

Rivelatori di luce

SiPM

Parte 2

Parametri per valutare le prestazioni di un SiPM

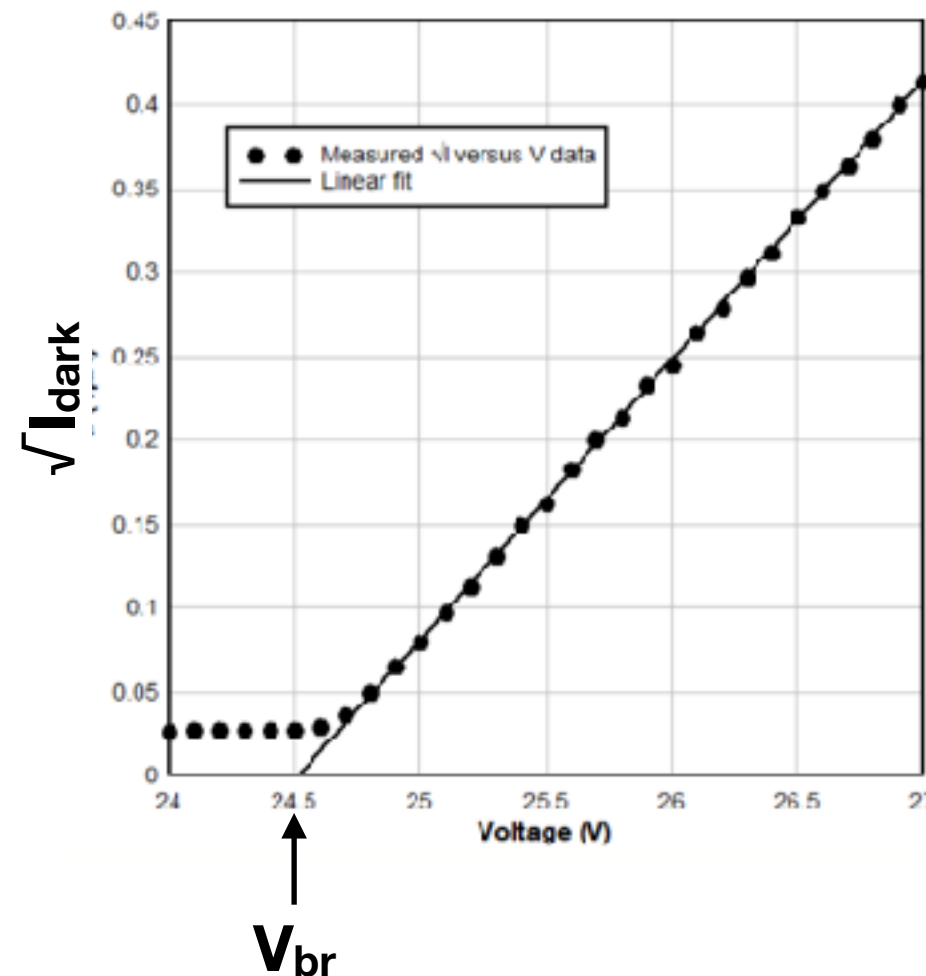
I parametri principali per caratterizzare un SiPM sono:

- $V_{\text{breakdown}}$ e OverVoltage
- Guadagno
- Photon Detection Efficiency
- Dark count rate
- Cross talk ottico
- After pulsing
- Dipendenza dalla temperatura

$V_{\text{breakdown}}$ e OverVoltage

$V_{\text{breakdown}}$ è la V_{bias} a cui E nella regione di svuotamento causa una scarica Geiger

