

Rivelatori per ioni pesanti ad energie attorno l'energia di Fermi (il caso del rivelatore CHIMERA)

Sistema di rivelazione 4π

I rivelatori

Sistema di trigger/readout

Problemi di background e pulizia dei dati

Variabili globali

Cos'è un sistema di rivelazione 4π

Nelle reazioni nucleari indotte da fasci si possono produrre una grande varietà di particelle

Esperimenti pilota vengono generalmente condotti con pochi rivelatori mobili o posti ad angoli “strategici”

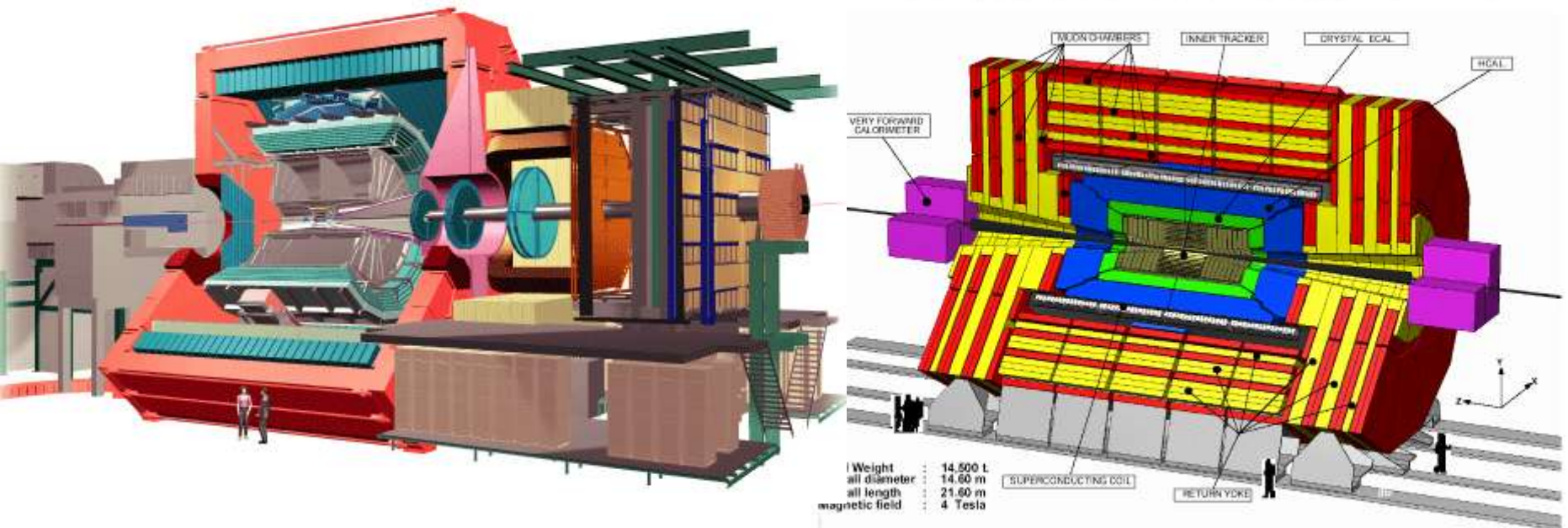
Quando si va alla ricerca di eventi rari o molto complessi diventa indispensabile coprire tutto l'angolo solido per non perdere particelle e per caratterizzare tutto l'evento

Cos'è un sistema di rivelazione 4π

I primi rivelatori globali sono stati sviluppati per le misure di fisica delle particelle

Esempi moderni in cui sono implicati ricercatori del Dipartimento sono Alice e CMS

A Compact Solenoidal Detector for LHC



Cos'è un sistema di rivelazione 4π

Anche la fisica nucleare propriamente detta ha oggi bisogno di rivelatori 4π necessari per caratterizzare bene l'evento (reazioni di multi-frammentazione ad energie intermedie) o per raccogliere il maggior numero possibile di dati con fasci radioattivi

Al Dipartimento siamo esperti costruttori di tali rivelatori Medea 4π di Baf2, CHIMERA 4π per particelle cariche



Fig. 3

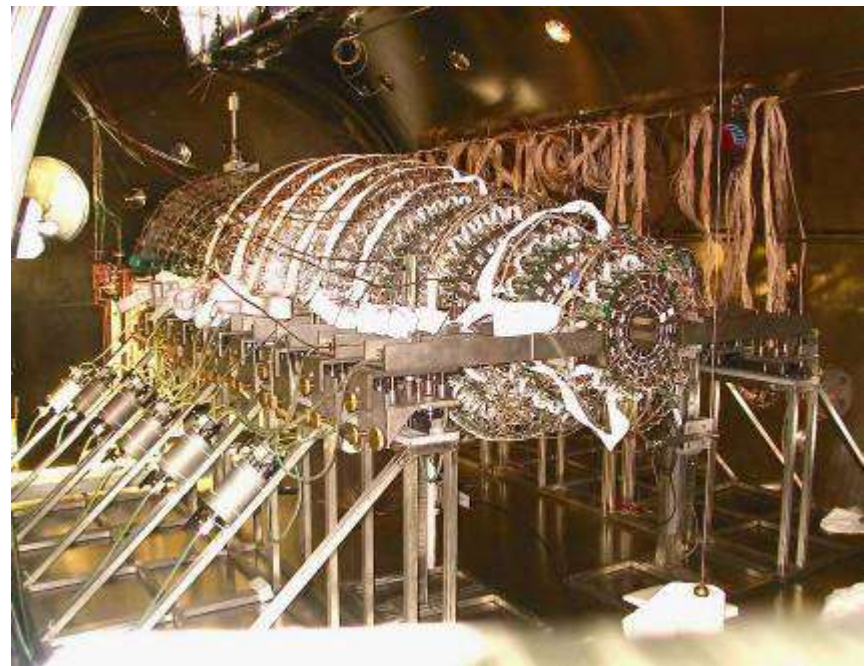
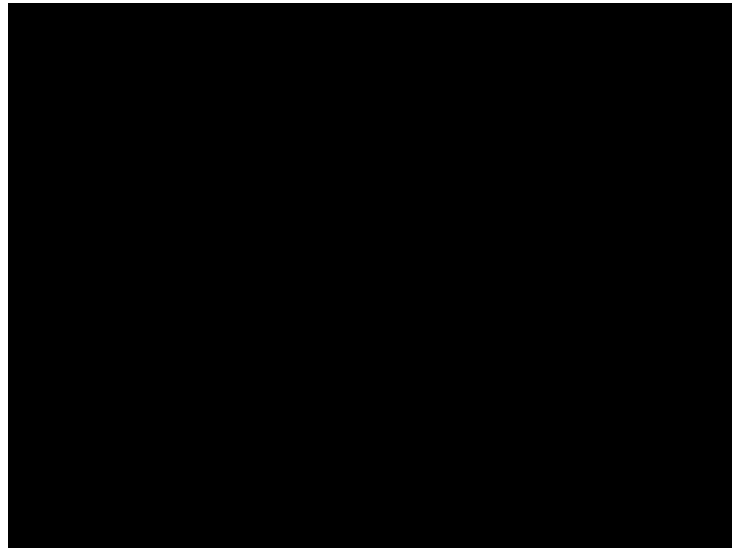


Fig. 1

Cosa vogliamo rivelare?

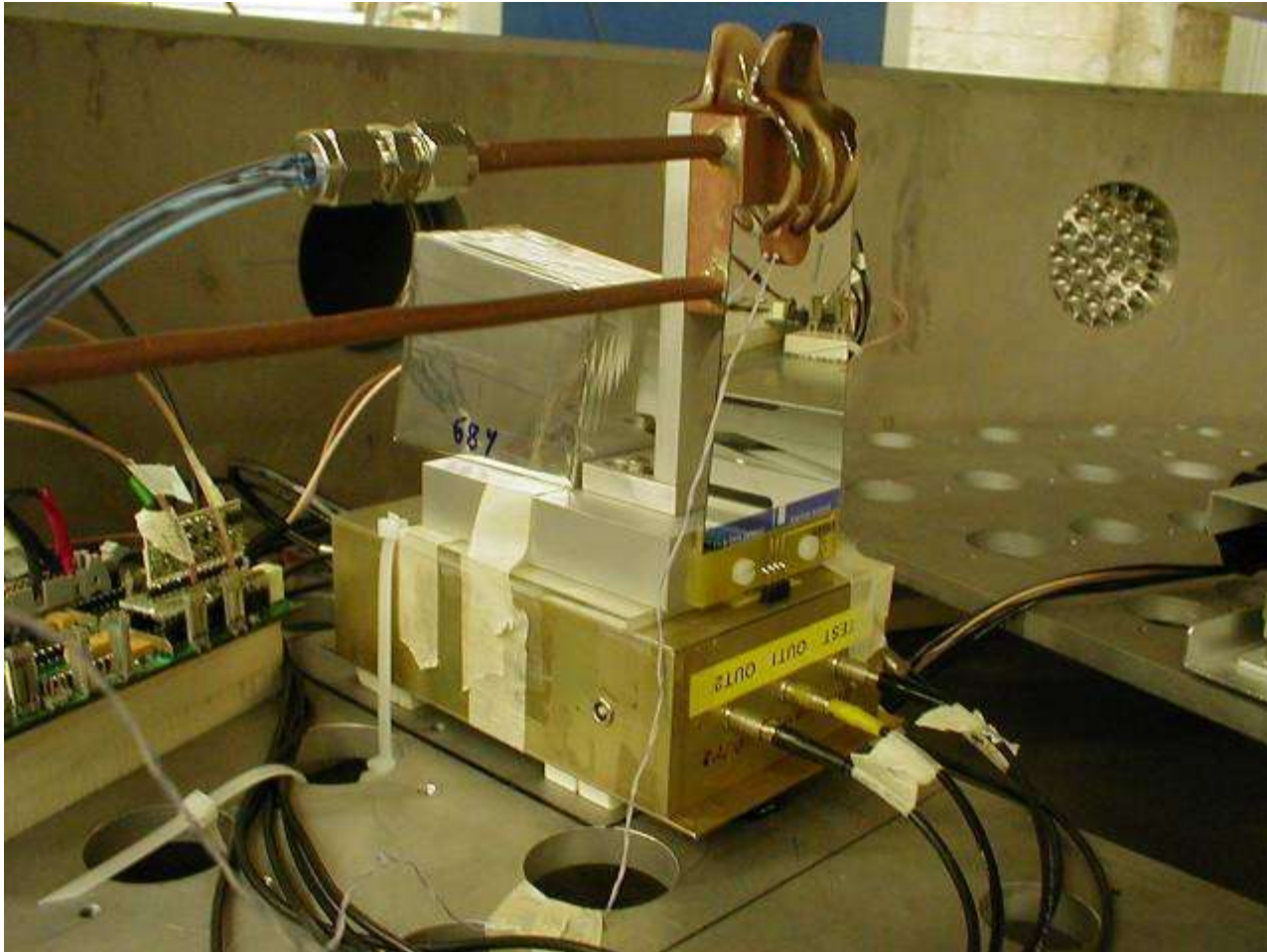
Studio del processo fisico da investigare:



Uno dei processi più interessanti ad energie intermedie è la multiframmentazione – è un processo in cui vengono emesse molte particelle e quindi occorre un rivelatore capace di rivelarle e di identificarle tutte

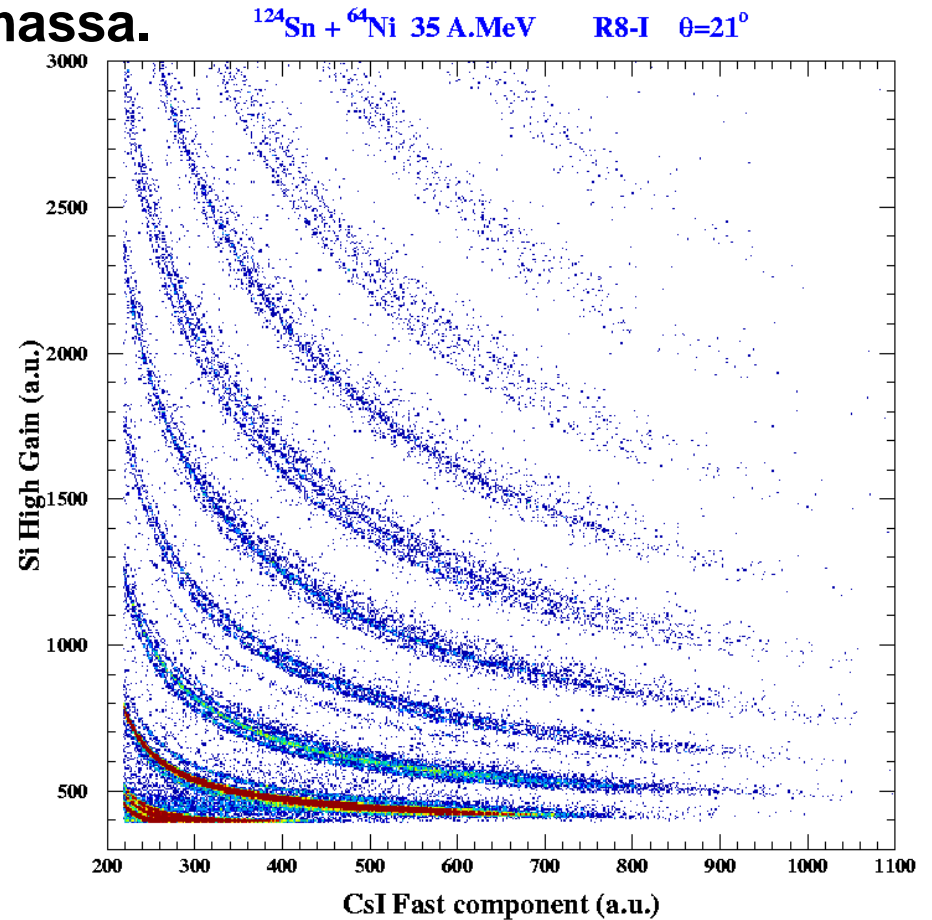
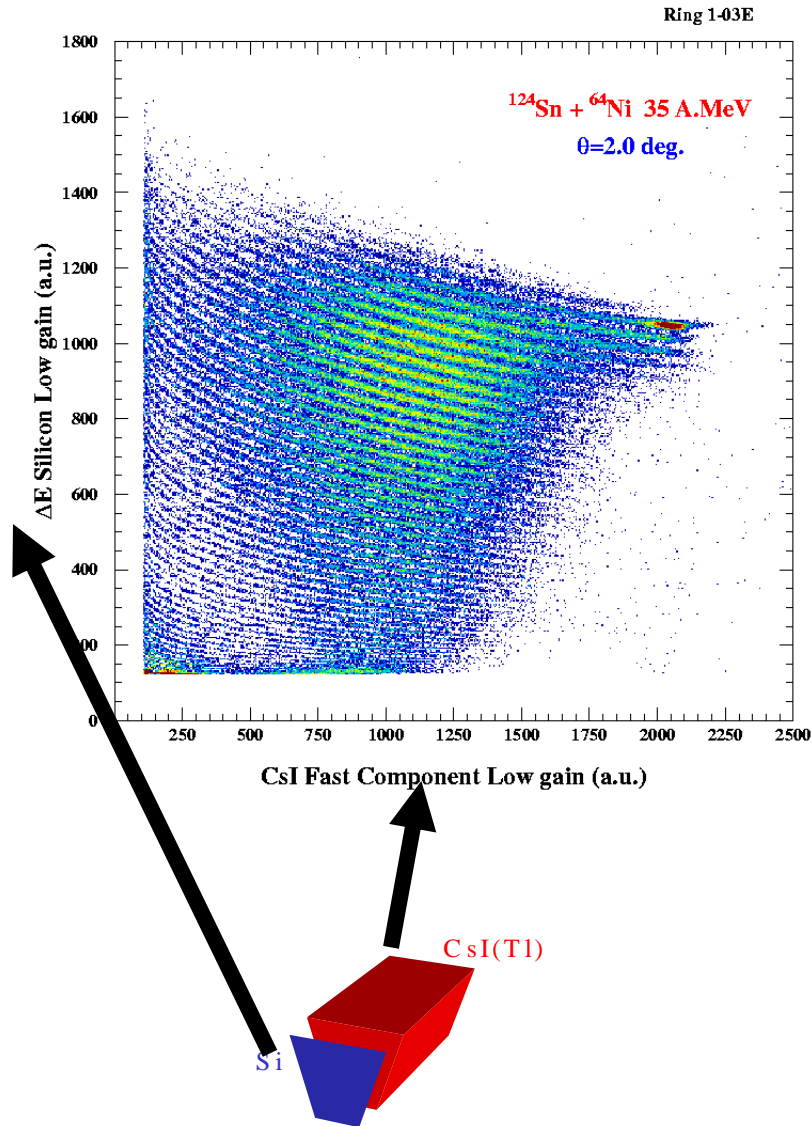
I rivelatori

Chimera è fatto da 1192 telescopi Si-Cs



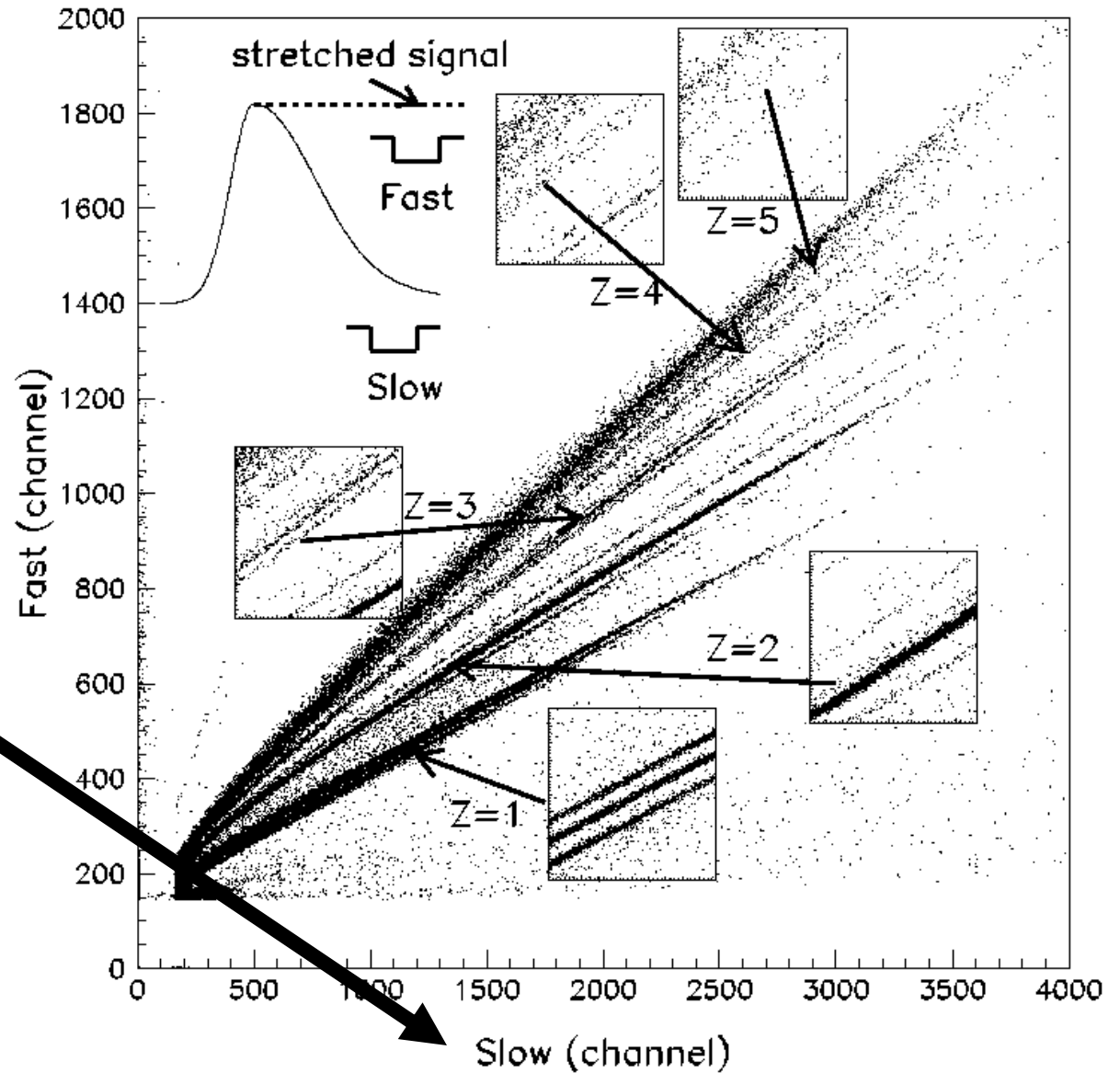
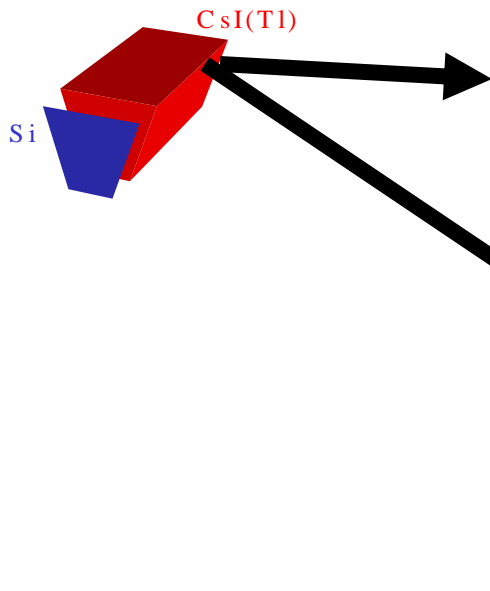
I rivelatori

Con la tecnica della misura della perdita di energia otteniamo l'identificazione in carica delle particelle, ma anche, per piccoli z, della massa.

