

Marco Marcante^(1,2,3), Fabio Acerbi^(2,3), Alberto Gola^(2,3), Stefano Merzi^(1,2,3), Giovanni Paternoster^(2,3), Claudio Piemonte^(2,3), Veronica Ragazzoni^(1,2,3), Nicola Zorzi^(2,3), collaborazione DarkSide20k gruppo PhotoElectrics

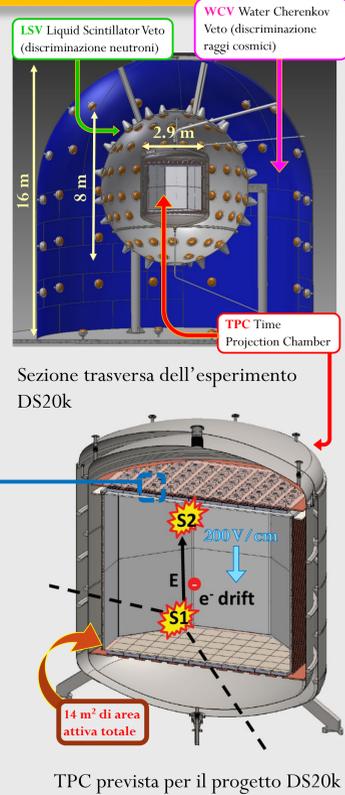
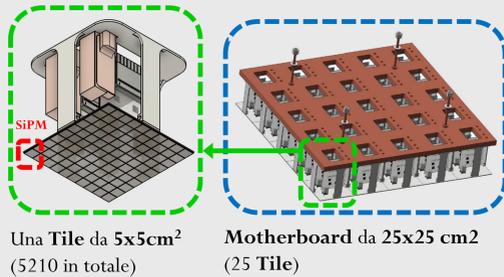
1) Università di Trento, Trento, Italia. 2) Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italia. 3) Trento Institute for Fundamental Physics and Applications, Trento, Italy
<http://darkside.lngs.infn.it/> mail: marcante@fbk.eu

ABSTRACT

Gli sviluppi fatti durante gli ultimi anni nella tecnologia dei Silicon Photomultipliers (SiPM) rendono questi sensori delle alternative molto interessanti ai tradizionali tubi fotomoltiplicatori (PMT), nell'ambito di esperimenti di fisica basati sulla lettura della luce di scintillazione da Argon e Xenon liquidi. Rispetto ai PMT, i SiPM sono in grado di offrire una maggiore radiopurezza, affidabilità, efficienza di rivelazione dei fotoni e flessibilità di montaggio. L'uso di SiPM in questo tipo di esperimenti pone diverse sfide tecnologiche, legate al funzionamento dei rivelatori a temperature criogeniche e alle grandi dimensioni dell'area fotosensibile, maggiori di 10 m² nel caso di DS20k. In particolare, la grande area di SiPM utilizzata richiede che il Dark Count Rate (DCR) per unità di area sia estremamente basso, per minimizzarne gli effetti sul trigger e sulla risoluzione energetica dell'esperimento. D'altra parte, l'utilizzo di SiPM a temperature criogeniche è relativamente recente. Per questo, nel contesto di DS20k, è stato necessario svolgere un'attività di caratterizzazione dei SiPM a temperature criogeniche, al fine di verificarne le prestazioni e l'affidabilità. I parametri misurati sono: guadagno, tempo di ricarica (Tau), DarkCountRate (DCR), rumore correlato: optical CrossTalk (DirectCT e DelayedCT) e AfterPulsing (AP). Le misure sono svolte in funzione della temperatura da 300 K a 40 K, per evidenziare tendenze nei dati misurati, con particolare attenzione alle temperature vicine a 87 K. Sono state anche svolte misure di Photon Detection Efficiency (PDE) e di rapporto S/N in misure di singolo fotone. Sono state caratterizzate per DS20k due tecnologie di SiPM disponibili presso la Fondazione Bruno Kessler: la NUV-HD (standard-field) e la NUV-HD-LF (low-field). La seconda si distingue per l'uso di un profilo di campo elettrico, all'interno della microcella, con valore di picco ridotto rispetto alla soluzione standard. Questo permette di ridurre la componente di tunneling del DCR, riducendo il valore di DCR misurato a freddo.