Per misurarlo: I_{dark} al variare di V_{bias}



V_{bias} ottimale: ~10-25% maggiore di V_{BR}

*Specifica
solitamente data
dal produttore*

$$V_{\text{bias}} = V_{\text{br}} + \Delta V \rightarrow \text{overvoltage}$$

GUADAGNO

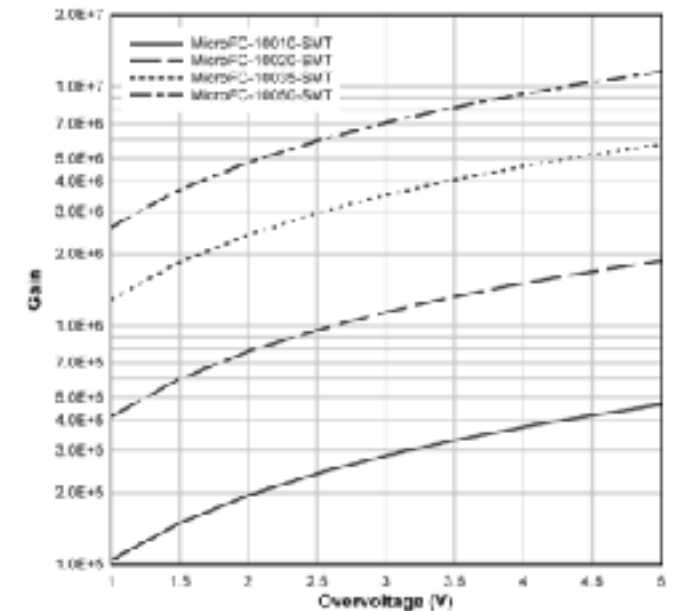
Il guadagno è la quantità di carica creata per ogni fotone rivelato

Guadagno per la singola cella:

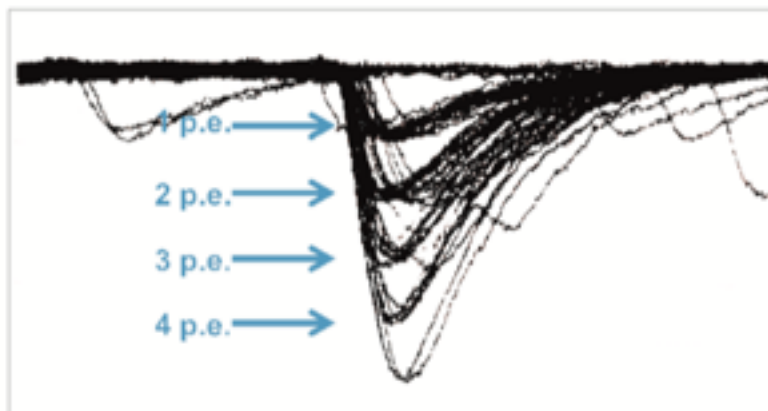
C = capacità cella

$$G = \frac{C \cdot \Delta V}{e} Q_{\mu\text{cella}}$$

Dipende da ΔV e dalle **dimensioni della cella**



Per misurarlo:
se arrivano più fotoni si
illuminano più celle

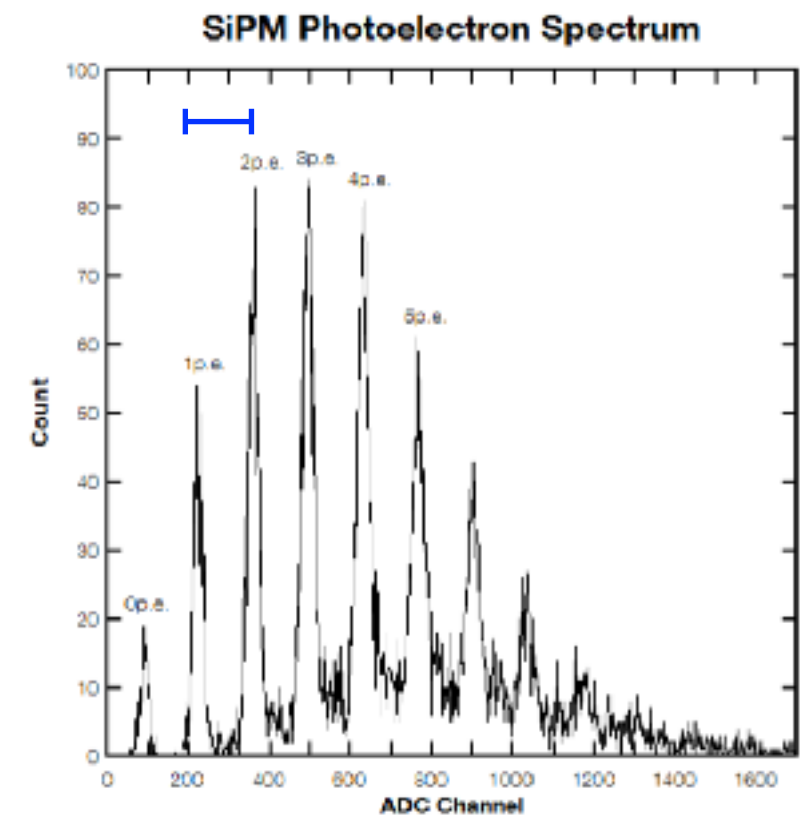


Dalla distanza dei picchi nello
spettro ottenuto dal segnale
integrato su tutte le celle
 $\Rightarrow Q_{\mu\text{cella}}$ (in $\text{ADC}_{\text{channels}}$)