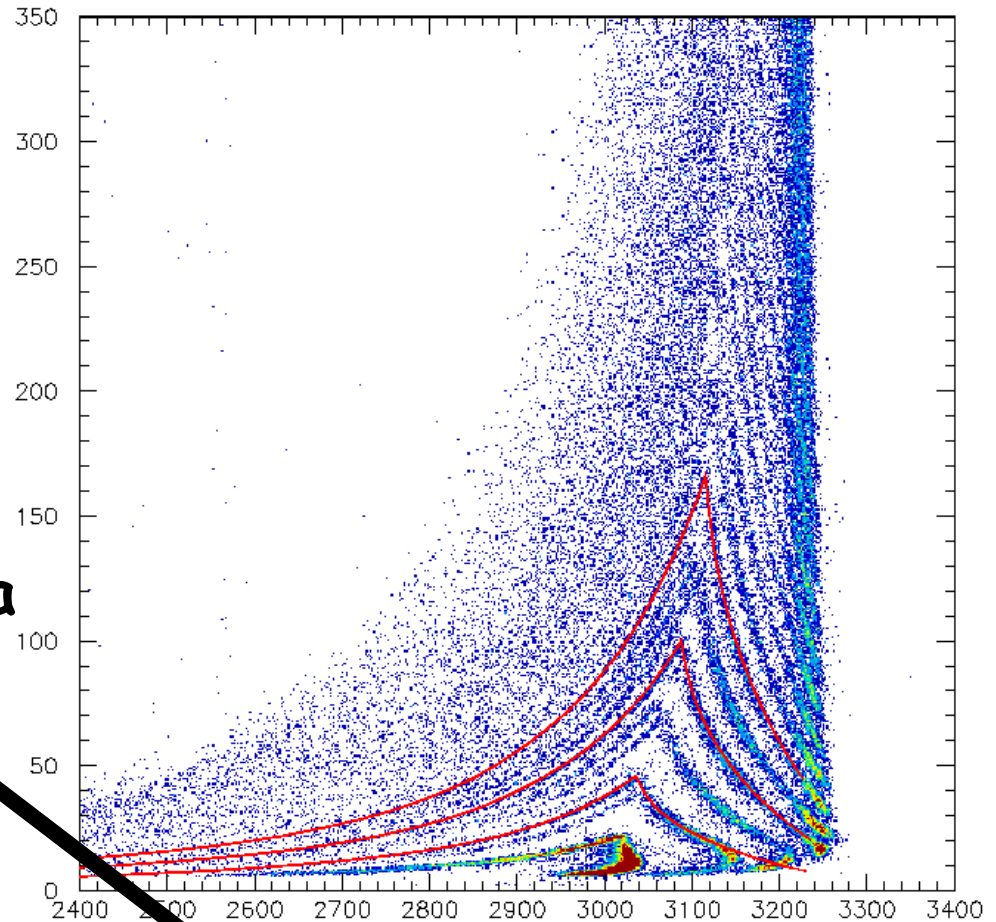
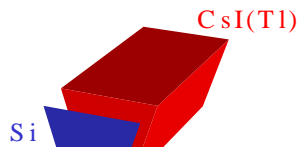


I rivelatori

Le particelle più leggere e prenebranti sono identificate tramite l'analisi in forma del segnale del CsI(Tl)



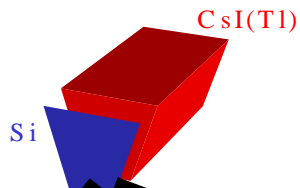
I rivelatori



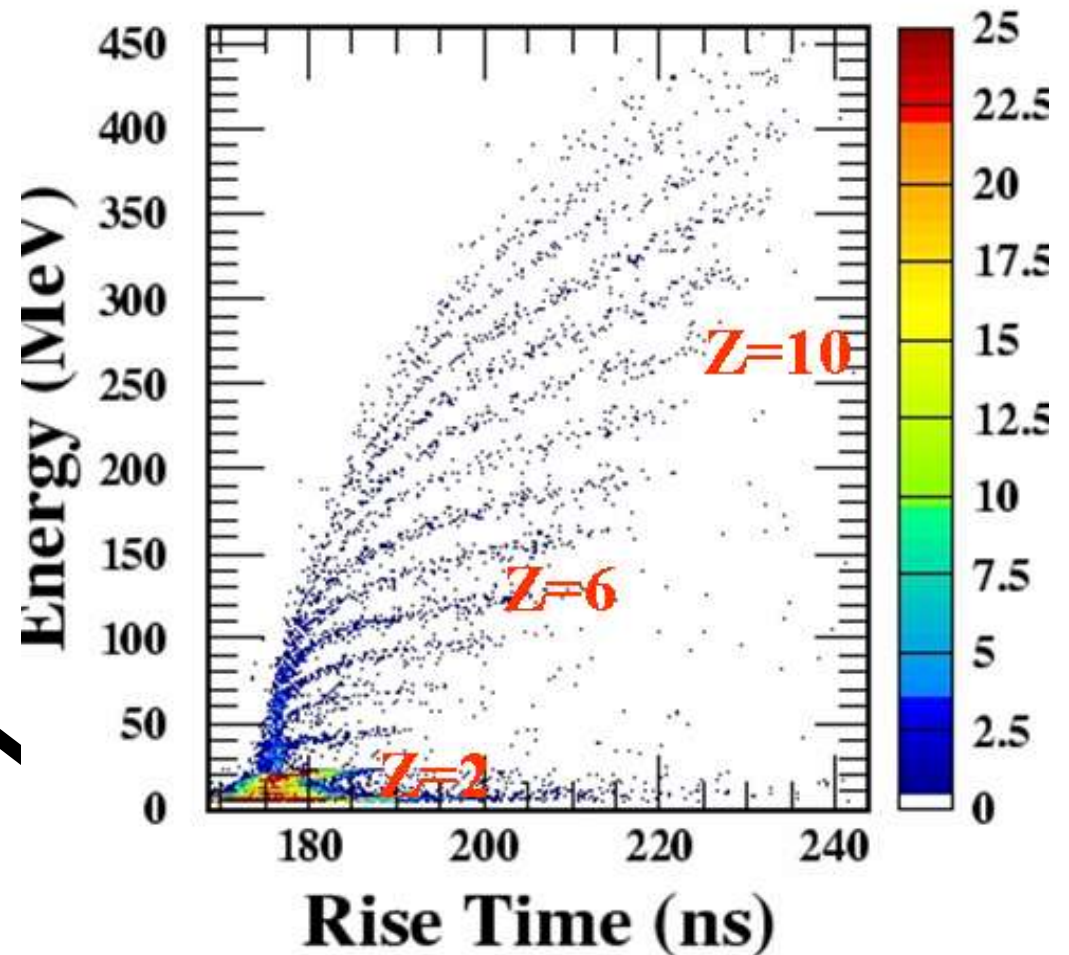
Le particelle che si arrestano nel silicio sono identificate in massa tramite la misura del loro tempo di volo

tempo

I rivelatori



Le particelle che si arrestano nel silicio sono identificate in carica tramite la misura del tempo di salita del segnale



Necessità del readout 4π

Cosa serve per gestire la massa di informazioni che vengono da un rivelatore 4π ?

1- Decidere quali eventi acquisire discriminando gli eventi di interesse tra tutti quelli osservati (sistema di trigger)

Sistema di trigger

Andando alla ricerca di eventi sempre più rari dobbiamo combattere con una massa di eventi più probabili che rischiano di coprire l'evento cercato

Un sistema di trigger permette di fare una selezione degli eventi voluti

Negli apparati evoluti generalmente si preparano sistemi di trigger che operano su vari livelli

Il primo livello deve essere molto veloce(100ns-1 μ s), basato su analisi rapide generalmente dei segnali dei discriminatori e serve per abilitare la conversione dei segnali generati nei rivelatori dalle particelle rivelate

Sistema di trigger

Trigger primo livello

Analizza le uscite dei discriminatori secondo pattern predefiniti
Permette la conversione dei segnali
Tempi caratteristici 100 ns-1 μ s

Trigger secondo livello

Analizza i segnali convertiti costruisce variabili globali per selezionare eventi validi da trasferire al livello superiore
Tempi caratteristici 100 μ s

Trigger n-livello

Analizza le variabili globali costruite
E decide se salvare su nastro-disco i dati

Sistema di trigger (primo livello)

Nel caso di pochi rivelatori in genere si usa l'or tra questi rivelatori, per un rivelatore 4π il semplice or genererebbe un numero di trigger molto alto che renderebbe inaccettabile il tempo morto del sistema

Ad esempio se ho un fascio di ^{120}Sn da 30 MeV/A di 1.6 nA ed un bersaglio di Au da $200\mu\text{g}/\text{cm}^2$ - a 1° la sezione d'urto per scattering Coulombiano è di quasi $4 \times 10^5 \text{b}/\text{sr}$ - Chimera ha a 1° rivelatori da $2 \times 10^{-4} \text{sr}$ (rivelatori da $5 \times 5 \text{cm}^2$ a 350cm dal bersaglio) il tasso di conteggio atteso è quindi:

$$N_i = 1.6 \times 10^{-9} / 25 \times 1.6 \times 10^{-19} = 4 \times 10^8 \text{ p/s}$$

$$N_t = (200 \times 10^{-6} / 197) \times 6 \times 10^{23} = 6 \times 10^{17} \text{ p/cm}^2$$

$$N = N_i \times N_t \times \sigma \times \Delta\Omega = 4 \times 10^8 \times 6 \times 10^{17} \times 4 \times 10^{-19} \times 2 \times 10^{-4} = 20 \text{ khz}$$

