

# Il GigaFitter: un nuovo processore di traccia per il sistema di trigger di CDF

Silvia Amerio  
(INFN Padova)

Riunione PRIN – Pisa, 8 Luglio 2011

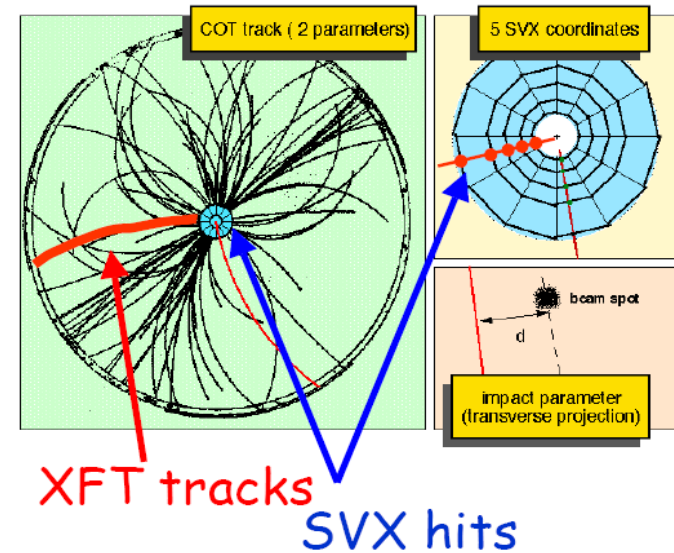
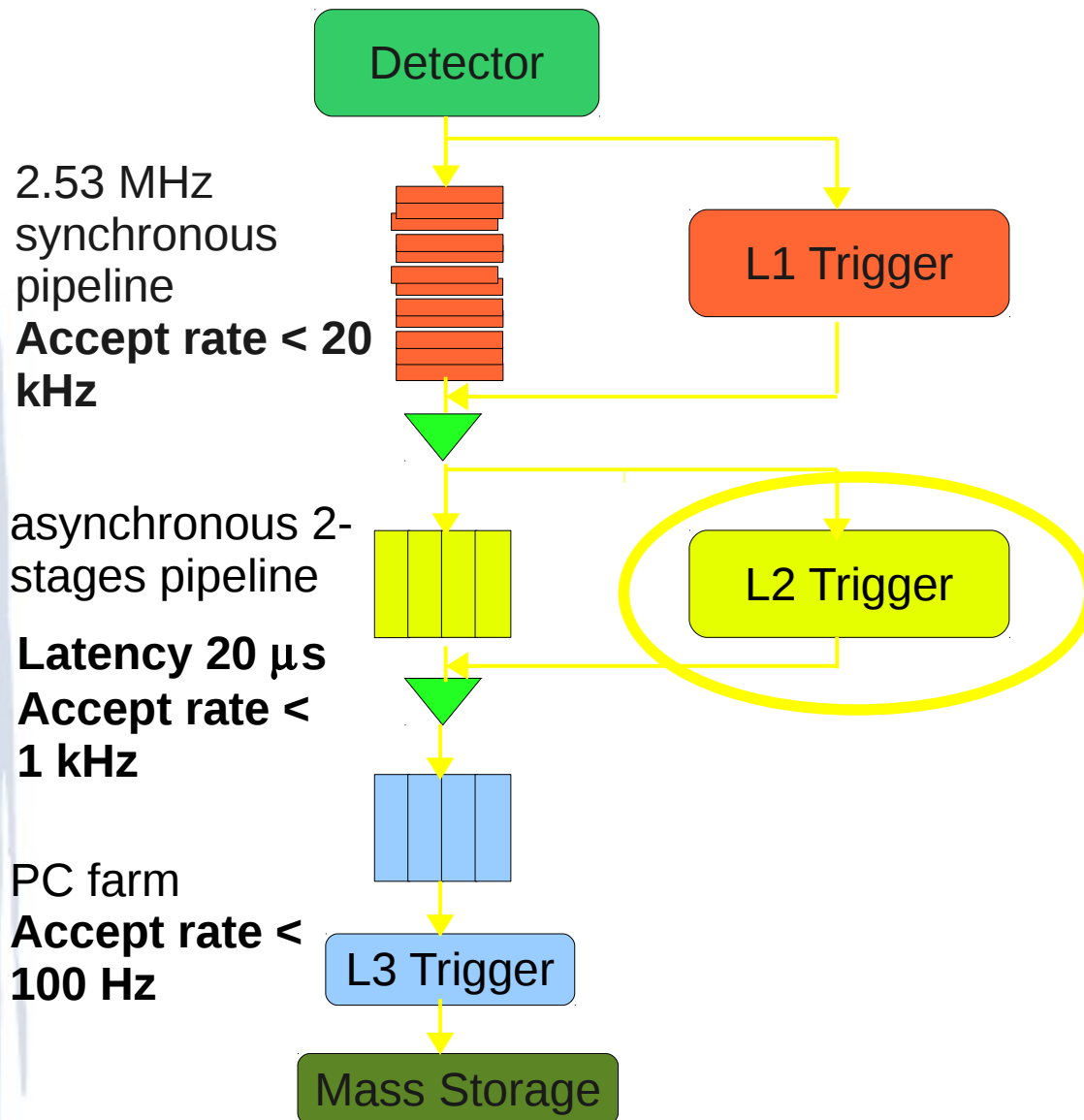
# Il Gigafitter

- **Nuovo processore di fit di traccia per il trigger di Livello 2 di CDF**
- **Collaborazione INFN Padova - Pisa/Siena**
- **Test a CDF in configurazione parassita Agosto-Dicembre 2009**
- **Approvazione finale in Gennaio 2010**
- **Installazione finale (con decommissioning del sistema precedente) in Febbraio 2010**

***In questa presentazione:***

- ***Motivazioni del progetto***
- ***Architettura del Gigafitter***
- ***Installazione a CDF***
- ***Performance***

# Ricostruzione online di tracce a CDF



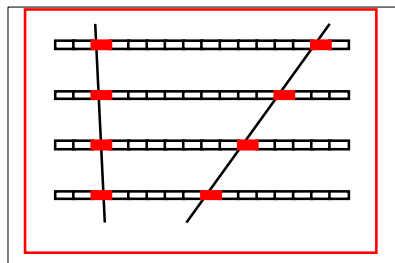
## Silicon Vertex Tracker (SVT)

- In uscita: angolo azimutale  $\phi$ , parametro d'impatto  $d_0$ , curvatura,  $\chi^2$
- Latenza media: 20  $\mu$ s
- Risoluzione paragonabile con l'offline (35  $\mu$ m su  $d_0$ )

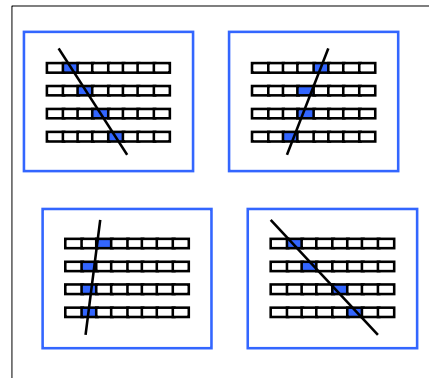
# SVT in una slide...

Ricostruisce tracce in tempo per una decisione di Livello 2 in due fasi:

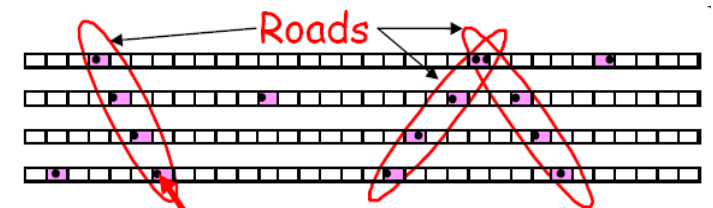
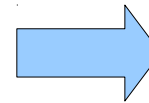
**1)** Individua tracce a bassa risoluzione (roads) cercando patterns pre-calcolati tra le combinazioni di hit del rivelatore al silicio hits e tracce di Livello-1.