$$G = \frac{\Delta_{\text{ADC}_{\text{channels}}} (in Q)^*}{e}$$

$$(*) \text{ ADC}_{\text{factor}} = \frac{\text{ADC}_{\text{channel}}}{\text{Coulomb}} = \frac{V_{pp}}{R_{IN}} \frac{1}{2^{N_{bit}}} \Delta t \frac{1}{G_{PSAU}}$$

$V_{pp} = 2V$, Digitizer dynamic range
 $R_{IN} = 50 \Omega$, Digitizer Input Impedance
 $N_{bit} = 12$ bit, Digitizer Resolution
 $\Delta t = 4$ ns, Digitizer sampling period
 $G_{PSAU} = 38$ for 25C, 30 for 100C, PASU gain



Photon Detection Efficiency

È la probabilità che un fotone incida sul SiPM e generi una valanga (e quindi un segnale)

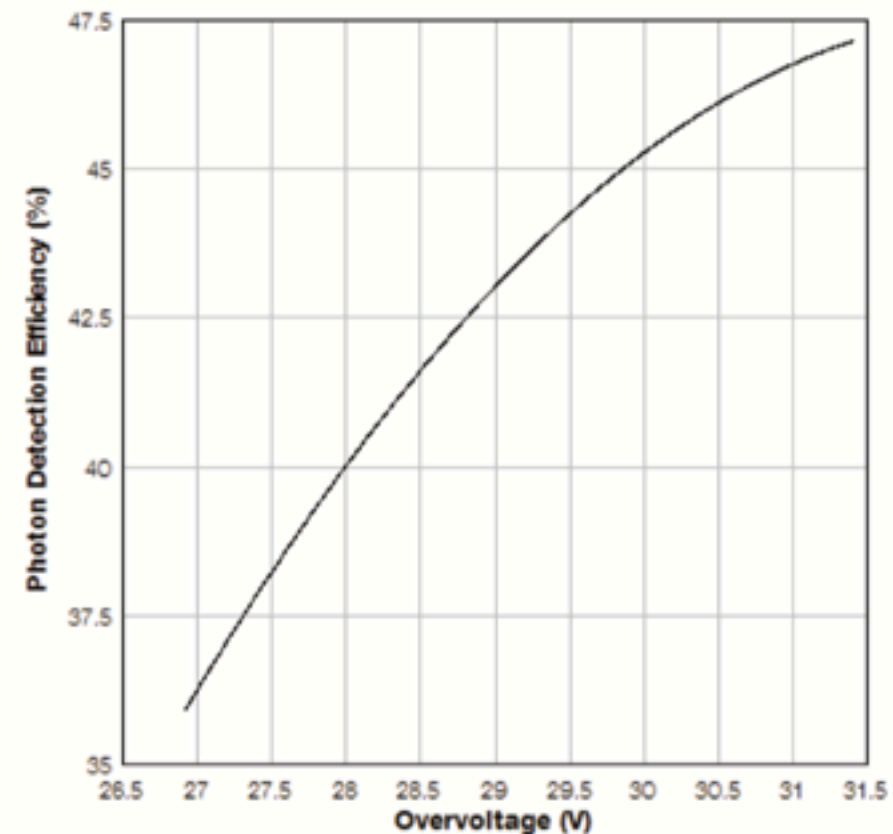
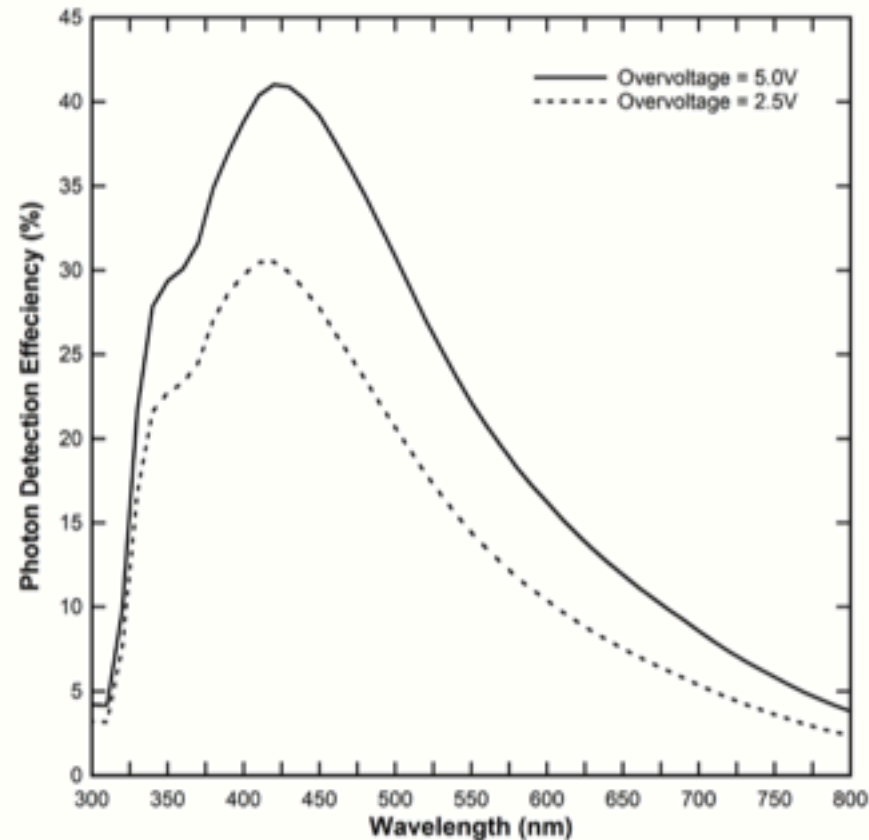
$$PDE(\lambda, V) = \eta(\lambda) \cdot \xi(V) \cdot F$$

