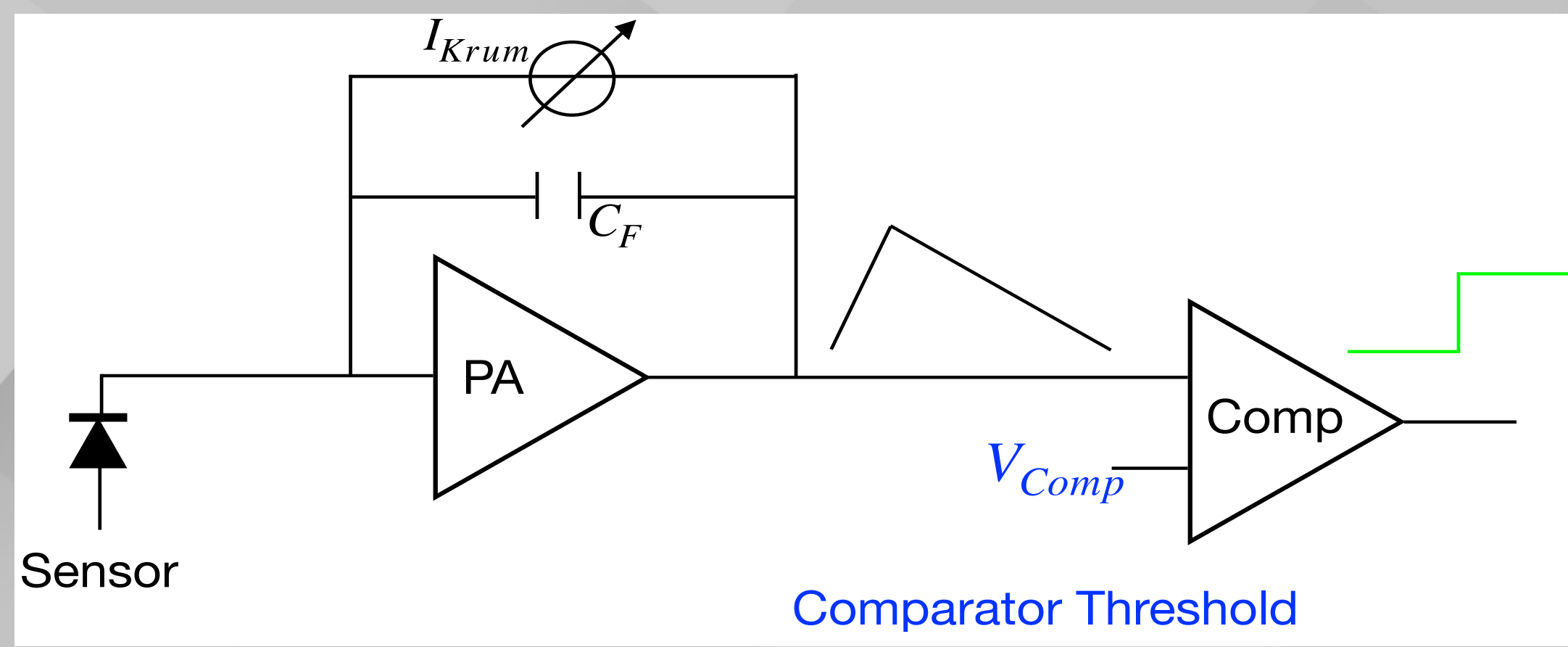




Studio delle performance del Front-End del tracciatore interno di CMS per HL-LHC

Lorenzo Damenti (lorenzo.damenti@cern.ch), in nome del CMS Tracker Group

Incontri di Fisica delle Alte Energie, 3-5 Aprile 2024



Tipi di Sensori e descrizione del Front-End:

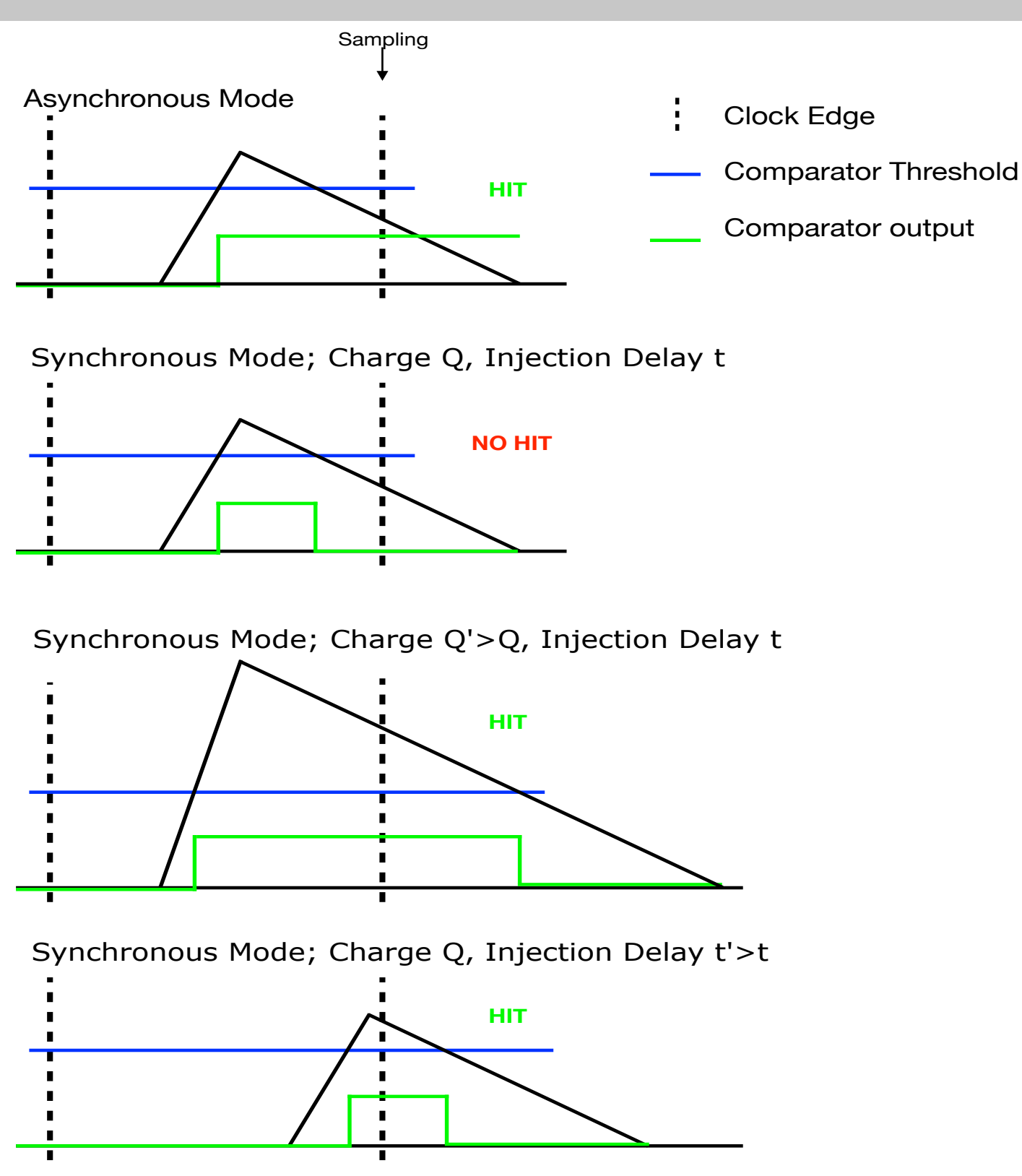
Il tracciatore interno di CMS (IT) per la fase ad Alta Luminosità di LHC (HL-LHC) è un apparato basato sulla tecnologia a pixel. Per operare nelle condizioni di HL-LHC, verranno utilizzati sia sensori planari che 3D. Questo studio è stato realizzato utilizzando moduli prototipo formati da sensori composti da 145152 pixel accoppiati al chip di lettura CROC-v1 (*CMS Read-Out Chip version 1*) [1]. In particolare, il *Front-End* di ciascun canale è formato da un Preamplificatore Lineare (PL) con feedback di Krummenacher che ha come compito principale quello di scaricare linearmente la capacità del PL e di compensare la corrente di leakage.

Modalità di campionamento:

In generale, nei moduli, un segnale di particella è registrato (hit) se l'uscita del comparatore è 'High' in corrispondenza di un *Clock Edge* (ovvero quando avviene il campionamento). Due modalità di funzionamento possono essere configurate:

Modalità Asincrona: Il comparatore sale quando il segnale in ingresso supera la soglia e rimane alto per 25 ns.

Modalità Sincrona: Il comparatore rimane alto fintanto che il segnale in ingresso è più alto della soglia.



Procedura di calibrazione e rumore:

Il software di Acquisizione Dati (DAQ), chiamato Ph2-ACF (*Phase 2 Acquisition and Control Framework*) [2], implementa una procedura di calibrazione per impostare la soglia di ciascun pixel ad un valore definito (detto *Target Threshold*, o Soglia Target), tramite la configurazione dei parametri di funzionamento del chip di lettura. La procedura di calibrazione utilizza il circuito di iniezione interno al CROC che permette di emulare la presenza di un segnale di particella con un ritardo configurabile rispetto al tempo di campionamento. Tale ritardo, nello specifico, è chiamato *'Fine Delay'*.

Il segnale minimo registrabile (denominato Soglia Effettiva) dipende dal *Fine Delay*. Una scelta non ottimale di questo parametro può portare ad avere, pixel per pixel, una soglia del comparatore (V_{Comp}) minore della soglia target impostata.