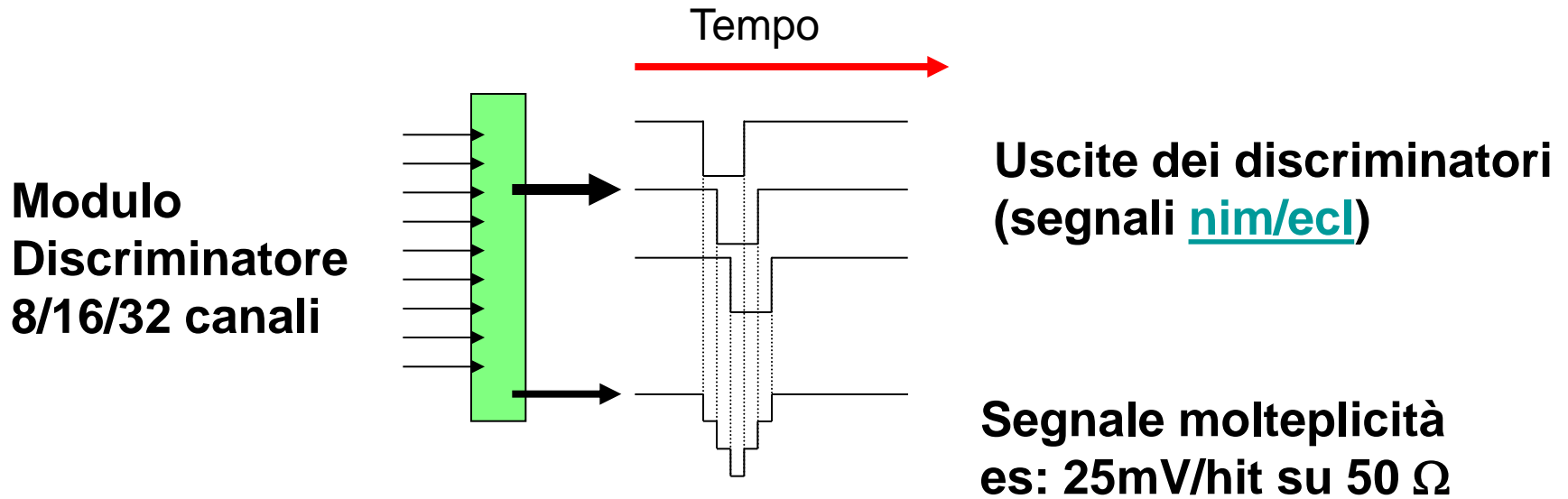
Abbiamo 16 rivelatori a 1° e facendo l'or di questi abbiamo 300khz di tasso di conteggio solo per studiare Rutherford

Sistema di trigger (primo livello)

Occorre utilizzare le informazioni fisiche in nostro possesso sugli eventi che vogliamo acquisire per costruire un trigger appropriato

Spesso si utilizza la molteplicità di particelle. Questa viene costruita con semplici moduli di elettronica (i moderni moduli discriminatori la costruiscono automaticamente e sono in grado anche di essere messi in catena per costruire una molteplicità globale)

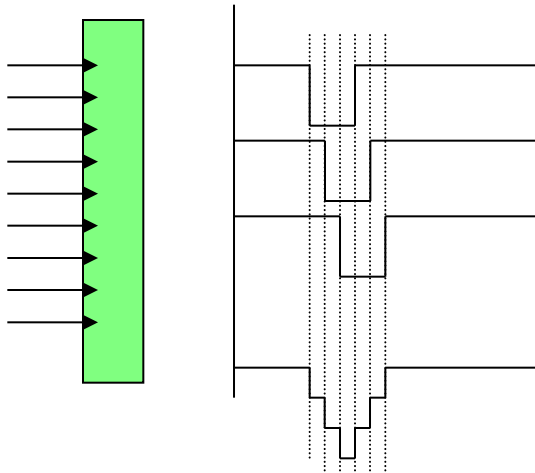
Sistema di trigger di primo livello (molteplicità)



Posso mandare questo segnale ad un discriminatore e impostando la soglia corretta ottenere il mio trigger di molteplicità. Molteplicità 2 soglia maggiore di 50 mV. In un rivelatore di Multiframmentazione come CHIMERA questo segnale è il segnale master di acquisizione

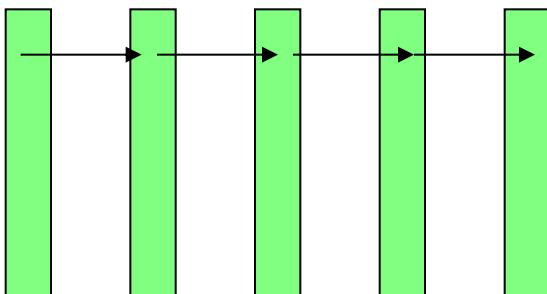
Devo avere almeno 3 frammenti emessi per acquisire l'evento mentre devo rigettare eventi con 2 soli frammenti (scattering elastico in cui rivelo proiettile e bersaglio che non si sono frammentati)

Sistema di trigger di primo livello (molteplicità avanzata)



Notiamo che il segnale di molteplicità viene costruito correttamente solo se le particelle arrivano in coincidenza entro il tempo dato dalla larghezza delle uscite dei discriminatori

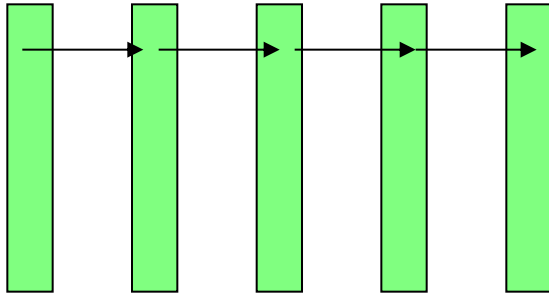
Occorre ovviamente ricordarsi pure dei tempi di transito dei segnali



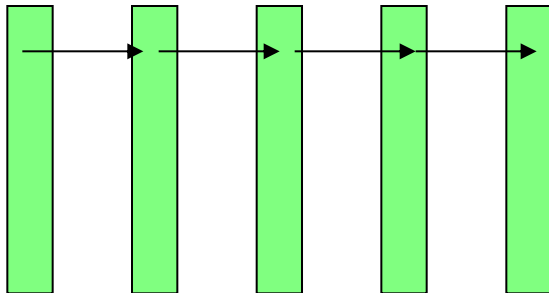
Per mandare il segnale dal primo all'ultimo dei discriminatori ci metto del tempo (ritardo circa $1\text{ ns}/20\text{ cm}$)

Se dobbiamo collegare 80 moduli il ritardo può diventare più di 100 ns

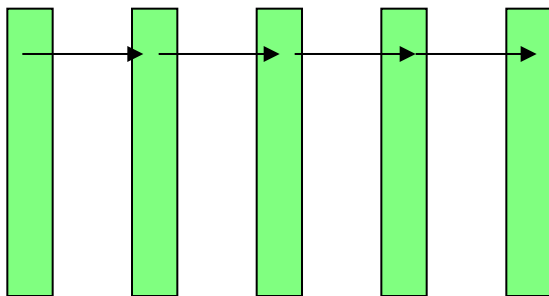
Sistema di trigger di primo livello (molteplicità avanzata)



Conviene costruire più catene anche per diminuire il rumore e rendere più semplice la ricerca dei guasti

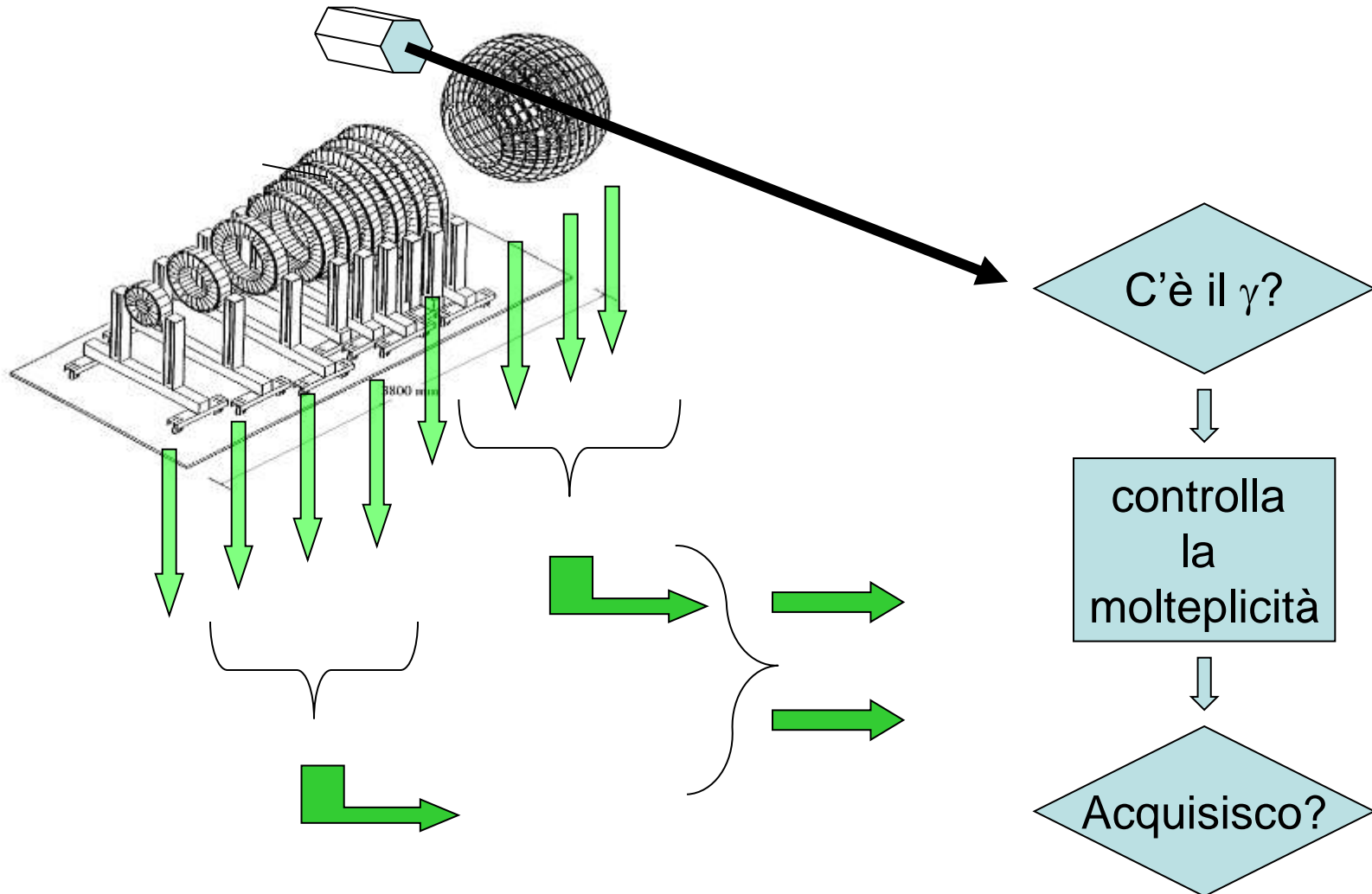


Se le catene corrispondono a pezzi del rivelatore si può sfruttare il tutto per ottenere pure l'informazione sulla molteplicità di particelle in funzione dell'angolo di rivelazione



Ovviamente per esperimenti particolari in cui accoppiamo il rivelatore 4π con altri rivelatori occorre mettere nella giusta priorità l'informazione raccolta da tali rivelatori "master"

Sistema di trigger di primo livello (molteplicità avanzata + rivelatore aggiuntivo)



Sistema di trigger di livello superiore

Il sistema di trigger di primo livello autorizza la conversione degli eventi che può durare da 10 a 100 μ s secondo il tipo di convertitore scelto.