η = Efficienza Quantica del Si (fotone \rightarrow pe)

ξ = probabilità di inizio valanga (pe \rightarrow valanga)

F = Fill Factor

Dipende dalla λ incidente e dal V_{bias}



Dark Count Rate

Rate di eventi registrati in assenza di sorgente luminosa

- Maggiore sorgente di **rumore**
- Dovuta principalmente a coppie e-h generate **termicamente** nel volume attivo
- Cresce con V_{bias} , T , Area μcella

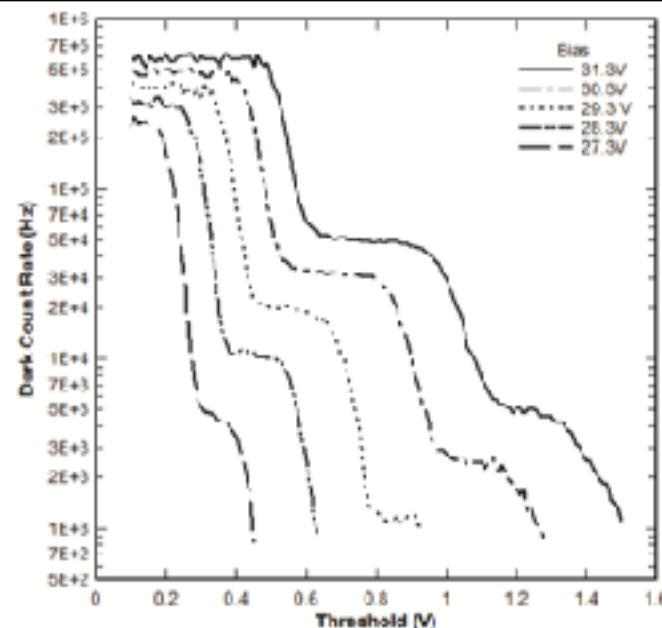
Sono **impulsi ~ di singolo fotone** (poco probabile che avvengano in contemporanea in più celle)

=> **se** in contemporanea **arriva un impulso** luminoso questo noise contribuirà all'impulso finale provocando una **distorsione dell'ampiezza** (il numero di μcelle che si attivano è maggiore)