Il progetto DarkSide20k

L'esperimento DarkSide20k per la ricerca diretta di materia oscura utilizzerà SiPM per leggere i due segnali, di scintillazione primaria e secondaria di una TPC a doppia fase con ~20 ton di Underground Argon (UAR) radiopuro come materiale attivo. Le pareti della camera sono evaporate con tetra-phenylbutadiene (TPB), che permette di convertire la lunghezza d'onda del segnale di scintillazione da 128 nm a 410 nm, in modo da renderlo rilevabile dai SiPM.

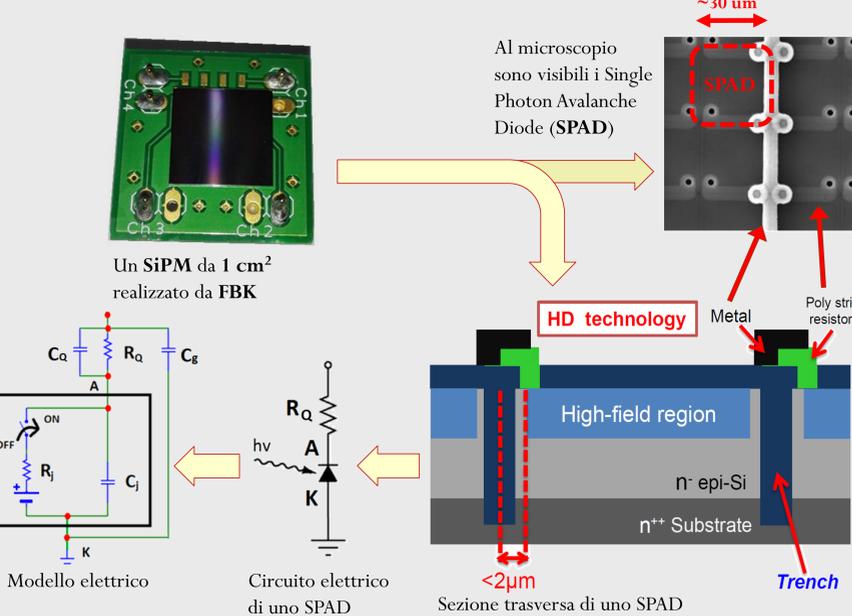


Principali requisiti imposti sui SiPM:

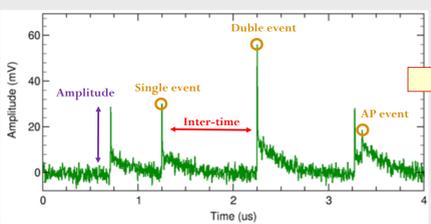
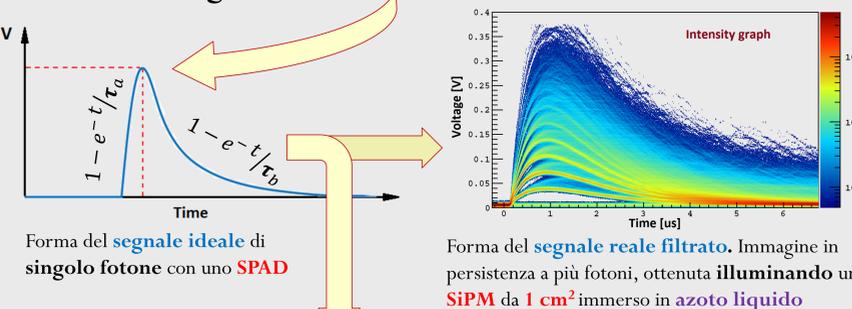
PARAMETRO	RICHIESTA
Photon Detection Efficiency (PDE)	> 43 % a 420 nm
Dark Count Rate (DCR)	< 0.1 Hz/mm ²
Probabilità totale di rumore correlato (After Pulsing + Cross Talk)	< 40 %
Guadagno in carica elettrica	> 1 M