The Event



The Pattern Bank



**2)** Fit delle tracce all'interno delle road; il fit è ridotto ad un semplice prodotto scalare

Costanti pre-calcolate

$$p_i = \vec{f}_i \cdot \vec{x} + q_i$$

parametri della traccia    coordinate della traccia

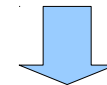
# Perchè un nuovo processore di fit? (I)

Coordinate delle tracce = **18 bits**  
Schede pre-GF (**TF++**) →  
moltiplicatori **8x8 bit**



Il prodotto scalare deve essere  
suddiviso in due termini

$$p_i = \vec{f}_i \cdot \vec{x} + q_i$$



Pre-calcolato (uno per ciascun pattern)

$$p_{0i} = \vec{f}_i \cdot \vec{x}_0 + q_i$$

Online evaluated with 8x8 bit multipliers

$$\delta p_i = \vec{f}_i \cdot \vec{d}$$

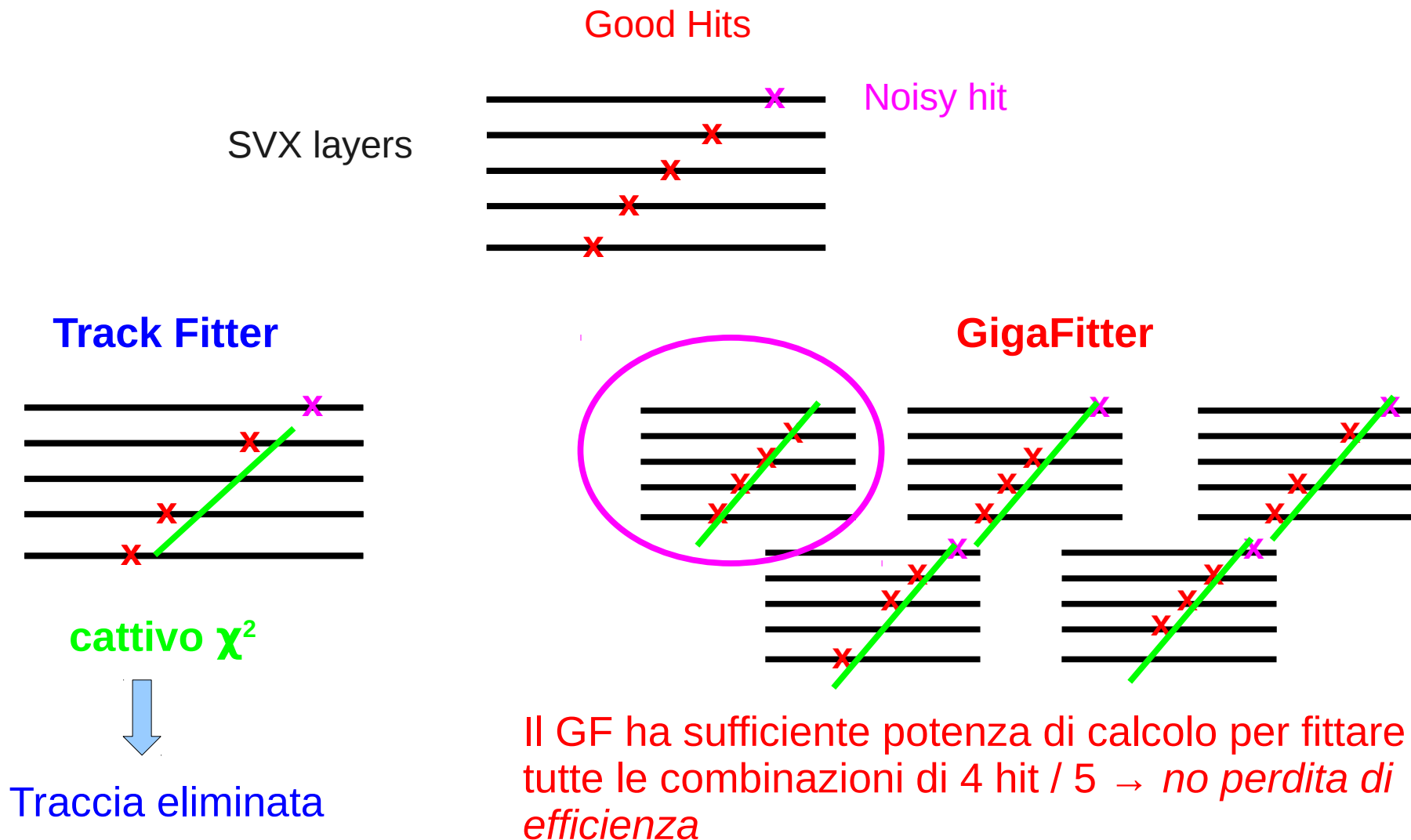
I termini pre-calcolati richiedono **molta memoria** → numero massimo di pattern e set di costanti limitato → efficienza di ricostruzione di traccia limitata.

Il **Gigafitter** ha moltiplicatori **25x18** → il prodotto scalare può essere valutato con tutta la risoluzione

- Non è necessario avere termini pre-calcolati
- **memoria disponibile per nuovi set di costanti**
- **possibilità di sfruttare appieno la banca di pattern**

# Perchè un nuovo processore di fit? (II)

Nella scheda TF++ il numero di fit/evento è limitato --> inefficienza nel caso di una traccia 5/5



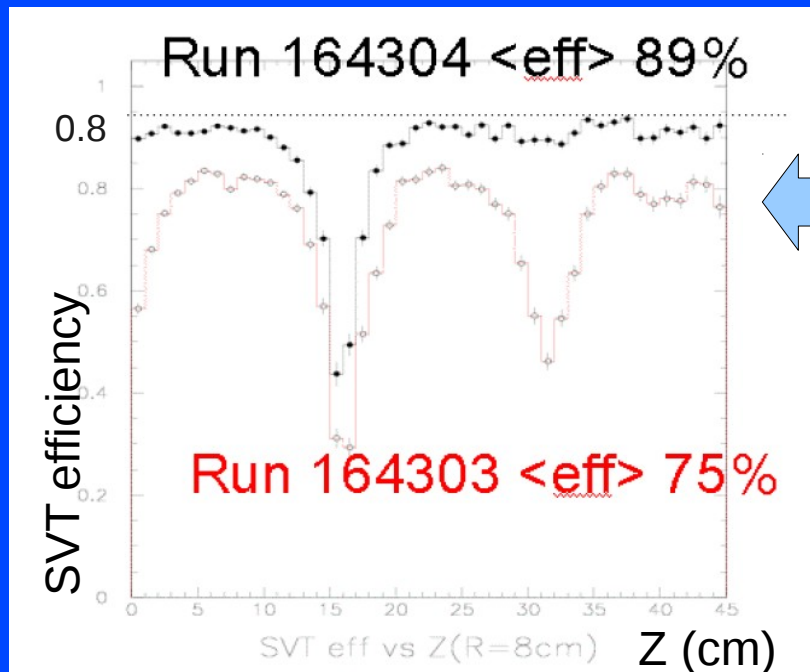
# Effetto sulla fisica (I)

## Aumento dell'efficienza di ricostruzione di traccia di SVT

Beneficio per tutte le misure di fisica che sfruttano trigger basati su SVT

Con nuovi set di costanti e di pattern

## Recupero di efficienza tra i barrel meccanici del rivelatore al silicio



Efficienza di ricostruzione di traccia singola vs Z

(campione di eventi selezionati da trigger che non richiedono SVT)



# Effetto sulla fisica (II)

Con una nuova banca di pattern

**Estensione dell'accettanza di SVT in parametro d'impatto e momento trasverso**

$$d_0 < 1 \text{ mm} \rightarrow d_0 < 2 \text{ mm}$$

$$p_T > 2 \text{ GeV}/c \rightarrow p_T > 1.5 \text{ GeV}/c$$

**Impatto sulla fisica:**

- Miglioramento delle capacità di b-tagging (top, risonanze bb, etc...)
- Miglioramento nelle misure di vita media di quark pesanti.