Per misurarlo:

metto soglia a 1/2 fotone
e misuro il rate sopra essa

Staircase plot

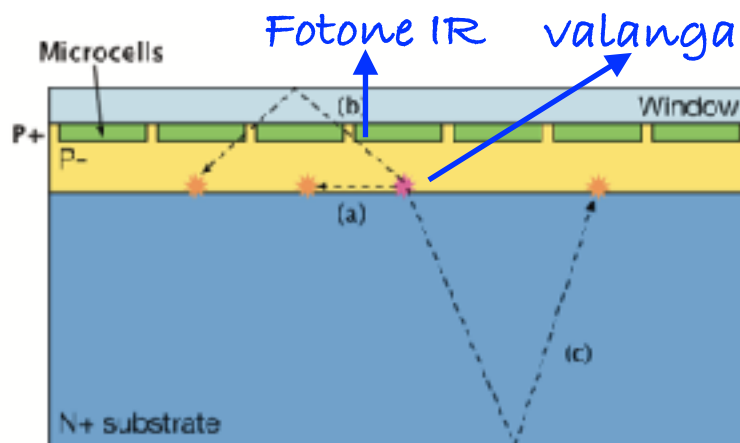


Per ridurlo:

soglia sopra il livello del
singolo fotone (ok per misure
non di singolo fotone)

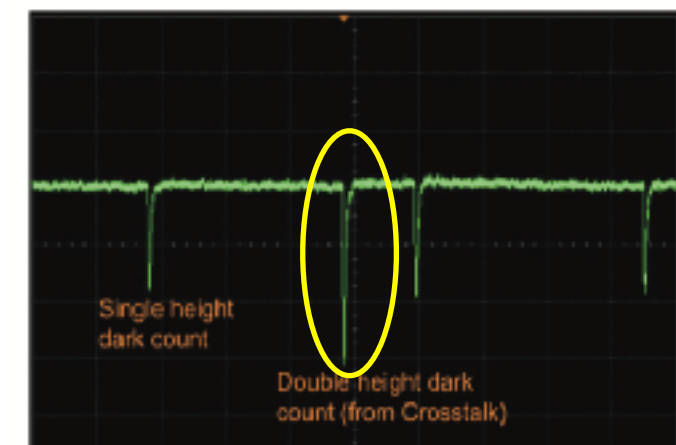
Crosstalk ottico

Probabilità che la valanga in un μ cella causi una valanga in un'altra μ cella



- Sorgente addizionale di **rumore sull'ampiezza**
- Gli e- accelerati durante una valanga possono produrre fotoni secondari (IR), propagando nel Si, possono colpire altre celle iniziandovi un'altra valanga
- Cresce con ΔV , F

Il CT avviene simultaneamente al segnale originario, e quindi **segnali di singolo fotone vengono rivelati come segnali di più fotoni** (a seconda di quante celle vengono affette dal CT)



