

# Tecniche di riduzione del fondo strumentale per il telescopio gamma AGILE e applicazione a sorgenti astrofisiche

**Tesi svolta presso IASF/INAF di Milano  
Fabio Fornari**

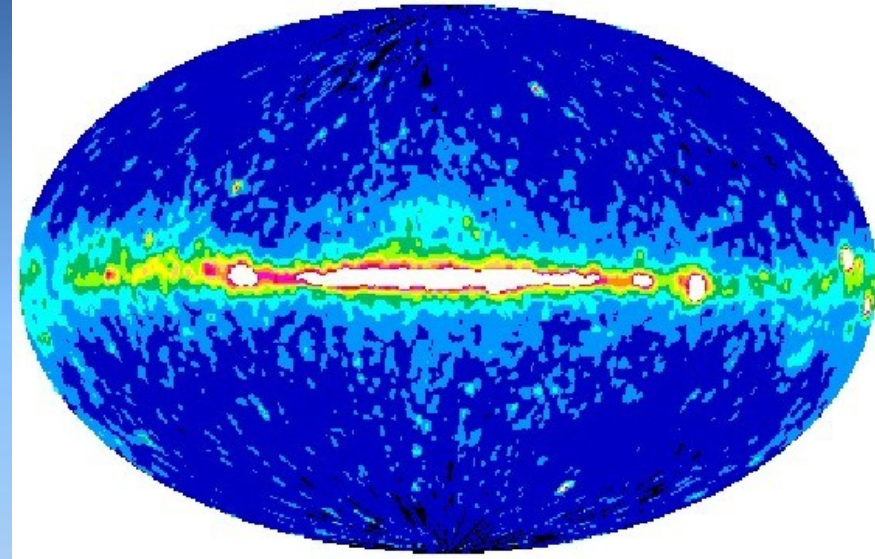


# Indice

- l'astrofisica gamma e il satellite AGILE
- software per la riduzione del fondo strumentale per il rivelatore gamma di AGILE
  - ✓ le modifiche
  - ✓ i risultati su dati simulati
  - ✓ i risultati su dati veri
- applicazione dei miglioramenti ottenuti
  - ✓ per lo studio delle pulsar
  - ✓ per la ricerca dei Gamma-Ray Burst nei dati del rivelatore gamma di AGILE

# L'astrofisica gamma

il cielo sopra 100 MeV visto da EGRET  
(a bordo di CGRO: 1991-2000)



Nell'Universo buchi neri supermassivi, stelle di neutroni, esplosioni stellari danno vita a fenomeni di alta energia



l'Universo costituisce un laboratorio dove le più moderne teorie della fisica possono essere testate in condizioni estreme

- dal 2000 nessuna missione spaziale per l'astrofisica gamma
- 23 aprile 2007 lancio di AGILE: satellite dell'ASI interamente dedicato allo studio dell'astrofisica delle alte energie
- AGILE: il primo satellite gamma basato su rivelatori allo stato solido
- telescopio tracciante di coppie che utilizza una tecnologia d'avanguardia presa in prestito dal mondo della ricerca delle particelle elementari (collaborazione tra INAF e INFN)
- metodi di rivelazione dei fotoni gamma in continuo sviluppo

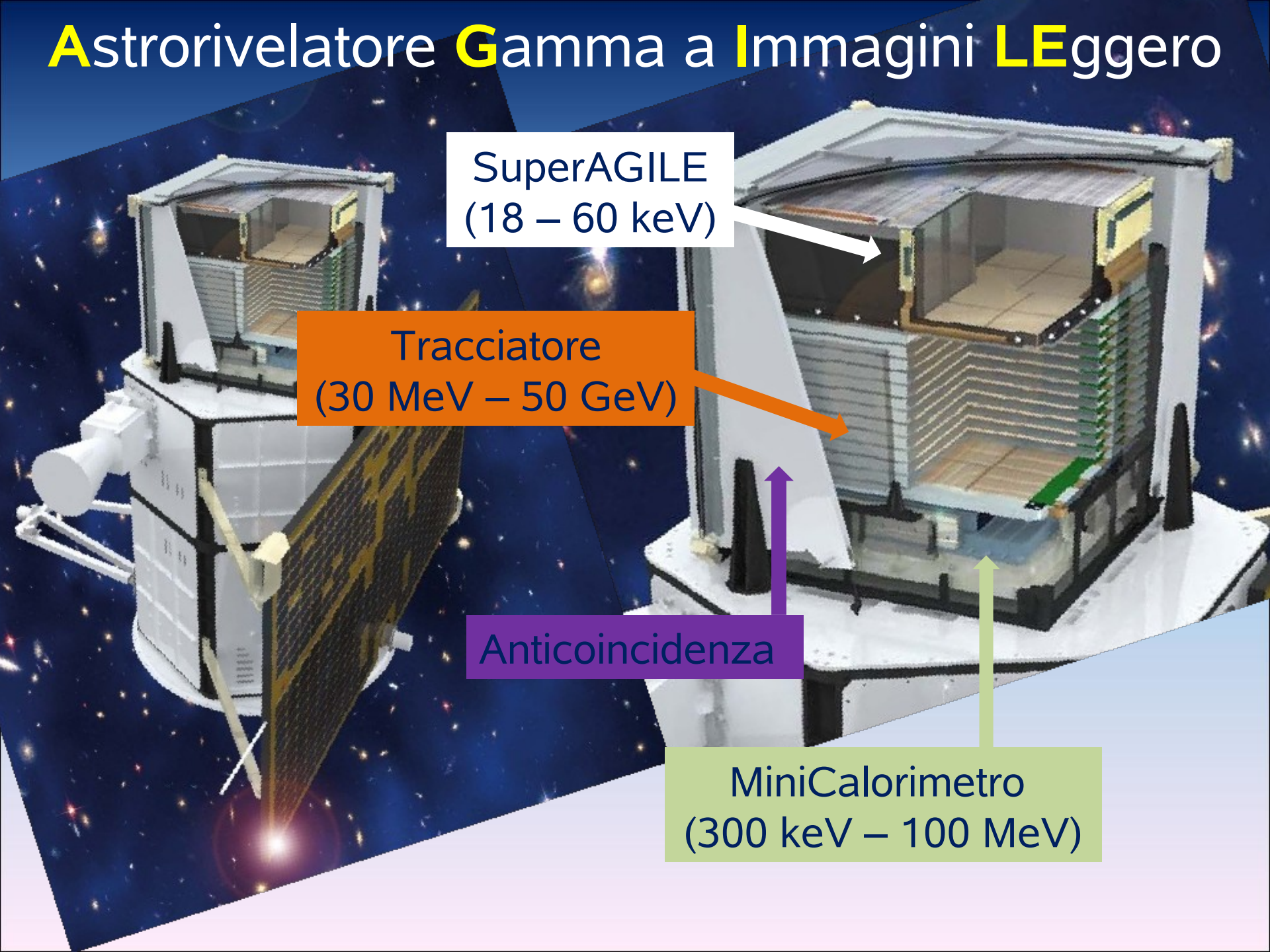
# Astrorivelatore Gamma a Immagini LEggero

SuperAGILE  
(18 – 60 keV)

Tracciatore  
(30 MeV – 50 GeV)

Anticoincidenza

MiniCalorimetro  
(300 keV – 100 MeV)

