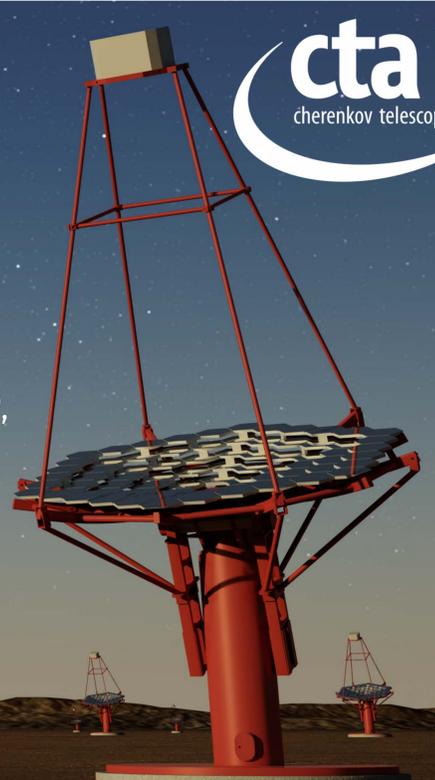


# Caratterizzazione dei fotomoltiplicatori al silicio di FBK per il prototipo SCT Medium Size Telescope per l'Osservatorio CTA

G.Ambrosi<sup>(1)</sup>, M.Ambrosio<sup>(2)</sup>, C.Aramo<sup>(2)</sup>, B. Bertucci<sup>(1,3)</sup>, E.Bissaldi<sup>(4,5)</sup>, M.Bitossi<sup>(6)</sup>, A.Boiano<sup>(2)</sup>, C.Bonavolontà<sup>(2,7)</sup>, M. Caprai<sup>(1)</sup>, L.Consiglio<sup>(2)</sup>, L.Di Venere<sup>(4)</sup>, E.Fiandrini<sup>(1,3)</sup>, N.Giglietto<sup>(4,5)</sup>, F.Giordano<sup>(4,5)</sup>, M.Ionica<sup>(1)</sup>, F.Licciulli<sup>(4)</sup>, S.Loporchio<sup>\*(4,5)</sup>, V.Masone<sup>(2)</sup>, F.R. Pantaleo<sup>(4,5)</sup>, R.Paoletti<sup>(6,8)</sup>, A.Rugliancich<sup>(6)</sup>, L.Stiaccini<sup>(8)</sup>, L.Tosti<sup>(1,3)</sup>, V.Vagelli<sup>(1,3)</sup>, M.Valentino<sup>(9)</sup> for the CTA Consortium<sup>(10)</sup>

<sup>(1)</sup>INFN Perugia, Italy <sup>(2)</sup>INFN Napoli, Italy <sup>(3)</sup>Università di Perugia, Italy <sup>(4)</sup>INFN Bari, Italy <sup>(5)</sup>Università e Politecnico di Bari, Italy  
<sup>(6)</sup>INFN Pisa, Italy <sup>(7)</sup>Università di Napoli, Italy <sup>(8)</sup>Università di Siena, Italy <sup>(9)</sup>CNR-Spin Napoli, Italy  
<sup>(10)</sup>See [www.cta-observatory.org](http://www.cta-observatory.org) for full author & affiliation list

\*serena.loporchio@ba.infn.it



Supported by  
INFN & Dipartimento  
Interateneo di Fisica  
dell'Università e del  
Politecnico di Bari



**ABSTRACT** Il Cherenkov Telescope array (CTA) rappresenterà la nuova generazione di Imaging Atmospheric Cherenkov Telescopes (IACTs), avendo come obiettivo la rivelazione di raggi gamma di altissima energia. Il prototipo del Schwarzschild Couder Telescope (pSCT) è stato inaugurato a Gennaio 2019 al Fred Lawrence Whipple Observatory con lo scopo di estendere l'array di CTA. I fotomoltiplicatori al Silicio sono particolarmente adatti in quanto unità ottiche di IACTs il cui fine è quello di rivelare l'intensità debole e veloce del segnale. I fotomoltiplicatori 6x6 mm<sup>2</sup> al Silicio Near UltraViolet High Density (NUV-HD3), prodotti dalla Fondazione Bruno Kessler in collaborazione con l'INFN, sono stati assemblati in più di 100 matrici di 16 pixel. Questi moduli ottici sono stati caratterizzati nei laboratori INFN per essere integrati nella camera di pSCT. In questo contributo saranno presentati i risultati della caratterizzazione delle matrici di fotomoltiplicatori al silicio e dell'uniformità delle loro performances.