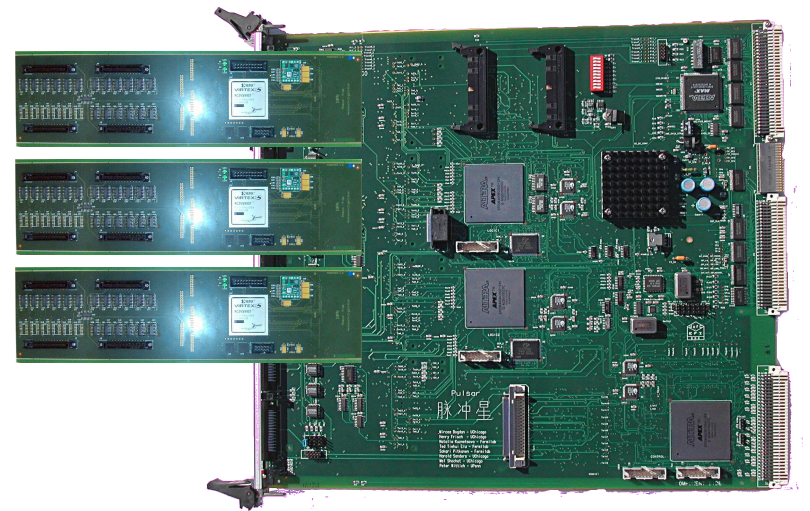
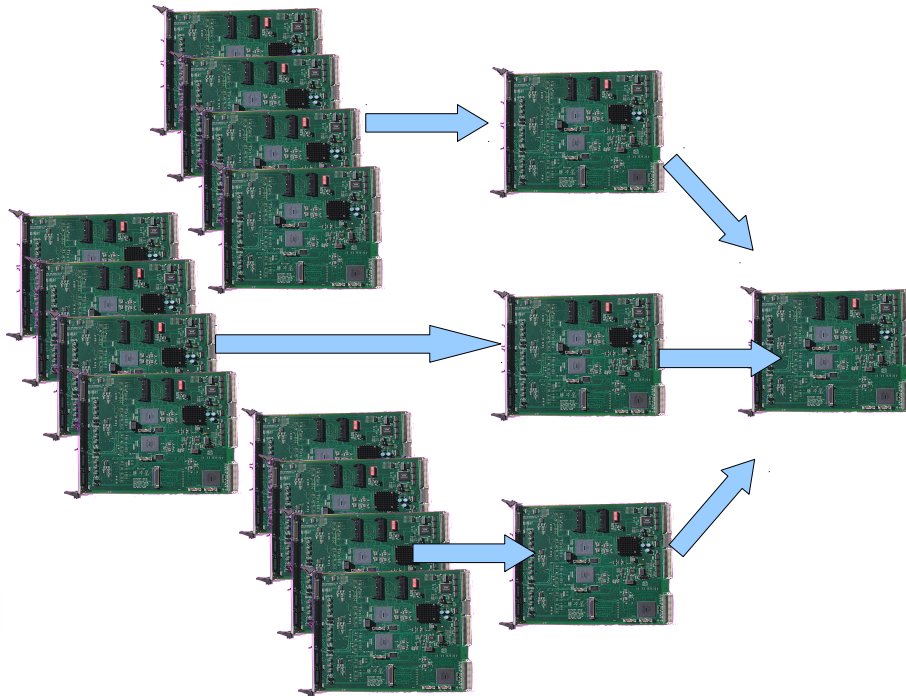
# Il GF: architettura e installazione a CDF

# The GigaFitter

Il sistema pre-GF (TF++) = 16 schede  
(12 TF++ + 4 Mergers)

**Gigafitter** = 1 scheda

- 3 mezzanine (4 settori di SVX ciascuna)
- 1 Pulsar (scheda 9U VME multifunzione)

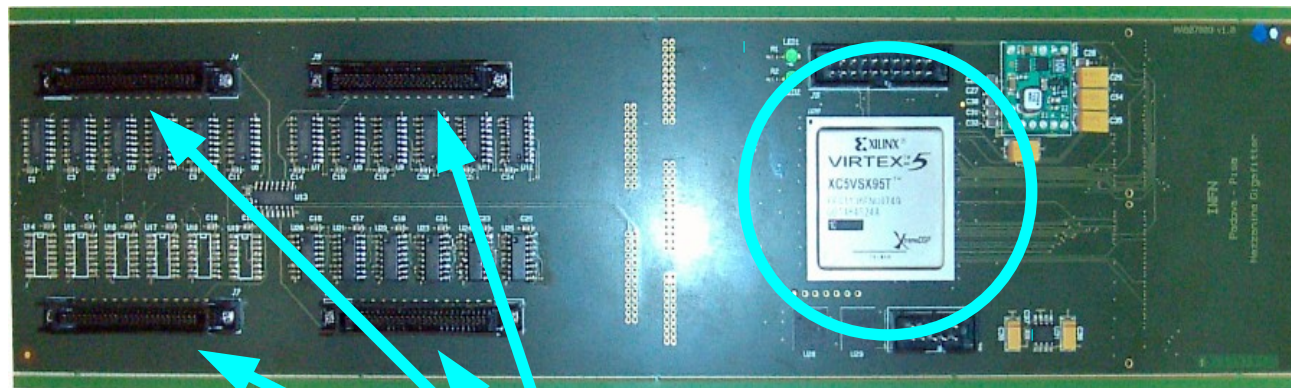


# Il cuore del GF: la mezzanina

Su ciascuna mezzanina è montata una potente FPGA (**Xilinx Virtex 5**)

Dotata di **640 DSP**

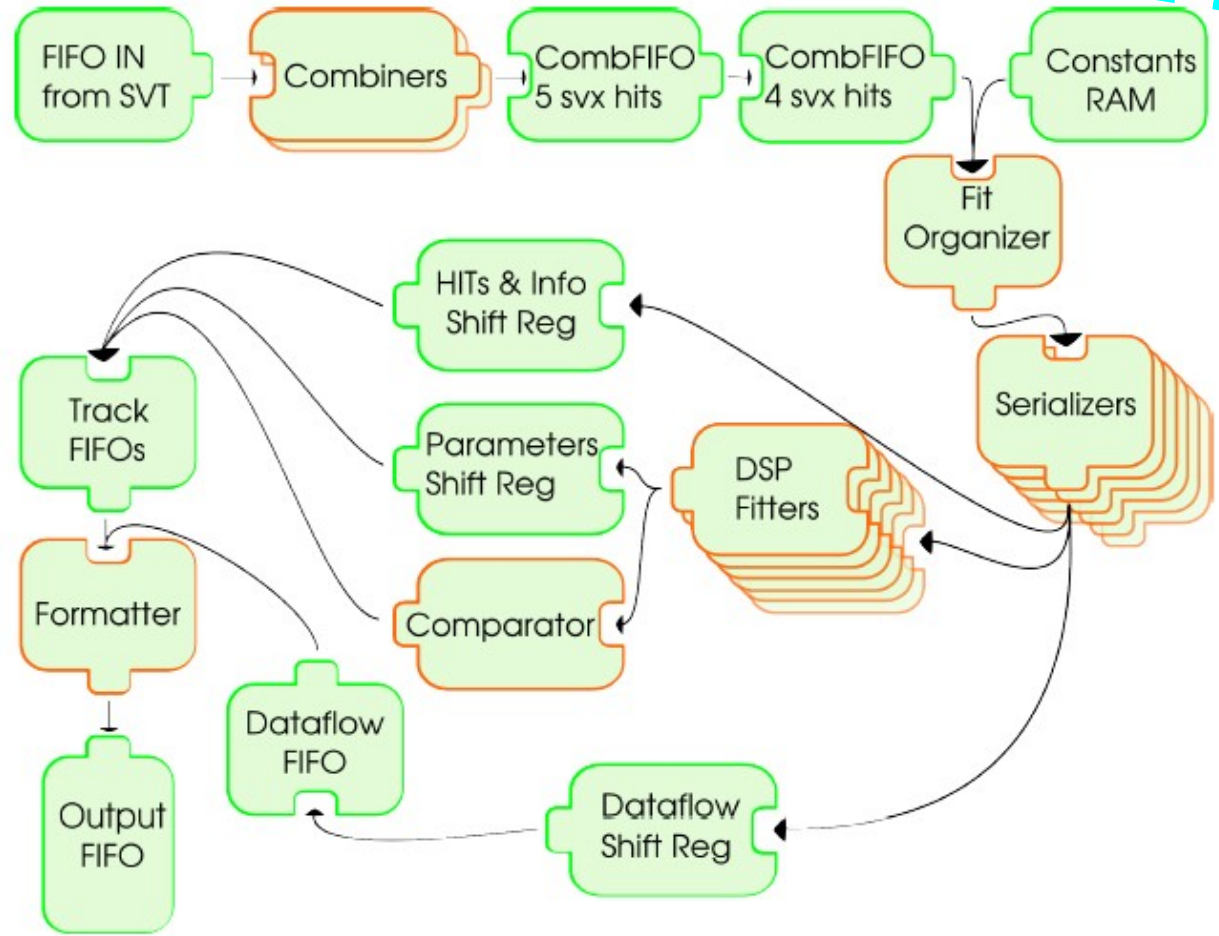
- **Moltiplicatori 25 x 18 bit**
- **Sommatori 48 bit**



Ogni mezzanina riceve in input i dati relativi a 4 settori di SVX.