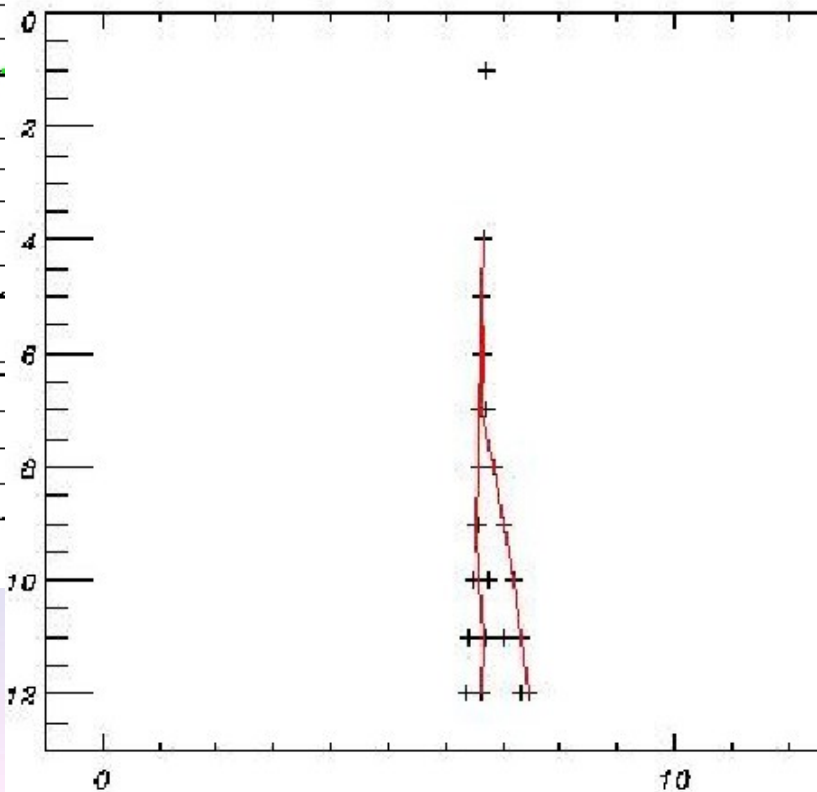
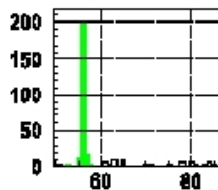
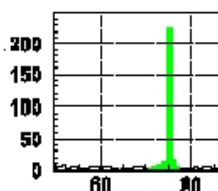
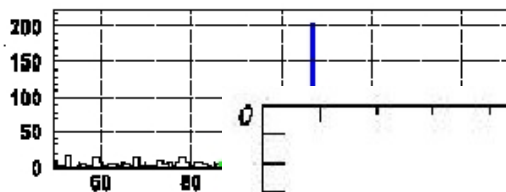
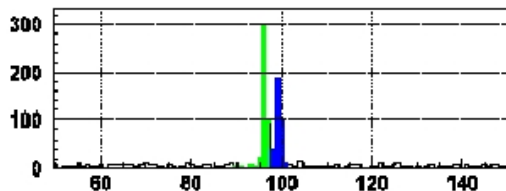
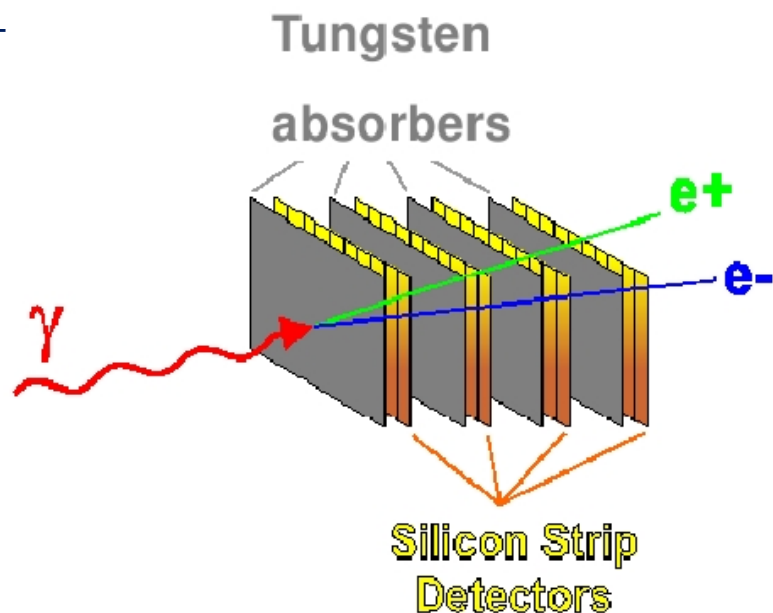


# Tracciatore + MiniCalorimetro = GRID

Gamma Ray Image Detector (rivelatore gamma di AGILE)  
(30 MeV – 50 GeV)

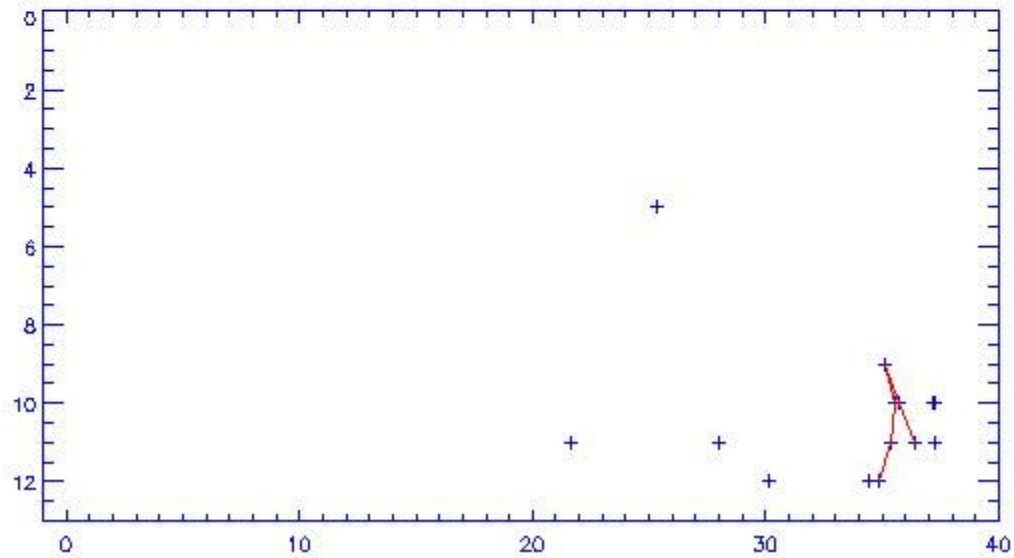
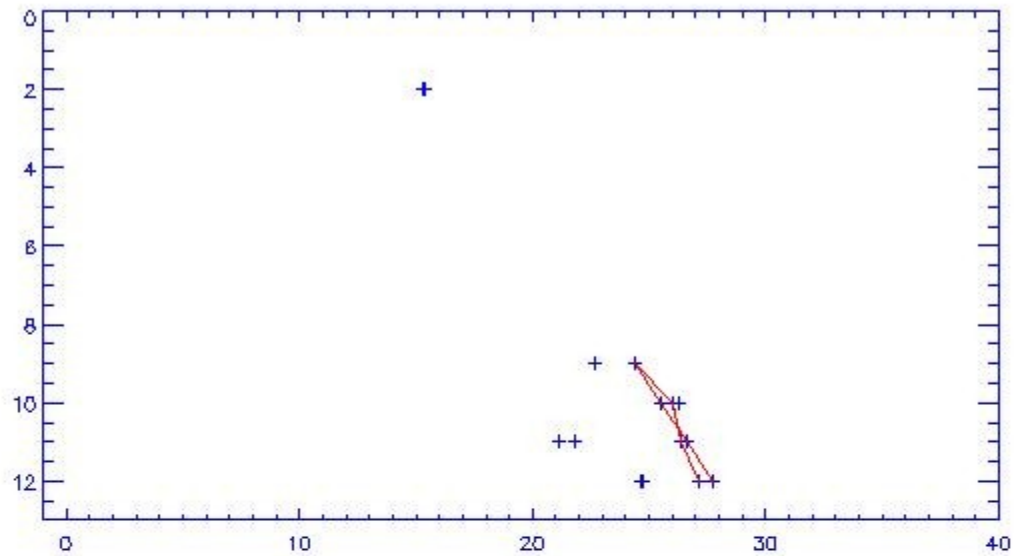
$h\nu \rightarrow e^+ + e^-$

$e^-$



Il primo fotone  
rivelato in volo durante  
le calibrazioni del GRID  
(08.05.07)





software per lo studio della morfologia degli eventi: il Filtro

# particelle cariche + fotoni d'albedo = fondo strumentale

rivelatori per l'astrofisica gamma  
dominati dal fondo strumentale



ridurre il background strumentale



GRID:

- a bordo con trigger hardware e software
- a Terra con un software dedicato: il Filtro

# Obiettivi del lavoro di tesi

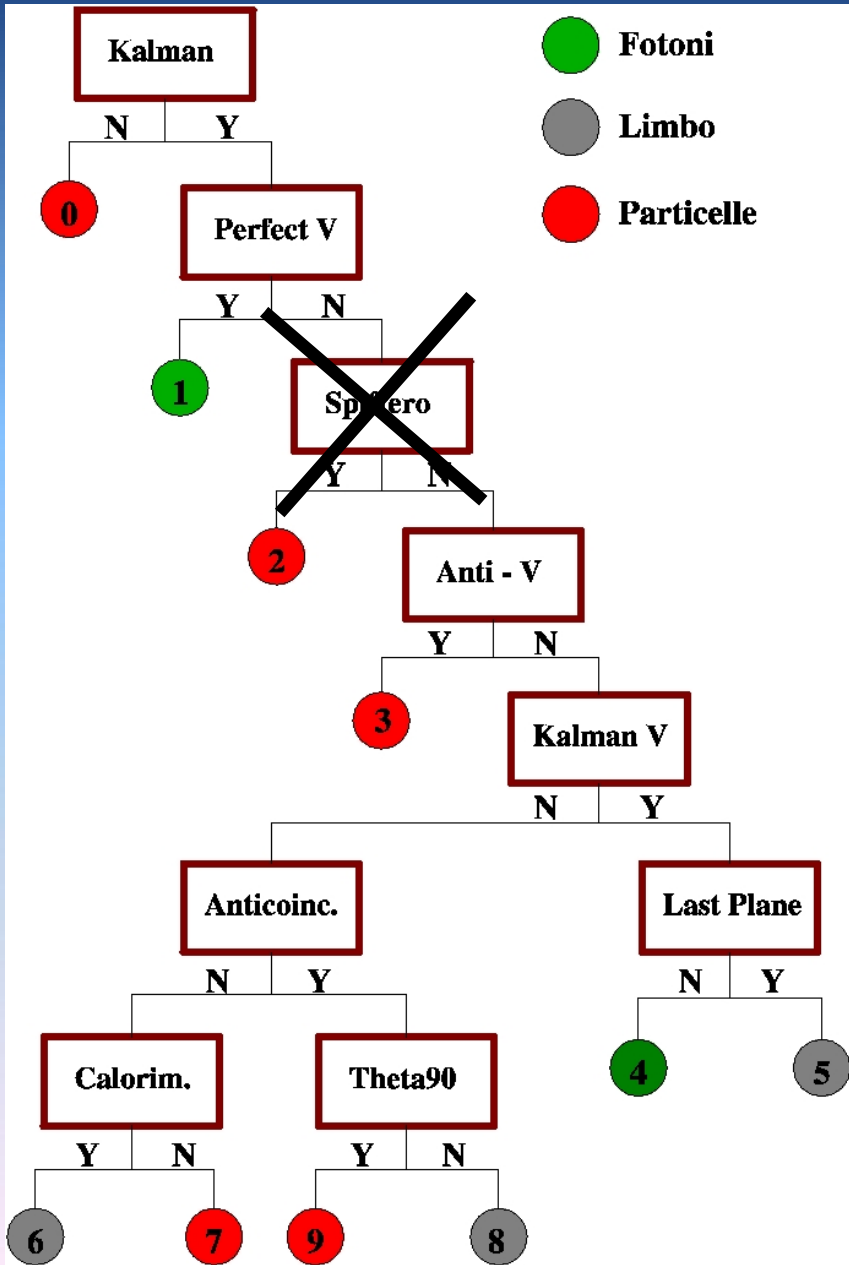
- nei dati rivelati dal GRID:
  - ✓ ridurre la componente del fondo strumentale
  - ✓ aumentare la componente dei fotoni gamma