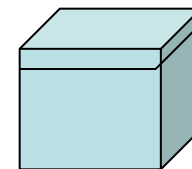
Dopo la conversione il dato va letto/trasferito e conservato per l'analisi

Conservare troppi dati può costare troppo sia in termini di tempo che di "spazio" (spazio disco, spazio fisico per immagazzinare i nastri, lavoro per rileggerli) se si può evitare di scrivere dati non interessanti è molto meglio.

Cerca l'ago nel pagliaio?

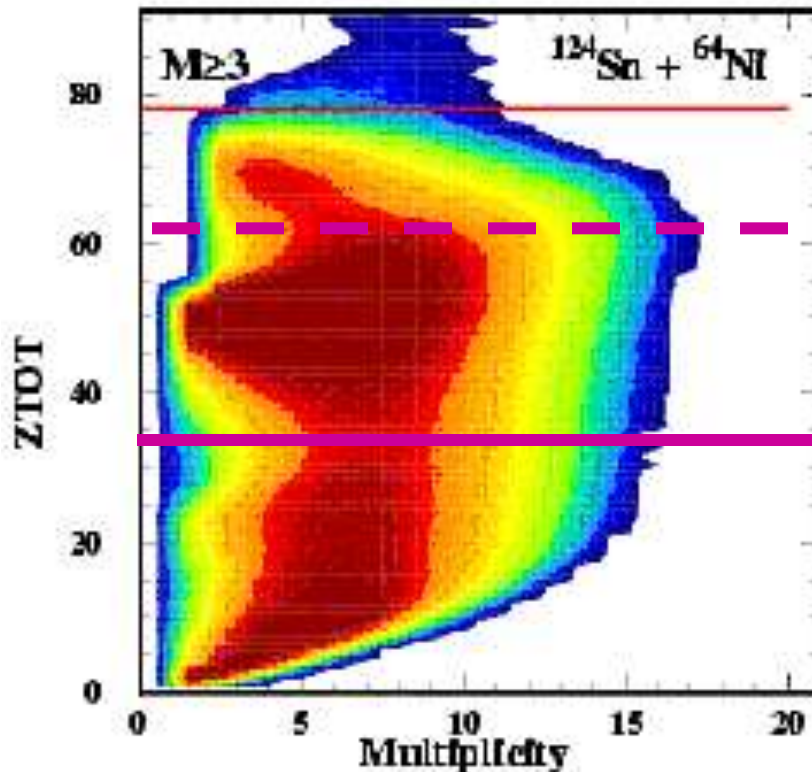


Meglio cercarlo nello scatolino



Sistema di trigger di livello superiore

Un trigger di livello superiore analizza i dati convertiti e sfrutta le informazioni fisiche contenute nei dati per effettuare una accettazione o rejezione dell'evento. Ad esempio se la carica totale raccolta in un evento è minore della carica di proiettile e bersaglio l'evento non è completo, non potrò analizzarlo, meglio buttarlo e non perdere tempo a scriverlo su banda



Rivelato solo proiettile
Eliminabile secondo la
fisica cercata

Eventi eliminabili

Sistema di trigger di livello superiore

Nei sistemi di rivelazione preparati per LHC ed in generale per gli esperimenti di alta energia esistono vari livelli di trigger superiore che si basano sulle risposte attese dai vari rivelatori

Si ricercano prima eventi validi nei singoli pezzi di rivelatore dedicati a varie tipologie di particelle (rivelatori che identificano muoni, particelle strane, elettroni)

**Un livello superiore poi mette insieme le informazioni provenienti dai vari sottorivelatori per cercare l'evento composto da 4 mu, 5 elettroni 2 gamma Che potrebbe identificare ...l'higgone o il Rubbione o
L'LHCone**

Capite bene come i 10 anni spesi nel costruire un rivelatore di alta energia servano tutti a coloro che fanno simulazioni per preparare gli algoritmi su cui devono lavorare i livelli di trigger avanzati per evitare di buttare eventi da Nobel

Sistema di trigger di livello superiore

Come si costruisce un trigger di livello superiore?

Occorre utilizzare una grande potenza di calcolo in linea

DSP (digital signal processor) sono dei chip che effettuano computazione, sono privi di sistema operativo, vengono programmati in base alle esigenze,

Anche i circuiti elettronici oggi hanno una certa programmabilità possiamo usare le fpga per inserire condizioni variabili non siamo bloccati nelle scelte e possiamo aspettare che il gruppo dei “simulatori” produca gli algoritmi opportuni.

Per i livelli più sofisticati si possono usare anche Farm di CPU che oggi raggiungono livelli di velocità notevoli e semplificano il compito del programmatore per quanto riguarda interconnessione, scambio di dati programmazione parallela

Necessità del readout 4π

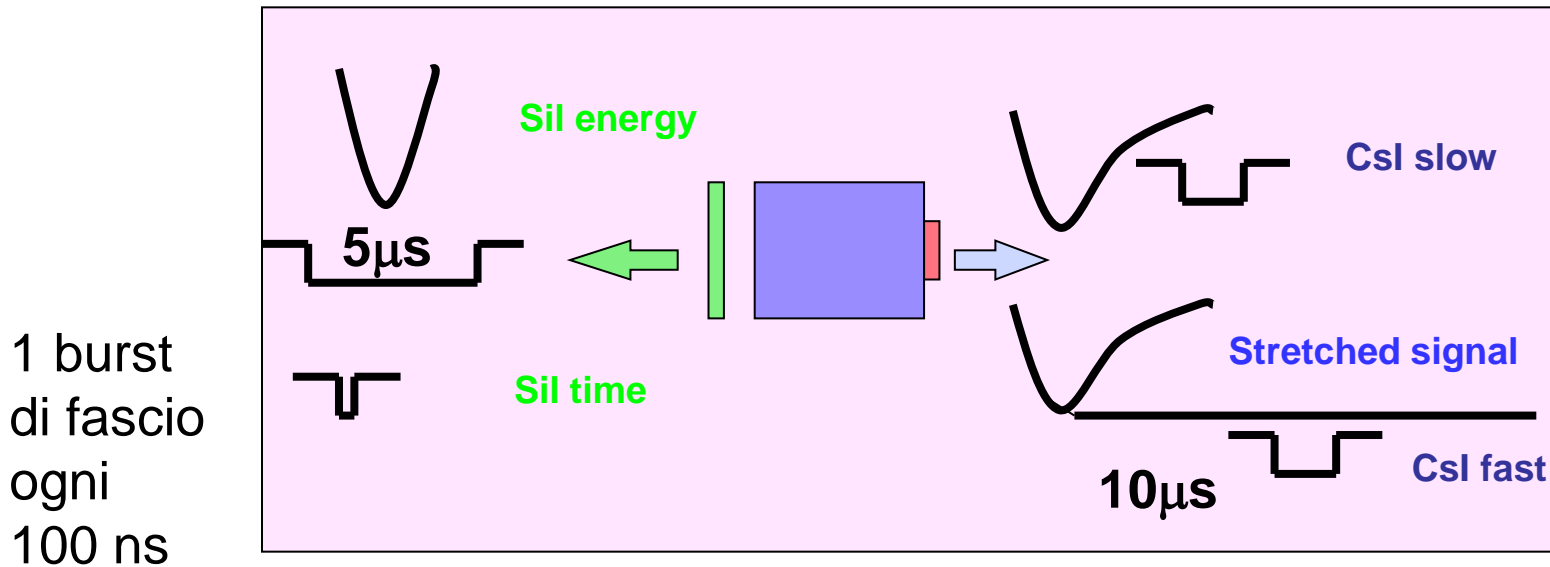
Cosa serve per gestire la massa di informazioni che vengono da un rivelatore 4π ?

1- Decidere quali eventi acquisire discriminando gli eventi di interesse tra tutti quelli osservati (sistema di trigger)

2- Marcare l'evento, il dato che stiamo leggendo a quale evento appartiene?

marcatura dell'evento

Un rivelatore 4π è costituito da centinaia - migliaia - milioni (alte energie) di rivelatori CHIMERA ha 1200 telescopi con 4 parametri ogni telescopio 4800 parametri convertiti. Occorre assicurarsi che il numero convertito sia relativo all'evento che il trigger ha autorizzato



In 5 μs arrivano almeno 50 pacchetti di particelle di fascio come identificare quella che ha fatto reazione e ha dato il trigger?

marcatura dell'evento

Occorre mettere un marcatore dell'evento (compito del sistema di digitalizzazione)



In Chimera il sistema è relativamente semplice, utilizziamo dei convertitori da 64 canali con gate di conversione comune (abbiamo un unico gate generato dal trigger per ogni tipo di segnale), i convertitori contano i gate ed associano all'evento convertito il contatore di gate

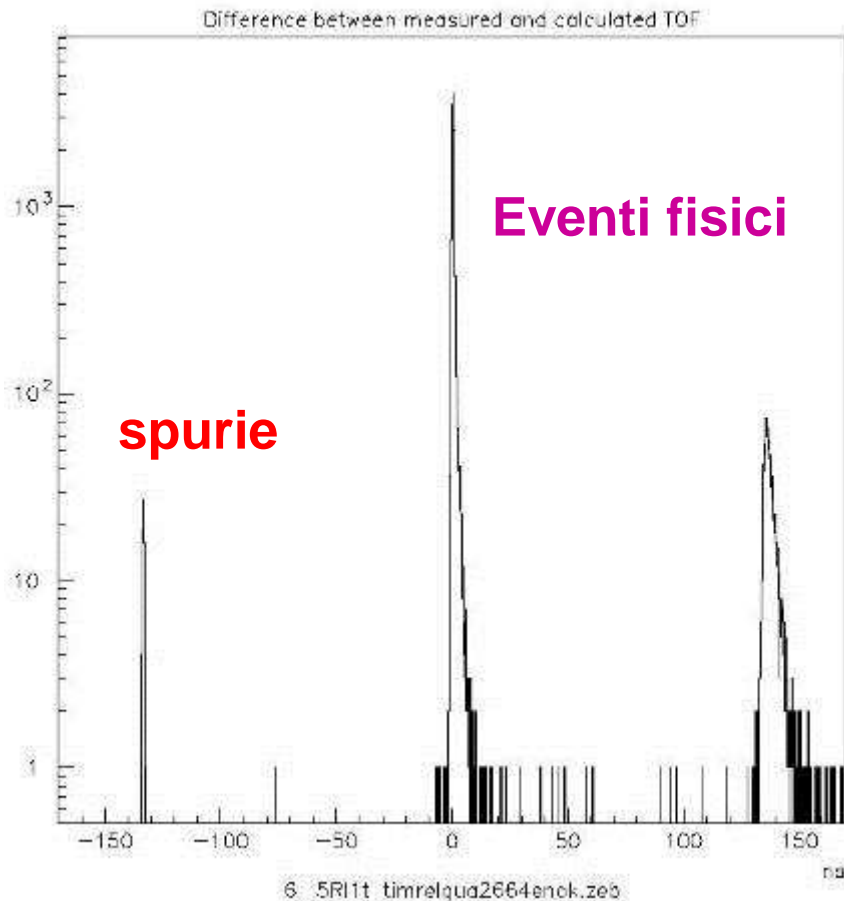
marcatura dell'evento

Solo particelle che abbiano lo stesso contatore fanno parte dello stesso evento.

