

Simone Valdré

INFN – Sezione di Firenze

FURBO

*Fazia Upgrade for
Radioactive Beam Operation*

Consiglio di Sezione

Sesto Fiorentino, 6 Giugno 2018

Il telescopio FAZIA

Stadi del telescopio

- 1 Rivelatore al silicio *reverse-mounted* da 300 μm
- 2 Rivelatore al silicio *reverse-mounted* da 500 μm
- 3 Cristallo di CsI(Tl) da 10 cm letto da un fotodiode

Per raggiungere elevate risoluzioni energetiche e discriminazioni in Z ed A , i rivelatori al silicio provengono da un lingotto nTD tagliato con una particolare inclinazione per evitare effetti di channeling.



Il telescopio FAZIA

Stadi del telescopio

- 1 Rivelatore al silicio *reverse-mounted* da 300 μm
- 2 Rivelatore al silicio *reverse-mounted* da 500 μm
- 3 Cristallo di CsI(Tl) da 10 cm letto da un fotodiiodo

Per raggiungere elevate risoluzioni energetiche e discriminazioni in Z ed A , i rivelatori al silicio provengono da un lingotto nTD tagliato con una particolare inclinazione per evitare effetti di channeling.

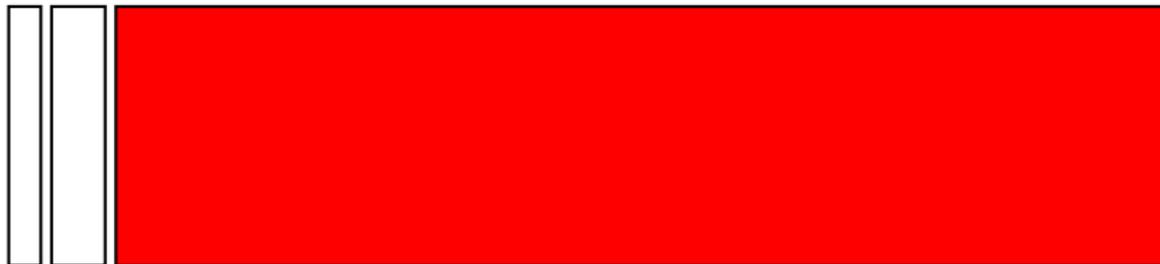


Il telescopio FAZIA

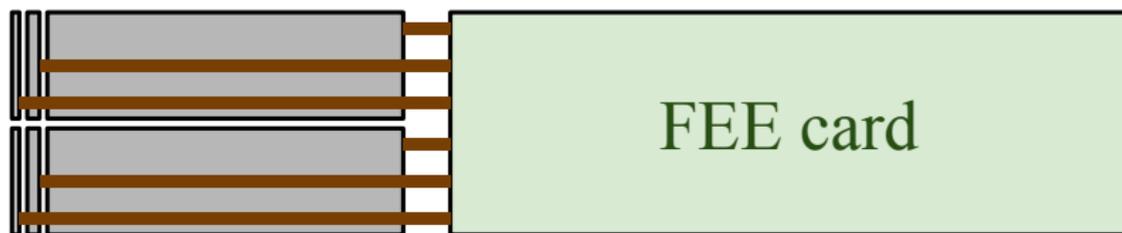
Stadi del telescopio

- 1 Rivelatore al silicio *reverse-mounted* da 300 μm
- 2 Rivelatore al silicio *reverse-mounted* da 500 μm
- 3 **Cristallo di CsI(Tl) da 10 cm letto da un fotodiode**

Per raggiungere elevate risoluzioni energetiche e discriminazioni in Z ed A , i rivelatori al silicio provengono da un lingotto nTD tagliato con una particolare inclinazione per evitare effetti di channeling.

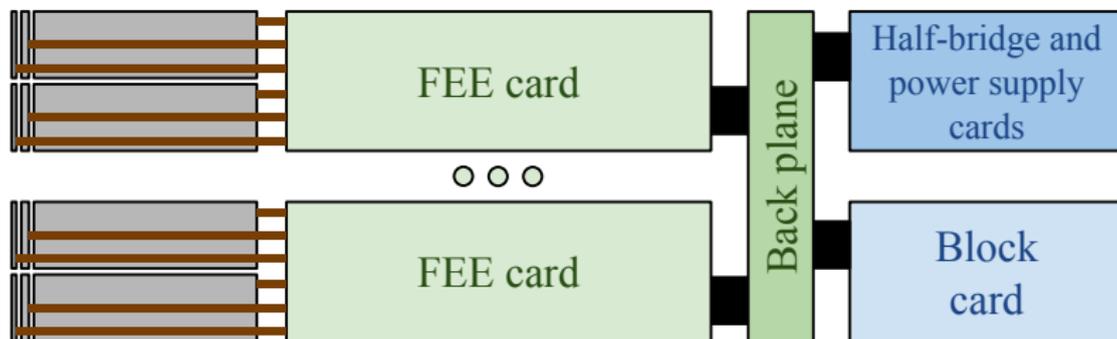


Il blocco FAZIA



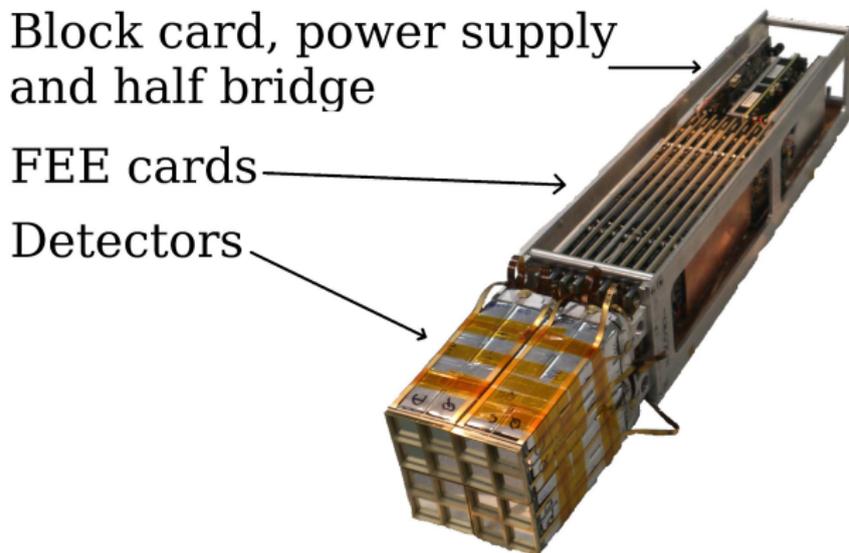
*2 telescopi sono collegati a ciascuna **front-end card** (FEE).*

Il blocco FAZIA



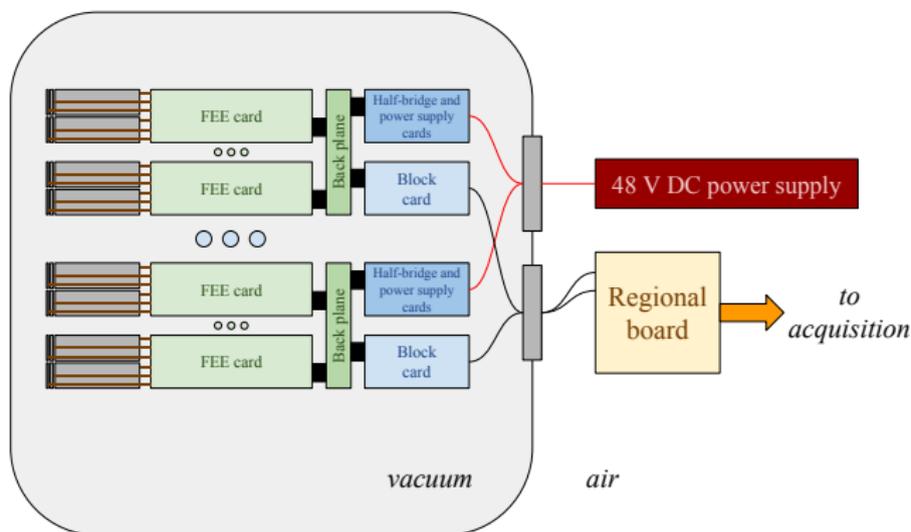
*8 front-end sono connesse ad una **block card** tramite il back plane*

Il blocco FAZIA



*Il blocco è montato su una **piastra di rame**
nella quale fluisce acqua per raffreddarlo in vuoto*

Il blocco FAZIA



*fino a 36 block card possono essere gestite da una **regional board** attraverso un collegamento ottico full duplex a 3 Gb/s*

Elettronica di fizia

Front-end

- Catena analogica: pre-amplificatori di carica ed anti-aliasing

Elettronica di fizia

Front-end

- Catena analogica: pre-amplificatori di carica ed anti-aliasing
- Segnale immediatamente digitalizzato
 - ADC a 14 bit: risoluzione $< 1\%$ da 5 MeV a 4 GeV
 - clock comune per garantire sincronismo tra i canali

Elettronica di fizia

Front-end

- Catena analogica: pre-amplificatori di carica ed anti-aliasing
- Segnale immediatamente digitalizzato
 - ADC a 14 bit: risoluzione $< 1\%$ da 5 MeV a 4 GeV
 - clock comune per garantire sincronismo tra i canali
- FPGA per processamento on-line dei segnali

Elettronica di fazia

Front-end

- Catena analogica: pre-amplificatori di carica ed anti-aliasing
- Segnale immediatamente digitalizzato
 - ADC a 14 bit: risoluzione $< 1\%$ da 5 MeV a 4 GeV
 - clock comune per garantire sincronismo tra i canali
- FPGA per processamento on-line dei segnali

Potenzialità e limiti

- Compattezza e modularità

Elettronica di fazia

Front-end

- Catena analogica: pre-amplificatori di carica ed anti-aliasing
- Segnale immediatamente digitalizzato
 - ADC a 14 bit: risoluzione $< 1\%$ da 5 MeV a 4 GeV
 - clock comune per garantire sincronismo tra i canali
- FPGA per processamento on-line dei segnali

Potenzialità e limiti

- Compattezza e modularità
- Ottime capacità di discriminazione isotopica

Elettronica di fazia

Front-end

- Catena analogica: pre-amplificatori di carica ed anti-aliasing
- Segnale immediatamente digitalizzato
 - ADC a 14 bit: risoluzione $< 1\%$ da 5 MeV a 4 GeV
 - clock comune per garantire sincronismo tra i canali
- FPGA per processamento on-line dei segnali

Potenzialità e limiti

- Compattezza e modularità
- Ottime capacità di discriminazione isotopica
- **Elevate soglie di identificazione (2–10 MeV/u)**

Metodi di identificazione

Correlazione $\Delta E - E$

- sfrutta la relazione di perdita di energia di Bethe-Bloch
- soglia di identificazione dovuta allo spessore del primo strato

Pulse Shape Discrimination^a

- il tempo di raccolta della carica dipende da Z ed A del nucleo
- soglia minima corrispondente a circa $\sim 50 \mu\text{m}$ di penetrazione

^a N. Le Neindre *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 701 (145), 2013

Metodi di identificazione

Correlazione $\Delta E - E$

- sfrutta la relazione di perdita di energia di Bethe-Bloch
- soglia di identificazione dovuta allo spessore del primo strato

Pulse Shape Discrimination^a

- il tempo di raccolta della carica dipende da Z ed A del nucleo
- soglia minima corrispondente a circa $\sim 50 \mu\text{m}$ di penetrazione

Correlazione $E - ToF$

- in corso prove di fattibilità per l'implementazione in FAZIA
- metodo con la più bassa soglia possibile

^a N. Le Neindre *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 701 (145), 2013

Fasci esotici



Fasci esotici

- SPES (LNL) e Spiral2 (GANIL) entreranno presto in funzione
- fasci di ioni “n-rich” con $E_b < 15 \text{ MeV/u}$
- la capacità di discriminazione isotopica di FAZIA è adatta
 - occorre abbassare le soglie di identificazione!



Fasci esotici

- SPES (LNL) e Spiral2 (GANIL) entreranno presto in funzione
- fasci di ioni “n-rich” con $E_b < 15 \text{ MeV/u}$
- la capacità di discriminazione isotopica di FAZIA è adatta
 - occorre abbassare le soglie di identificazione!

Progetto FURBO

- Studio delle possibilità di riduzione delle soglie in FAZIA:

Fasci esotici

- SPES (LNL) e Spiral2 (GANIL) entreranno presto in funzione
- fasci di ioni “n-rich” con $E_b < 15 \text{ MeV/u}$
- la capacità di discriminazione isotopica di FAZIA è adatta
 - occorre abbassare le soglie di identificazione!