## Metodo

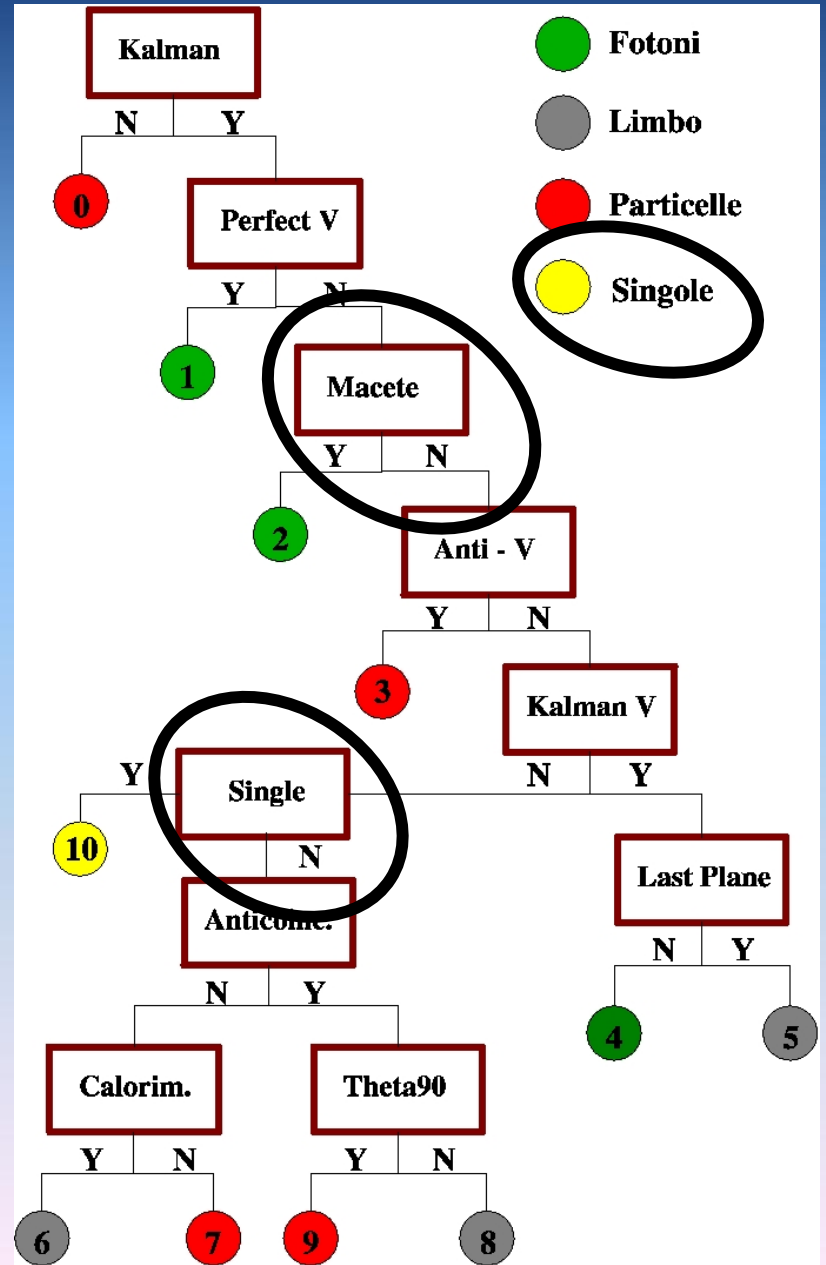
- modifica della struttura logica del Filtro originale
- introduzione di due nuovi algoritmi
- test delle diverse configurazioni del Filtro così ottenute
  - ✓ con dati simulati di sole componenti di background
  - ✓ con dati simulati di soli fotoni gamma