La tecnologia dei SiPM

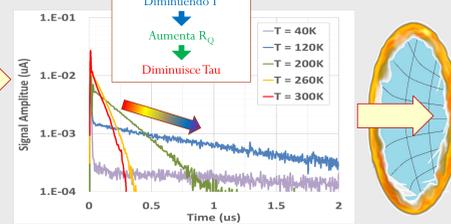
Com'è fatto e come funziona un SiPM:



La forma del segnale:

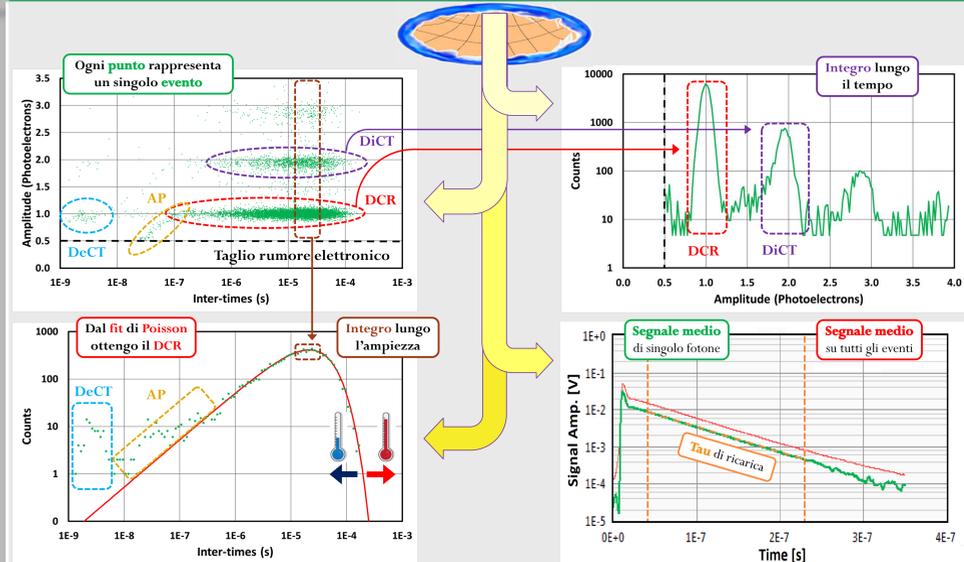


Forma del segnale reale in funzione del tempo di un SiPM a temperatura ambiente



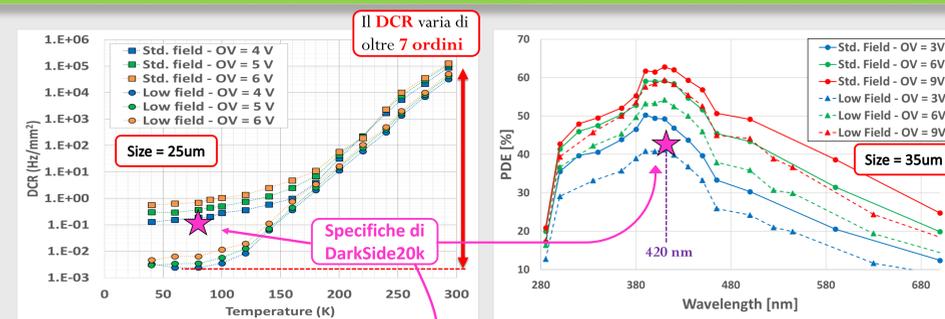
Forma del segnale reale di singolo fotone in funzione della temperatura

Analisi del segnale



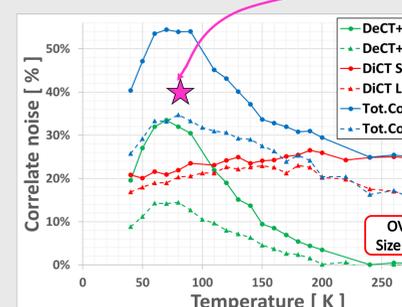
Controllando temperatura e polarizzazione del SiPM in condizione di buio si possono caratterizzare completamente le componenti del rumore dovute al dispositivo (DCR, AP, DeCT e DiCT), oltre ad altri parametri come: V_{BD} , $\Delta V/\Delta T$, guadagno, Tau di ricarica.