Ovviamente occorrerà poi eliminare particelle generate da altre reazioni che hanno generato segnali mentre i gate di conversione erano ancora attivi, le coincidenze spurie, queste si eliminano con varie tecniche

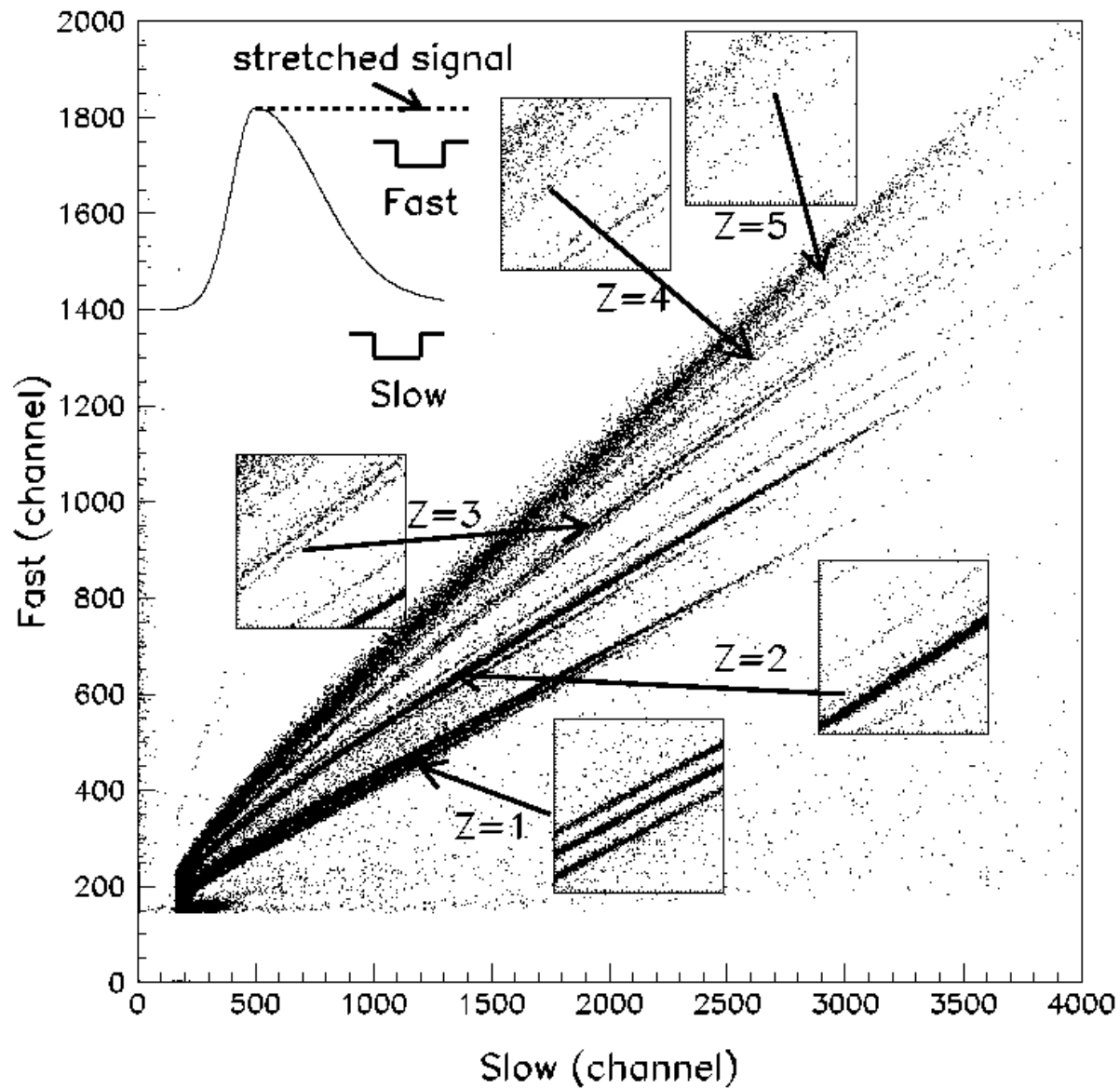
marcatura dell'evento

Ovviamente il tempo di coincidenza misurato ci dà informazioni sull'evento



In un tipico spettro tempo associato ad un rivelatore al silicio notiamo uno o due picchi di concentrazione degli eventi di coincidenza reale e picchi generalmente meno intensi di coincidenze spurie

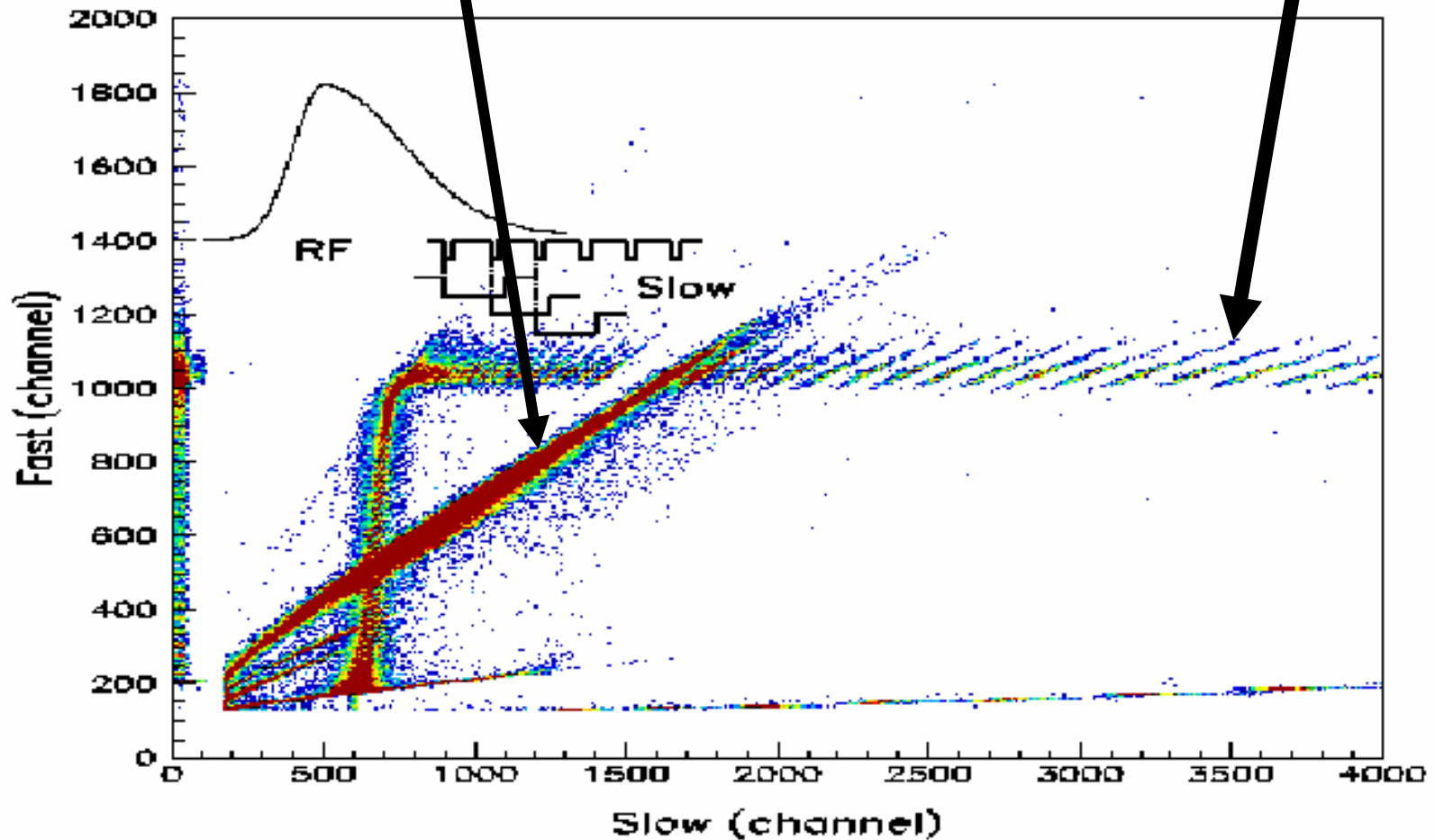
marcatura dell'evento



marcatura dell'evento

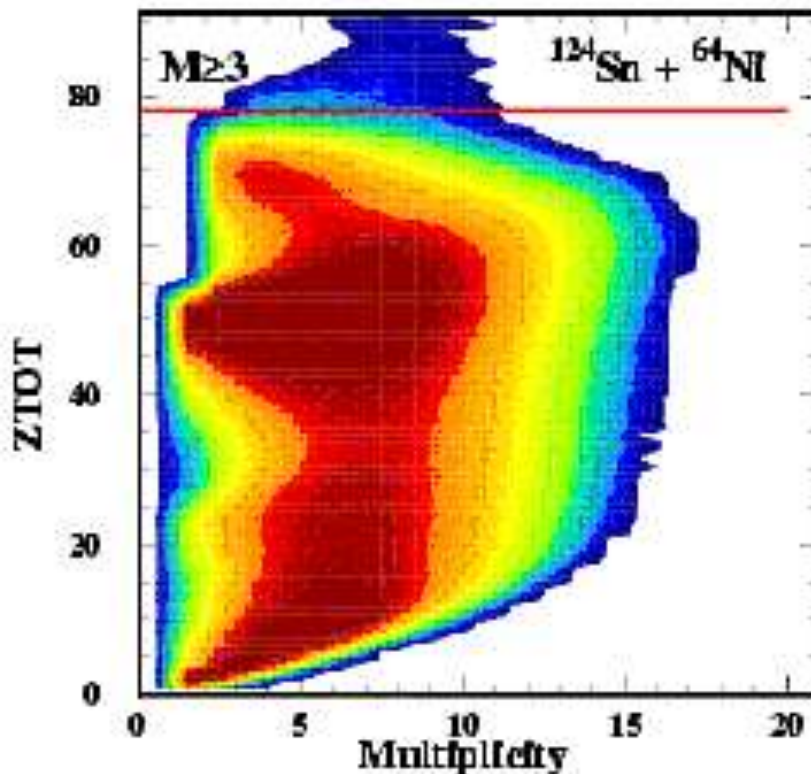
Eventi bene integrati

Eventi in coincidenza random non convertiti al tempo corretto



marcatura dell'evento

Risulta difficile discriminare eventi prodotti da 2 reazioni generate da particelle arrivate nello stesso burst di fascio occorre limitare l'intensità del fascio in maniera tale che la probabilità di un tale evento sia bassa (1 particella / burst circa 10^7 part/s)



Si può utilizzare l'informazione sulla carica totale raccolta o sull'impulso totale ma se si sono raccolti in maniera parziale 2 eventi anche questa informazione potrebbe essere falsata

marcatura dell'evento

Una ulteriore Marcatura dell'evento si ha quando scriviamo nell'evento il tipo di trigger che lo ha generato

Questa marcatura rende più semplice il lavoro successivo dell'analisi, si può realizzare semplicemente leggendo dei marker o dei pattern unit

Ad esempio in CHIMERA ogni decimo di secondo acquisiamo un segnale di impulsatore, utile per controlli di stabilità dell'elettronica. Per marcare questo tipo di eventi ed escluderli quindi dall'analisi degli eventi fisici usiamo un canale di TDC che si accende in presenza di eventi pulser. Stessa tecnica si può utilizzare per telescopi acquisiti in libera per fare da monitor o altro. Si può pure acquisire la configurazione di molteplicità del trigger usato

Necessità del readout 4π

Cosa serve per gestire la massa di informazioni che vengono da un rivelatore 4π ?

