

Progressi recenti sul GasPM: mitigazione di photon-feedback e studi di fotocatodo LaB_6

S. Garnero¹, K. Inami², K. Matsuoka^{2,3}, R. Okubo¹, K. Ueda²

¹ INFN Sezione di Trieste

² Nagoya University

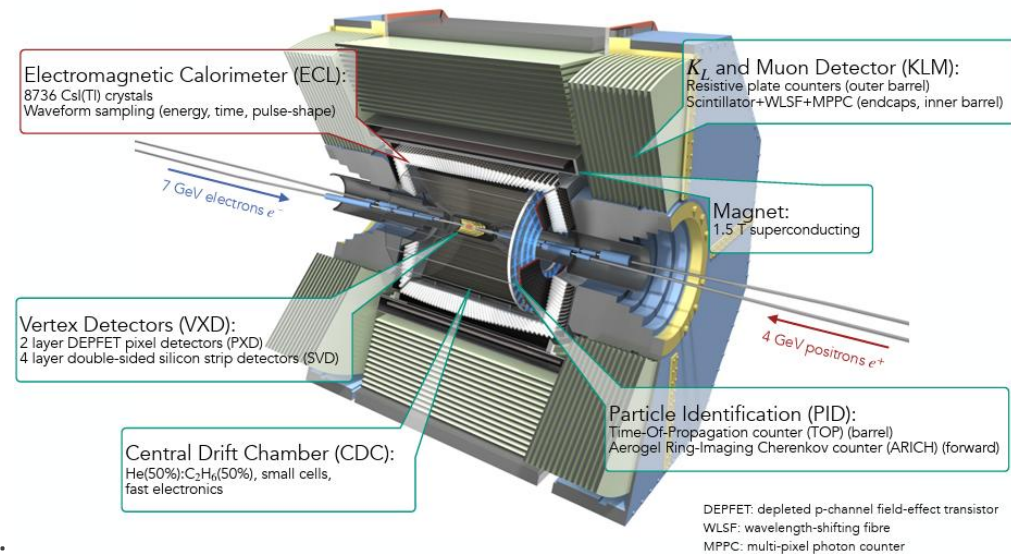
³ KEK, High Energy Accelerator Research Organization

Outline

- L'esperimento Belle II
 - Fondi di fascio
- Il gaseous photomultiplier
 - Architettura
 - Stato sperimentale
- Test su fascio
 - Studio del photon feedback
- Caratterizzazione del fotocatodo in LaB_6
 - Test con raggi cosmici
 - Test LED
- Sommario e conclusioni

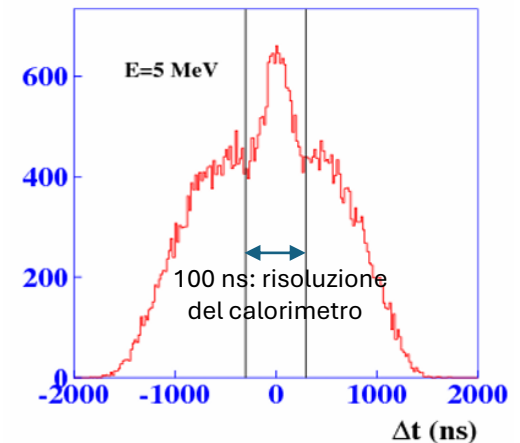
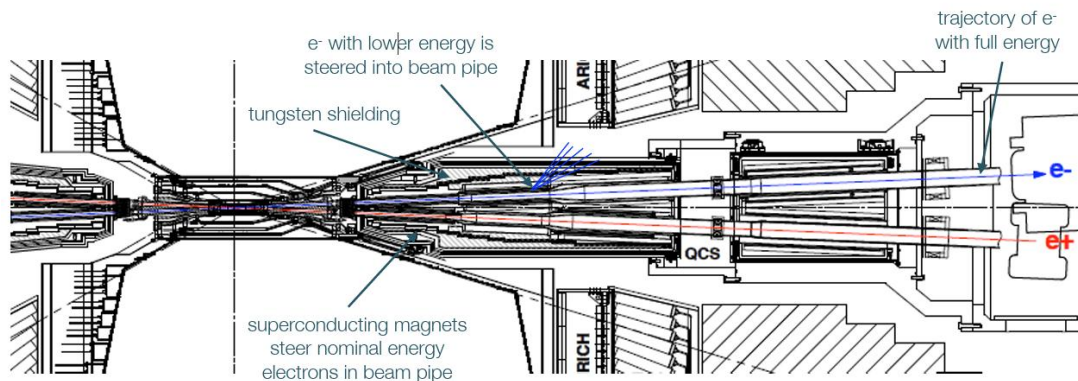
L'esperimento Belle II