# Il Filtro F



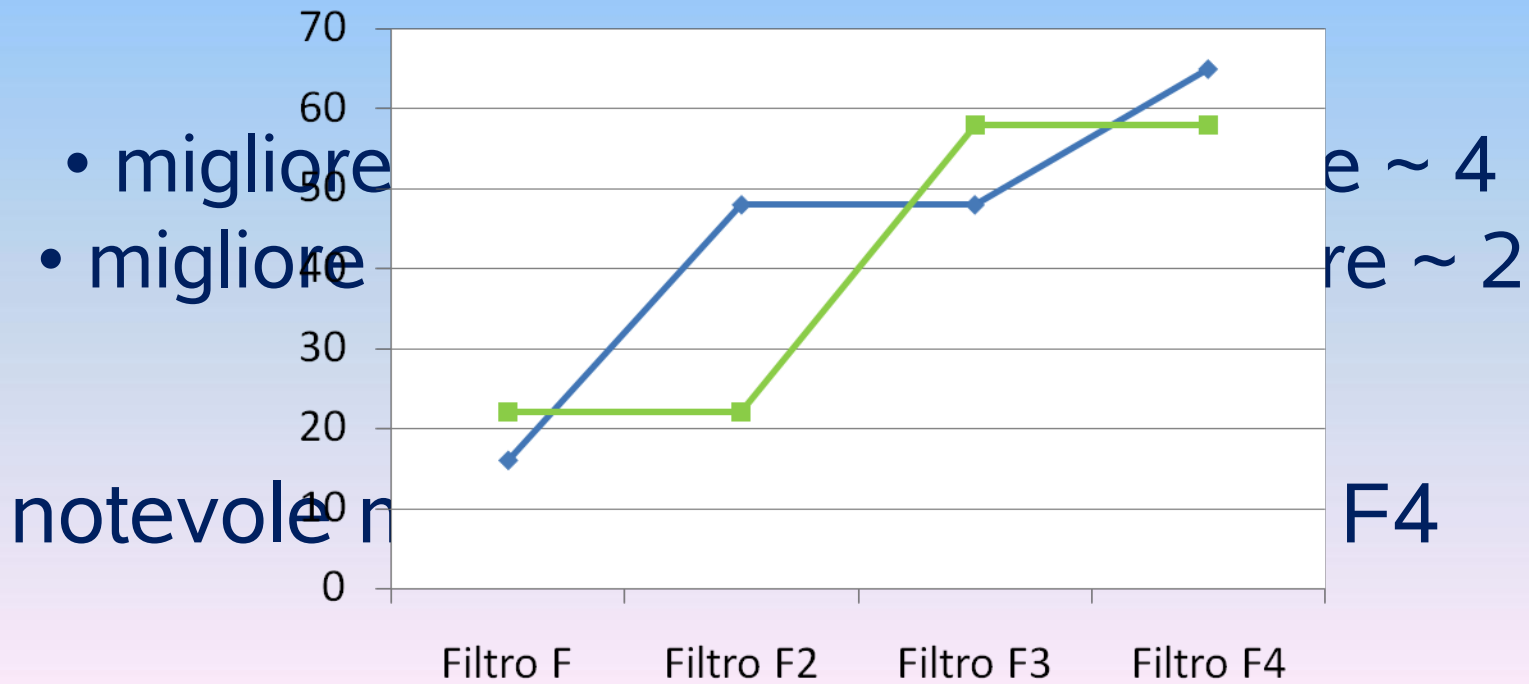
# Il Filtro F4



# Risultati

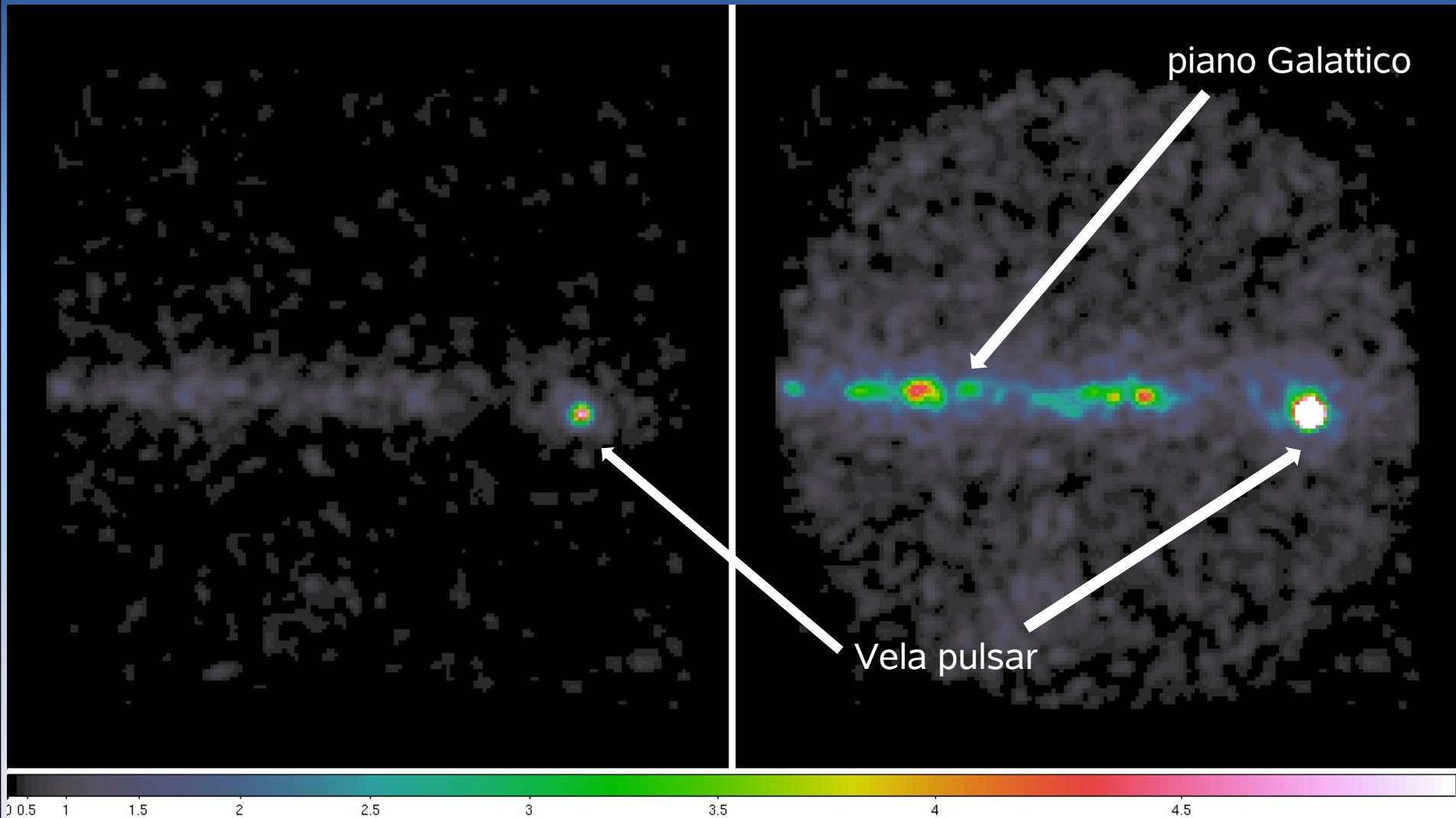
(percentuali medie)

	simulazioni di background	simulazioni di fotoni gamma
	“fondo”	“fotoni gamma”
Filtro F	16%	22%
Filtro F2	48%	22%
Filtro F3	48%	58%
Filtro F4	65%	58%



# Mappa di conteggi

(13.07.07 – 24.07.07)



F2

vs

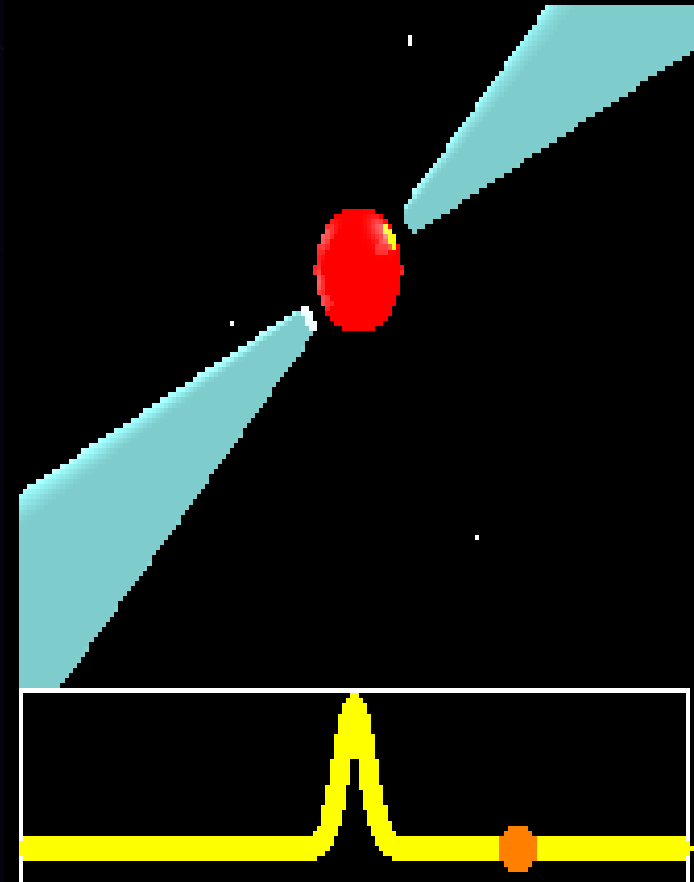
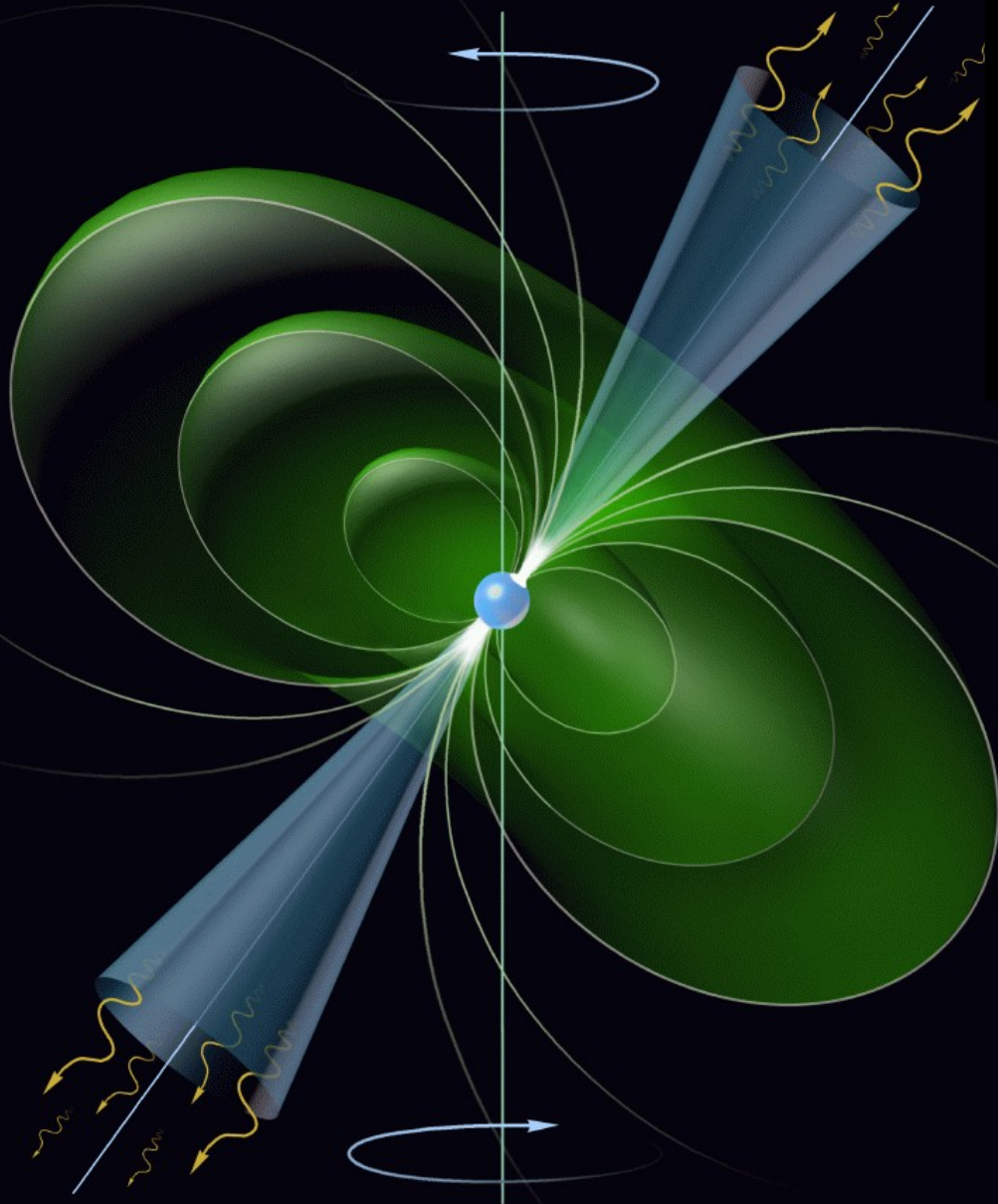
F4