Per misurarlo:
dallo staircase plot

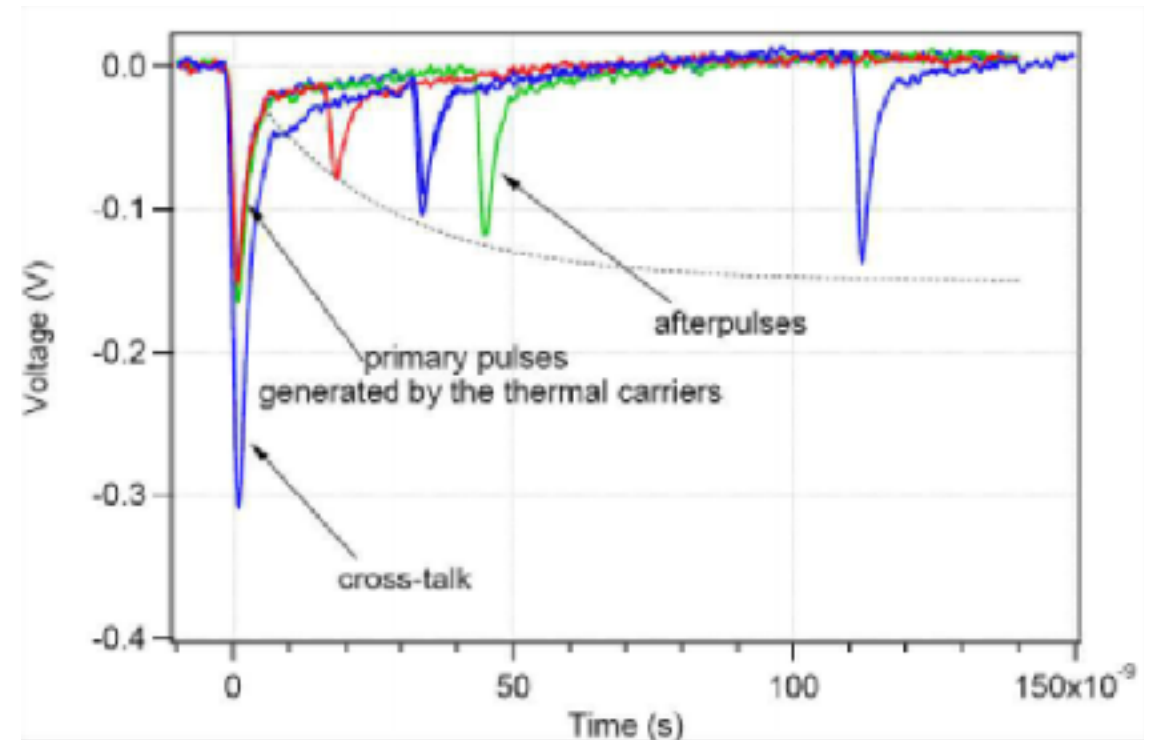
$$\frac{DC_{rate} | 2 \text{ fotoni}}{DC_{rate} | 1 \text{ fotone}}$$

Per ridurlo:
compromesso tra PDE (migliora con ΔV)
e CT (peggiora con ΔV)

Afterpulsing

Impulso dovuto a valanga secondaria nella stessa cella causata da e^- intrappolato che si libera dopo Δt (fino a ns)

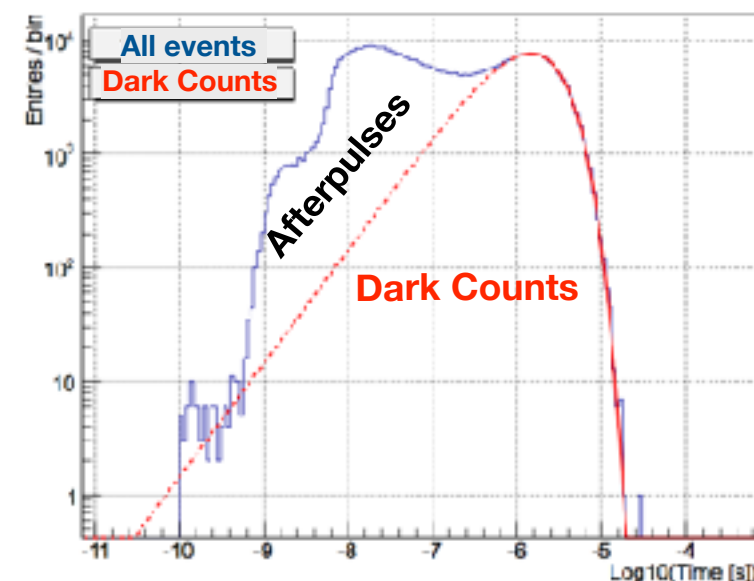
- Afterpulses che avvengono entro un $\Delta t < t_{\text{recovery}}$ **hanno poco impatto** perchè l'ampiezza è piccola
- Afterpulses che avvengono con un $\Delta t > t_{\text{recovery}}$ **hanno impatto alto se il rate della misura è alto**
- La probabilità di afterpulsing **cresce con ΔV** (per la maggior probabilità di inizio valanga)



Per misurare la probabilità di AP:

misuro la distribuzione statistica di eventi consecutivi di dark count con soglia a 0.5 dell'ampiezza di singolo fotone:

$$\text{Area}_{\text{Afterpulses}} / \text{Area}_{\text{Totale}}$$



Range dinamico e linearità

Ampiezza massima misurabile dal SiPM, oltre la quale l'output non è più affidabile