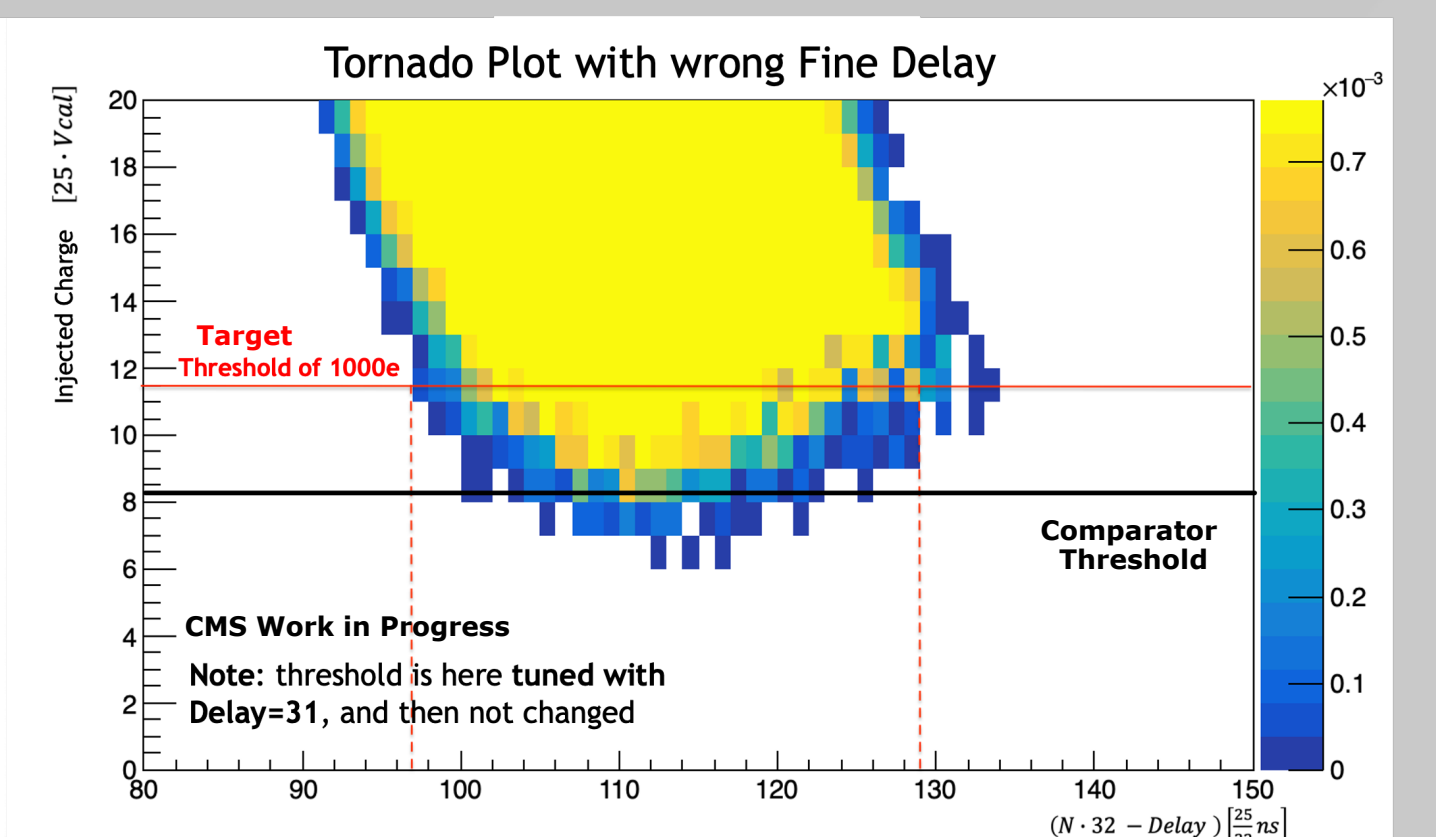
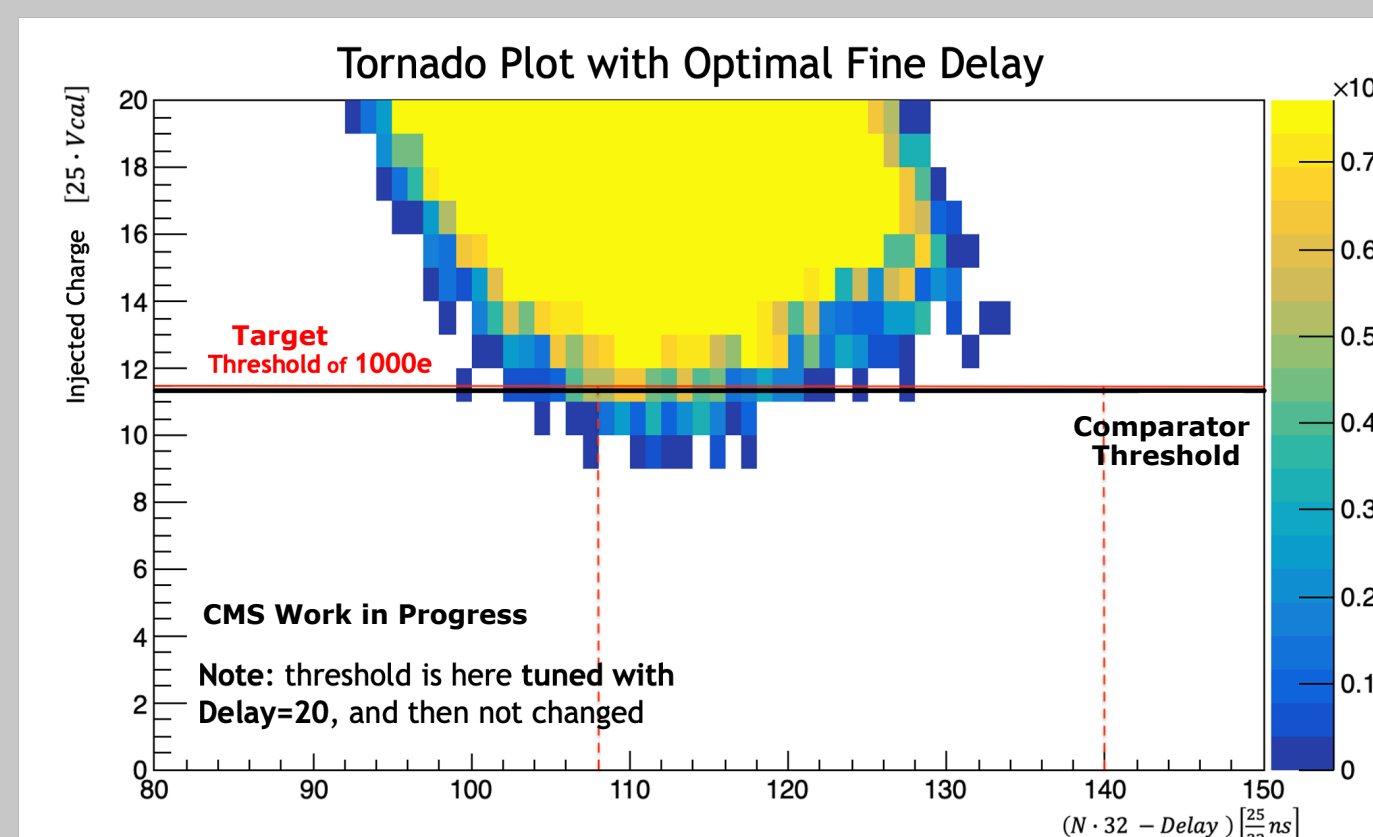
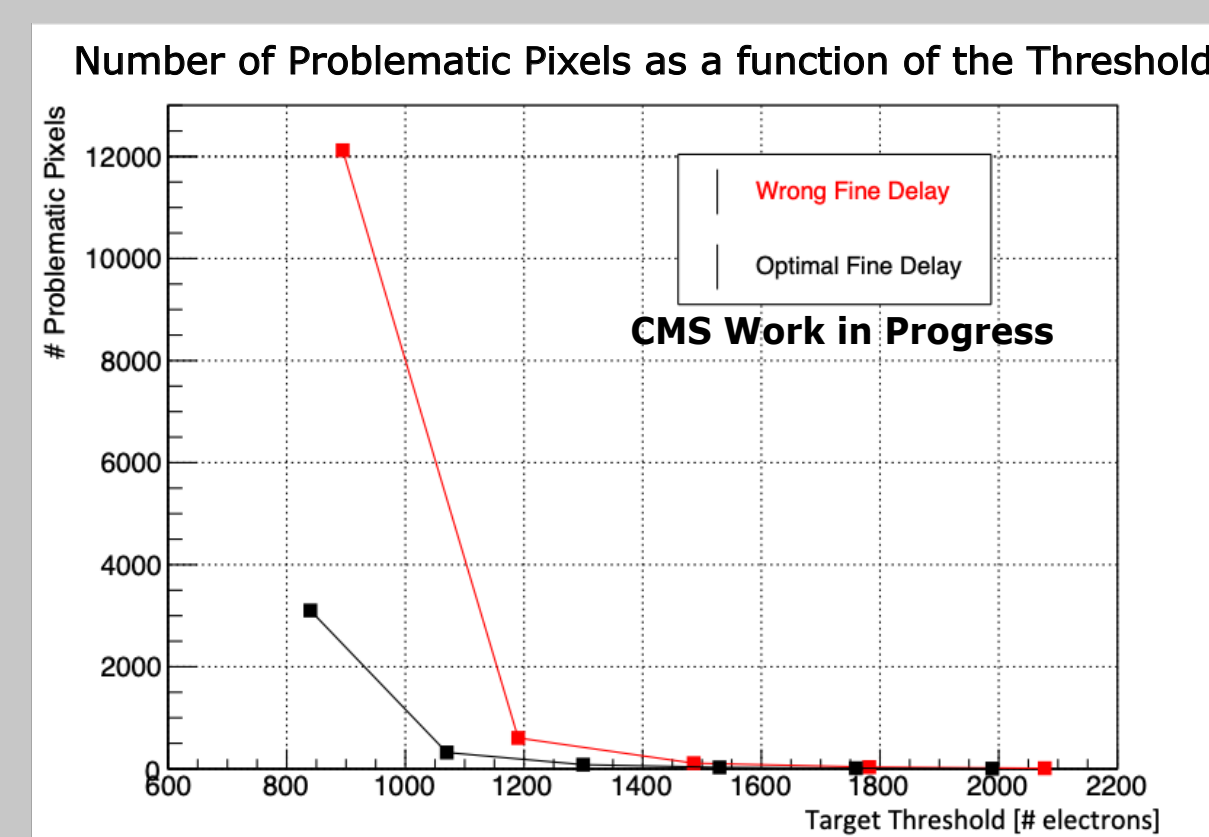
Questa è una condizione non ideale perché rumore ed effetti spuri, a differenza dei segnali di particella, non hanno una struttura temporale definita e dipendono solamente dalla soglia del comparatore.