- 1- Decidere quali eventi acquisire discriminando gli eventi di interesse tra tutti quelli osservati (sistema di trigger)**
- 2- Marcare l'evento, il dato che stiamo leggendo a quale evento appartiene?**
- 3- Occorre leggere i dati convertiti - sistema di readout**

Sistema di readout

Il sistema di readout è essenzialmente costituito da una o più CPU che raccolgono i dati e da sistemi di trasferimento dei dati stessi dai crate/moduli di conversione o memorie alle CPU

I sistemi di acquisizione per fisica nucleare sono generalmente basati su convertitori posizionati in crate con vari standard (Camac – VME – FAsTbus – VXI) mentre per i sistemi di acquisizione per alte energie si va ormai su moduli custom integrati

Sono stati sviluppati nel tempo vari standard per la trasmissione dei dati dai crate dei convertitori alla CPU di readout solitamente posta su di un crate VME ma non sempre

La velocità oggi raggiunta dai normali collegamenti di rete li rende competitivi con tali sistemi di trasmissione dedicati

Sistema di readout



Il vecchio sistema di acquisizione di CHIMERA si basava su convertitori VME 64 ch ed utilizzava per la trasmissione dei dati dai crate alla CPU master dei moduli detti FDL con velocità di trasmissione 100 Mb/s che 10 anni fa al momento del progetto erano di punta ma oggi sono superati abbondantemente dalla velocità delle interfacce di rete Gb

Sistema di readout

Con il nuovo sistema abbiamo sostituito i moduli FDL con delle interfacce VME-PCI che permettono di collegare i crate VME con PC da rack linux dove girano i programmi di readout.

**Il sistema è modulare e può essere espanso. Abbiamo attualmente 3 PC che leggono ciascuno alcuni crate VME (in tutto 7) inviano poi i dati in rete ad un pc master (attualmente uno dei tre)
Il master ricostruisce l'evento e lo invia ai PC in sala acquisizione.**

I pc (linux) di analisi –online costruiscono spettri e matrici per il controllo dei dati acquisiti e scrivono i dati su dischi rimovibili USB-2 – la scrittura avviene in parallelo su più macchine in modo da avere delle copie automatiche dei dati – utile in caso di guasti per evitare perdite di dati.

Necessità del readout 4π

Cosa serve per gestire la massa di informazioni che vengono da un rivelatore 4π ?

- 1- Decidere quali eventi acquisire discriminando gli eventi di interesse tra tutti quelli osservati (sistema di trigger)**
- 2- Marcare l'evento, il dato che stiamo leggendo a quale evento appartiene?**
- 3- Occorre leggere i dati convertiti - sistema di readout**
- 4- Ottimizzazione del tempo morto**

Ottimizzazione del tempo morto

Abbiamo già accennato ai tempi tipici con cui abbiamo a che fare nelle misure di fisica nucleare

Ogni 100 ns mediamente arriva un burst di particelle che può generare reazioni, accettato l'evento il sistema di trigger genera le finestre di conversione per i QDC/TDC, Per Chimera occorrono circa 10-15 μs per generare questi gate correttamente

I nostri QDC hanno un tempo di conversione fisso di circa 100 μs

L'attuale readout legge gli eventi convertiti a circa 250 $\mu\text{s}/\text{ev}$

Sommando tutti i tempi morti arriveremmo a quasi 500 $\mu\text{s}/\text{ev}$ che porterebbe ad un tempo morto medio del 50% a 1kHz

Ottimizzazione del tempo morto

Con $500 \mu\text{s/ev}$ possiamo acquisire al massimo 2 KHz

Gli eventi arrivano in sequenza random ad un rate del 100% del massimo rate teorico il tempo morto è del 50% secondo la formula:

$$N/M = 1 / (1 + M/M_{\max})$$

Dove N sono gli eventi acquisiti, M il tasso di conteggi in input M_{\max} il tasso di conteggi massimo (nel nostro caso 2kHz) se $M/M_{\max} = 1$ $N = 0.5M$

Per migliorare le performances dell'acquisizione si possono ovviamente migliorare le velocità dei vari processi, ma la soluzione vera è renderli paralleli in modo da non sommarne i tempi di esecuzione

Ottimizzazione del tempo morto

Piccola digressione:

Da dove viene la formula del tempo morto che abbiamo scritto?



Se acquisisco N eventi/s l'acquisizione sarà stata bloccata per un tempo $N \cdot T$ con T tempo morto per evento

Quanti eventi sono arrivati durante questo tempo?

Se la frequenza di arrivo è M mediamente arriva un evento ogni $1/M$ s

Mediamente ho perduto allora $N \cdot T / (1/M)$ eventi (tempo morto totale)/frequenza di arrivo degli eventi

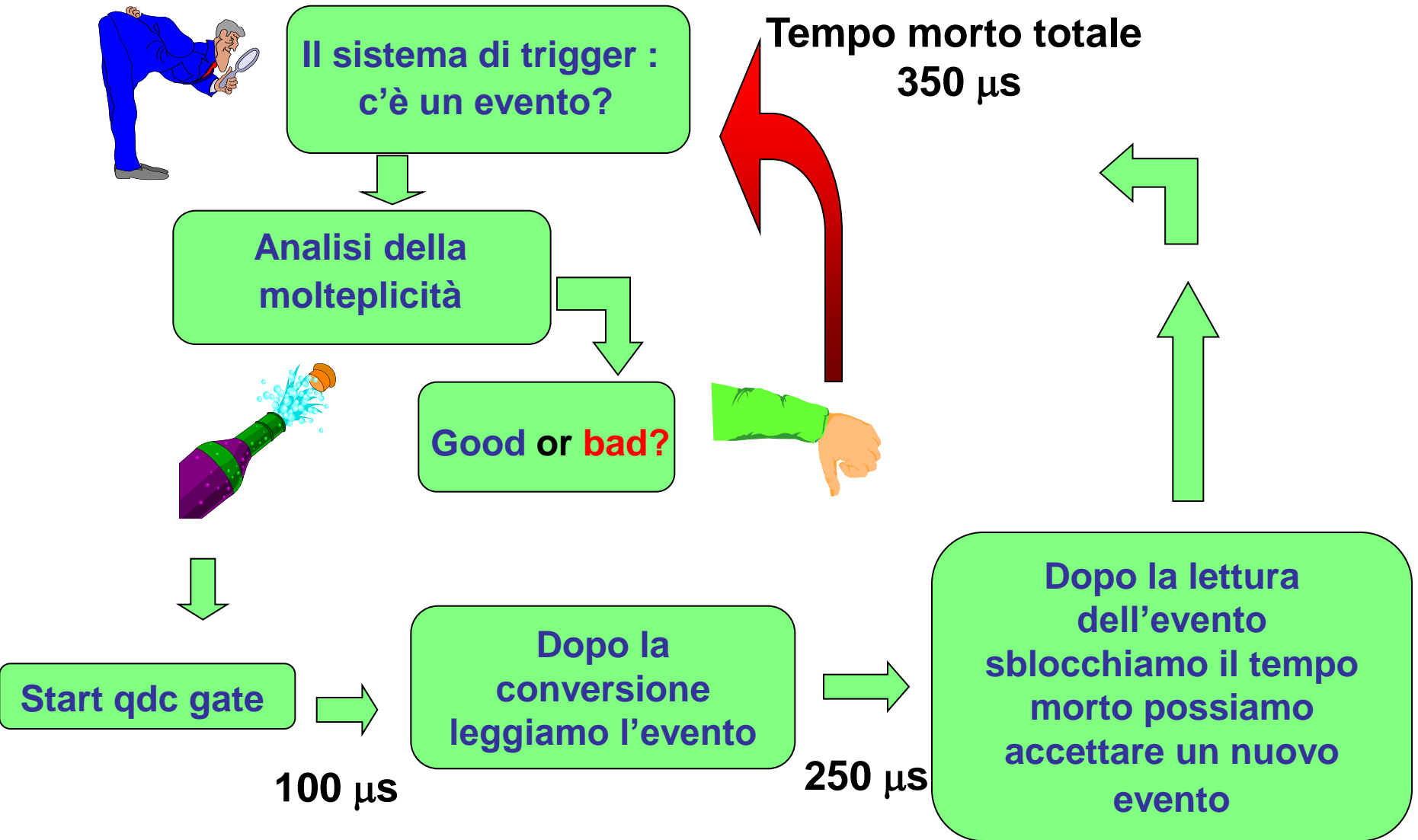
Gli eventi arrivati saranno dati dalla somma degli eventi acquisiti e di quelli persi $M = N + NMT \rightarrow N = M \cdot (1 - NT) \rightarrow M = N / (1 - NT)$ per sapere il rate vero da quello acquisito

