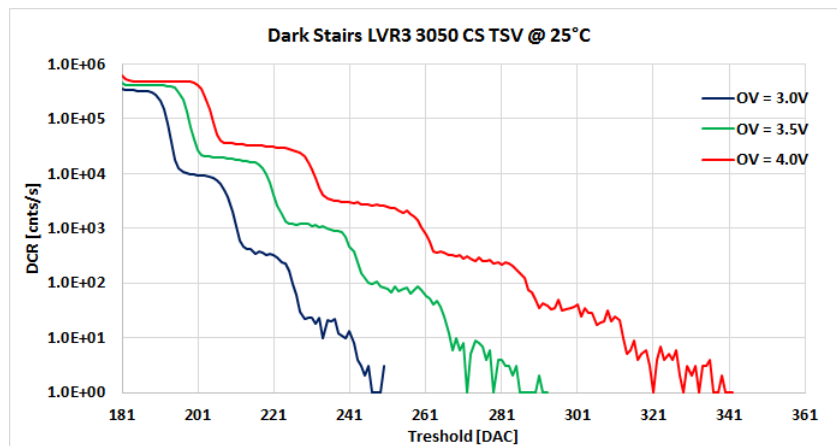


Figura 5. Darkstairs a tre valori di overvoltage

Nella Figura 6, viene plottata la curva della DCR in funzione dei tre valori di overvoltage alla soglia di 0.5 p.e. e a temperatura ambiente (25°C).

Come si può vedere, il dispositivo LVR3 S14160-3050TSV mostra un valore di DCR a 3.0V di overvoltage di circa 320 KCnts/s con un OCT inferiore al 3.0 % come mostra la Figura 7.

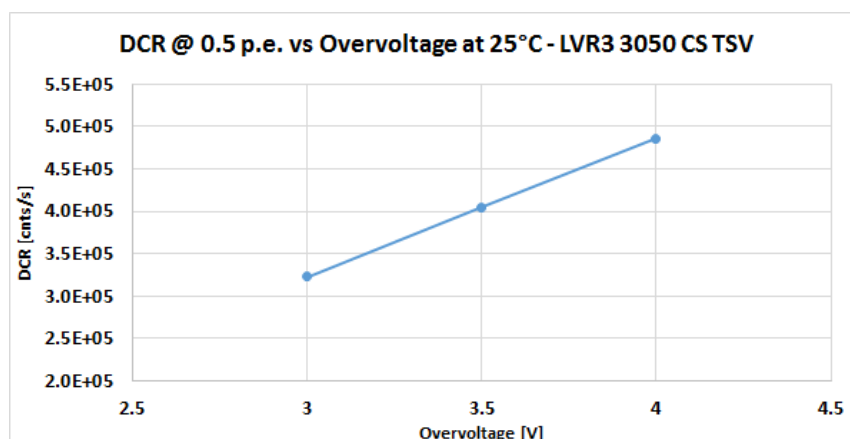


Figura 6. DCR vs Overvoltage a temperatura ambiente a diversi valore di overvoltage

Il cross-talk ottico del SiPM viene valutato dai dati relativi ai conteggi della dark, dalla misura della darkstair, come rapporto tra la DCR a 1.5 p.e. e la DCR a 0.5 p.e.

Nella Figura 7, viene mostrato l'OCT in funzione dell'overvoltage e in particolare notiamo valori particolarmente bassi in un range tra 2.8% a 3.0V di overvoltage a circa 6.0% a valori di overvoltage di 4.0V.

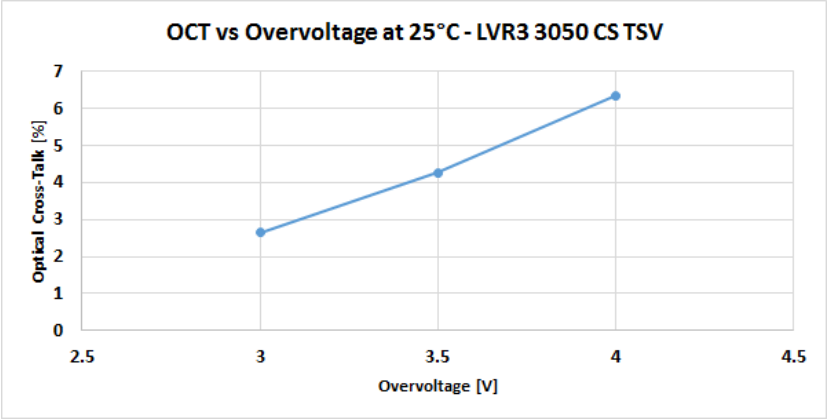


Figura 7. Optical Cross-Talk in funzione dell'overvoltage

## Misure di Photon Detection Efficiency

Le misure sono state eseguite a diversi valori di overvoltage. Abbiamo lavorato in condizioni luminose atte ad ottenere, da un lato bassi livelli di foto-corrente misurata dal fotodiodo calibrato e dall'altro lato evitare la saturazione del SiPM. Per questa ragione davanti al rivelatore è stato posizionato un filtro a densità neutra, calibrato presso il laboratorio INAF-COLD. L'introduzione del filtro ci consente di lavorare con segnali più alti e quindi ottenere elevati valori di corrente generata dal fotodiodo calibrato con conseguente riduzione degli errori.