Parametri Chiave:

Soglia Effettiva: Segnale minimo registrabile per un dato Fine Delay

Soglia Target e Fine Delay: parametri della procedura di calibrazione. A valle di tale procedura, la Soglia Effettiva a un dato *Fine Delay* corrisponde alla Soglia Target.

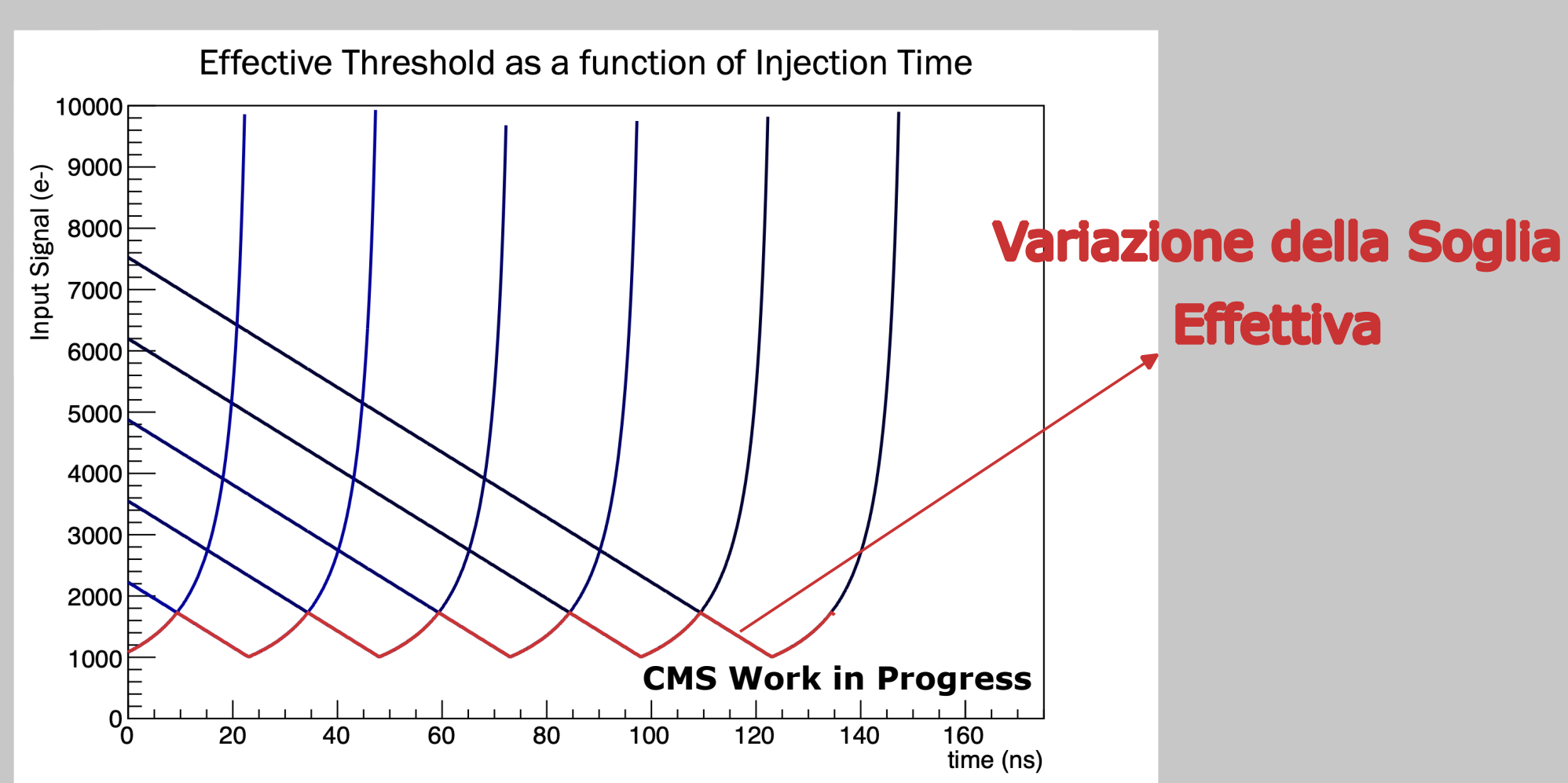
Soglia del Comparatore: Segnale minimo che porta l'uscita del comparatore a scattare



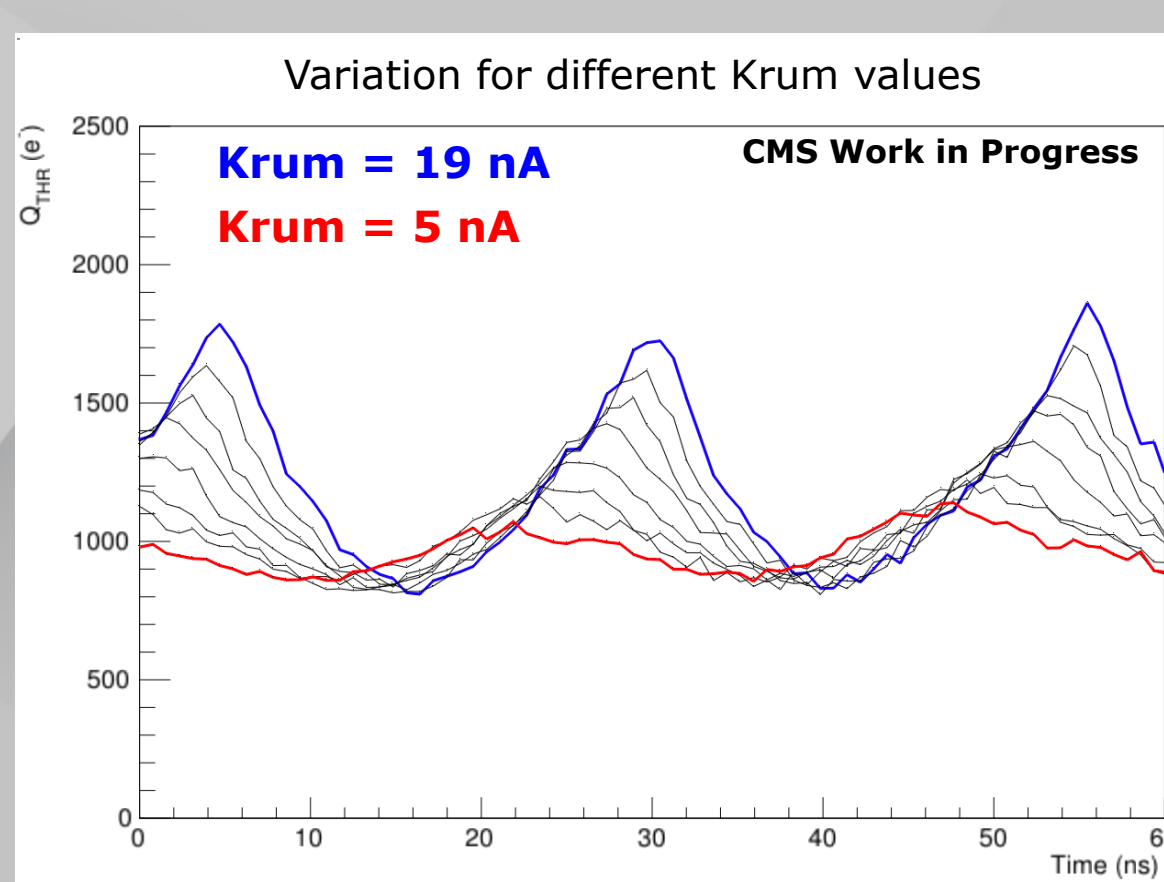
Studio delle Variazioni di Soglia Effettiva:

Durante la fase di test di diversi moduli (planari, 3D e chip 'nudi', ovvero privi di sensore) una variazione periodica della soglia effettiva è stata osservata cambiando il ritardo di iniezione dei segnali di calibrazione. Questa variazione, attesa in modalità Sincrona, non è prevista in modalità Asincrona. Questo inatteso comportamento è stato studiato utilizzando un *toy model* che riproduce l'andamento della soglia effettiva in funzione del tempo di iniezione. È importante notare che, in entrambe le modalità di campionamento, la soglia reale del comparatore è stata **fissata ad un preciso valore** (1000 elettroni).

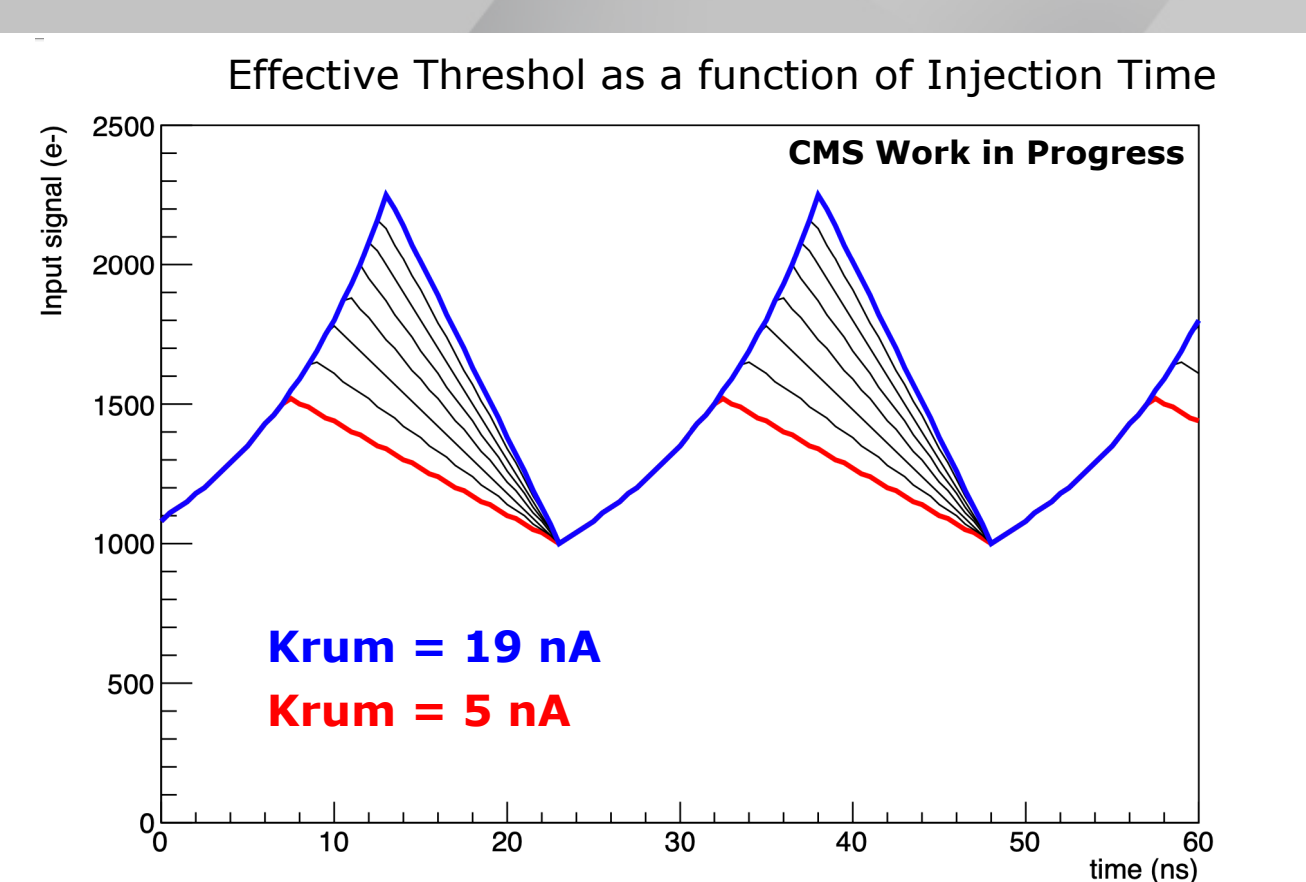
Modalità Sincrona:



La simulazione mostra che in modalità Sincrona una variazione della Soglia Effettiva è attesa.