## 1. La camera del telescopio pSCT

Il prototipo del telescopio *Schwarzschild-Couder* (pSCT) per l'osservatorio CTA è stato inaugurato lo scorso 17 Gennaio al FLWO in Arizona (Fig. 1). Il piano focale del telescopio sarà composto di 11328 pixel di fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) suddivisi in 177 moduli. Ciascun modulo è formato da 4 matrici di 16 pixel di dimensione 6x6 mm<sup>2</sup> (Fig. 2) e dall'elettronica di lettura per il campionamento e la digitalizzazione del segnale basato sull'ASIC TARGET-7.

Una prima sezione di 25 moduli è stata installata nel 2018. Di questi, 9 moduli sono stati sviluppati dall'INFN in collaborazione con la Fondazione Bruno Kessler (FBK) [1]. I moduli in questione sono stati equipaggiati con SiPM NUV-HD3 della FBK. Maggiori dettagli sui test eseguiti sui singoli SiPM sono riportati in [2].



Fig. 1

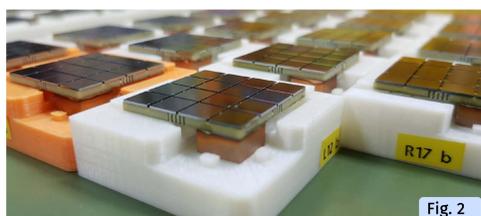


Fig. 2

## 2. Test elettrici dei moduli ottici a 16 pixel

Circa 100 matrici di SiPM HD3 sono state assemblate e caratterizzate nei laboratori INFN. Tre produzioni di NUV-HD3 sono state impiegate nelle campagne di test per pSCT, NUV-HD3-2, NUV-HD3-3 e NUV-HD3-4, che differiscono per la qualità del substrato di silicio utilizzato.

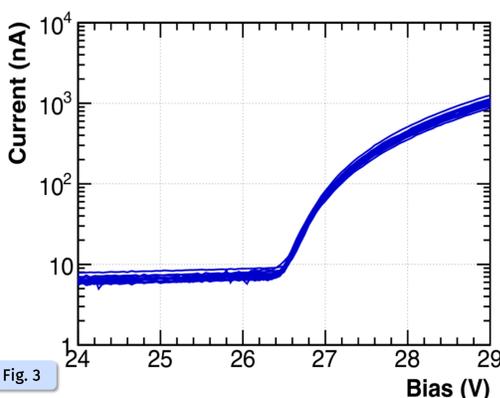


Fig. 3

Dopo l'assemblaggio, per ciascuna matrice sono state acquisite le curve IV dei 16 canali (Fig.3) e per ciascuno di essi è stato calcolato il valore della tensione di breakdown mediante la procedura descritta in [3]. La distribuzione dei valori della tensione di breakdown calcolata per tutte le matrici prodotte è riportata in Fig. 4, dove

i valori sono stati suddivisi per le tre produzioni di HD3. I valori della  $\mu$  e della  $\sigma$  sono riportati sul grafico.

Come è possibile osservare dalle distribuzioni riportate in figura, la differenza nel valore medio della tensione di breakdown per le tre produzioni è inferiore ad 1 V, con uno spread dei singoli pixel sempre inferiore ad 80 mV.

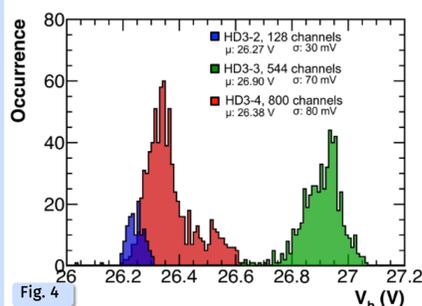


Fig. 4

## 3. Uniformità delle performance

In seguito ai test elettrici, le matrici sono state caratterizzate con l'ausilio di un'elettronica di frontend ad hoc per l'amplificazione e la cancellazione del polo zero [4], e di un modulo charge-to-digital converter (CAEN V792 QDC). Ciascun sensore è stato posto in una dark box e illuminato con un Pulse Diode Laser di 380 nm, variando la tensione di alimentazione fra 31 e 36 V. Le distribuzioni in carica così ottenute sono state fittate con una funzione multigaussiana per ricavare i valori di guadagno e rapporto segnale-rumore (*Signal-to-Noise Ratio*, SNR).