- Spettrometro magnetico ermetico, circondato da identificazione di particelle cariche, calorimetro e rivelatori di muoni
- SuperKEKB: collisionatore e^+e^-
 - Energia nel centro di massa: 10.58 GeV
 - Obiettivo luminosità: $6 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
- Ricerche indirette di fisica BSM tramite **alta precisione**
 - Studio proprietà di miliardi di decadimenti di B , D e τ in condizioni di basso fondo
- Accesso unico a stati finali con fotoni e neutrini: **ruolo cruciale del calorimetro**



Fondi di fascio

- Precisione richiede intensità: fasci ad alta corrente collidono in una regione di 50 nm
- **Beam backgrounds:** depositi di energia nel calorimetro dovuti a interazioni di singolo fascio con gas residuo nel vuoto o tra elettroni dello stesso pacchetto
- Fotoni a bassa energia (pochi MeV) che degradano le prestazioni del calorimetro
- **Un rivelatore ad alta precisione per escludere fotoni fuori tempo?**
- Idea: installarlo sulla superficie interna del calorimetro



Tempo tra collisione e rivelazione dei fotoni

Requisiti:

- Ottima risoluzione temporale
- Scalabilità a grandi superfici (30 m²)
- Costo contenuto

Il gaseous photomultiplier

GasPM

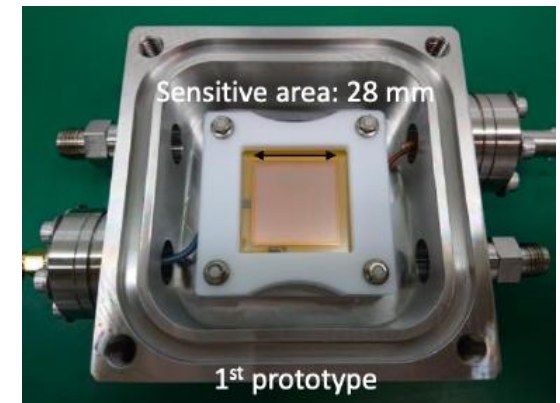
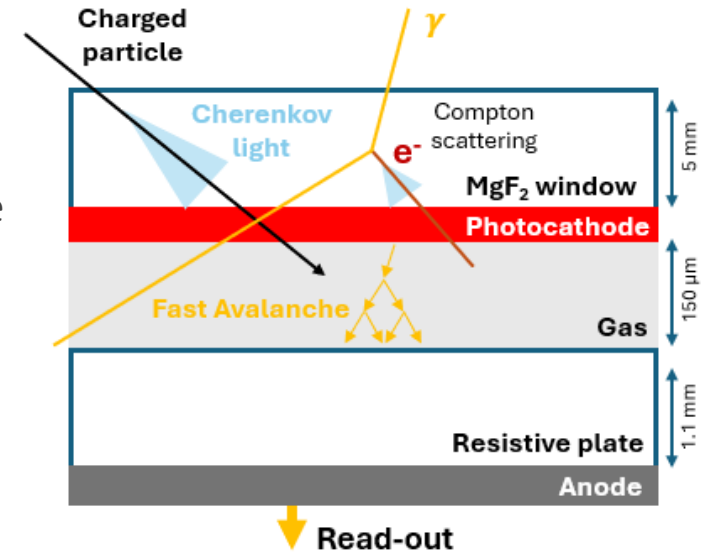


Architettura e target performance

- **Fotorivelatore a gas: RPC + fotocatodo**
- Fotoni incidono su finestra trasparente di entrata
 - A bassa energia arrivano sul fotocatodo
 - A $E > 0.1$ MeV generano elettroni Compton, che fanno fotoni Cherenkov
- Fotocatodo converte fotoni incidenti in elettroni
- 150 kV/cm in 90% R134a/10% SF₆ gas accelera e⁻
- Valanga in regime proporzionale (guadagno 10⁶)
- Placca resistiva evita scariche di breakdown
- Lettura segnale indotto sull'anodo