Risultati

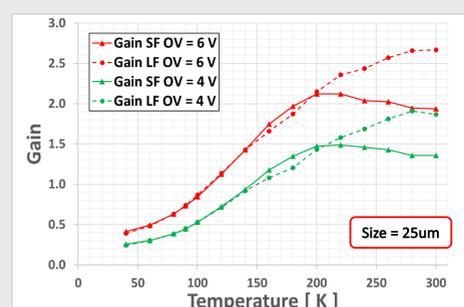


Dark Count Rate a diversi overvoltage in funzione della temperatura per le due tecnologie SF e LF

Photon Detection Efficiency a diversi overvoltage in funzione della lunghezza d'onda per le due tecnologie SF e LF

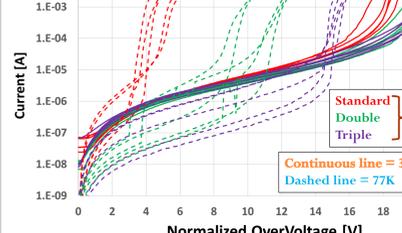


Componenti del rumore correlato a 6V di OV in funzione della temperatura per le due tecnologie SF e LF



Guadagno di cella in funzione della temperatura per le due tecnologie SF e LF

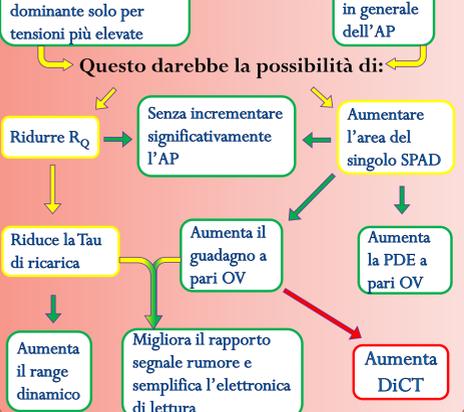
Recente incremento significativo del range operativo in condizioni criogeniche



IV inverse con l'origine normalizzata sulla V_{BD} per diverse dosi di Dopant Concentration a 300 K e 77 K.

La correlazione tra V_{BD} e DC è emersa grazie ad una campagna di misure svolta ad FBK su precedenti tecnologie.

Dai test l'aumento del dopant concentration comporta:



Conclusioni

La possibilità di utilizzare SiPM in condizioni criogeniche ha richiesto lo sviluppo di conoscenze, setup sperimentali e software d'analisi dedicati. La caratterizzazione in temperatura delle tecnologie sviluppate in FBK candidate per l'esperimento DS20k, NUV HD SF e NUV HD LF, evidenzia che la tecnologia LF soddisfa i principali requisiti imposti dall'esperimento: DCR, Tot. Cor. Noise e PDE. Inoltre, la possibilità di estendere il range operativo dei SiPM a basse temperature e la riduzione dell'AP, amplia le combinazioni dei parametri dei SiPM con l'opportunità di ottimizzarne ulteriormente le prestazioni a beneficio dell'esperimento.

Referenze

[1] C. Piemonte et al., "Performance of NUV-HD Silicon Photomultiplier Technology", IEE, Transactions on Electron Devices (Vol.63, Issue.3, March 2016 Page(s): 1111 - 1116)
 [2] F. Acerbi et al., "Cryogenic Characterization of the FBK NUV-HD SiPMs", IEEE, Transactions on Electron Devices (Vol.64, Issue:3, Feb. 2017, Page(s): 521 - 526)