# Applicazione del Filtro F4 a dati veri per una conferma dei miglioramenti ottenuti

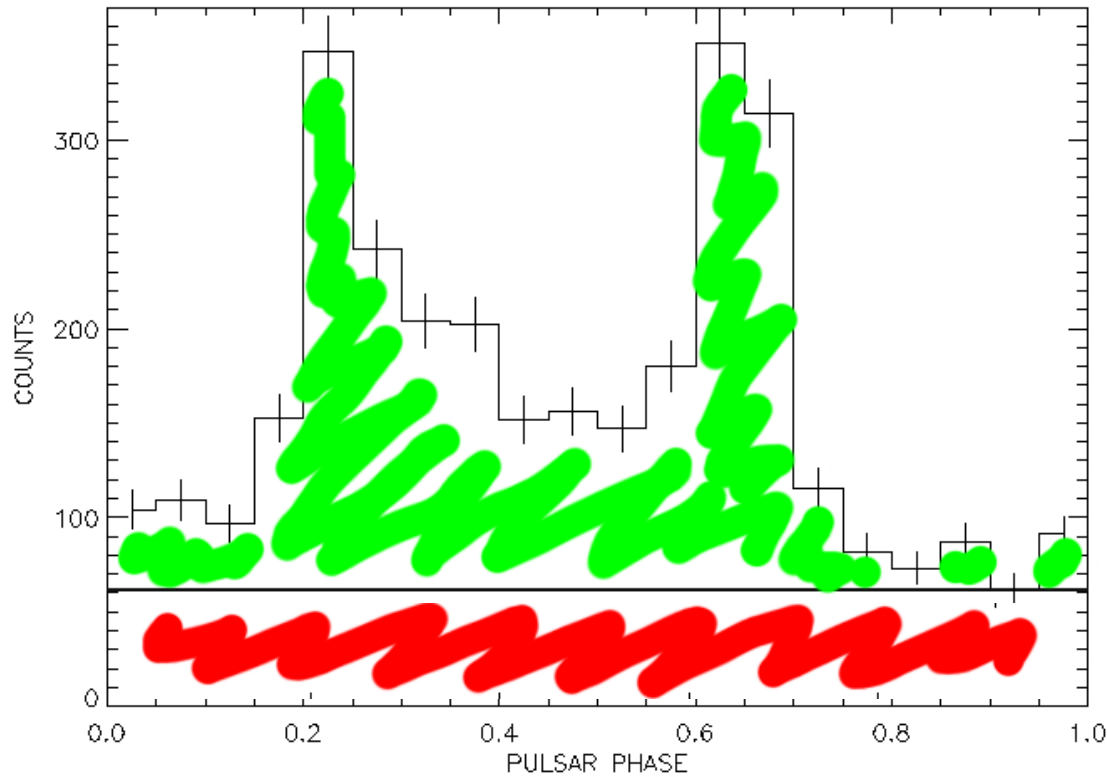
- Vela pulsar:
  - ✓ nel campo di vista di AGILE per circa un mese
  - ✓ pulsar con caratteristiche di flusso e periodo ben note
  - ✓ flusso gamma integralmente pulsato

# PULSAR

- stella di neutroni
- altamente magnetizzata ( $B \sim 10^{12}$  G)
- in rapida rotazione ( $P \sim 1$  ms – 10 s)
- perdita di  $\sim 10\%$  energia rotazionale sotto forma di radiazione gamma ( $\geq 10^{33}$  erg s $^{-1}$ )



# Curva di luce



$$S = T - B$$

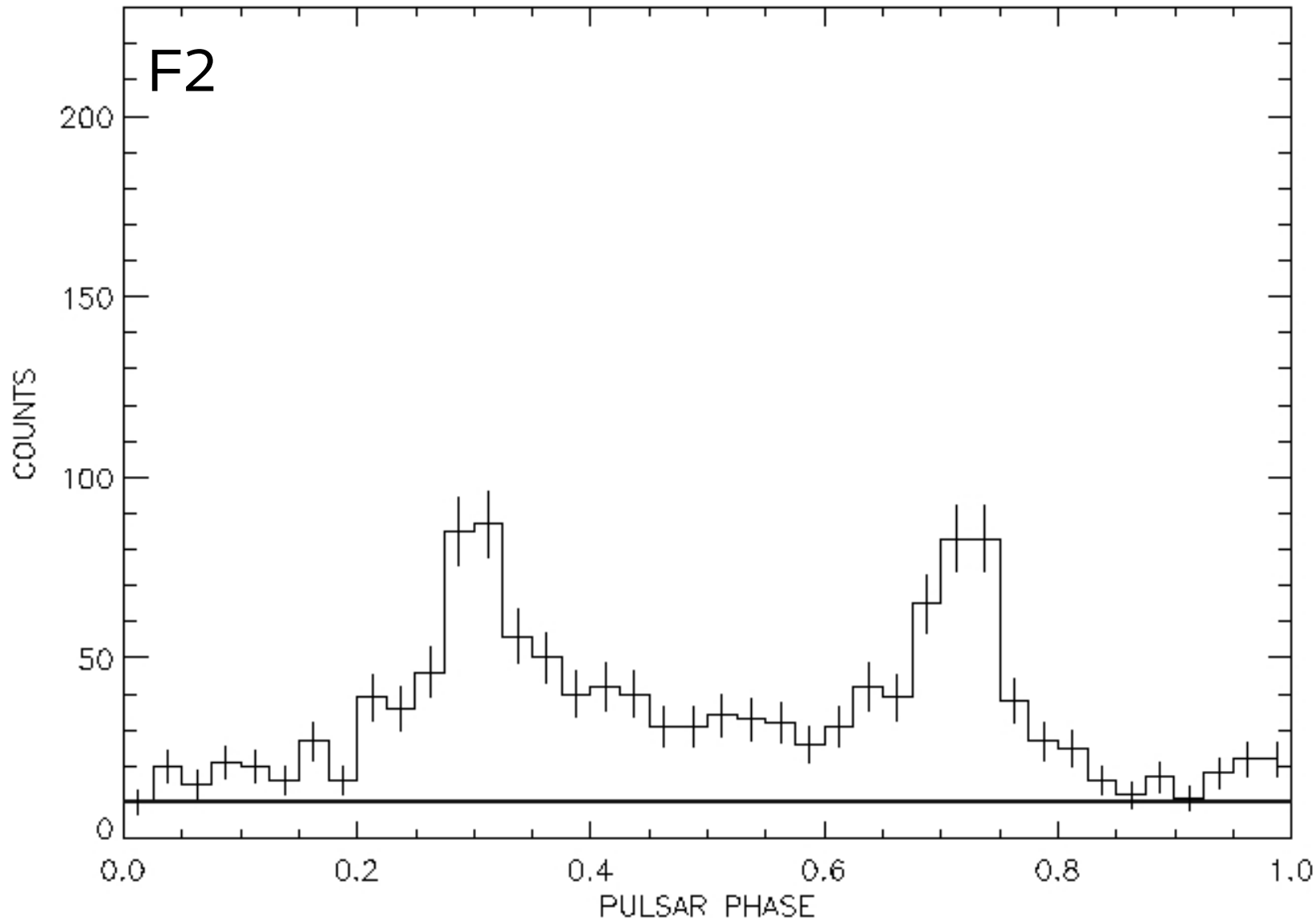
$$F = \frac{S}{\text{Exp}} = \frac{S}{A_{\text{eff}} \cdot t \cdot k}$$