La pulsar riunisce le uscite delle 3 mezzanine in un unico flusso e lo invia al Livello 2 del trigger.

# Linea di fit



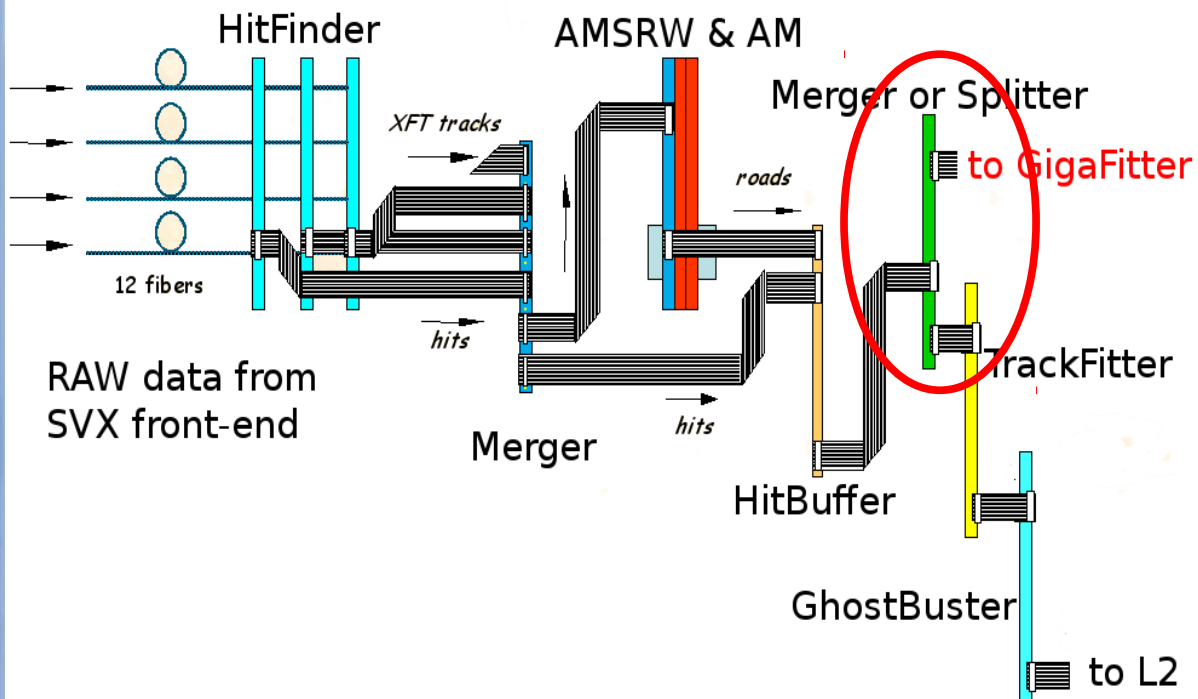
3 mezzanine  
4 settori ognuna,  
1 linea di fit per settore

**12 fit / ciclo di clock**  
**(1.4 fit/ns alla frequenza di 120 MHz)**



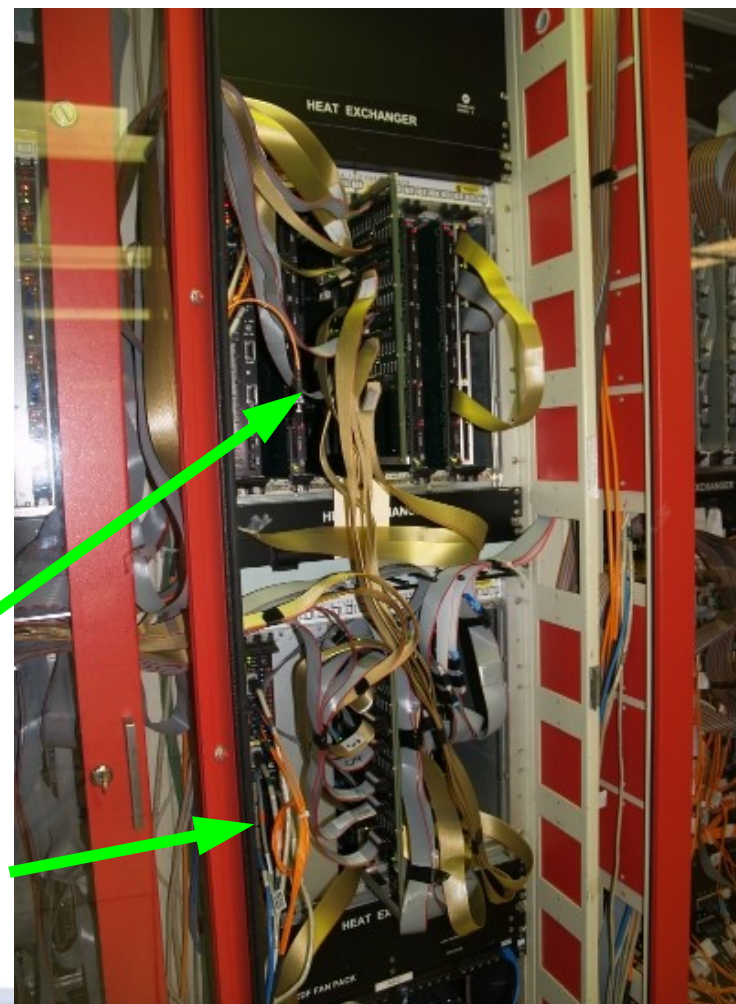
# Installazione a CDF

*x 12 phi sectors*



Copia del GF (riceve una copia esatta dei dati). Da usare come "hot spare"