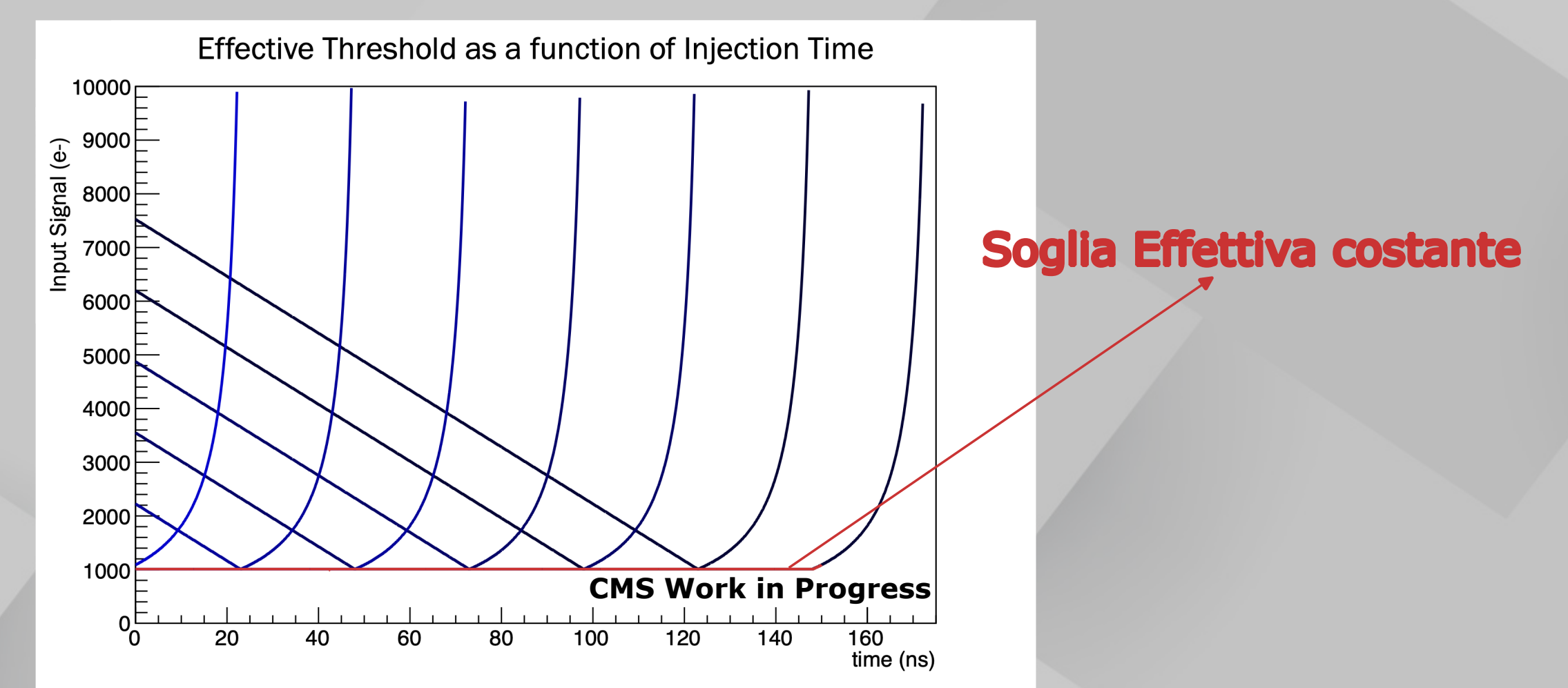


Cambiando il valore della corrente di Krummenacher, l'ampiezza della variazione cambia.