segnale maggiore

└─→  $A_{\text{eff}}$  maggiore

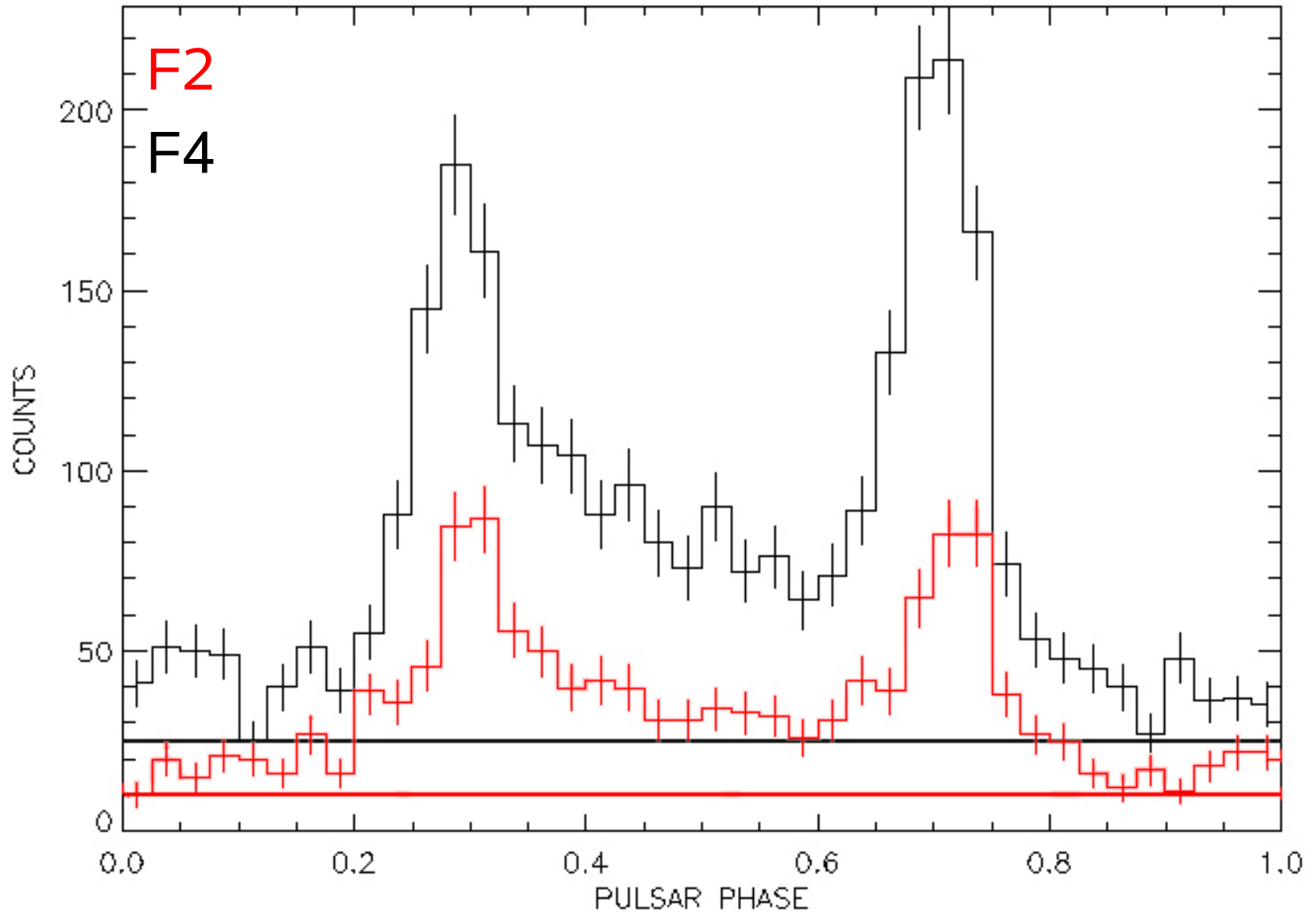
# Curva di luce di Vela

(fotoni con  $E > 100$  MeV)



# Curva di luce di Vela

(fotoni con  $E > 100$  MeV)





# F2 vs F4

(fotoni con  $E > 100$  MeV)

Vela	conteggi pulsati	Exp ( $\text{cm}^2 \text{ s}$ )
Filtro F2	$844 \pm 112$	$(1.01 \pm 0.13) \cdot 10^8$
Filtro F4	$1928 \pm 174$	$(2.31 \pm 0.21) \cdot 10^8$

conteggi pulsati aumentati di un fattore  $\sim 2$   
=

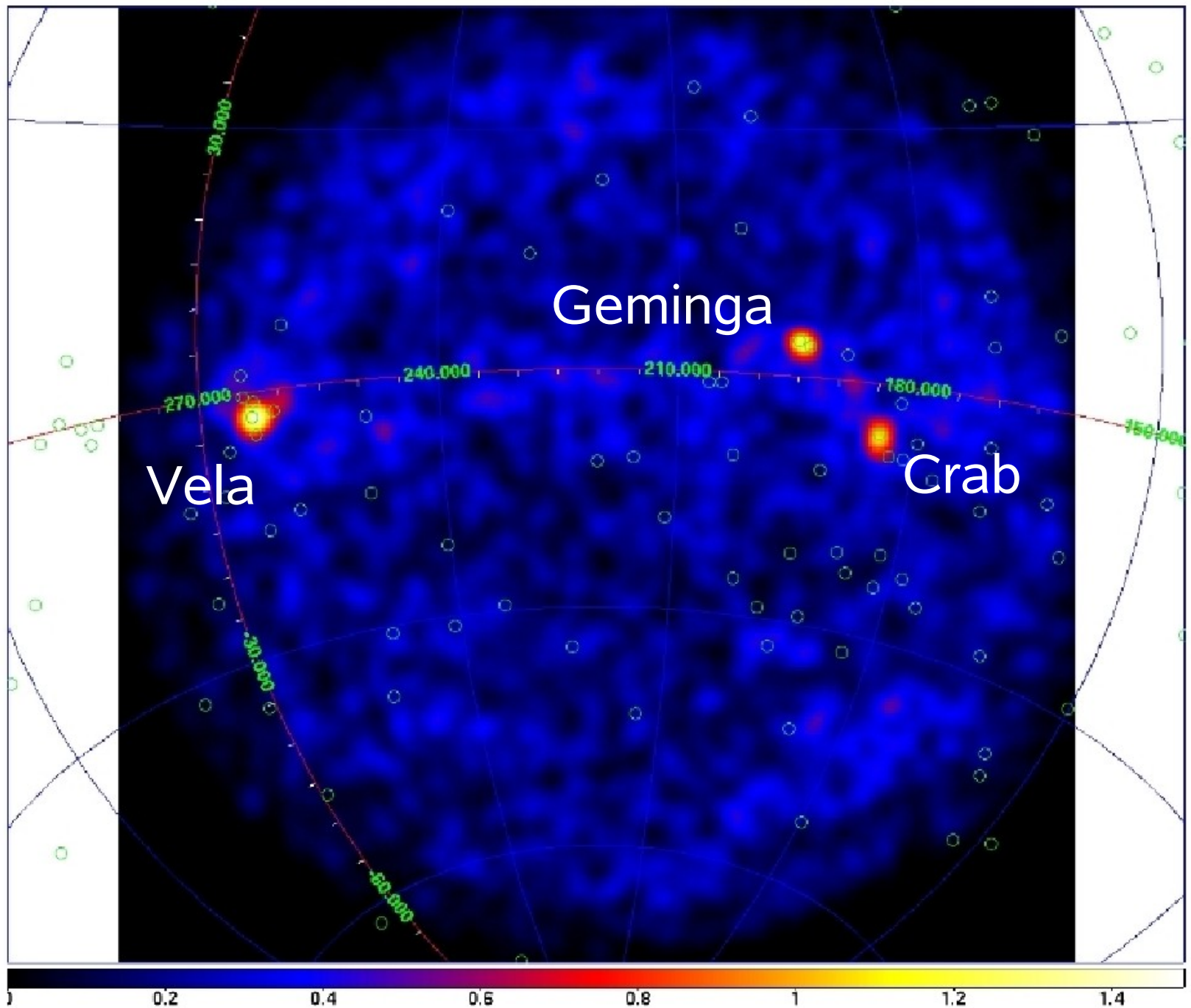
esposizione aumentata di un fattore  $\sim 2$



- area efficace doppia
- conferma dei risultati ottenuti dalle simulazioni

# Applicazione del Filtro F4 allo studio di tre pulsar

- Vela (J0835-4510)
- Geminga (J0633+1746)
- Crab (J0534+2200)
  
- verifica del funzionamento del software di “timing” di AGILE
- calcolo dei periodi di pulsazione
  - ✓ ottimo accordo con i valori in letteratura
- curve di luce
  - ✓ risoluzione temporale più alta mai raggiunta ( $< 500 \mu\text{s}$ )



# Applicazione del Filtro F4 alla ricerca dei Gamma-Ray Burst nei dati del GRID

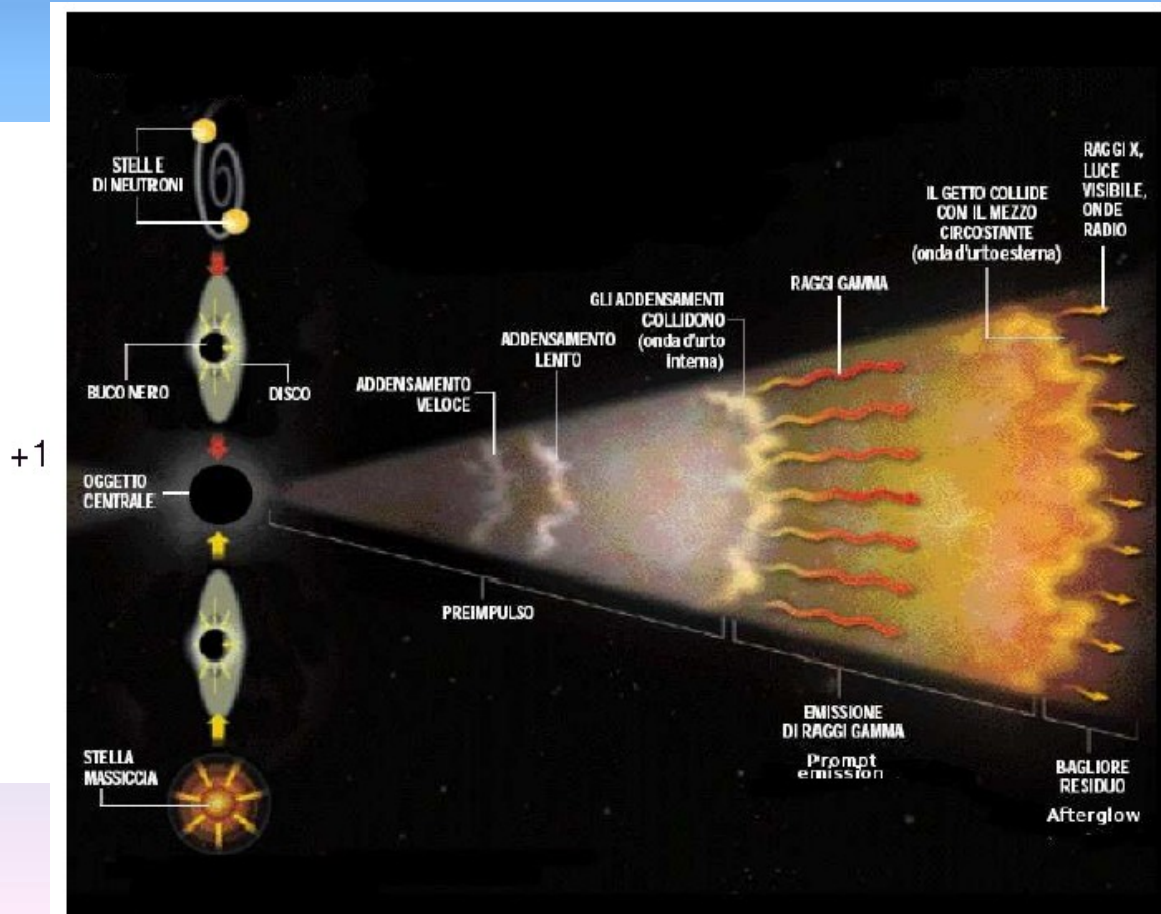
Gamma-Ray Burst (GRB):