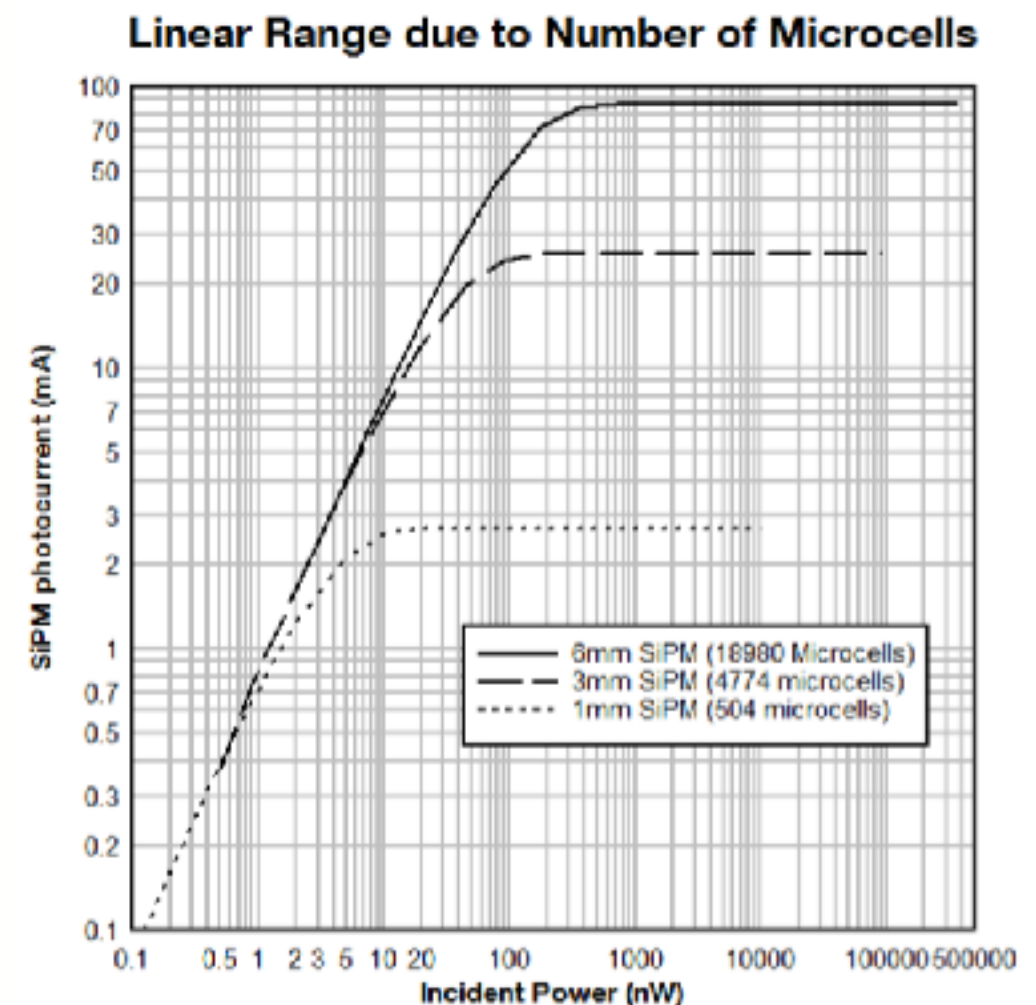
- Flussi di fotoni incidenti troppo alti possono **saturare** il SiPM (tutte le celle accese)
- La **linearità** tra I_{out} e la potenza incidente si ha **fino a ~70%** del range dinamico
- Il RD dipende da $N_{\mu\text{celle}}$, ΔV , λ

Numero μcelle accese ($\div I_{out}$)

$$N_{fired}(N_{celle}, V, \lambda) = N_{celle} \left(1 - \exp \left(- \frac{PDE(V, \lambda) \cdot N_{fot}}{N_{celle}} \right) \right)$$

Per potenze (flussi) basse : $N_{fired} = PDE \times N_{fot}$

Per potenze (flussi) alte: $N_{fired} = N_{celle}$



Dipendenza dalla temperatura

Variazioni di temperatura inducono variazioni nel V_{br} e nel DC rate

- V_{br} cambia **linearmente** con T (piccolo effetto: $\sim 20 \text{ mV}/^\circ\text{C}$)
 - Se piccoli ΔT non servono compensazioni
 - Se grandi ΔT va implementata una stabilizzazione del V_{bias} o della T
- Il **DC rate aumenta con T** (e viceversa: per $\Delta T = -10^\circ\text{C}$ il DC rate diminuisce del 50%)