Obiettivi

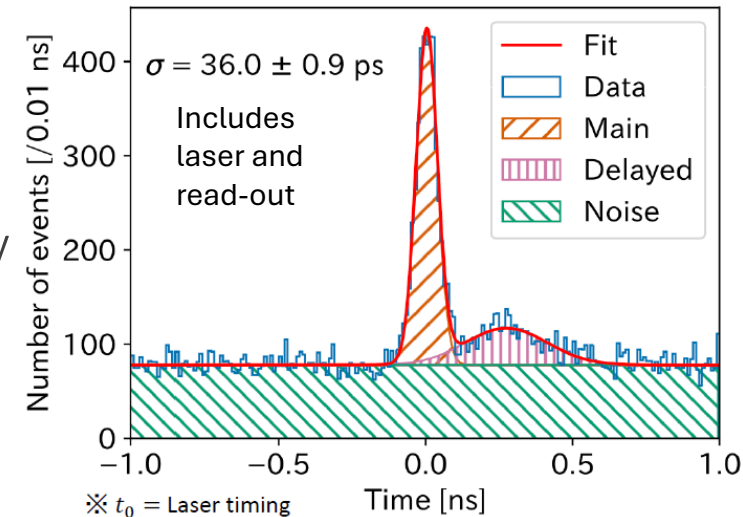
- **Risoluzione temporale di 20 ps con 90% efficienza**
- Finestra permette possibile impiego Cherenkov
 - PID con tempo di volo ad alta risoluzione
 - segnale sia da Cherenkov che da ionizzazione



Risultati precedenti

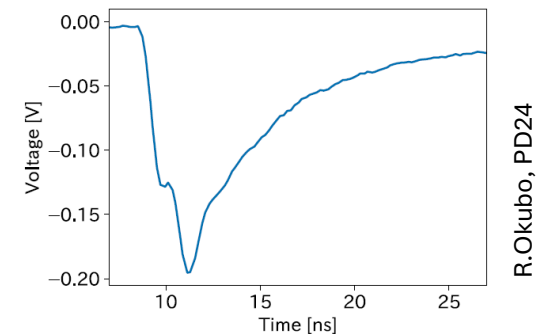
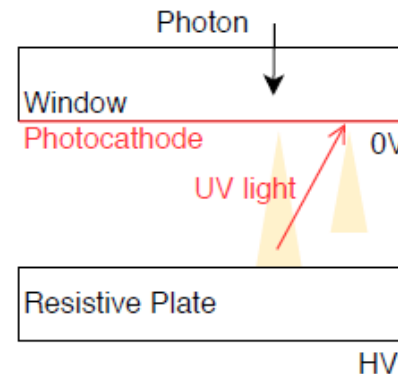
K. Matsuoka, R. Okubo, and Y. Adachi:
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2023.168378>

- 2022: risoluzione sul singolo fotone con laser
 - Fotocatodo LaB₆ con 187 kV/cm campo elettrico
 - Risoluzione temporale $\sigma = (25.0 \pm 1.1)$ ps
- 2023: dimostrare uso Cherenkov: fascio di e⁻ 3 GeV
 - Fotocatodo CsI con 140 kV/cm
 - Risoluzione temporale $\sigma = (73.0 \pm 2.4)$ ps



Obiettivi lavoro 2025

- **Photon feedback:** fotoni UV da eccitazione/de-eccitazione del gas innescano valanghe secondarie, compromettendo risoluzione temporale
- **Ion feedback:** ioni migrano all'indietro e danneggiano il fotocatodo degradando l'efficienza nel tempo