Progetto FURBO

- Studio delle possibilità di riduzione delle soglie in FAZIA:
 - implementazione del **tempo di volo** (in corso...)

Fasci esotici

- SPES (LNL) e Spiral2 (GANIL) entreranno presto in funzione
- fasci di ioni “n-rich” con $E_b < 15 \text{ MeV/u}$
- la capacità di discriminazione isotopica di FAZIA è adatta
 - occorre abbassare le soglie di identificazione!

Progetto FURBO

- Studio delle possibilità di riduzione delle soglie in FAZIA:
 - implementazione del **tempo di volo** (in corso...)
 - utilizzo di rivelatori **Si sottili** come primo stadio

Fasci esotici

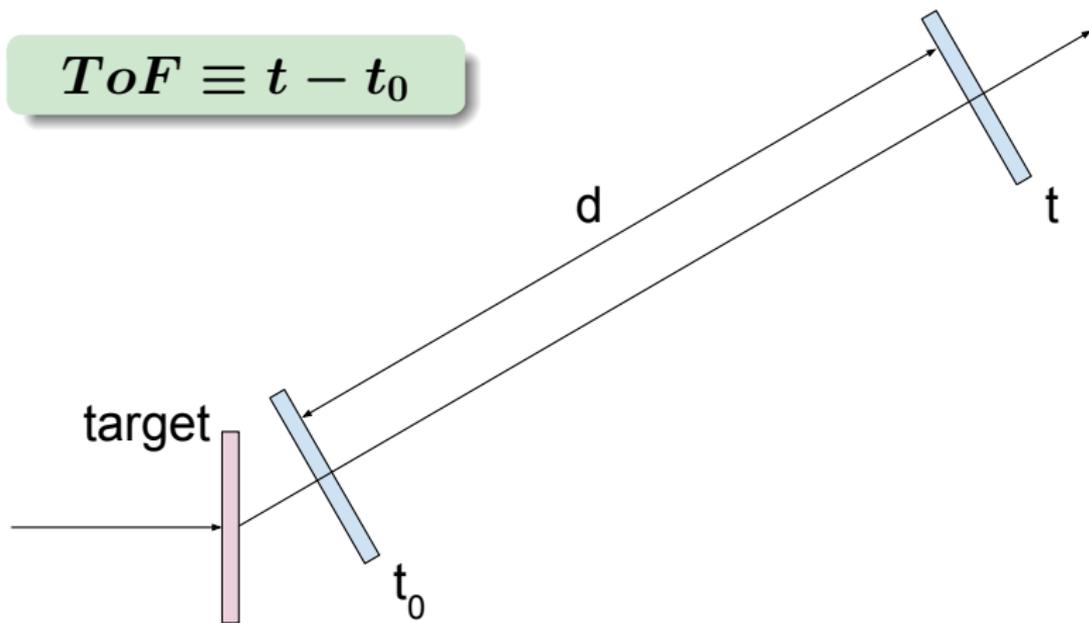
- SPES (LNL) e Spiral2 (GANIL) entreranno presto in funzione
- fasci di ioni “n-rich” con $E_b < 15 \text{ MeV/u}$
- la capacità di discriminazione isotopica di FAZIA è adatta
 - occorre abbassare le soglie di identificazione!

Progetto FURBO

- Studio delle possibilità di riduzione delle soglie in FAZIA:
 - implementazione del **tempo di volo** (in corso...)
 - utilizzo di rivelatori **Si sottili** come primo stadio
 - utilizzo di rivelatori **alternativi**
(camere di ionizzazione, scintillatori plastici veloci, ecc...)

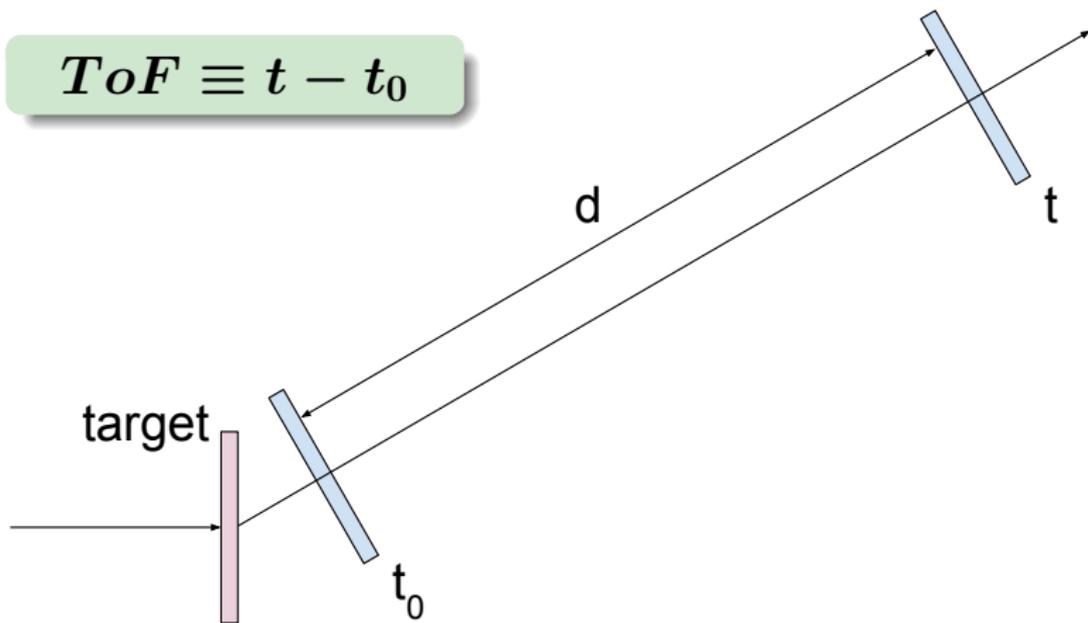
Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$



Misura del tempo di volo

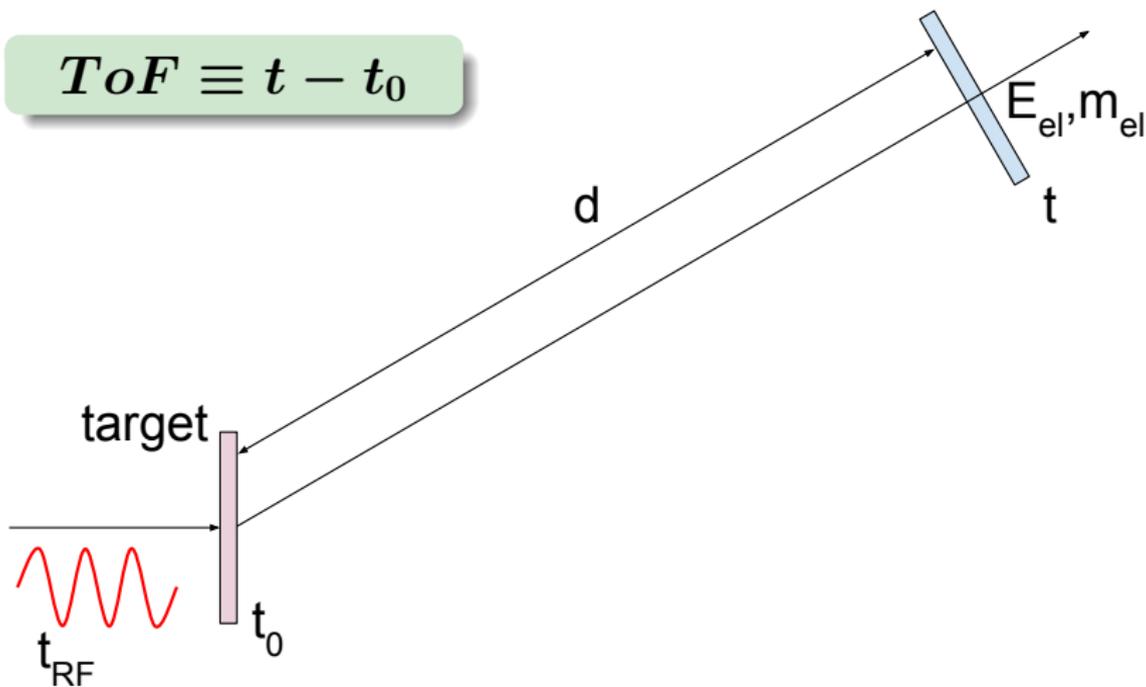
$$ToF \equiv t - t_0$$



Occorre un rivelatore di start

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$



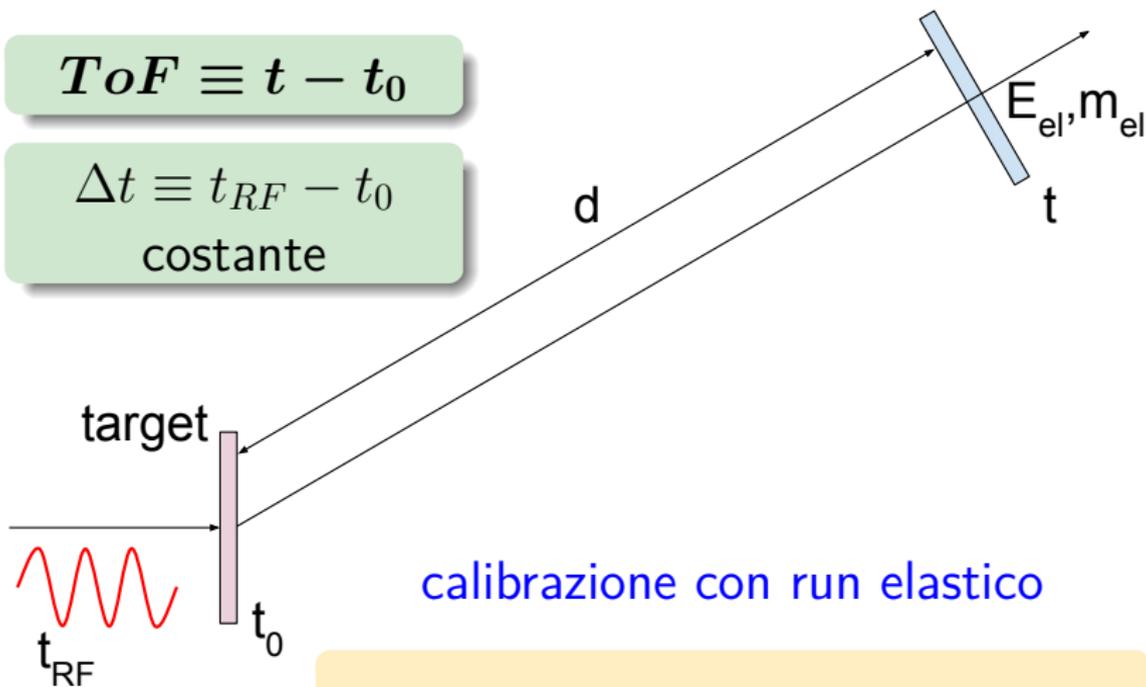
Start può arrivare da RF del fascio

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

$$\Delta t \equiv t_{RF} - t_0$$

costante



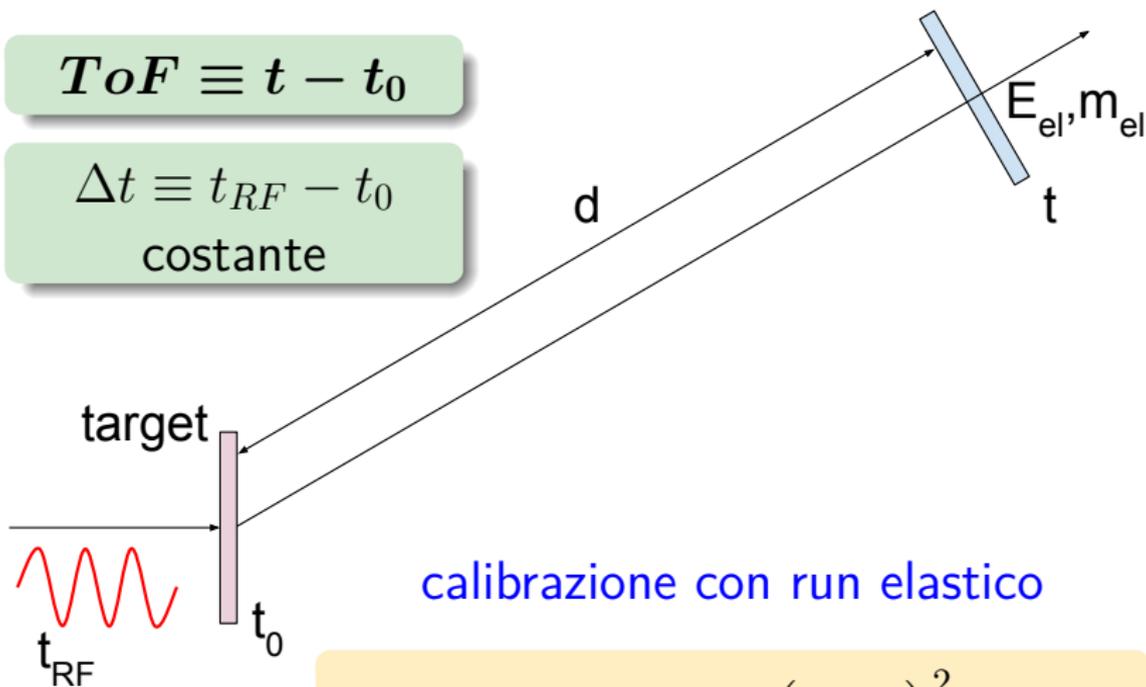
$$E_{el} = \frac{1}{2} m_{el} v_{el}^2$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