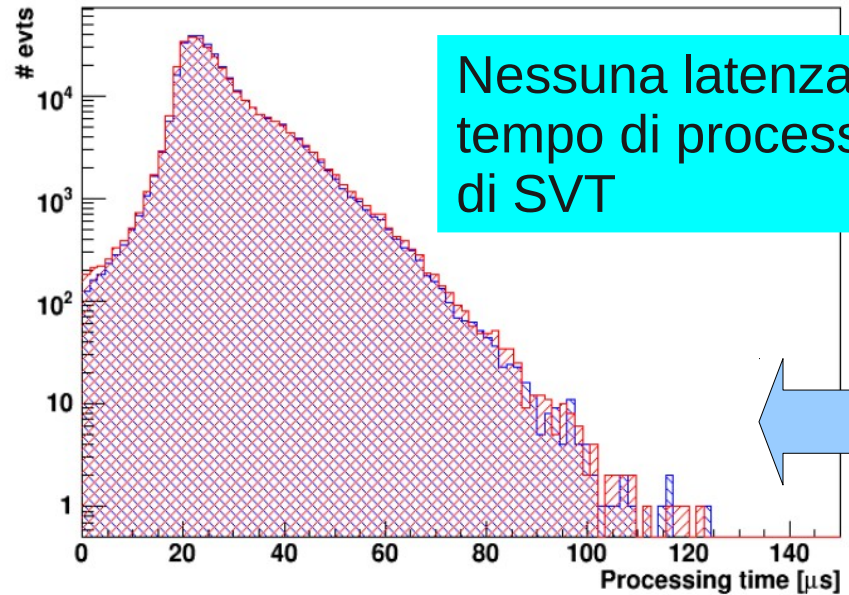
GF "ufficiale" inserito in SVT



Performance

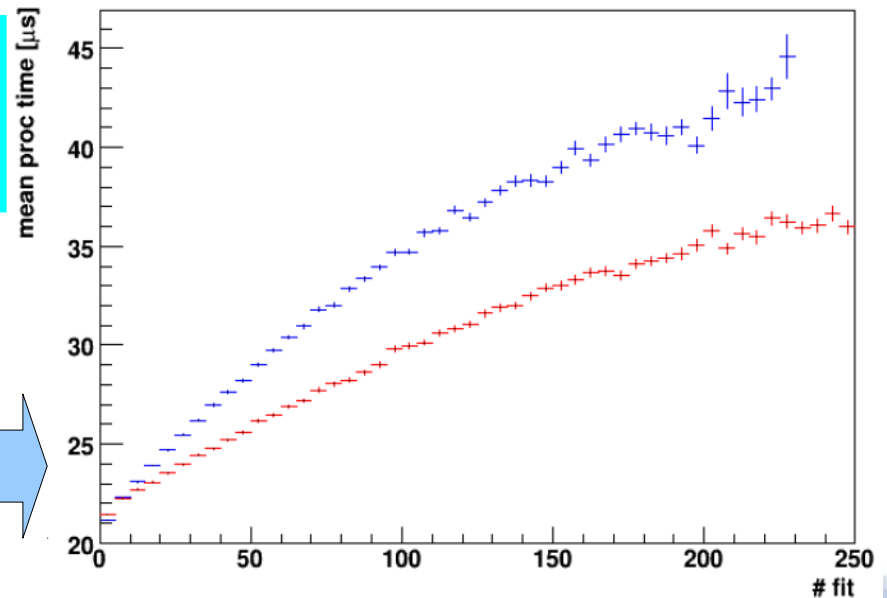
# Tempo di processamento

GF  
TF++



Nello stesso tempo, il GF è in grado di processare molti più fit del TF++

Processing time vs number of fits

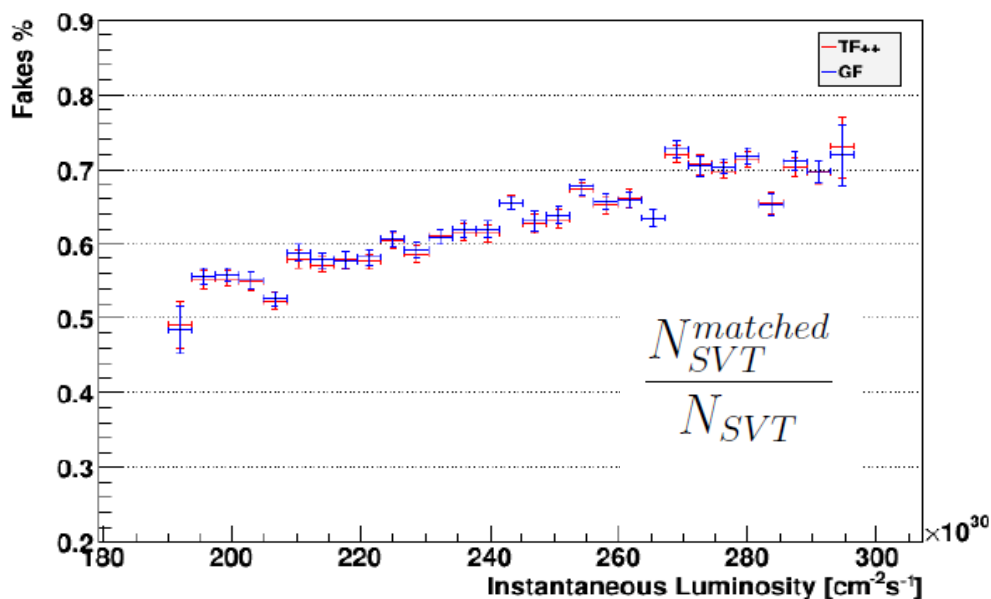
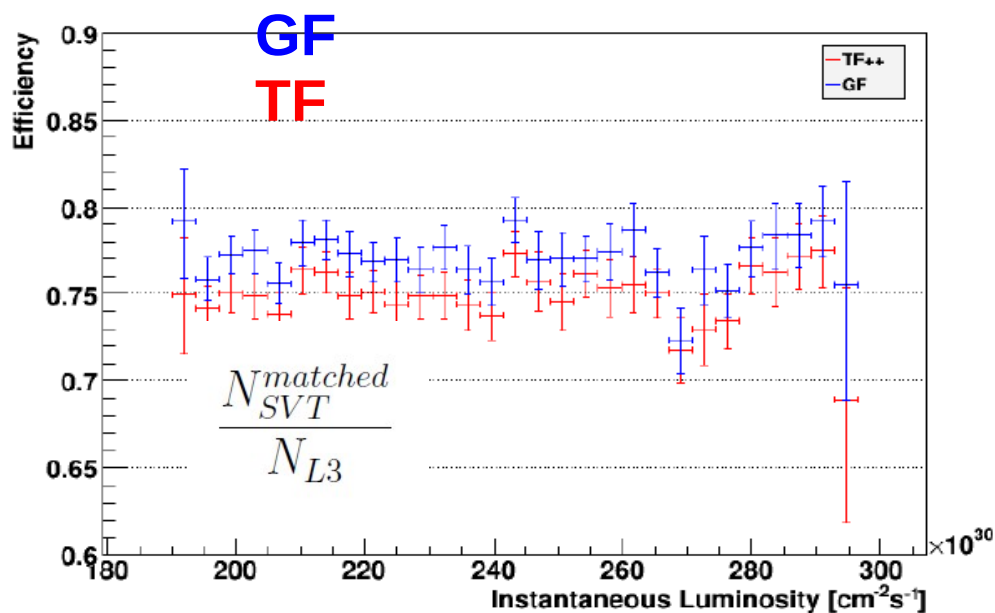


Tempo di processamento medio VS # fit/evento



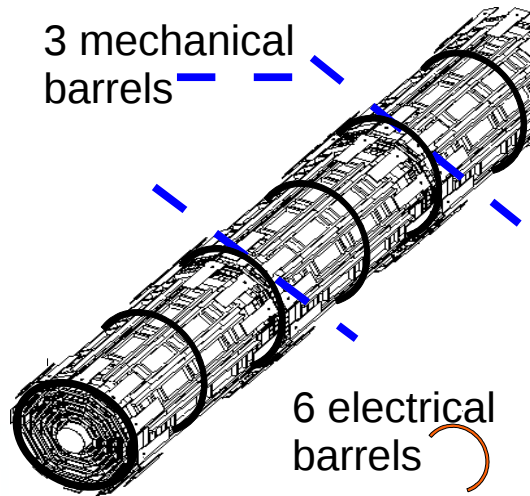
# Efficienza & fake rate

- Con le stesse costanti di fit e gli stessi pattern del vecchio sistema permette
  - + 2% di efficienza nella ricostruzione delle tracce
  - Uguale fake rate



Misure effettuate su un campione di eventi selezionati da trigger che non richiedono SVT