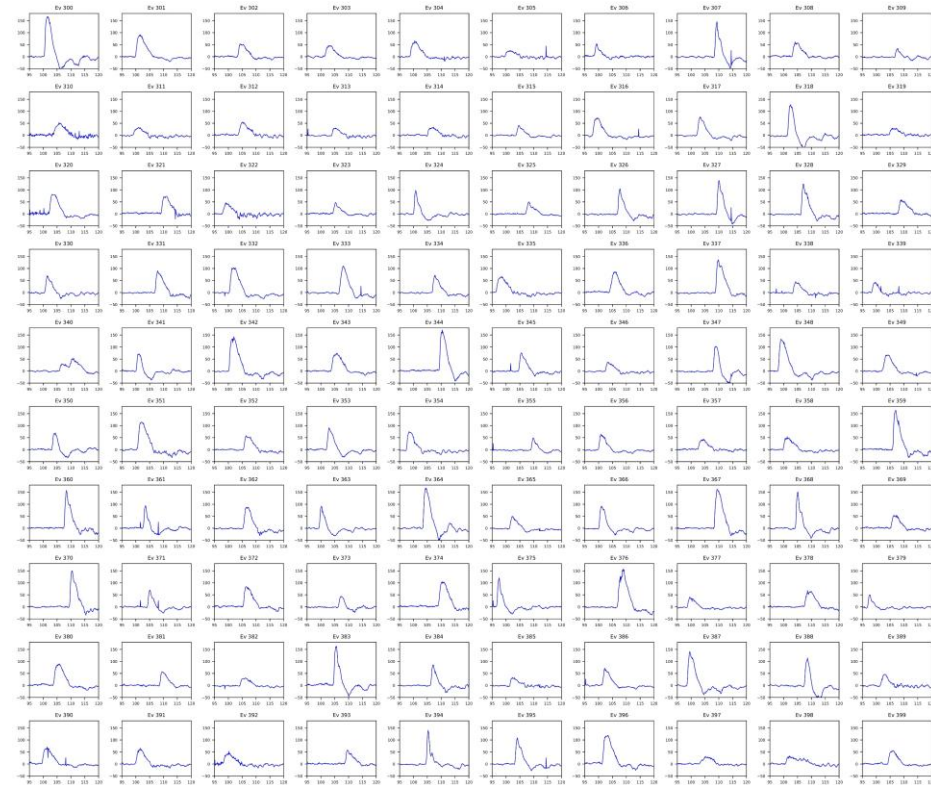


Test sul fascio

Studio del photon feedback

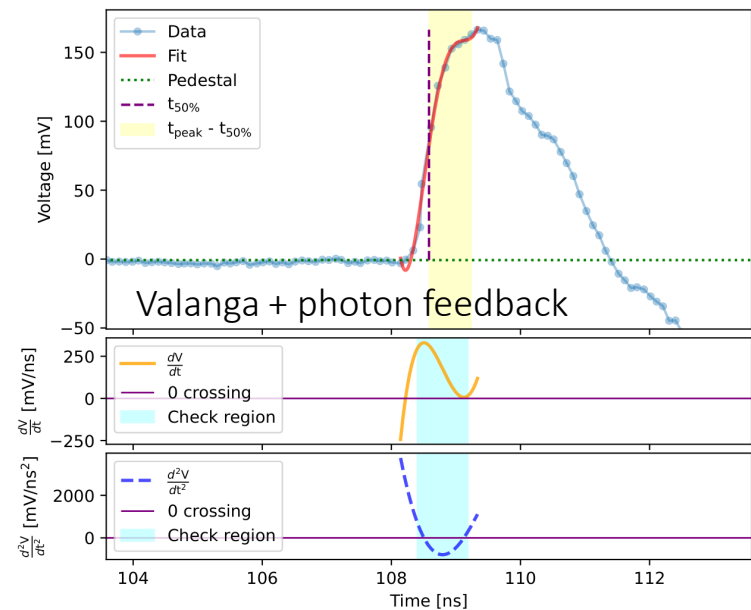
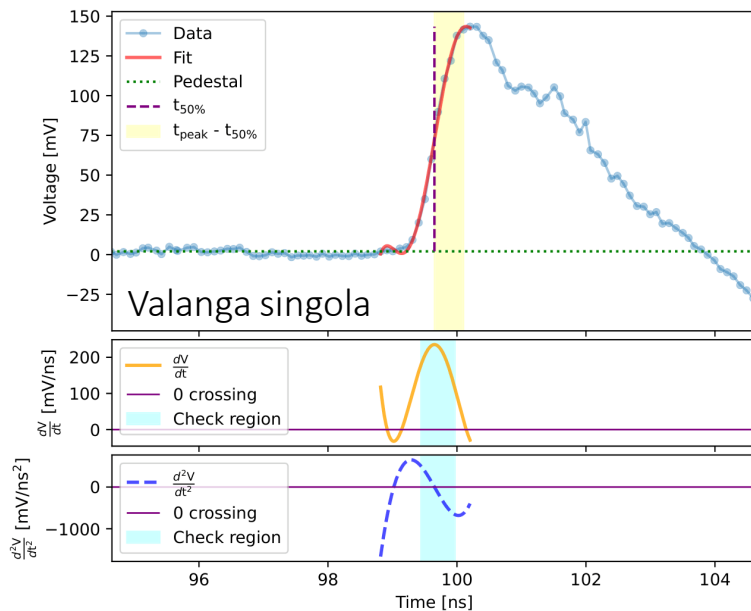
- Ampia varietà di segnali, con forme, ampiezze e carica diverse
- Molti processi in corso:
 - Eventi con/senza photon feedback
 - Eventi a singolo/multiplo elettrone
 - Fluttuazioni sul photon yield
- Difficile trovare un indicatore diretto di photon feedback