$$\Delta t \equiv t_{RF} - t_0$$

costante



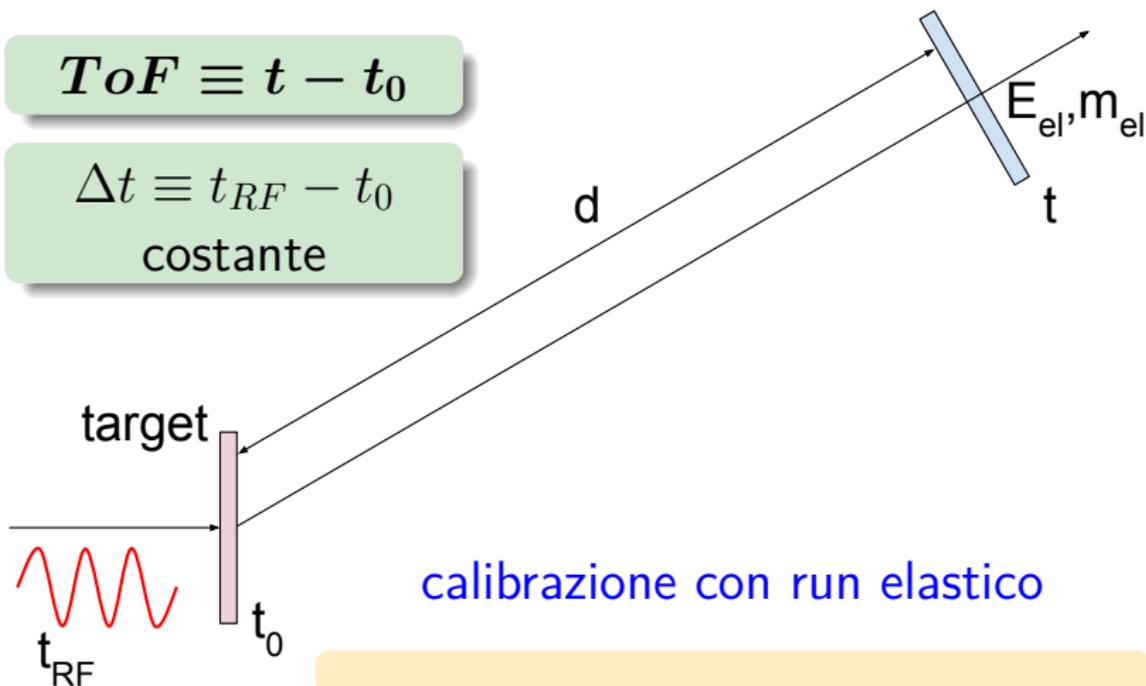
$$E_{el} = \frac{1}{2} m_{el} \left(\frac{d}{t_{el} - t_0} \right)^2$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

$$\Delta t \equiv t_{RF} - t_0$$

costante



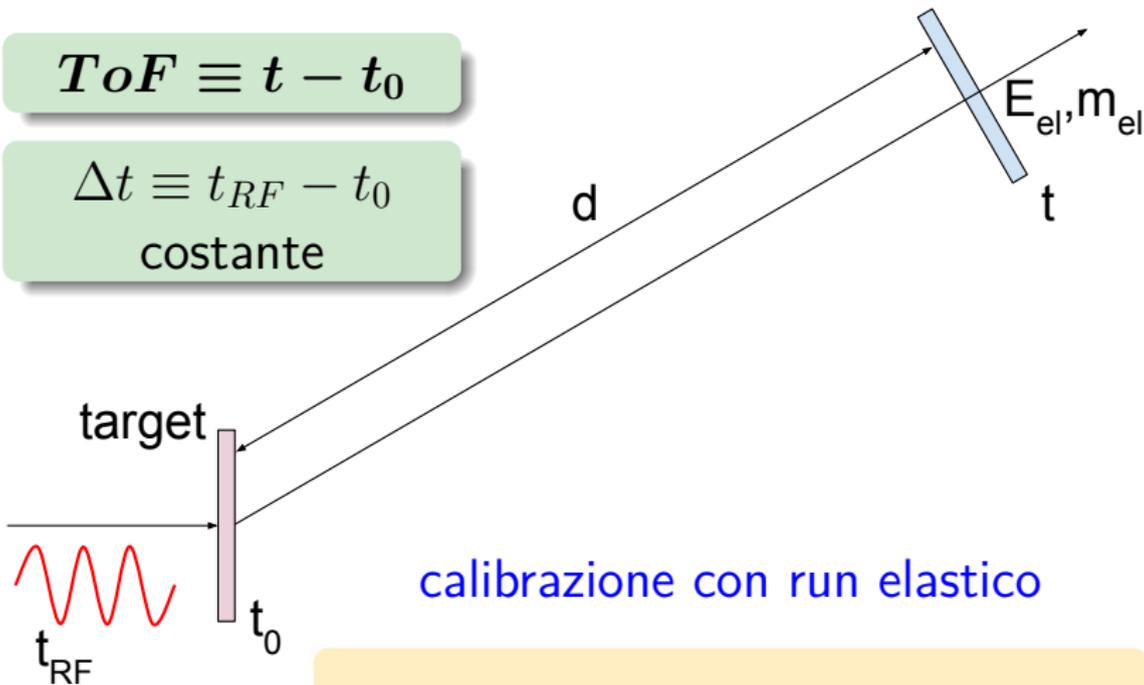
$$t_0 = t_{el} - d_{el} \sqrt{\frac{m_{el}}{2E_{el}}}$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

$$\Delta t \equiv t_{RF} - t_0$$

costante



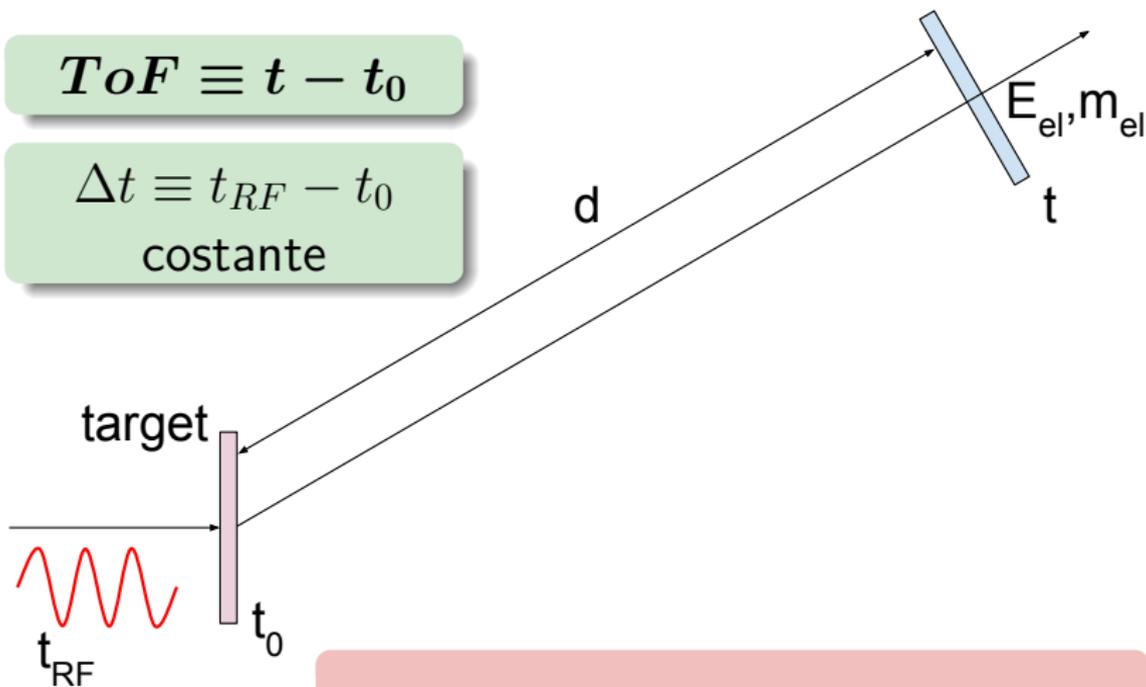
$$\Delta t = t_{RF} - t_{el} + d_{el} \sqrt{\frac{m_{el}}{2E_{el}}}$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

$$\Delta t \equiv t_{RF} - t_0$$

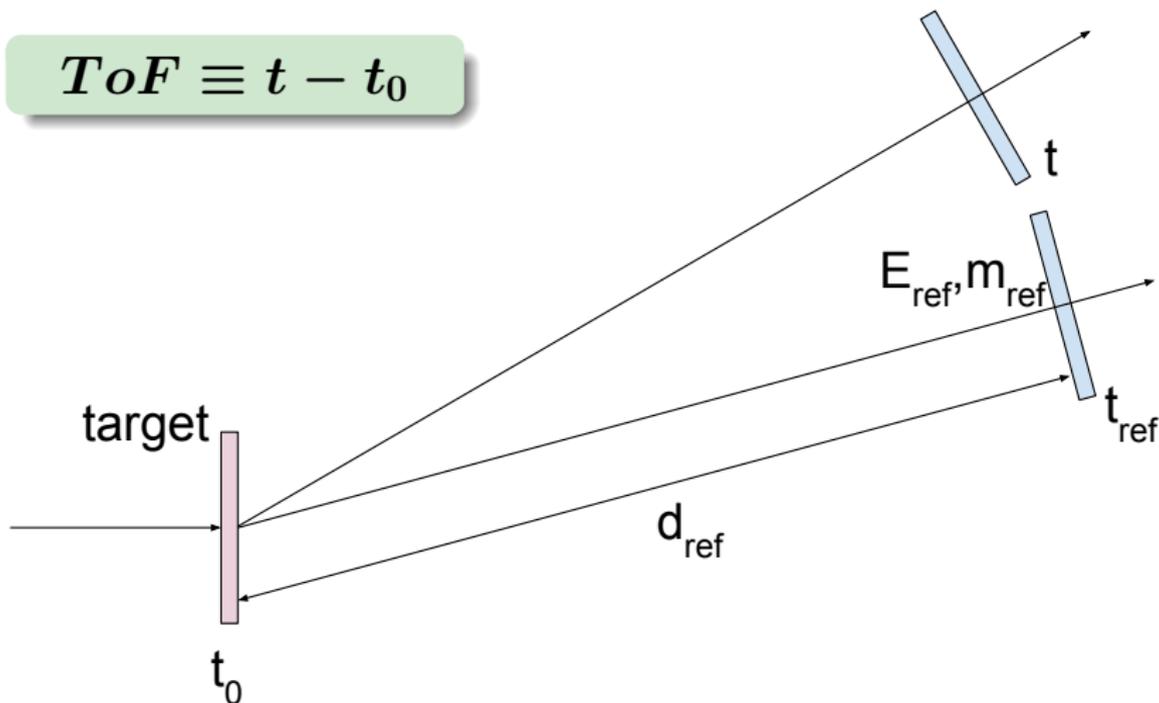
costante



$$ToF = t - t_{RF} + \Delta t$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