- lampi gamma estremamente intensi ( $E \sim 10^{51}$  erg s<sup>-1</sup>)
- distribuzione fortemente isotropa nel cielo

modello a “fireball”:

- “prompt emission”
- “afterglow”

solo 7 GRB nella banda gamma rivelati da EGRET in ~ 7 anni



# L'algoritmo "grb"

★ GRB

Tempo (secondi)

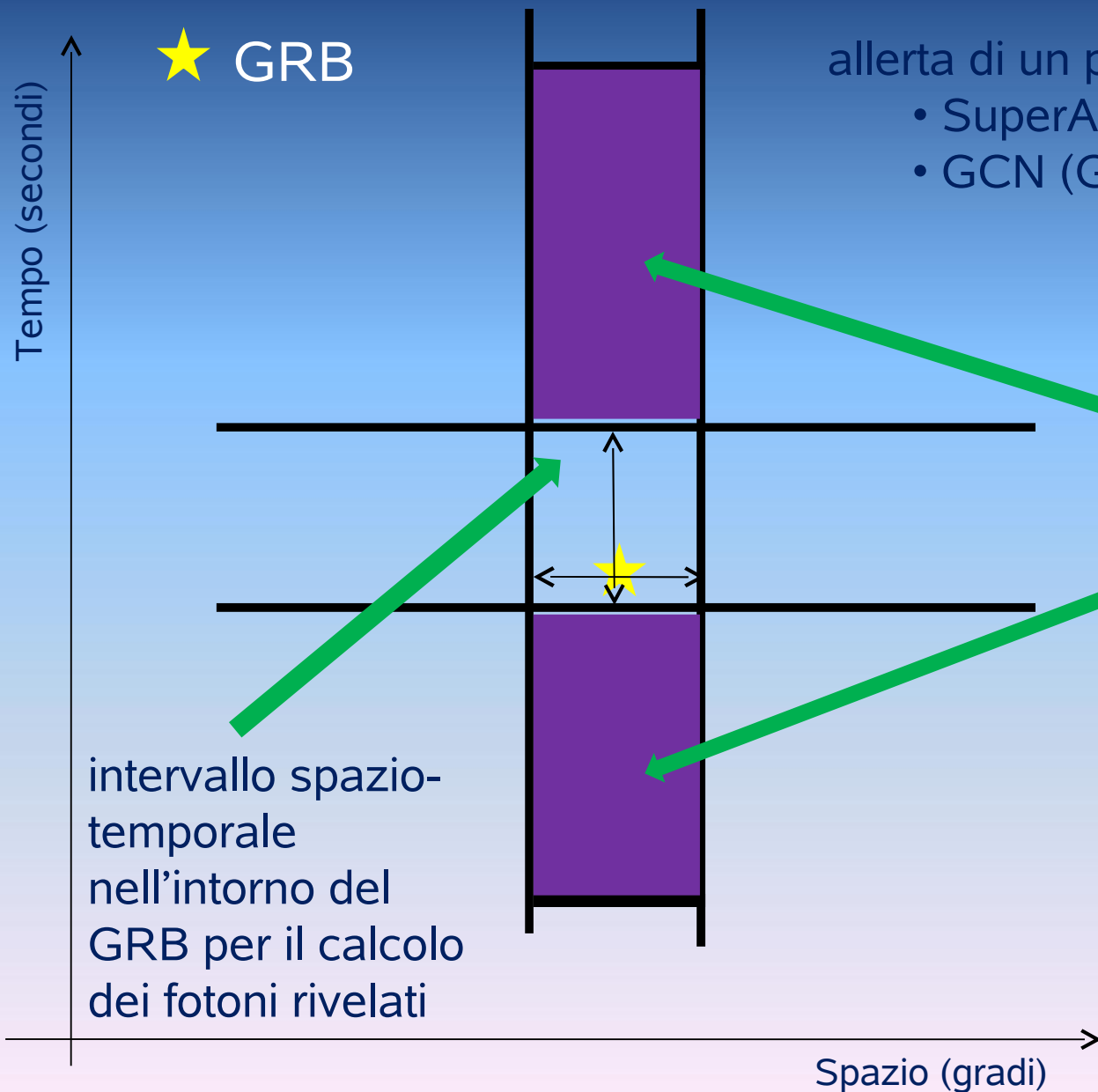
allerta di un possibile GRB

- SuperAGILE
- GCN (GRB Coordinates Network)

finestra spazio-temporale per il calcolo del rate di fotoni di background aspettato nell'intorno del GRB

intervallo spazio-temporale nell'intorno del GRB per il calcolo dei fotoni rivelati

Spazio (gradi)



# Risultati

- per i GRB analizzati non c'è stata rivelazione significativa da parte del GRID (~ 1-2 all'anno)
- calcolo del limite superiore del flusso per il GRB del 24 luglio 2007:  
 $F (E > 100 \text{ MeV}) < 4 \cdot 10^{-3} \text{ ph cm}^{-2} \text{ s}^{-1} (3\sigma)$



GCN6670: “**GRB 070724B: Analysis of AGILE gamma-ray data**”,  
Chen A., Vercellone S., Giuliani A., Pellizzoni A., **Fornari F.**, et al., 2007

# CONCLUSIONI:

- migliore analisi dei dati per la missione AGILE grazie al miglioramento del Filtro sia nella reiezione del fondo strumentale sia nella rivelazione dei fotoni gamma
- Filtro F4 attualmente in uso presso “ASI Science Data Center” per l’analisi delle sorgenti astrofisiche rivelate dal GRID
- conferma del funzionamento del software di “timing” di AGILE
  - ✓ curve di luce e valori dei periodi di pulsazione per Vela, Geminga, Crab
  - ✓ risultati ottenuti inclusi in un articolo attualmente in fase di preparazione
- algoritmo “grb” presto implementato in una struttura software più ampia per la ricerca rapida dei GRB
  - ✓ non rivelazione significativa di GRB nei dati del GRID
  - ✓ calcolo del limite superiore del flusso per GRB070724B
  - ✓ analisi dei dati gamma di AGILE per GRB070724B in GCN6670

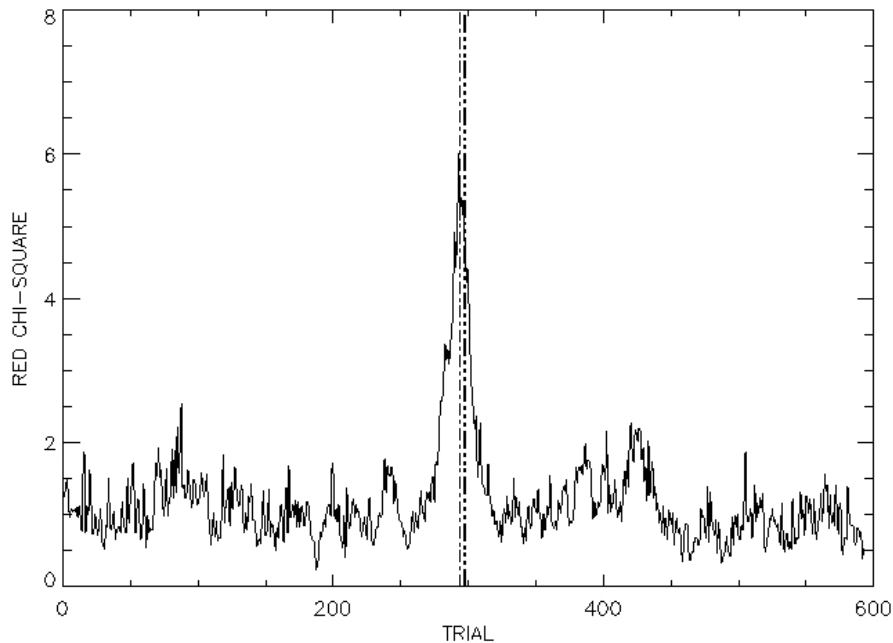
# POSSIBILI SVILUPPI:

- ulteriore miglioramento del Filtro
- aumento della risoluzione temporale nelle curve di luce delle pulsar con nuove osservazioni
- studio del glitch di Vela accaduto in agosto
- sviluppo dell'algoritmo per una ricerca cieca dei GRB nei dati del GRID
- ... in attesa che l'Universo collabori ...