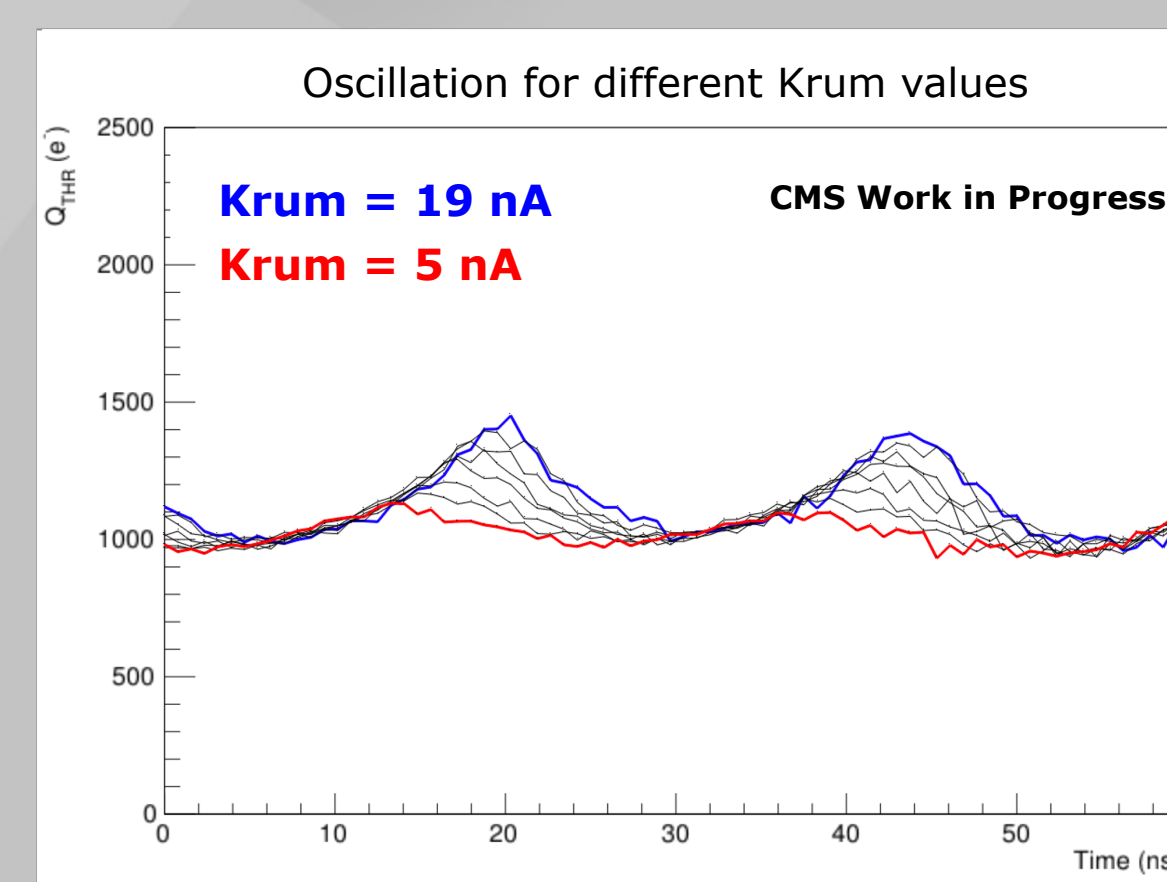


Questo comportamento è qualitativamente ben descritto dal *toy model*. Le ampiezze di oscillazione non sono confrontabili con i risultati sperimentali a causa della forma del segnale molto semplificata usata nel modello.

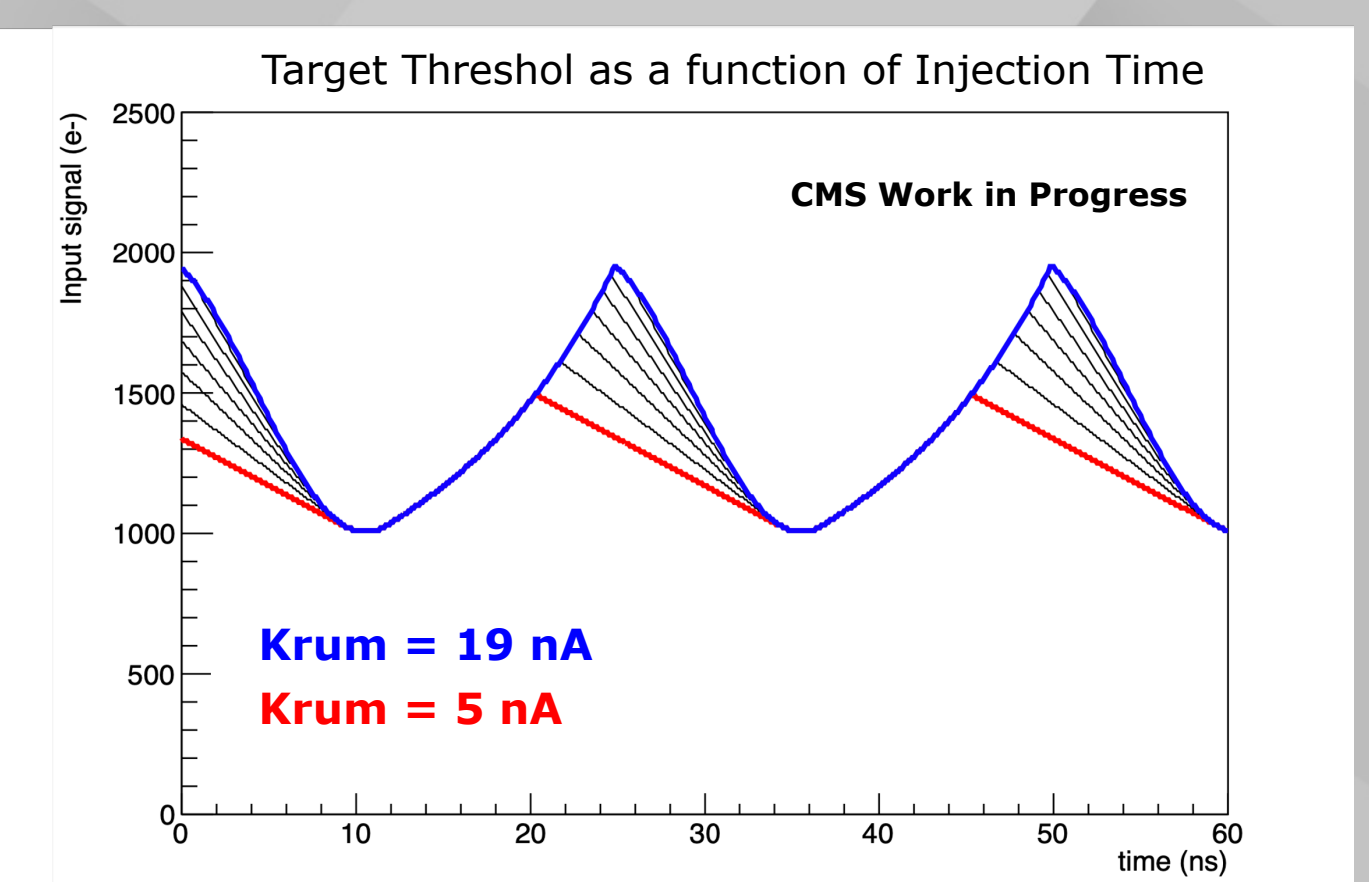
Modalità Asincrona:



Secondo i risultati ottenuti dalla simulazione, in modalità Asincrona una variazione della soglia effettiva non è attesa.



Tuttavia, sperimentalmente viene osservata un'oscillazione della soglia.



Questo comportamento può essere descritto modificando il *toy model* considerando un'oscillazione della soglia del comparatore (dovuta ad effetti spuri legati all'attività digitale)

Referenze:

[1] RD53 Collaboration, 2021, "The RD53B-CMS Pixel Readout Chip Manual"

[2] Tracker detector Group, CMS Tracker Phase2 Acquisition & Control Framework, https://gitlab.cern.ch/cms_tk_ph2/Ph2_ACF