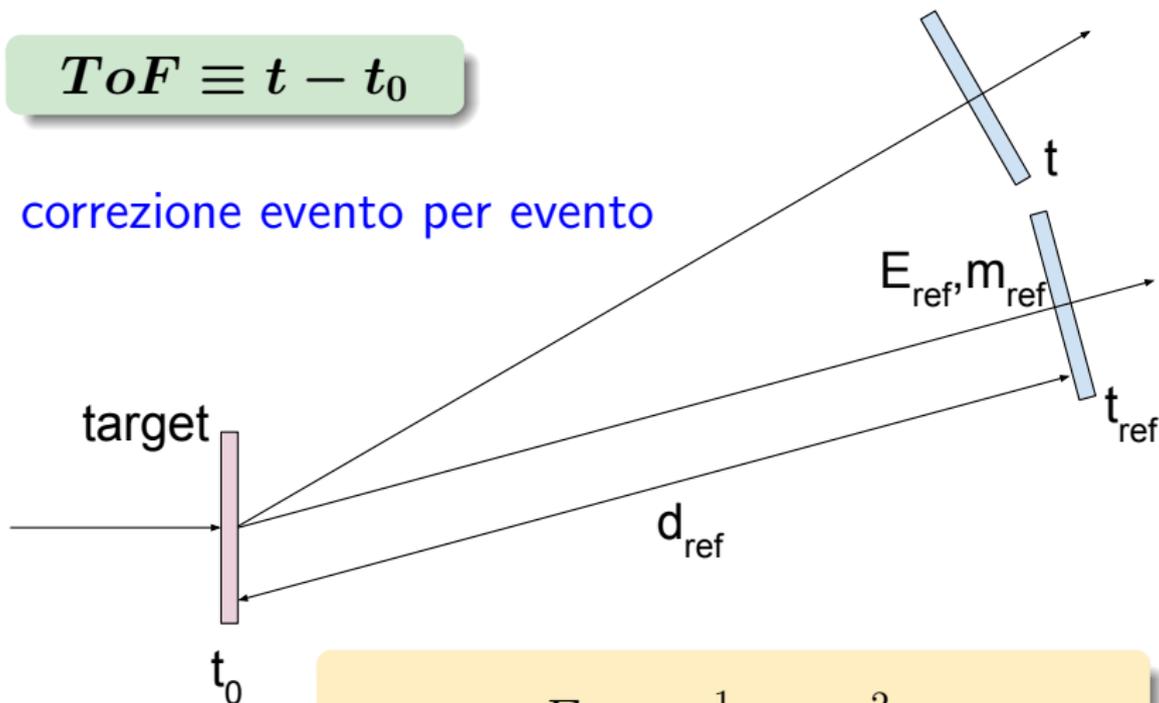


Soluzione proposta: no rivelatori di start né RF

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

correzione evento per evento

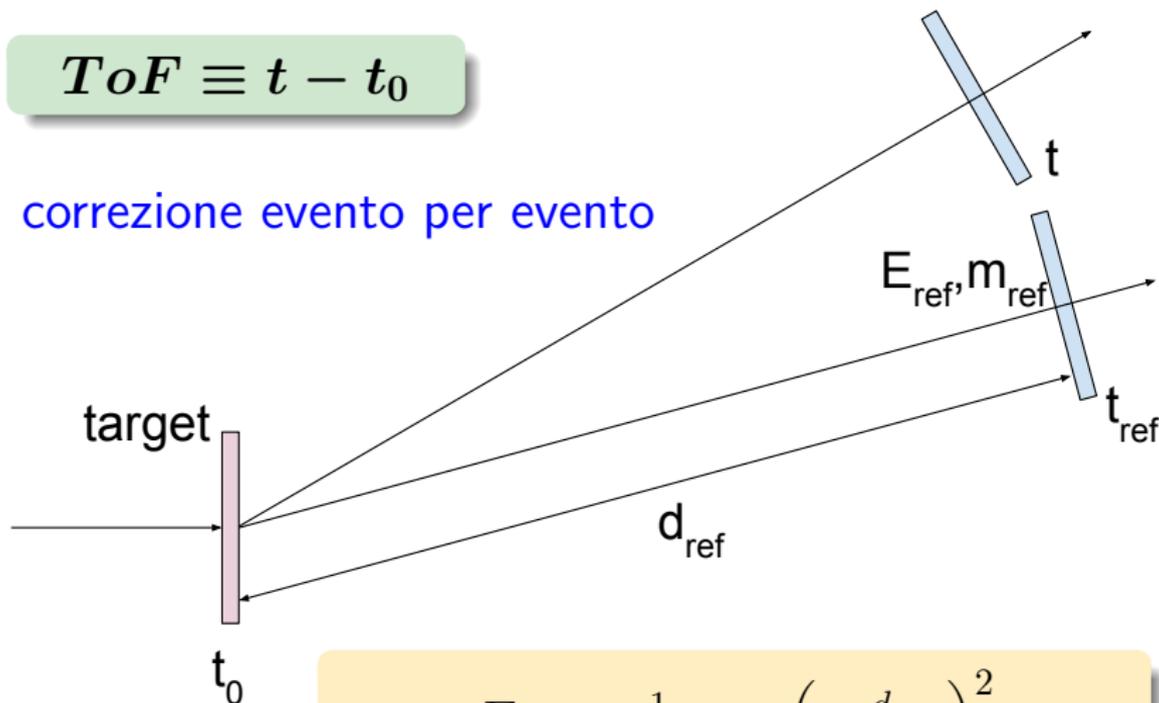


$$E_{ref} = \frac{1}{2} m_{ref} v_{ref}^2$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

correzione evento per evento

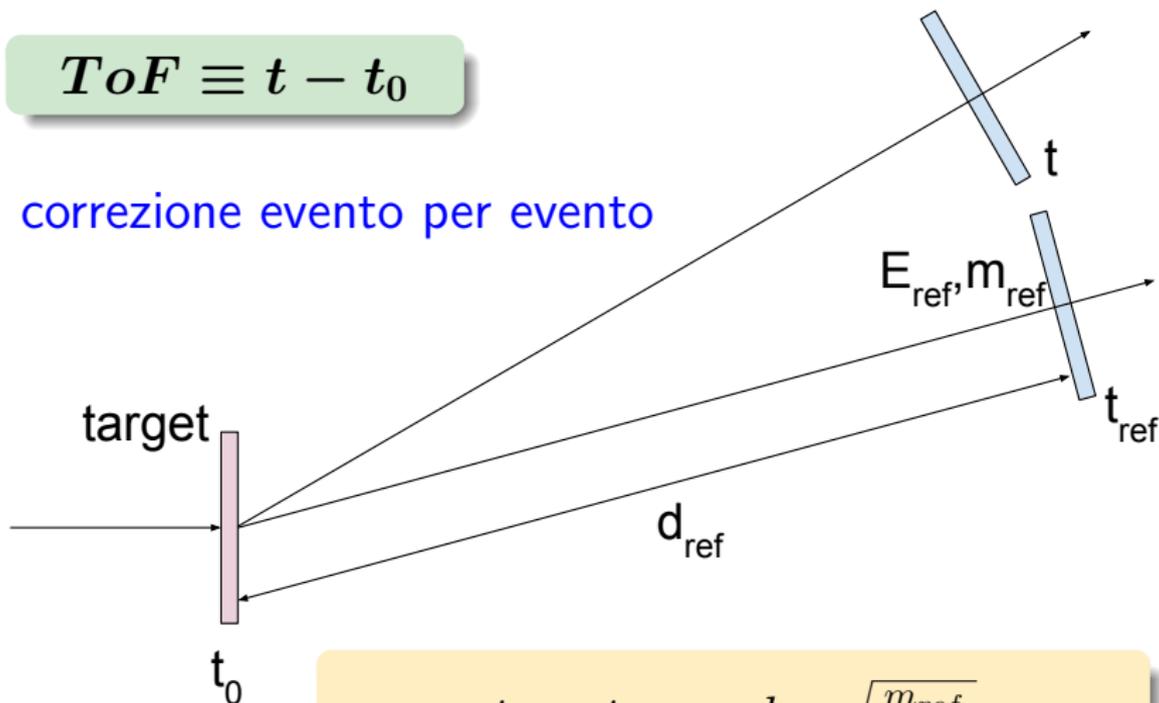


$$E_{ref} = \frac{1}{2} m_{ref} \left(\frac{d}{t_{ref} - t_0} \right)^2$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

correzione evento per evento

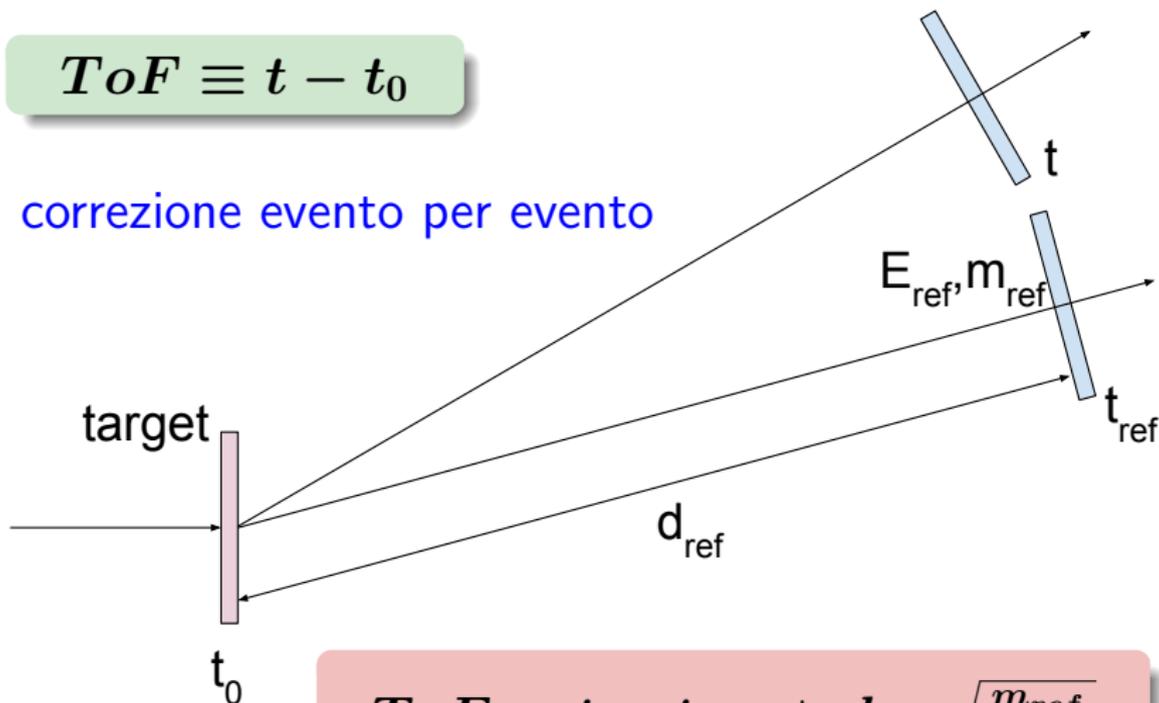


$$t_0 = t_{ref} - d_{ref} \sqrt{\frac{m_{ref}}{2E_{ref}}}$$

Misura del tempo di volo

$$ToF \equiv t - t_0$$

correzione evento per evento



$$ToF = t - t_{ref} + d_{ref} \sqrt{\frac{m_{ref}}{2E_{ref}}}$$

Capacità di identificazione attese

Discriminazione $^{12}\text{C} - ^{13}\text{C}$

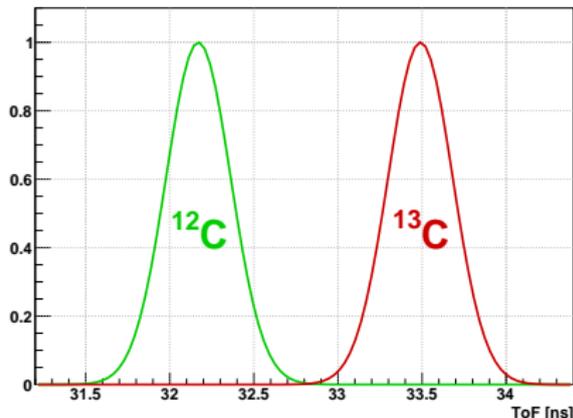
Base di volo di FAZIA: 1 m

Capacità di identificazione attese

Discriminazione ^{12}C – ^{13}C

Base di volo di FAZIA: 1 m

soglia disc. isotopica con PSD:
60 MeV



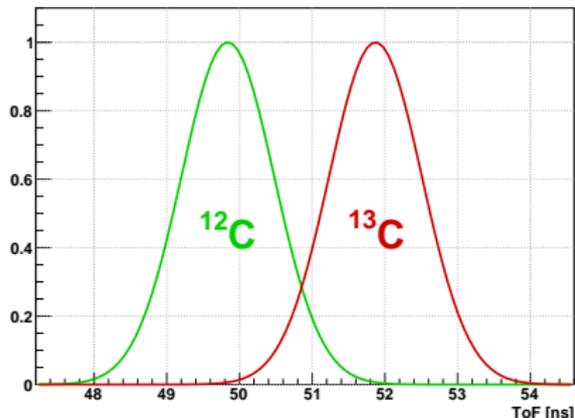
$$\sigma_{ToF} = 0.19 \text{ ns}$$

Capacità di identificazione attese

Discriminazione ^{12}C – ^{13}C

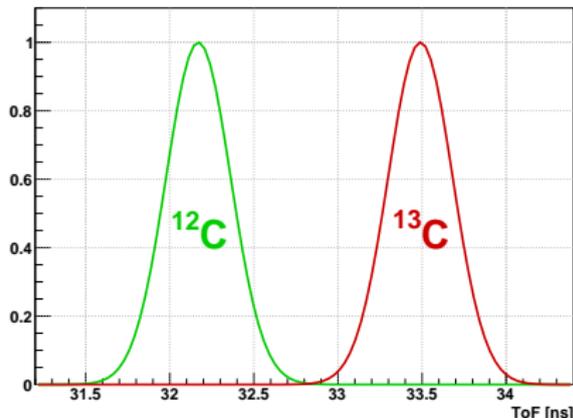
Base di volo di FAZIA: 1 m

soglia ID con PSD:
25 MeV



$$\sigma_{ToF} = 0.64 \text{ ns}$$

soglia disc. isotopica con PSD:
60 MeV



$$\sigma_{ToF} = 0.19 \text{ ns}$$

Passi del progetto FURBO

- Mettere a punto la misura del tempo di volo:
 - validare procedura di **sincronizzazione** dei canali
 - verificare reali capacità di discriminazione