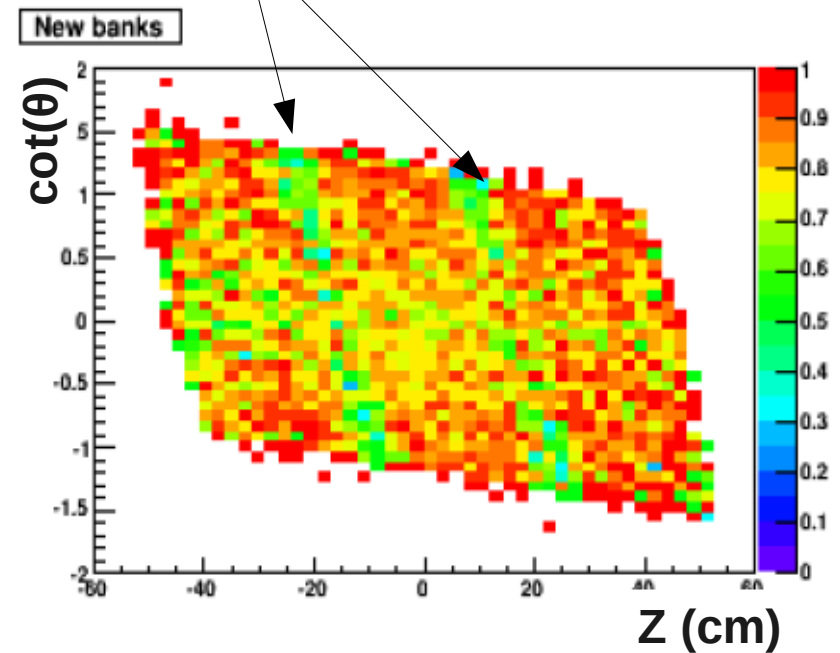
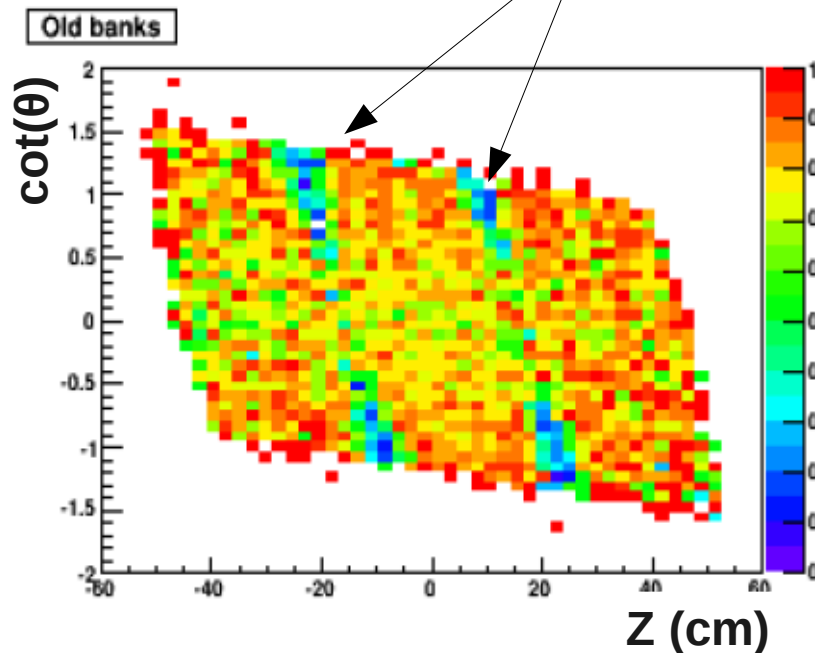
# Nuovi pattern (I)



Obiettivo: ricostruire le tracce che attraversano *i barrel meccanici*

Inclusione nuove tracce + *allargamento pattern per aumentare ulteriormente l'efficienza* → aumento del numero di fit/evento → possibile con il GF!

## Recupero efficienza tra i barrel



+ 3% guadagno totale in efficienza<sub>17</sub>

# Nuovi pattern (II)

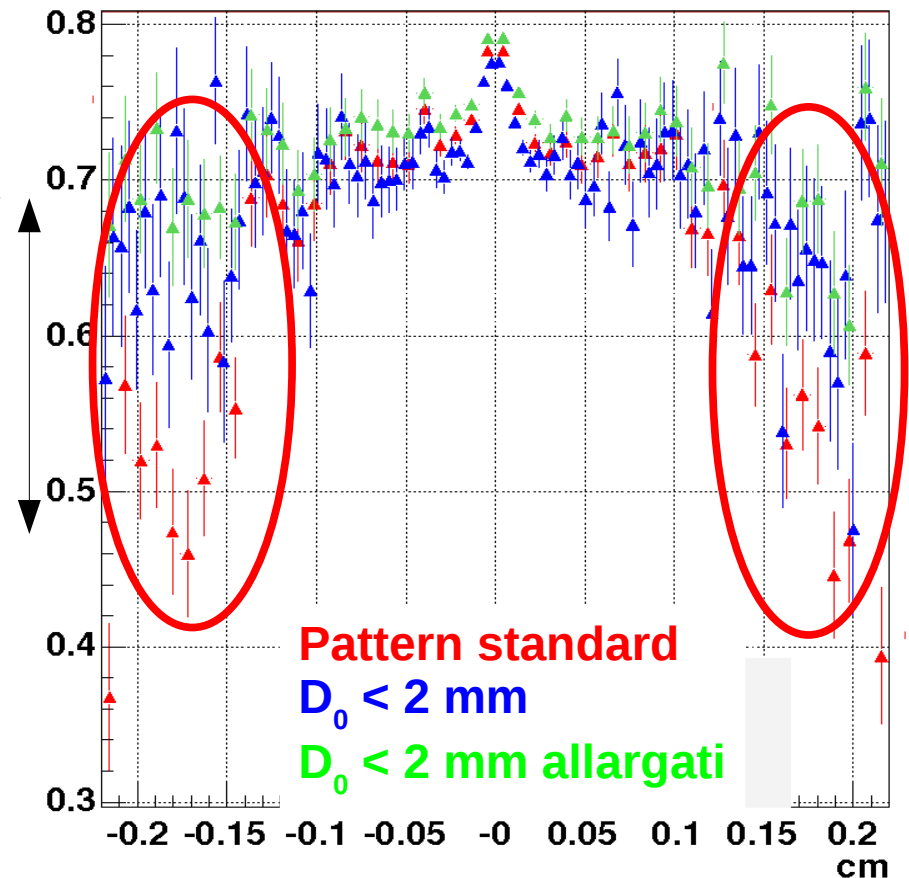
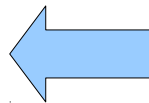
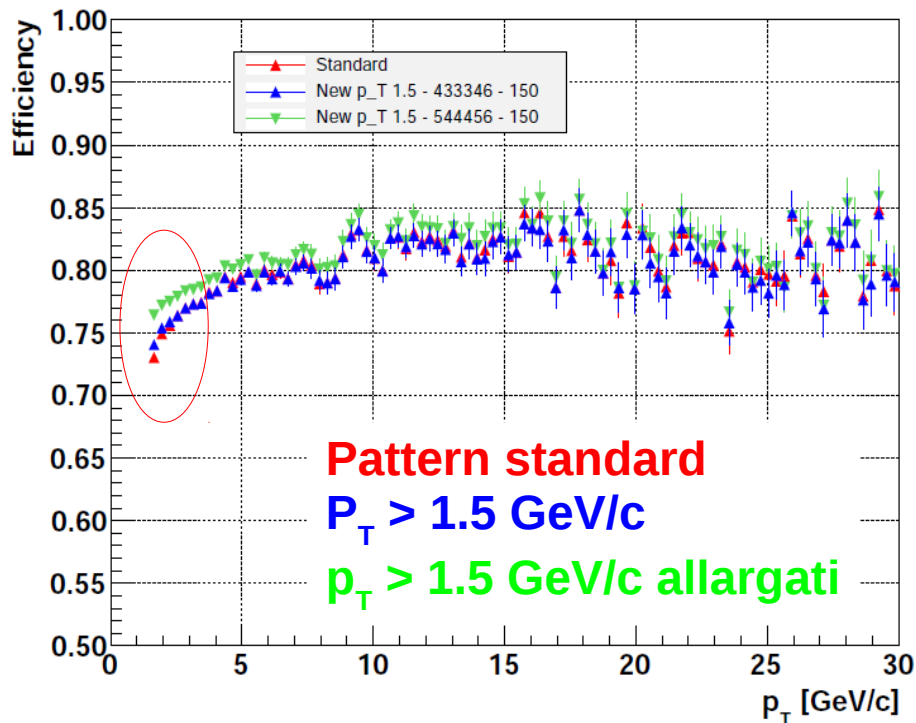
Efficiency vs Impact Parameter

Aumento accettazione in  $d_0$   
 $|d_0| < 1 \text{ mm} \rightarrow |d_0| < 2 \text{ mm}$



Efficienza di ricostruzione per  
 $|d_0| > 1 \text{ mm}$ : **46%  $\rightarrow$  60%**

SVT Efficiency vs  $p_T$



Aumento accettazione in  $p_T$   
 $p_T > 2 \text{ GeV/c} \rightarrow p_T > 1.5 \text{ GeV/c}$