Focus sul fronte di salita



Classificazione photon feedback

- **Algoritmo di selezione:**
 - Fit polinomiale al fronte di salita del segnale
 - Ricerca dei **punti di flesso** ($f'' = 0$)
 - Selezione eventi con due o più punti di flesso nella regione di controllo



- Circa 50% degli eventi affetti da photon feedback
- Assenza di un campione di controllo limita la validazione della stima

Caratterizzazione fotocatodo LaB_6

LaB₆ efficienza quantica

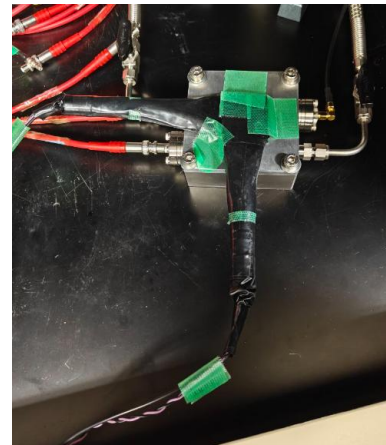
- CsI sensibile agli ioni che migrano indietro e lo danneggiano (ion feedback)
- LaB₆ più resistente in letteratura: possibile alternativa
- **Goal:** verificare se ha QE sufficiente per rivelare fotoni Cherenkov

Test con raggi cosmici

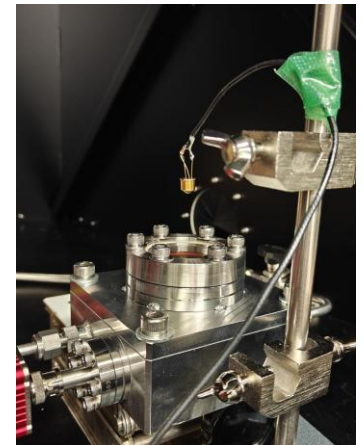
- GasPM produce sia segnali Cherenkov che di ionizzazione
- Discriminiamo i due comparando rate di segnale tra GasPM e RPC

	RPC	GasPM
Hit-rate	$7.66 \pm 0.18\%$	$7.19 \pm 0.49\%$

Cosmic-ray test



LED test



- Hit-rate compatibili: **nessuna evidenza di segnali Cherenkov**
- Uso LED per verificare puro segnale di fotoni (senza contributi di ionizzazione)
- LED test dimostra che fotocatodo funziona, ma con efficienza troppo bassa