Passi del progetto FURBO

- Mettere a punto la misura del tempo di volo:
 - validare procedura di **sincronizzazione** dei canali
 - verificare reali capacità di discriminazione
- **Acquistare e provare Si sottili:**
 - riduzione sensibile delle soglie di identificazione in carica
 - limitazioni all'id. in massa: **disomogeneità e straggling**

Passi del progetto FURBO

- Mettere a punto la misura del tempo di volo:
 - validare procedura di **sincronizzazione** dei canali
 - verificare reali capacità di discriminazione
- Acquistare e provare Si sottili:
 - riduzione sensibile delle soglie di identificazione in carica
 - limitazioni all'id. in massa: **disomogeneità** e **straggling**
- Acquistare e provare rivelatori alternativi:
 - camera di ionizzazione: soglie minime, ma nessuna discriminazione isotopica!
 - scintillatore plastico veloce: identificazione tramite ToF

Passi del progetto FURBO

- Mettere a punto la misura del tempo di volo:
 - validare procedura di **sincronizzazione** dei canali
 - verificare reali capacità di discriminazione
- Acquistare e provare Si sottili:
 - riduzione sensibile delle soglie di identificazione in carica
 - limitazioni all'id. in massa: **disomogeneità** e **straggling**
- Acquistare e provare rivelatori alternativi:
 - camera di ionizzazione: soglie minime, ma nessuna discriminazione isotopica!
 - scintillatore plastico veloce: identificazione tramiteToF

FORMAZIONE:

Acquisizione di competenze su rivelatori e tecniche di identificazione

Passi del progetto FURBO

- Mettere a punto la misura del tempo di volo:
 - validare procedura di **sincronizzazione** dei canali
 - verificare reali capacità di discriminazione
- Acquistare e provare Si sottili:
 - riduzione sensibile delle soglie di identificazione in carica
 - limitazioni all'id. in massa: **disomogeneità** e **straggling**
- Acquistare e provare rivelatori alternativi:
 - camera di ionizzazione: soglie minime, ma nessuna discriminazione isotopica!
 - scintillatore plastico veloce: identificazione tramiteToF

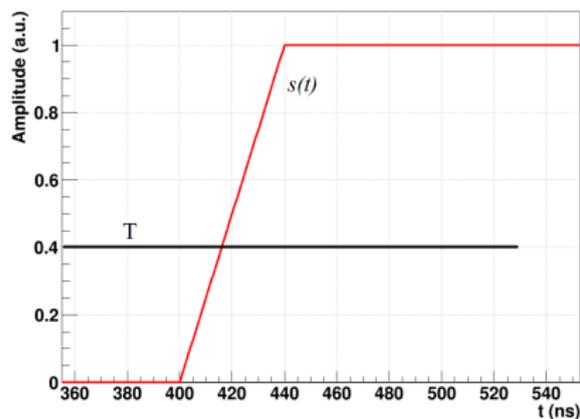
BANDI PER FONDI ESTERNI:

Implementazione su grande scala delle soluzioni trovate

Backup slides

Time measurement methods

Leading Edge Discriminator (**LED**)

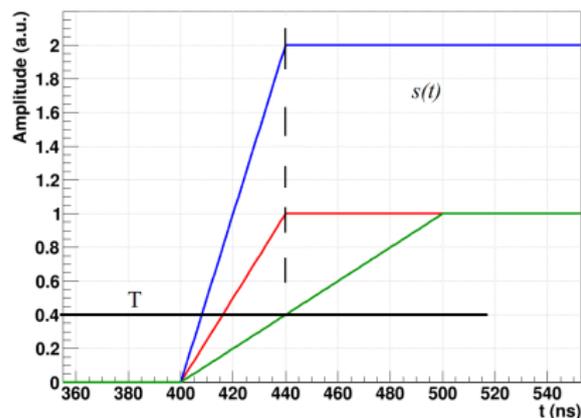


$$\sigma_{LED} = \frac{t_{rise}}{SNR}$$

Intersection between a fixed threshold T and the signal $s(t)$

Time measurement methods

Leading Edge Discriminator (**LED**)



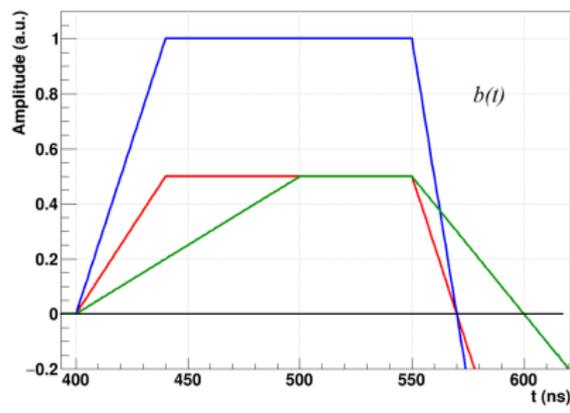
$$\sigma_{LED} = \frac{t_{rise}}{SNR}$$

Intersection between a fixed threshold T and the signal $s(t)$

Subject to amplitude and rise time walk

Time measurement methods

Constant-Fraction Discriminator (**CFD**)



$$\sigma_{CFD} = \frac{t_{rise}}{SNR} \sqrt{1 + f^2}$$

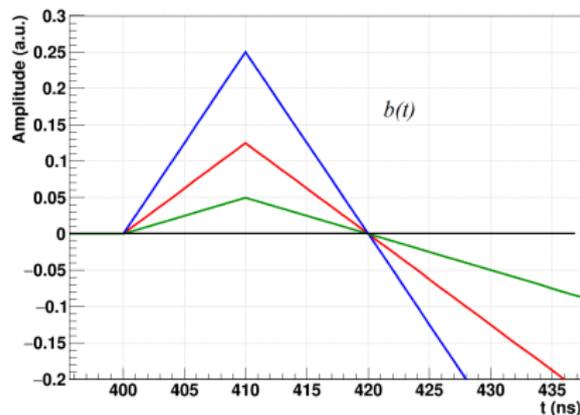
Zero crossing of the bipolar signal $b(t) = f \cdot s(t) - s(t - t_D)$

$$t_D \geq (1 - f)t_{rise}$$

Subject to rise time walk

Time measurement methods

Amplitude and Rise time Compensated CFD (**ARC-CFD**)



$$\sigma_{ARC} = \frac{t_{rise}}{SNR} \frac{\sqrt{1+f^2}}{1-f}$$

Zero crossing of the bipolar signal $b(t) = f \cdot s(t) - s(t - t_D)$

$$t_D < (1 - f)t_{rise}$$

Time of Flight measurement

Time of flight	ToF	\equiv	$t - t_0$
Flight base	d	$=$	$ \vec{x}(t) - \vec{x}(t_0) $
Kinetic energy	E	$=$	$\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{ToF}\right)^2$

A **start** time mark is needed to measure ToF

Time of Flight measurement

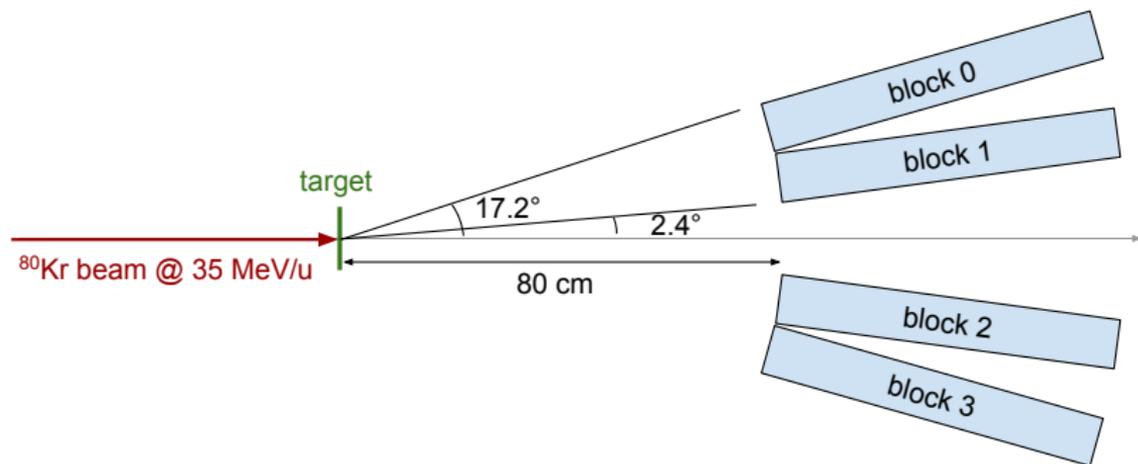
Time of flight	ToF	\equiv	$t - t_0$
Flight base	d	$=$	$ \vec{x}(t) - \vec{x}(t_0) $
Kinetic energy	E	$=$	$\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{ToF}\right)^2$

Time reference in FAZIA

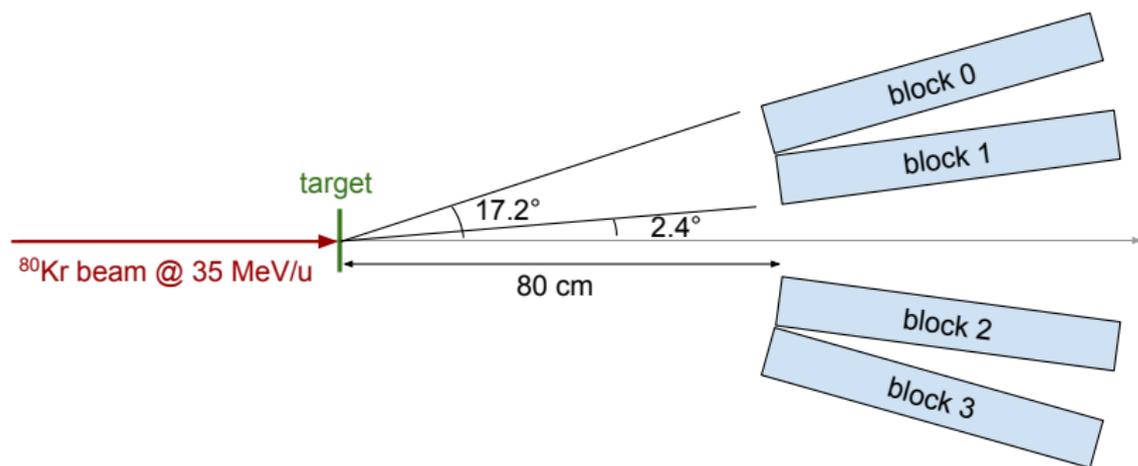
- all acquired waveforms are referred to the **validation** time t_V
- applying a digital CFD algorithm to waveforms gives a time mark $t_{CFD} = t - t_V + t_{off}$
- t_V is **the same** for all detectors