**+4%** efficienza per tracce con  $p_T = 1.5 \text{ GeV/c}$

# Conclusioni

- Il Gigafitter è un nuovo processore di fit traccia per il trigger di Livello 2 di CDF.
- Frutto di una collaborazione tra INFN Padova e INFN Pisa/Siena
- Ufficiale da Febbraio 2010

## Vantaggi:

- Molto più compatto del sistema precedente, più facile da mantenere
- +2% di guadagno in efficienza di con stessi pattern/costanti
- *Molta memoria*
- *Grande potenza di calcolo*

Nuovi pattern/costanti per

- tracce che attraversano barrel meccanici
- aumento dell' accettazione in  $d_0$  e  $p_T$

# Tesi & Pubblicazioni

## TALK e PROCEEDINGS

- *The Gigafitter for Fast Track Fitting based on FPGA DSP Arrays*, 2007 NSS/MIC, Honolulu (Hawaii), talk e proceedings
- *The Gigafitter: Performance at CDF and Perspective for Future Applications*, TIPP 2009 (Tsukuba), talk e proceedings
- *Gigafitter: the Last SVT Upgrade at CDF*, 2009 FDFP (Elba), Poster
- *The Gigafitter: Performance at CDF and Perspective for Future Applications*, talk a CHEP 2009 (Praga), Proceedings pubblicati su Journal of Physics, Conference Series 219 (2010) 022001
- *The Gigafitter: an Online Track Fitting Processor for CDF Experiment and Beyond*, abstract accettato a 2010 NSS/MIC (Knoxville, 30 Ottobre-6 Novembre 2010)

## TESI

- *Il Gigafitter: un processore per l'esecuzione di  $10^9$  fit al secondo*, J.Cenni, Università di Pisa, Giugno 2008 (laurea triennale)
- *The Gigafitter in track reconstruction for the search of rare events at hadron colliders*, N.Rafanelli, Università di Pisa, Ottobre 2008 (laurea specialistica);
- *GigaFitter at CDF: Offline-Quality Track Fitting in a Nanosecond for Hadron Collider Triggers*, F.Crescioli, Università di Pisa, Febbraio 2010 (dottorato di ricerca in Fisica).
- *Improving Online Track Reconstruction at High-Luminosity Colliders: the Gigafitter Upgrade at CDF*, M.Bucciantonio, Università di Pisa, Marzo 2010 (laurea specialistica);

**BACKUP**

# Fit differences GF vs TF++

The SVT full precision linear fit compute parameters and constraints (for  $\chi^2$ ) with the following equation:

$$P_n = C_{n0} + \sum(C_{ni} * X_i)$$

$P_n$  : fit result (curvature, phi, impact parameter,  $\chi^2$ )

$X_i$  : hit coordinates

$C_{ni}$ ,  $C_0$  : geometrical constants

The GF does exactly that computation!

TF++ is limited to **8x8 bit** multiplications:  
 **$C_{ni} * X_i$  can not be computed directly...**



# TF<sup>++</sup> approximation

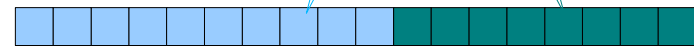
$$C_{ni} = C_{ni}^H + C_{ni}^L$$



10bits

8bits

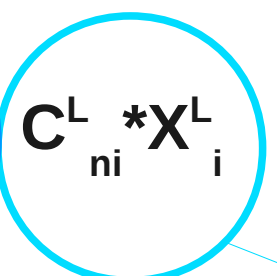
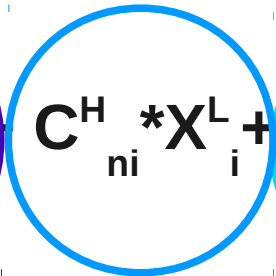
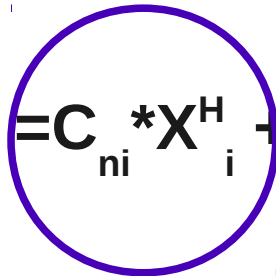
$$X_i = X_i^H + X_i^L$$