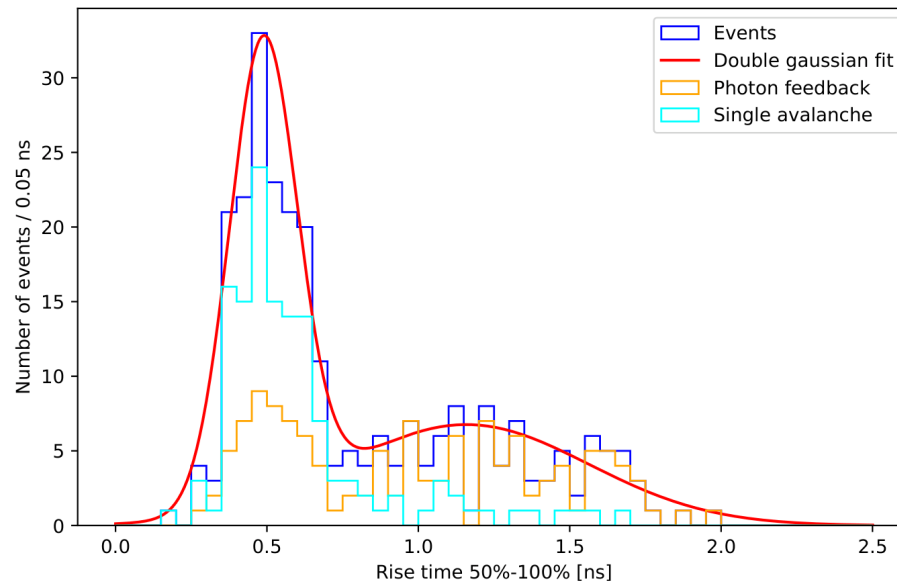
Sommario e conclusioni

- GasPM, un nuovo fotorivelatore a gas progettato con lo scopo primario di affrontare il beam background nel calorimetro di Belle II
- Il GasPM ha già dimostrato 25 ps di risoluzione temporale su singolo fotone con laser test e dimostrato l'applicazione Cherenkov. Ora vogliamo migliorare i suoi aspetti critici al fine di ottenere una migliore risoluzione temporale e efficienza.
- Oggi mostrati recenti sviluppi basati su test su fascio e cosmici
 - Sviluppo algoritmo per discriminare **photon feedback**, una delle principali limitazioni alla risoluzione temporale
 - Esplorato fotocatodo in LaB_6 contro il **ion feedback** ma prestazioni non ancora sufficienti per test su fascio
- Laser test per ottimizzare spessore del gap contro photon feedback in corso. Nuovo beam test a giugno per continuare studio del photon feedback e migliorare la risoluzione temporale

Backup

Validazione qualitativa

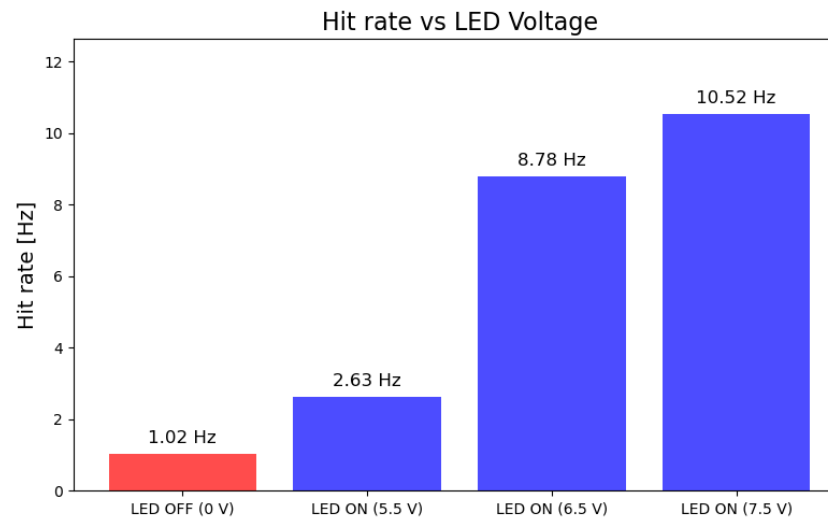
- Tentativo di validazione studiando variabili quasi-indipendenti
- **Tempo di salita tra 50%-100% del segnale**: distribuzione bimodale
- Aspettativa: i due picchi corrispondono a singola valanga e photon feedback



- Secondo picco: dominato da photon feedback
- Primo picco: contaminazione photon feedback non trascurabile
- Validazione solo qualitativa: **metodo sembra efficace**

LED test

- LED test hit-rate con diverse intensità di luce
- LED input: onda quadra 1 kHz, 1% duty cycle



- LED test dimostra funzionamento del fotocatodo, ma efficienza troppo bassa