A **start** time mark is needed to measure ToF

ISOFAZIA experiment at LNS

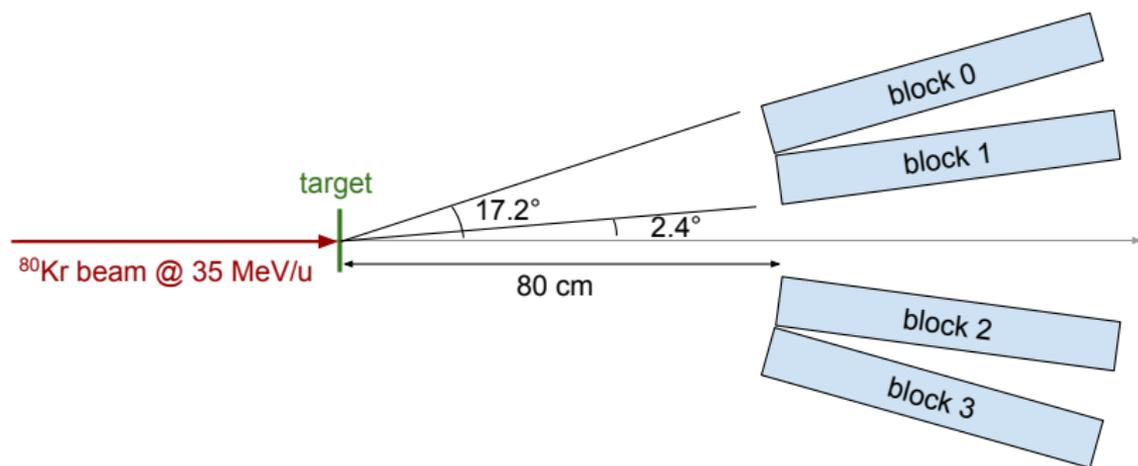


ISOFAZIA experiment at LNS



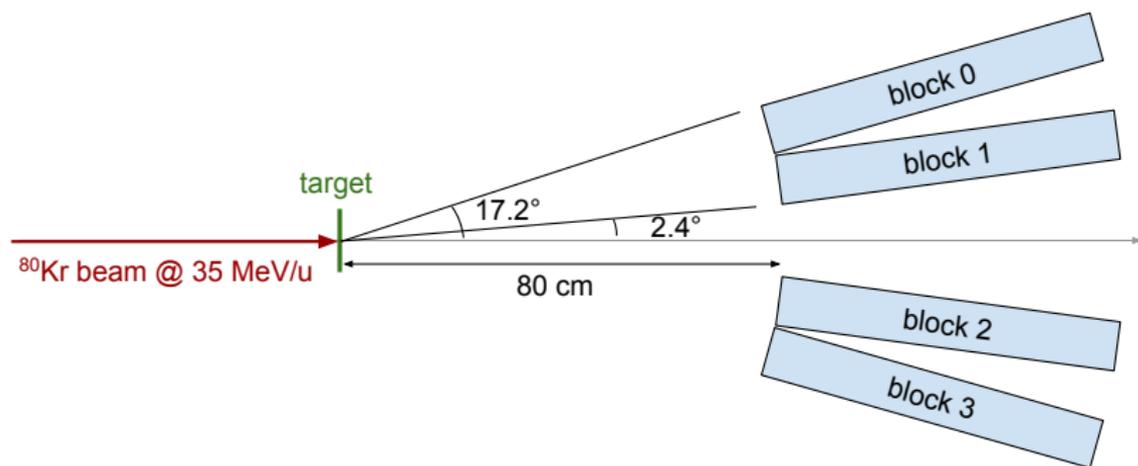
- First physics oriented experiment with FAZIA

ISOFAZIA experiment at LNS



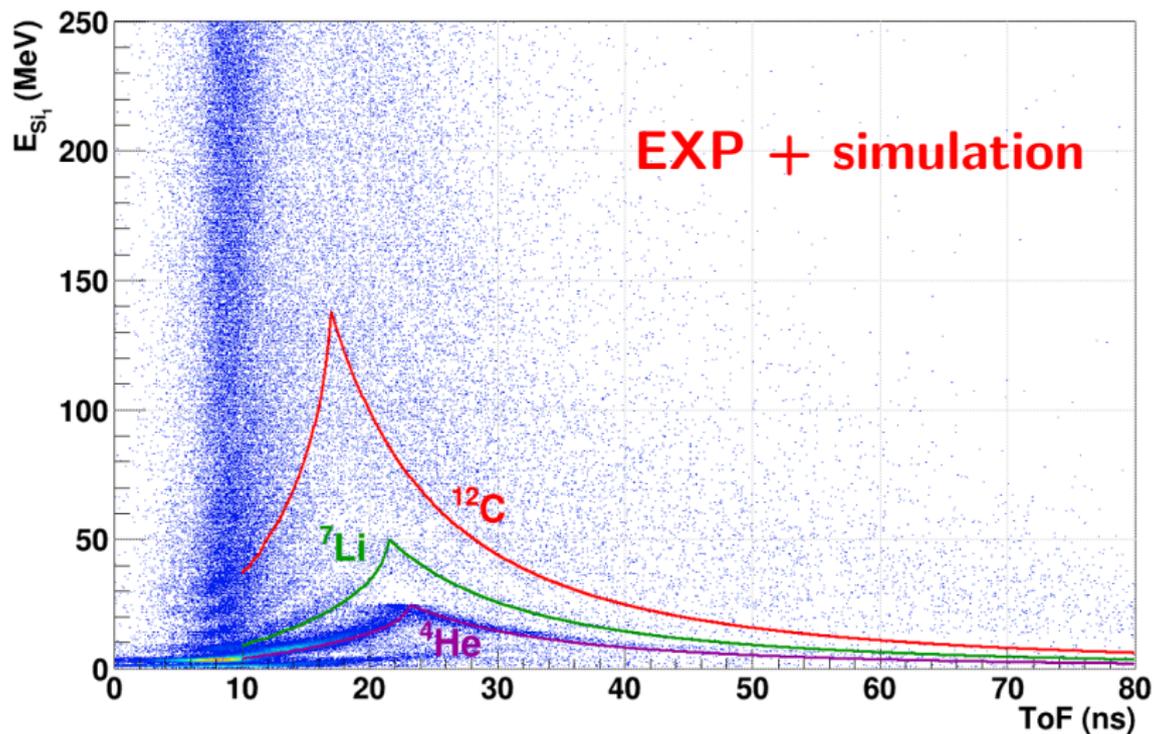
- First physics oriented experiment with FAZIA
- Fully calibrated with mass ID up to $Z \sim 24$

ISOFAZIA experiment at LNS



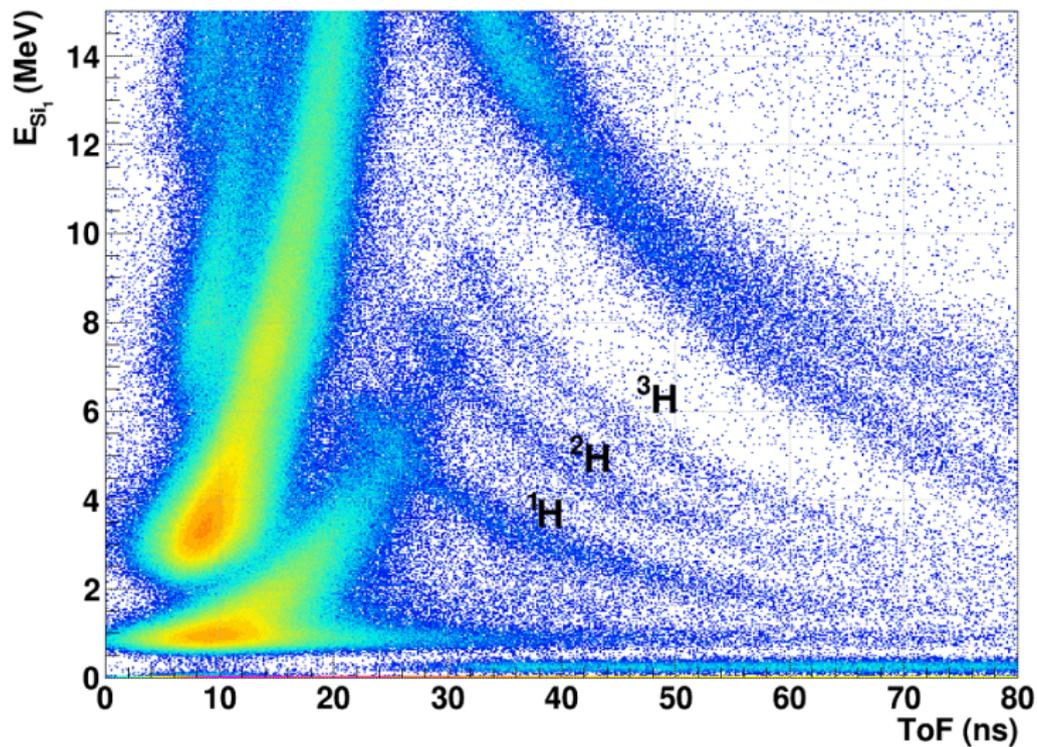
- First physics oriented experiment with FAZIA
- Fully calibrated with mass ID up to $Z \sim 24$
- In many events we have at least a fully identified particle which permits to recover t_0

ISOFAZIA experiment at LNS



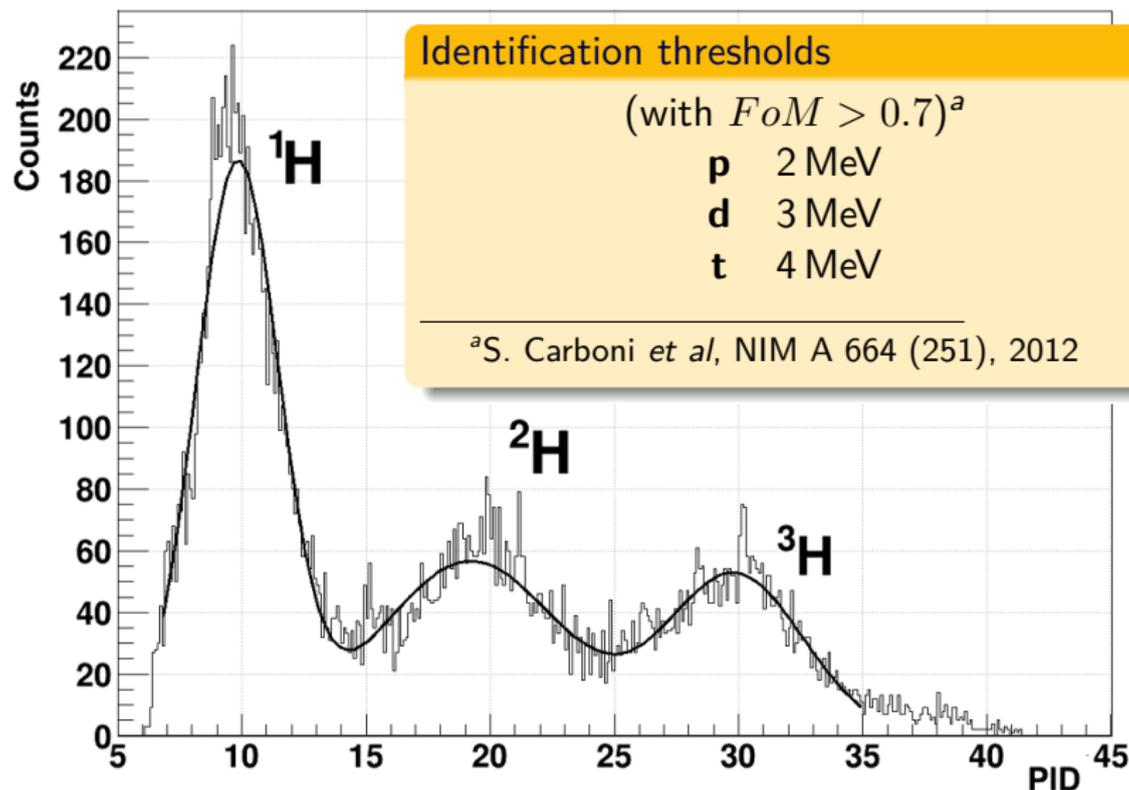
courtesy of A. Buccola, Università di Firenze

ISOFAZIA experiment at LNS



courtesy of A. Buccola, Università di Firenze

ISOFAZIA experiment at LNS



ISOFAZIA experiment at LNS

p,d,t stopped in the first Si layer

- PSD doesn't resolve $Z < 3$ isotopes
- $E - ToF$ allows to identify in mass $Z = 1$ down to 2 MeV

ISOFAZIA experiment at LNS

p,d,t stopped in the first Si layer

- PSD doesn't resolve $Z < 3$ isotopes
- $E - ToF$ allows to identify in mass $Z = 1$ down to 2 MeV