Oppure per sapere quanto rate avremo rispetto al rate in ingresso:

$$N = M / (1 + MT) \rightarrow N/M = 1 / (1 + M/M_{\max})$$

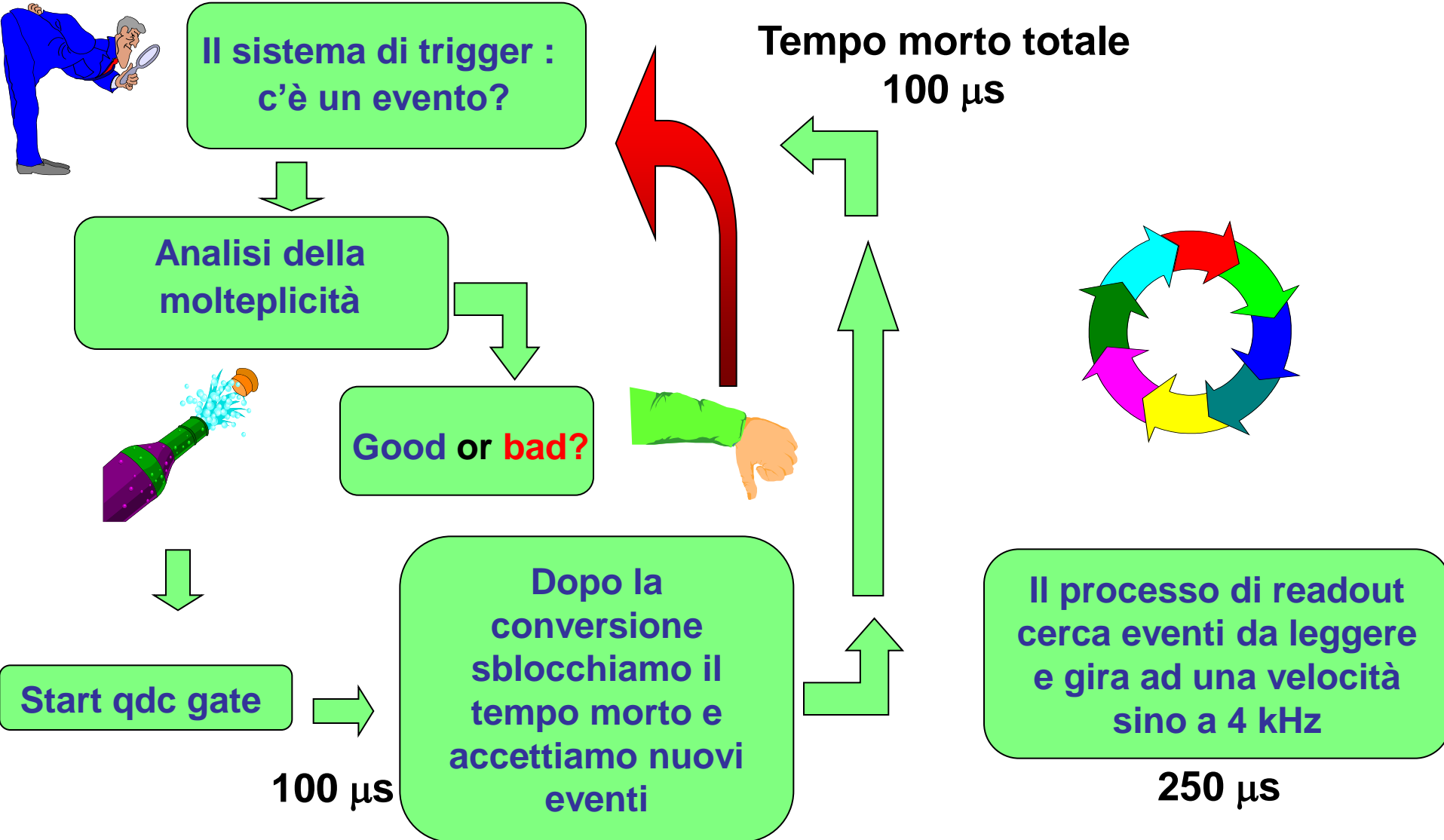
Ottimizzazione del tempo morto

Conversione e readout sequenziali

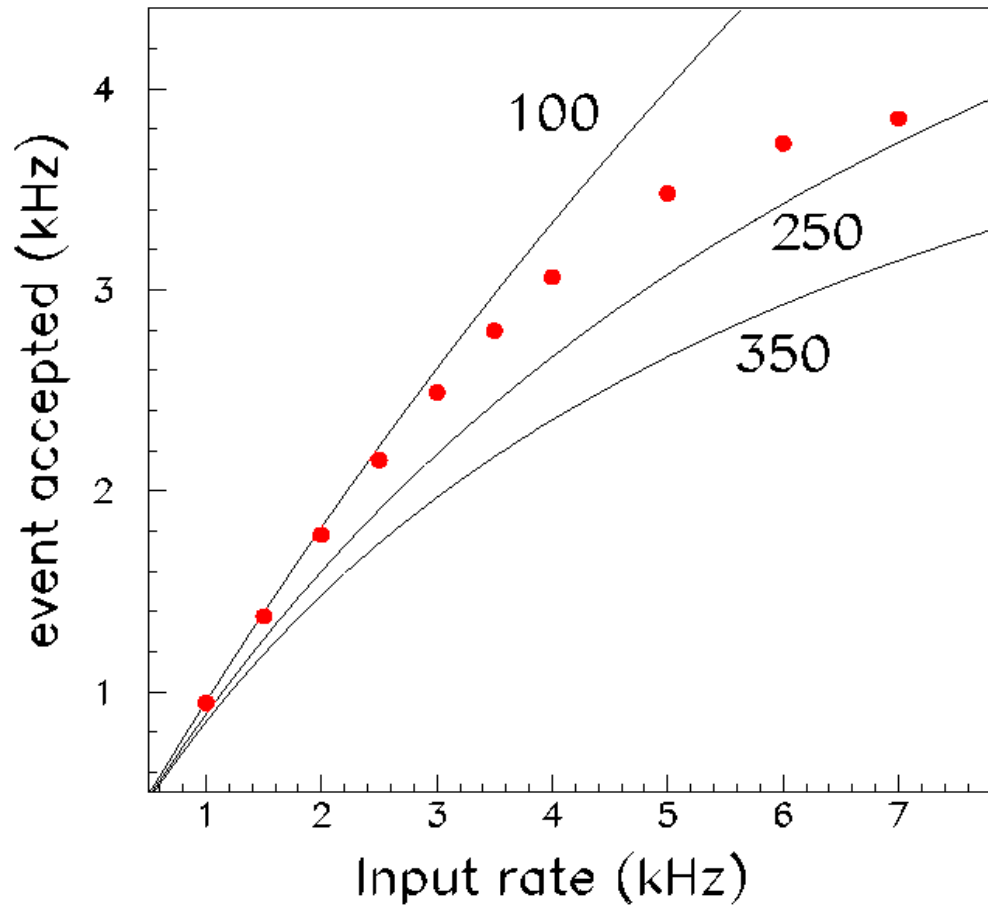


Ottimizzazione del tempo morto

Conversione e readout paralleli



Ottimizzazione del tempo morto



Il tempo morto segue la curva dei 100 μ s fino a 1-2 kHz poi si curva per saturare verso i 4 kHz che è il massimo rate sopportabile dal sistema di readout

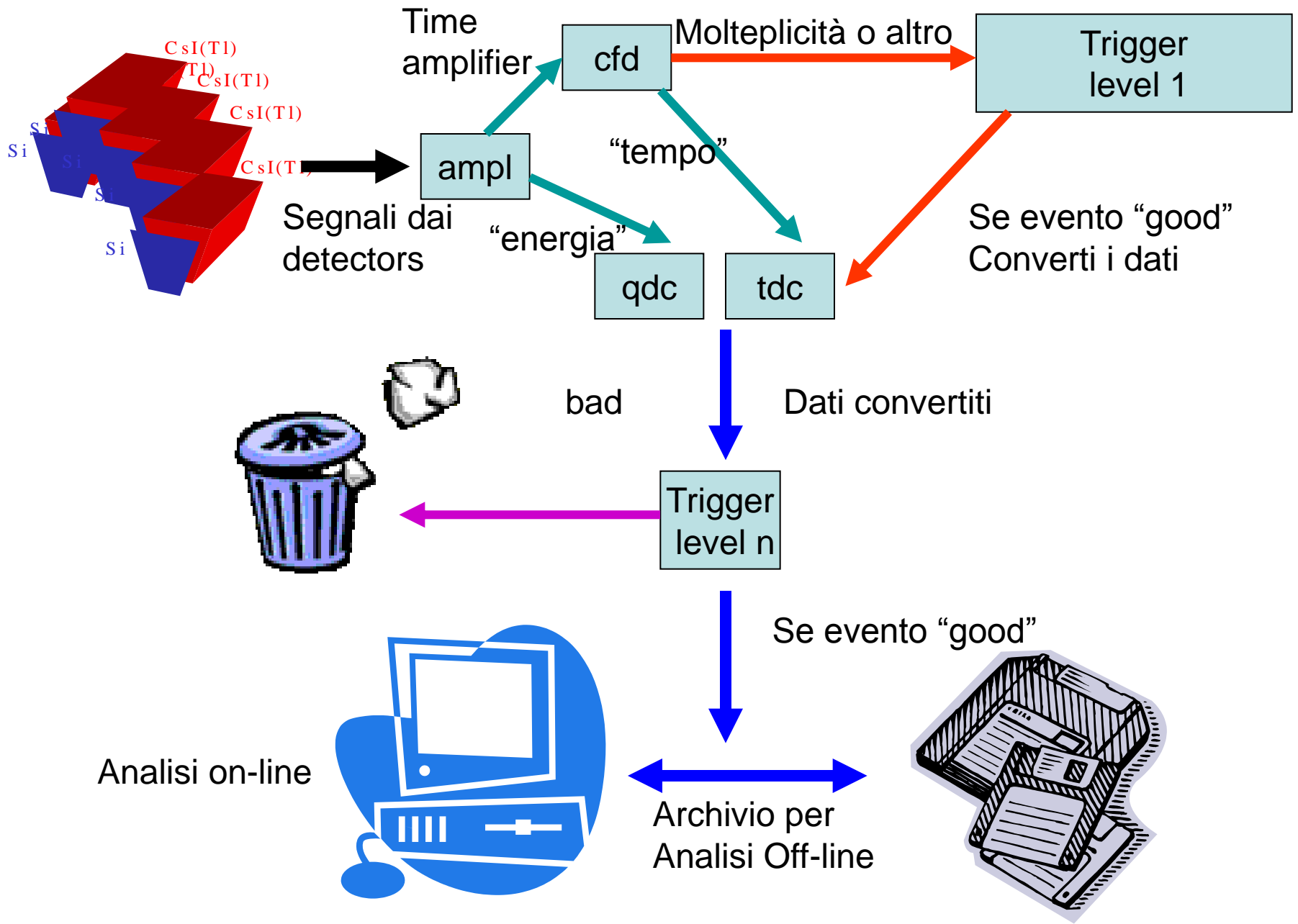
Ottimizzazione del tempo morto

La parallelizzazione della conversione e del readout si è realizzata in CHIMERA sfruttando un buffer di 16 eventi dei QDC. Gli eventi convertiti vengono conservati dai QDC nel buffer, il processo di readout quindi può leggere gli eventi dal buffer durante la conversione di altri eventi

Il vantaggio ulteriore del readout parallelo alla conversione è che il processo di readout è derandomizzato, può cioè procedere sequenzialmente non è costretto a seguire il rate random di arrivo degli eventi, solo il tempo morto di conversione segue la statistica random di arrivo degli eventi.

In questo modo con 1 kHz di eventi in input ne riusciamo ad acquisire 900 abbiamo un tempo morto del 10% solamente guadagnamo almeno 300 eventi/s

Schema acq



Logica NIM segnali su 50Ω livello logico vero -0.8 V falso 0 V

Logica ECL segnali differenziali (meno sensibile al rumore, il rumore è su entrambi le polarità e facendo la differenza si elimina)
se logica negativa:

$1 = -1.75\text{ V}$

$0 = -0.9\text{ V}$