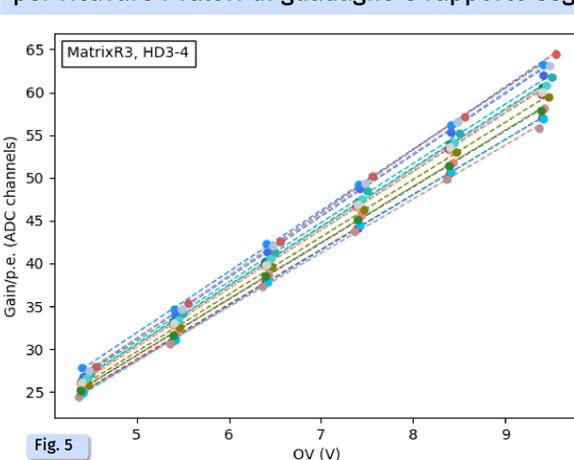


Fig. 5

Dai parametri del fit è stato possibile valutare, al variare della tensione di alimentazione e quindi dell'overvoltage applicato ( $V_{OV} = V_{app} - V_{BD}$ ), il guadagno e il rapporto segnale-rumore per fotoelettrone (p.e) per ciascuno dei pixel testati. Un esempio dell'andamento del guadagno per p.e. in funzione dell'overvoltage per i 16 pixel di una matrice è riportato in Fig. 5. Ciascuna curva è stata fittata con una funzione lineare per ottenere il guadagno per Volt di overvoltage di ogni singolo canale testato. Dai parametri così ottenuti è stato possibile ricavare il guadagno medio di tutti i pixel a fissato overvoltage, il cui andamento è riportato in Fig. 6.

Dai parametri del fit è stato successivamente ricavato il rapporto segnale rumore per ciascun canale. I segnali generati dai SiPM sono stati acquisiti anche in assenza di radiazione laser per valutare il *Dark Count Rate* (DCR). Gli spettri in carica così ottenuti sono stati fittati con una multigaussiana e il DCR è stato valutato dalla relazione  $DCR = \frac{N_{tot} - N_0}{N_{tot} \cdot \Delta t}$ , dove  $N_{tot}$  è il numero di eventi in totale,  $N_0$  è il numero di eventi di piedistallo, e  $\Delta t$  è la finestra di integrazione. Come fatto per il guadagno, anche le curve del DCR sono state fittate con una funzione lineare per ricavare l'andamento del DCR in funzione dell'overvoltage, riportato in Fig. 7.

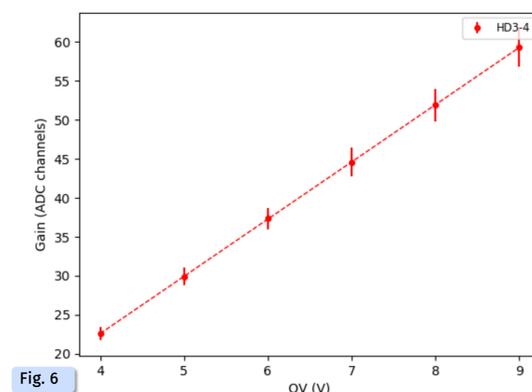


Fig. 6

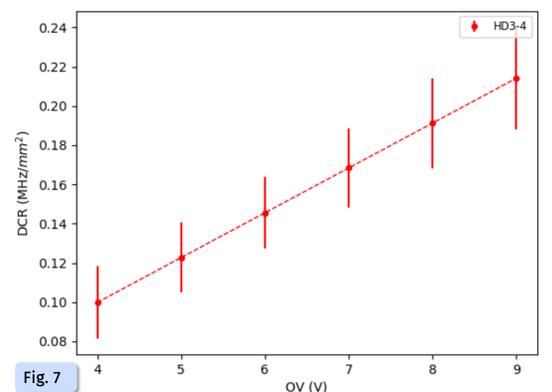


Fig. 7

Le misure, qui riportate per le matrici di HD3-4, sono state effettuate per le tre produzioni di SiPM. In Fig. 8 si riporta la distribuzione dei guadagni per unità di overvoltage, il cui valore medio risulta essere  $7.37 \pm 0.36$  canali ADC/V. La produzione di HD3-4 è stata scelta per equipaggiare la camera, in quanto ha mostrato migliori performance in termini di guadagno, rapporto segnale rumore e dark count rate. Fra le matrici di questa produzione testate, sono state selezionate le 36 matrici che hanno mostrato maggiore uniformità dei suddetti parametri; tali matrici, accoppiate all'elettronica di lettura, sono state successivamente integrate sulla camera di pSCT a dicembre 2018.

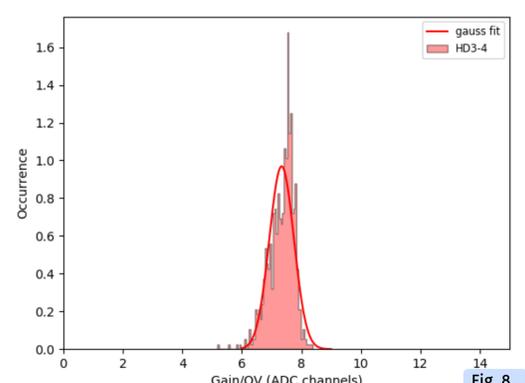


Fig. 8

REFERENCES  
[1] <http://www.fbk.eu>  
[2] G. Ambrosi et al., Nucl. Instrum. Meth., A (2018), in press.  
[3] A. Otte et al., Nucl. Instrum. Meth., A (2017).  
[4] G. Ambrosi et al., Nuclear and Particle Physics Proceedings (2016).