ToF accuracy limitations

- even with a common clock the ADCs are not synchronous (delays introduced by fan-in/fan-out and ADC aperture jitter)
- **a synchronization procedure is mandatory**

ISOFAZIA experiment at LNS

p,d,t stopped in the first Si layer

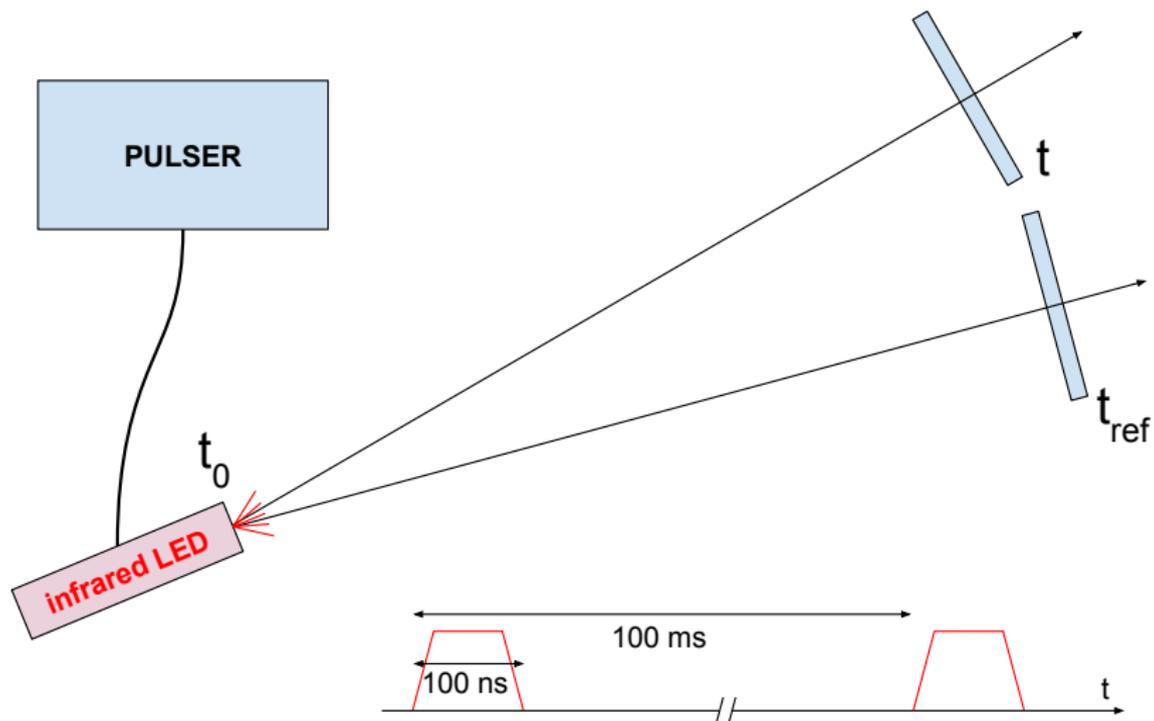
- PSD doesn't resolve $Z < 3$ isotopes
- $E - ToF$ allows to identify in mass $Z = 1$ down to 2 MeV

ToF accuracy limitations

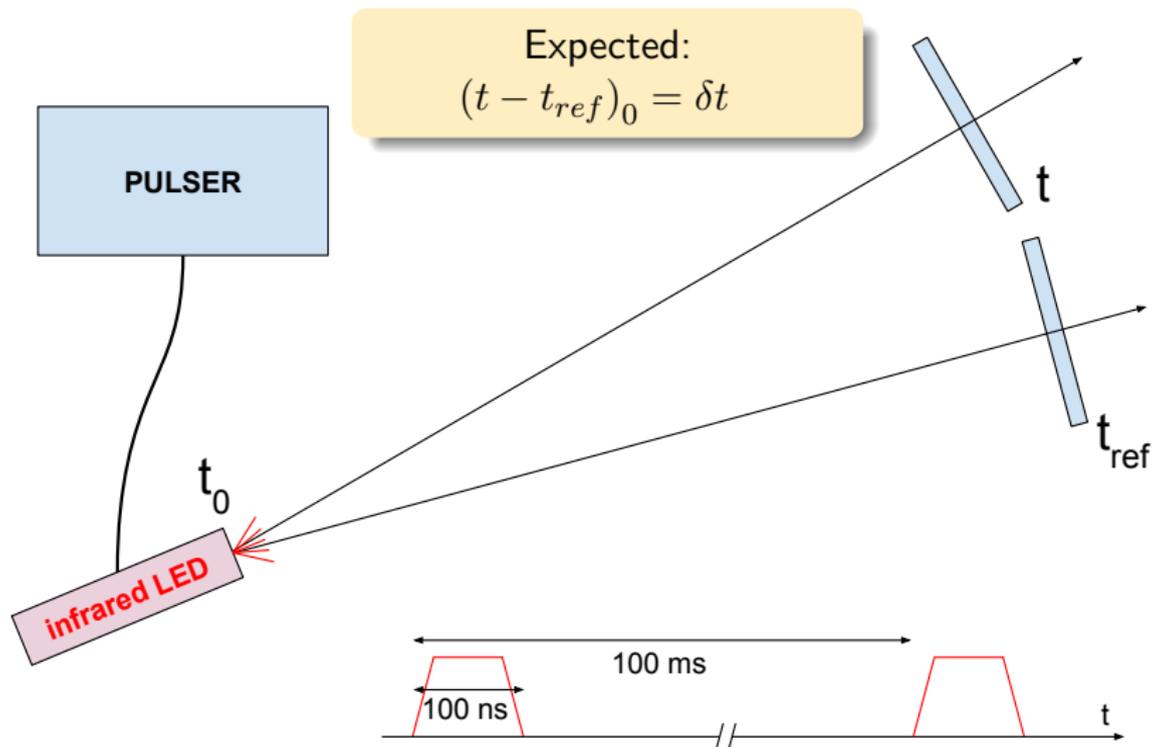
- even with a common clock the ADCs are not synchronous (delays introduced by fan-in/fan-out and ADC aperture jitter)
- **a synchronization procedure is mandatory**