10bits

8bits

$$C_{ni} * X_i = C_{ni} * X_i^H + C_{ni}^H * X_i^L + C_{ni}^L * X_i^L$$



pre-computed  
(one for each road)  
and stored in memory

Online

**Not computed**

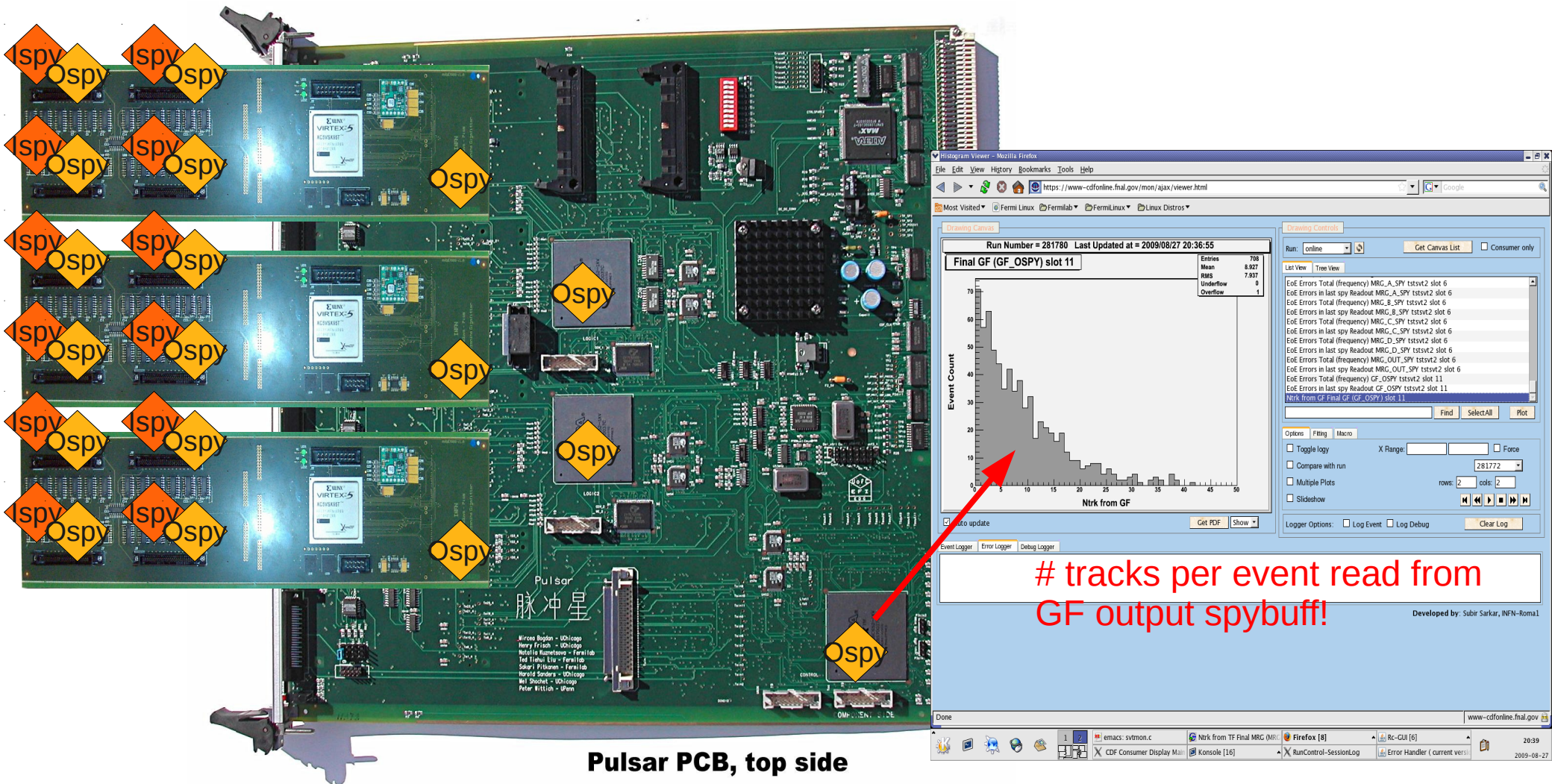


**GF calculates also  
this term**

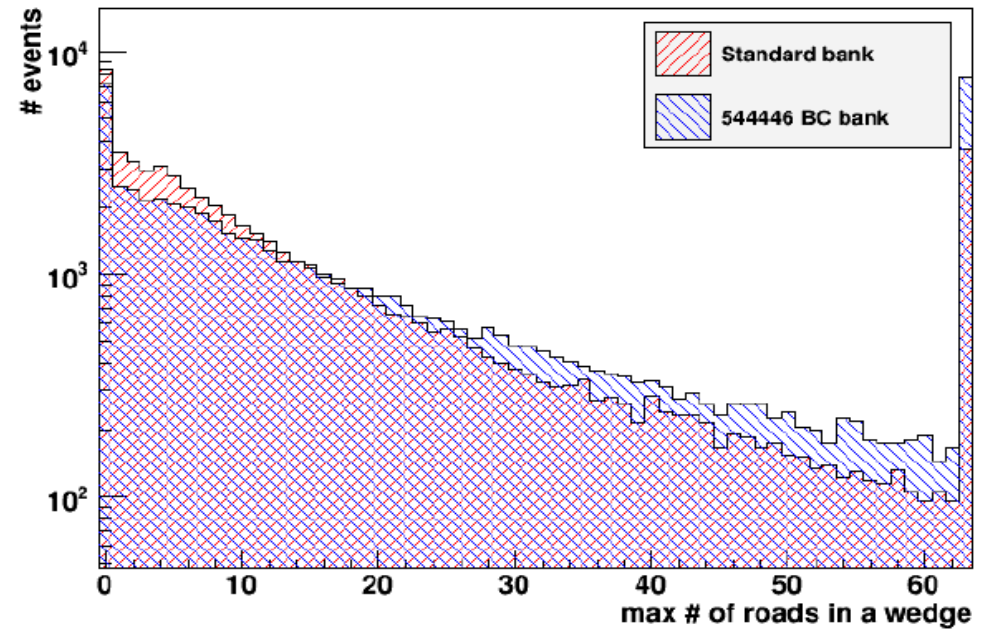
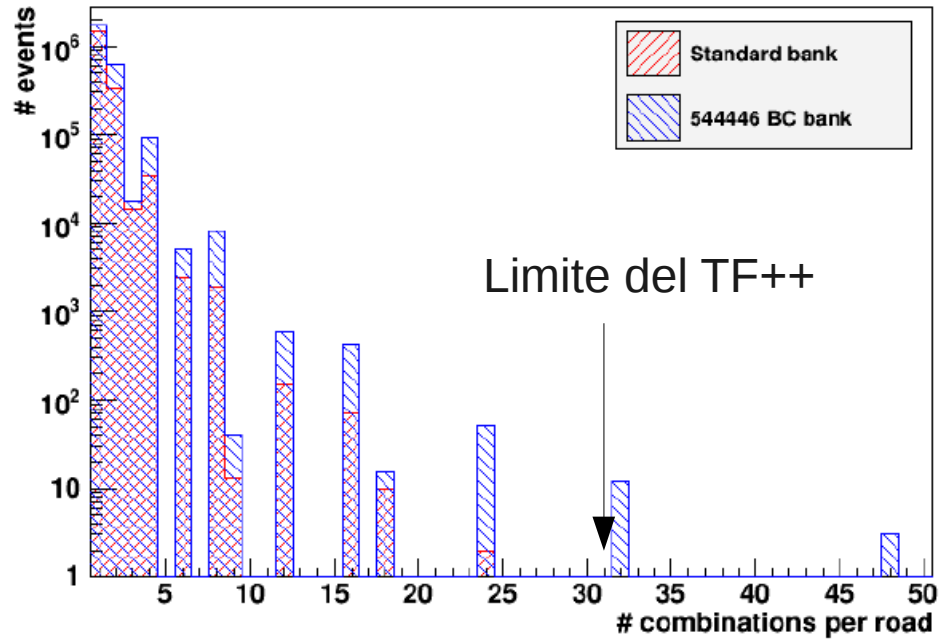
# SPYMON

30 spybuffers, insertion in SPYMON is ongoing (*thanks to Benedetto and Marco!*)

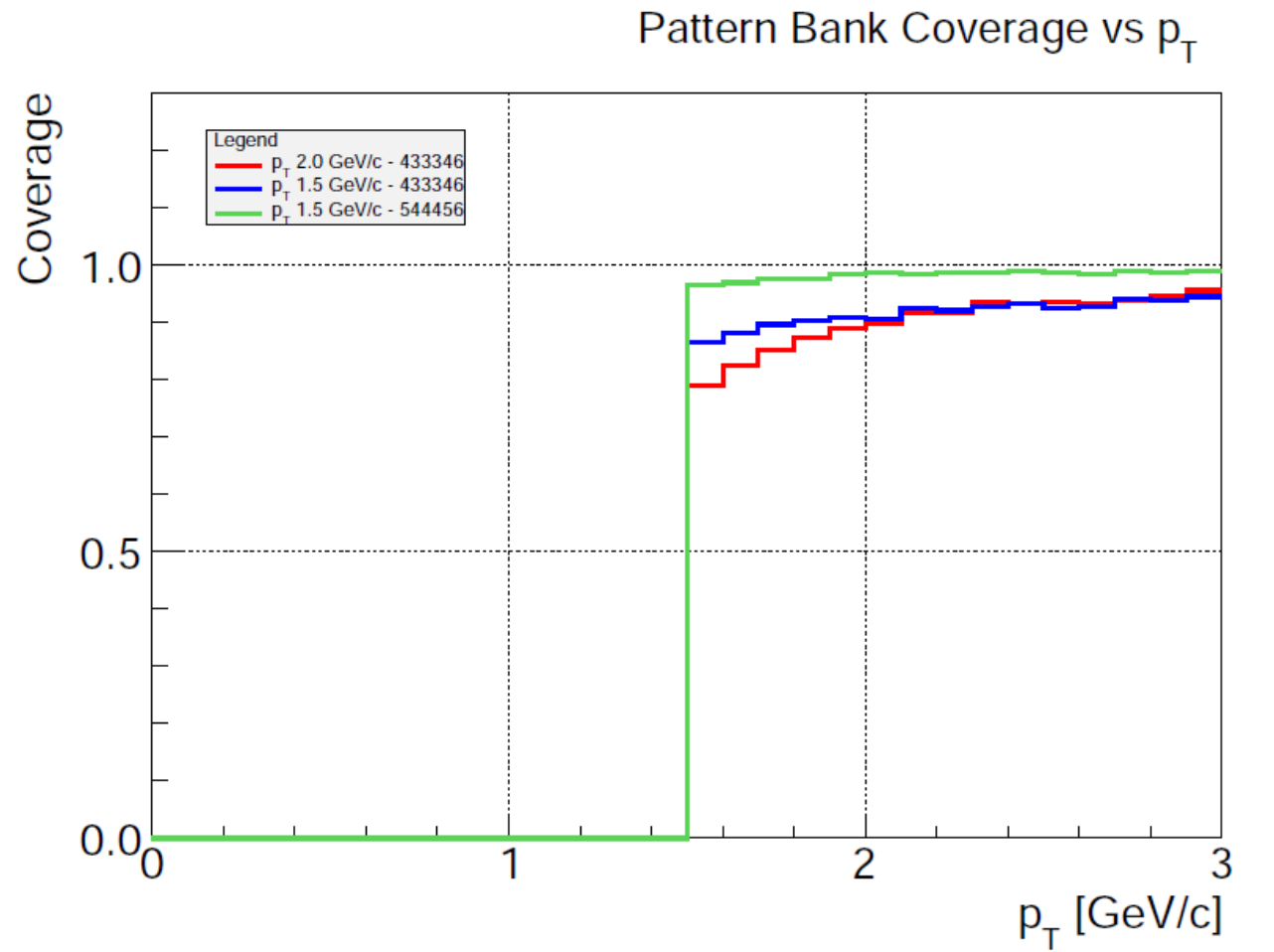
CHECKED: spybuffers are deep enough to hold few complete sync'd events



# Pattern allargati: impatto sul numero di combinazioni e road



# Nuovi pattern – coverage vs Pt





# Tevatron peak luminosity and CDF trigger upgrades