In Figura 8 sono mostrate le curve di PDE a 405 nm e 450 nm in funzione dell'overvoltage in modo da evidenziare la dinamica relativa alla risoluzione fotonica del dispositivo, e in Figura 9, le curve di PDE a diverse lunghezze d'onda e a diversi valori di overvoltage.

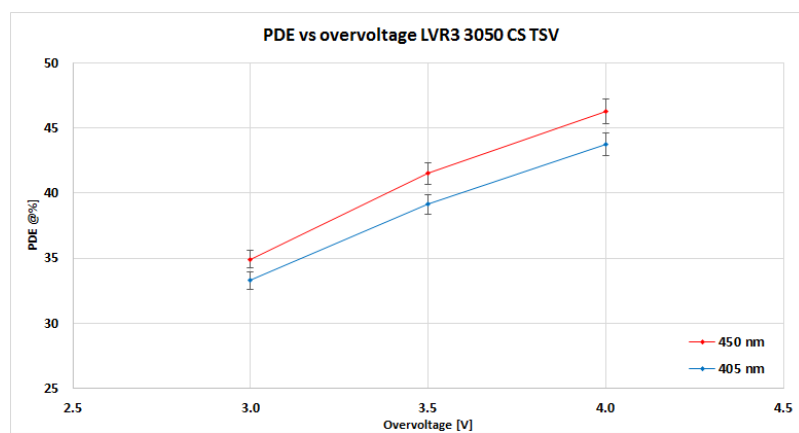


Figura 8. PDE in funzione dell'overvoltage a 405 nm e 450 nm

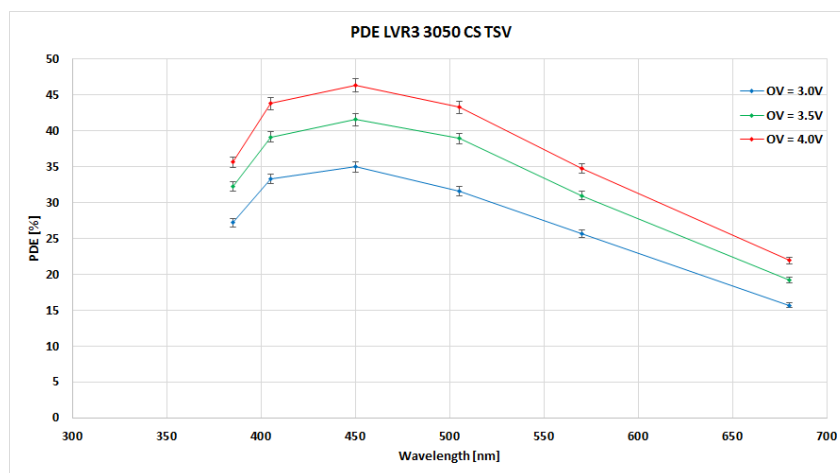
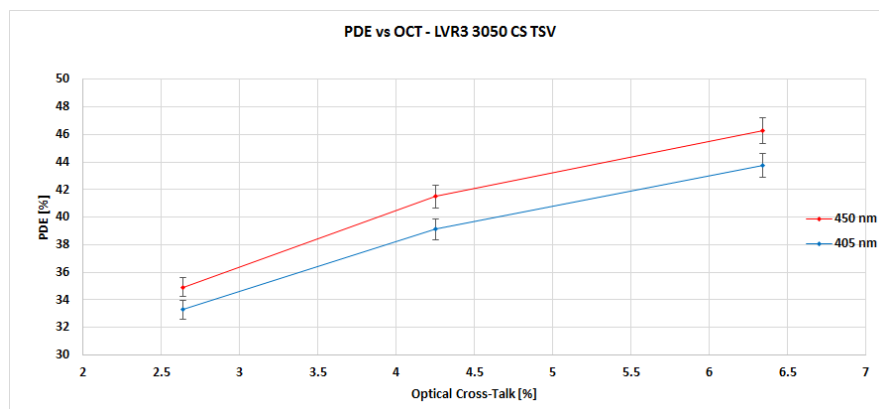


Figura 9. PDE a diversi valori di overvoltage

Dalla Figura 9, si evince come è possibile ottenere un valore di PDE a 450 nm maggiore di 45%.

La Figura 10, mostra la PDE a 405 nm e 450 nm in funzione dell'OCT.



*Figura 10. PDE (405 nm e 450 nm) in funzione dell'OCT*

Per i due progetti il parametro di maggior rilevanza è la PDE la quale deve essere la più alta possibile in modo da garantire una elevata efficienza di rivelazione dei deboli segnali prodotti dalle interazioni dei muoni con le barre scintillanti.

E' importante aver presente che il segnale utile nasce dalla coincidenza di due barre scintillanti per determinare la coordinata (x,y).

Nel caso del Muon Portal, dove vi è la presenza di 4 piani (x,y), la efficienza di rivelazione assume un significato estremamente importante in quanto le coordinate della traccia vengono ottenute come coincidenza di tutti i piani.