Illuminate all Si1 detectors with the same
fast infrared pulse

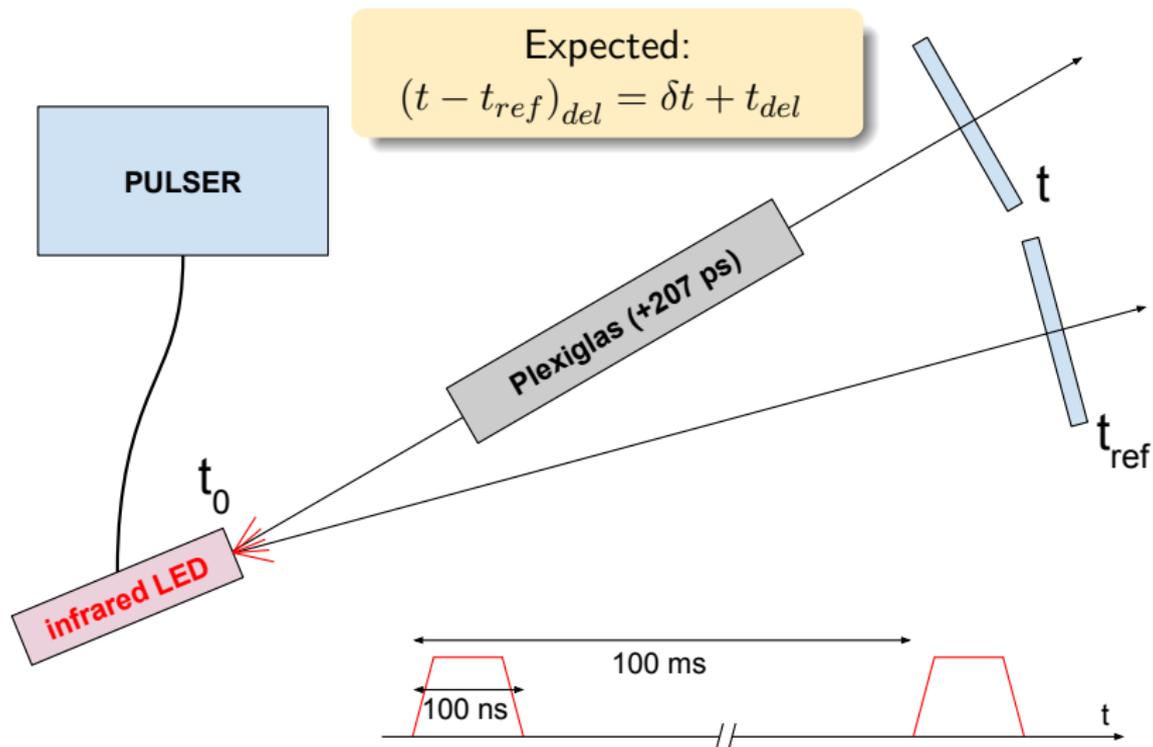
Timing accuracy test in Florence



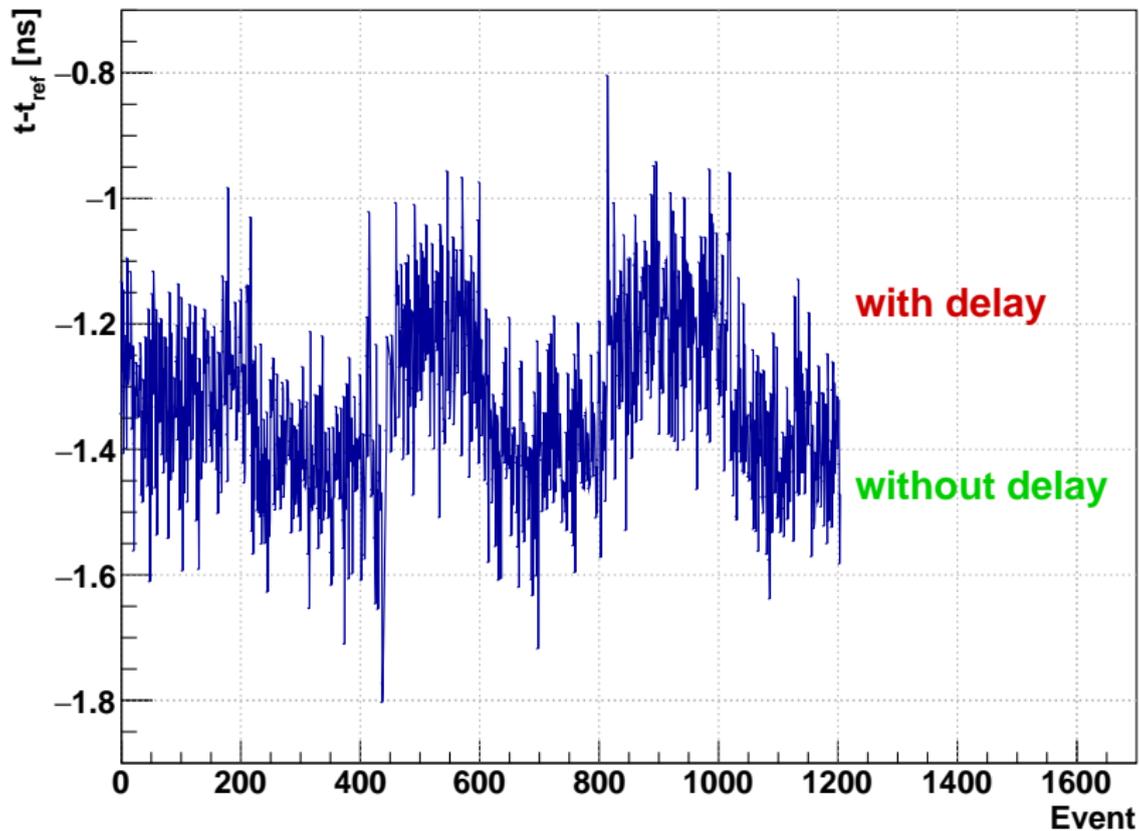
Timing accuracy test in Florence



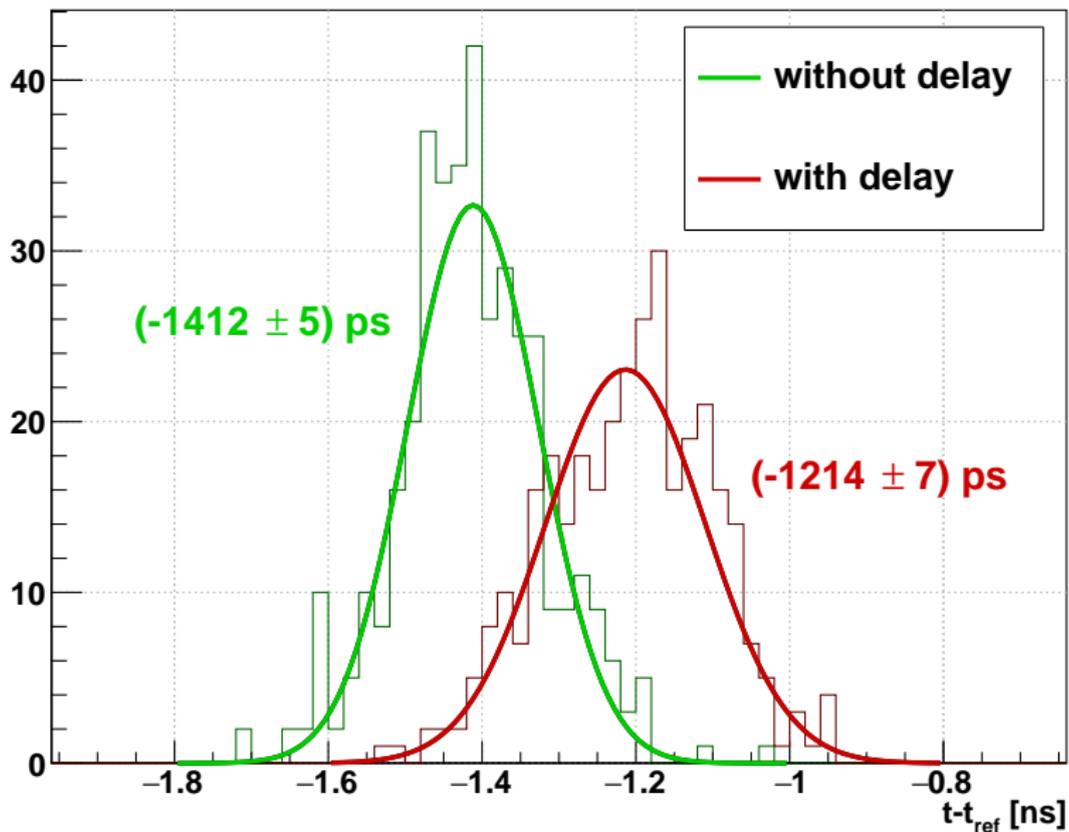
Timing accuracy test in Florence



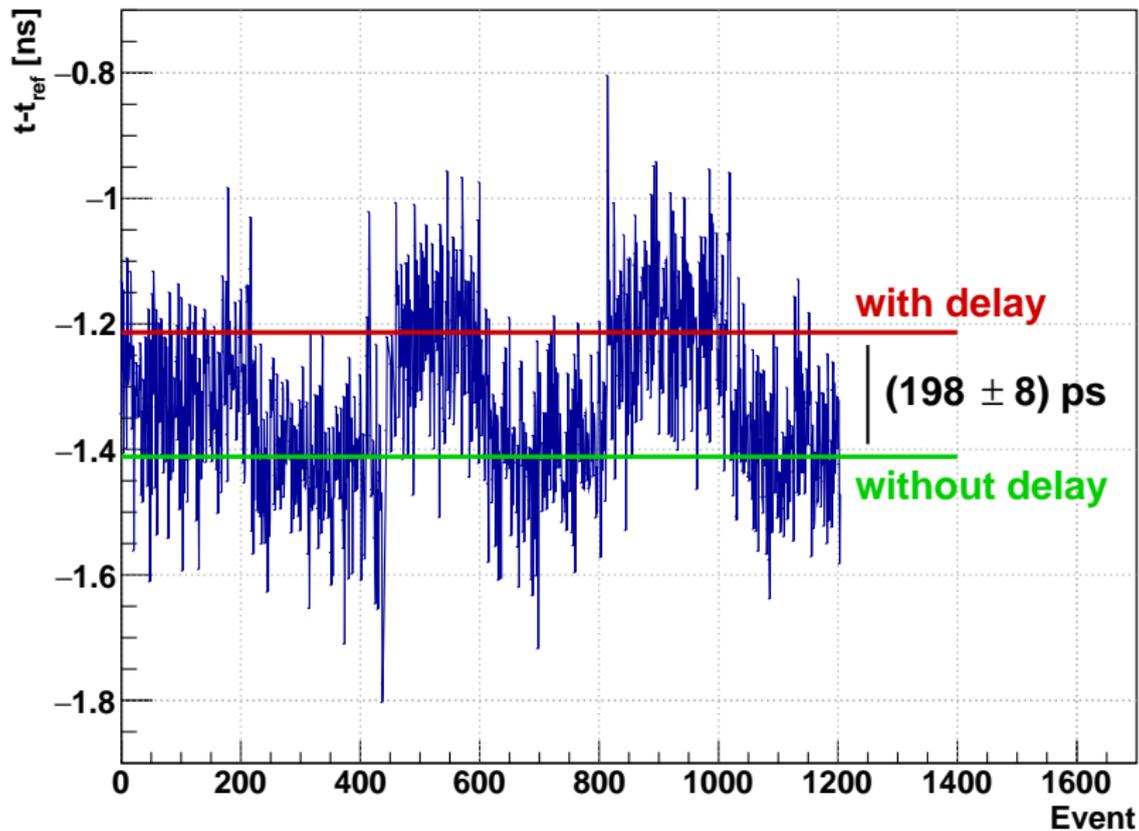
Timing accuracy test in Florence



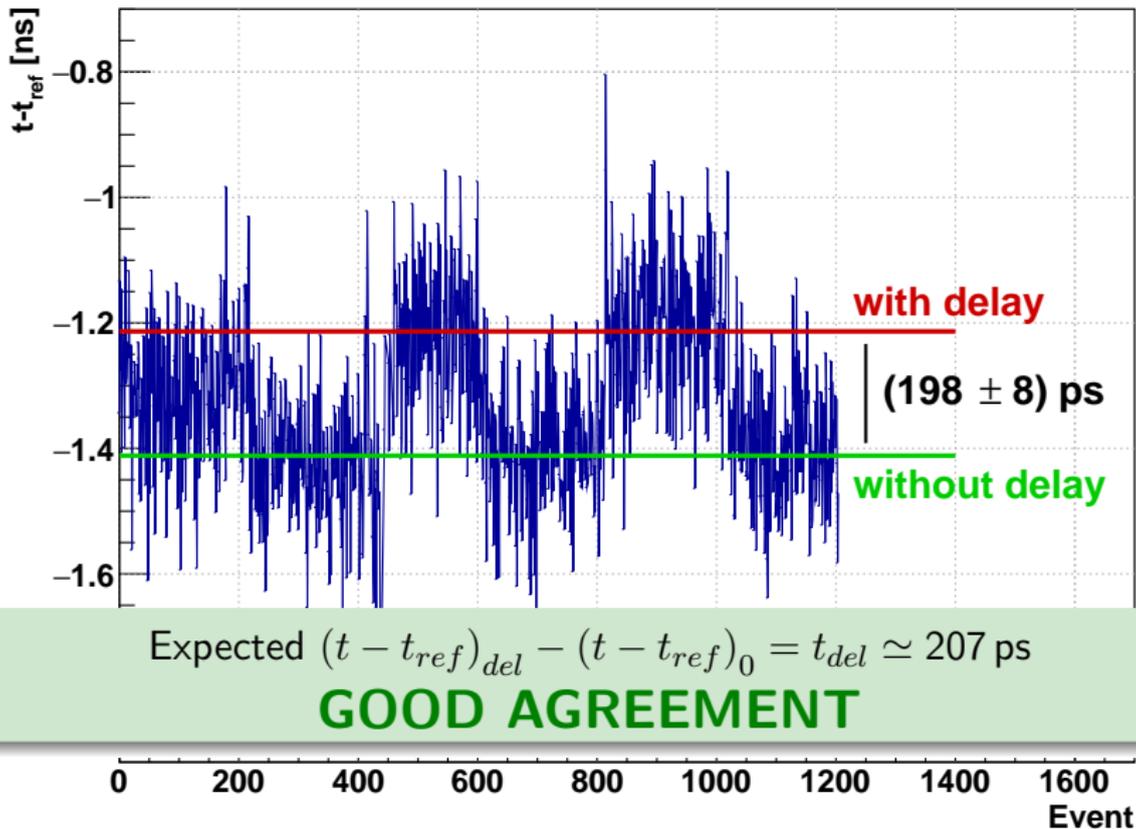
Timing accuracy test in Florence



Timing accuracy test in Florence



Timing accuracy test in Florence



FAZIAPRE experiment at LNS

Timing test

The same timing test performed on the test bench was repeated during the mounting of FAZIAPRE experiment at LNS giving a measured delay of (203 ± 13) ps (added delay was nominally 207 ps)

FAZIAPRE experiment at LNS

Timing test

The same timing test performed on the test bench was repeated during the mounting of FAZIAPRE experiment at LNS giving a measured delay of (203 ± 13) ps (added delay was nominally 207 ps)

Permanent infrared LED

During the FAZIAPRE experiment, the infrared LED was mounted inside the scattering chamber and was kept on during all the shift (at a 0.1 Hz rate) to trace channel delays

FAZIAPRE experiment at LNS

Timing test

The same timing test performed on the test bench was repeated during the mounting of FAZIAPRE experiment at LNS giving a measured delay of (203 ± 13) ps (added delay was nominally 207 ps)

Permanent infrared LED

During the FAZIAPRE experiment, the infrared LED was mounted inside the scattering chamber and was kept on during all the shift (at a 0.1 Hz rate) to trace channel delays

Calibration and identification still in progress...

Summary and conclusions

- Possibility to perform precise time measurements with FAZIA thanks to the ADC clock distribution
 - common clock doesn't guarantee a perfect synchronization
 - observed time differences between channels up to 1–2 ns

Summary and conclusions

- Possibility to perform precise time measurements with FAZIA thanks to the ADC clock distribution
 - common clock doesn't guarantee a perfect synchronization
 - observed time differences between channels up to 1–2 ns
- Infrared LED pulses used to synchronize Si1 channels
 - very accurate method (error on the delay correction ~ 10 ps)
 - trace possible variations of the channel delay during the run

Summary and conclusions

- Possibility to perform precise time measurements with FAZIA thanks to the ADC clock distribution
 - common clock doesn't guarantee a perfect synchronization
 - observed time differences between channels up to 1–2 ns
- Infrared LED pulses used to synchronize Si1 channels
 - very accurate method (error on the delay correction ~ 10 ps)
 - trace possible variations of the channel delay during the run
- $E - tof$ correlation may significantly reduce the energy threshold for mass discrimination in FAZIA
 - even without any correction is possible to discriminate $Z = 1$ isotopes down to 2 MeV
 - expected precision on time measurements: ~ 500 ps after delay corrections

Summary and conclusions

- Possibility to perform precise time measurements with FAZIA thanks to the ADC clock distribution
 - common clock doesn't guarantee a perfect synchronization
 - observed time differences between channels up to 1–2 ns
- Infrared LED pulses used to synchronize Si1 channels
 - very accurate method (error on the delay correction ~ 10 ps)
 - trace possible variations of the channel delay during the run
- $E - \text{tof}$ correlation may significantly reduce the energy threshold for mass discrimination in FAZIA
 - even without any correction is possible to discriminate $Z = 1$ isotopes down to 2 MeV
 - expected precision on time measurements: ~ 500 ps after delay corrections
- LED pulses tested during FAZIAPRE experiment
 - we need particle identification and calibration to produce $E - \text{ToF}$ correlations (probably ready in September)
 - Stay tuned for EuNPC conference in Bologna!

FAZIA collaboration

Publications

- S. Barlini *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 600 (644–650), 2009
- L. Bardelli *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 654 (272), 2011
- S. Carboni *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 664 (251), 2012
- N. Le Neindre *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 701 (145), 2013
- S. Barlini *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 707 (89), 2013
- S. Barlini *et al*, Phys. Rev. C 87 (054607), 2013
- S. Piantelli *et al*, Phys. Rev. C 88 (064607), 2013
- R. Bougault *et al*, Eur. Phys. Jour. A 50 (47), 2014
- G. Pasquali *et al*, Eur. Phys. Jour. A 50 (86), 2014
- A. J. Kordyasz *et al*, Eur. Phys. Jour. A 51 (15), 2015
- F. Salomon *et al*, J. Instrum. 11 (C01064), 2016
- D. Gruyer *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 847 (142), 2017
- G. Pastore *et al*, Nucl. Instr. and Meth. A 860 (42), 2017