A vibrant, multi-colored nebula, likely the Helix or Ring Nebula, is shown against a dark background filled with numerous small, bright stars. The nebula's structure is intricate, with glowing filaments and a central bright region. The colors range from deep reds and oranges in the lower-left quadrant to bright blues and greens in the upper-right. The word "FINE" is superimposed in a bold, blue, sans-serif font in the center of the image.

FINE



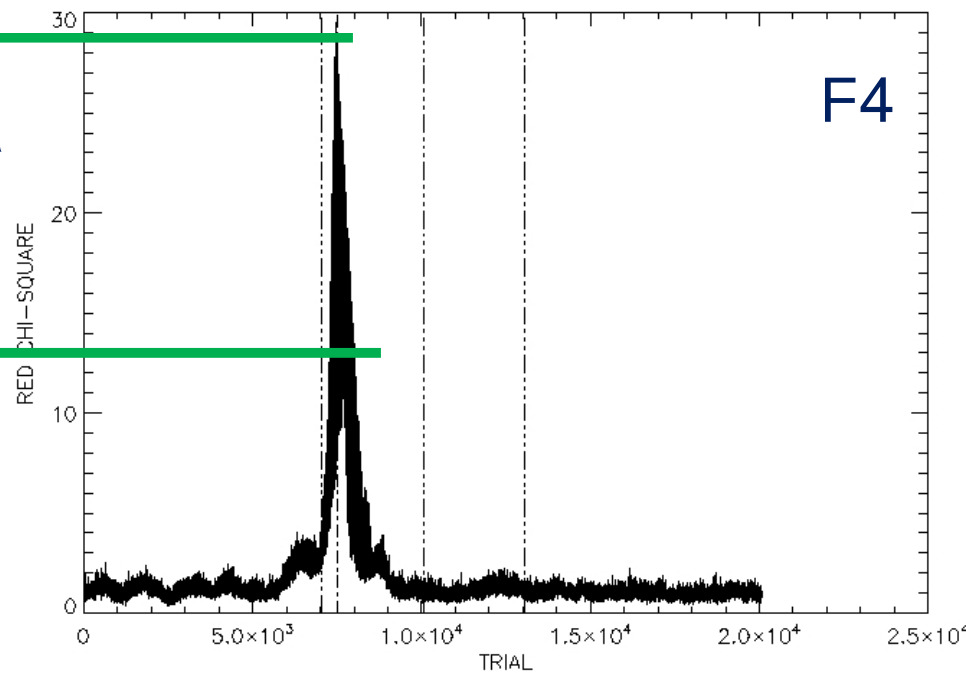
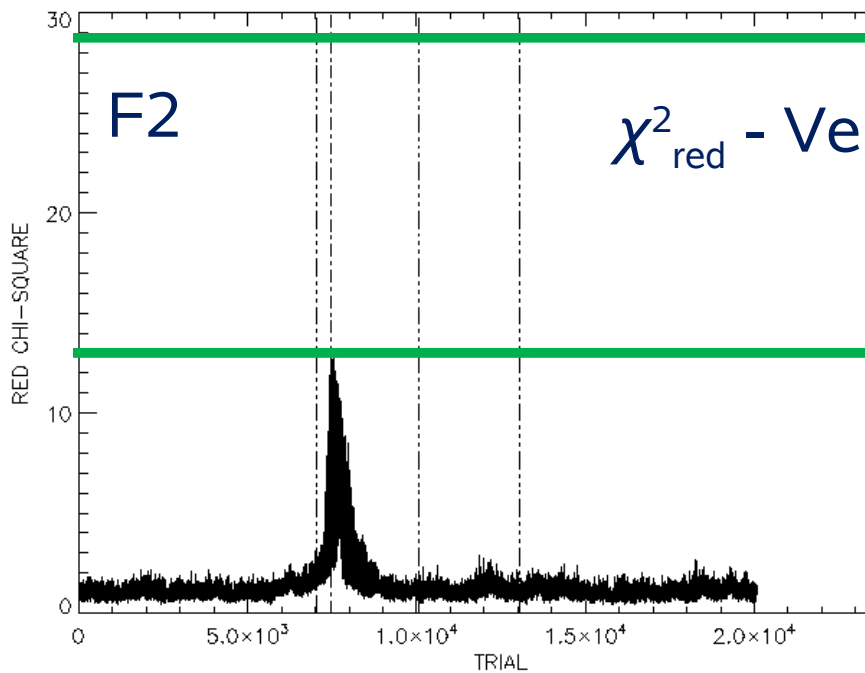
$$\Phi \in [0,1]$$

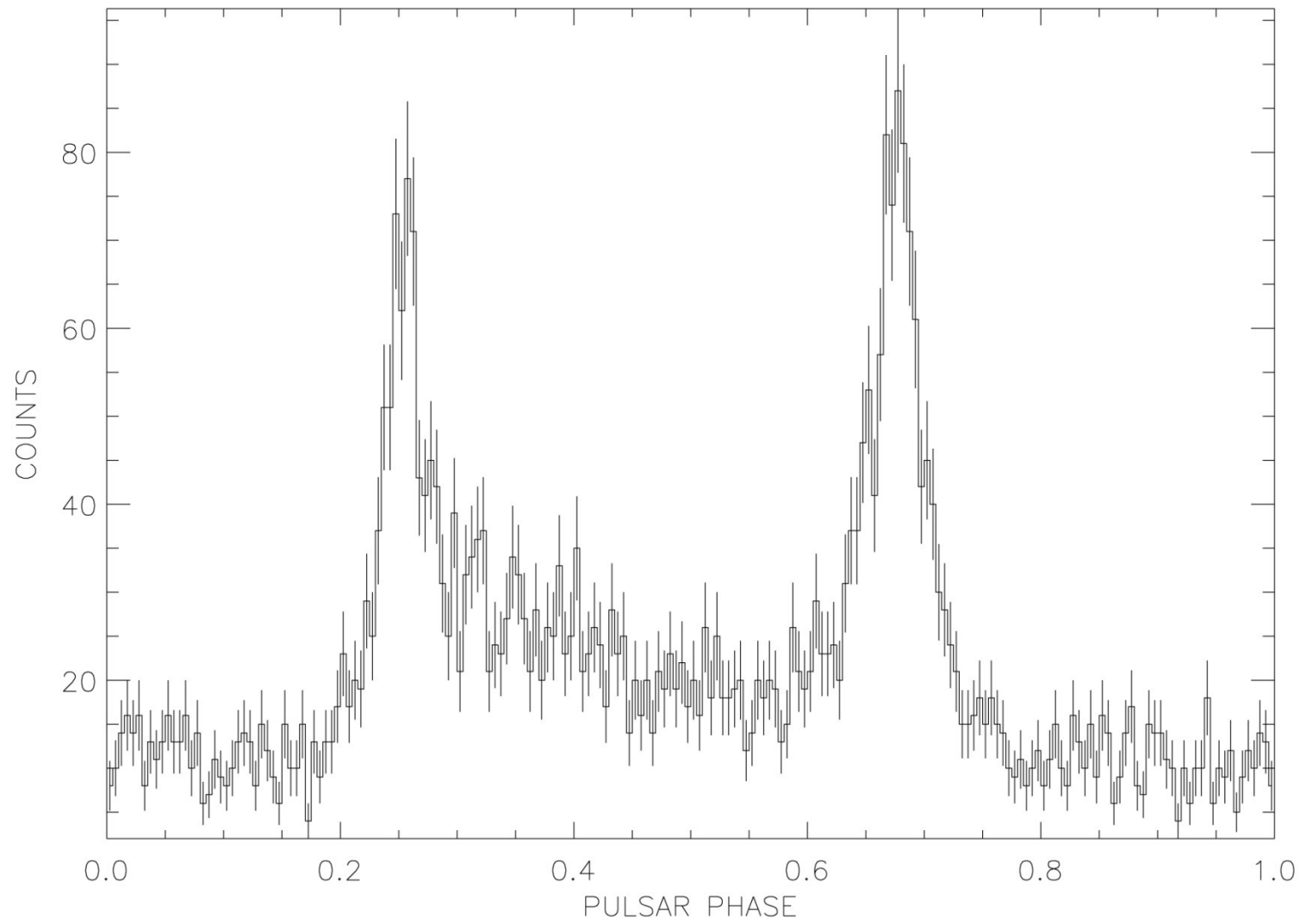
$$\Phi = v(t_\gamma - t_0) + \frac{1}{2}v'(t_\gamma - t_0)^2 + \dots$$

segnale periodico  $\rightarrow \chi^2_{\text{red}} \gg 1$

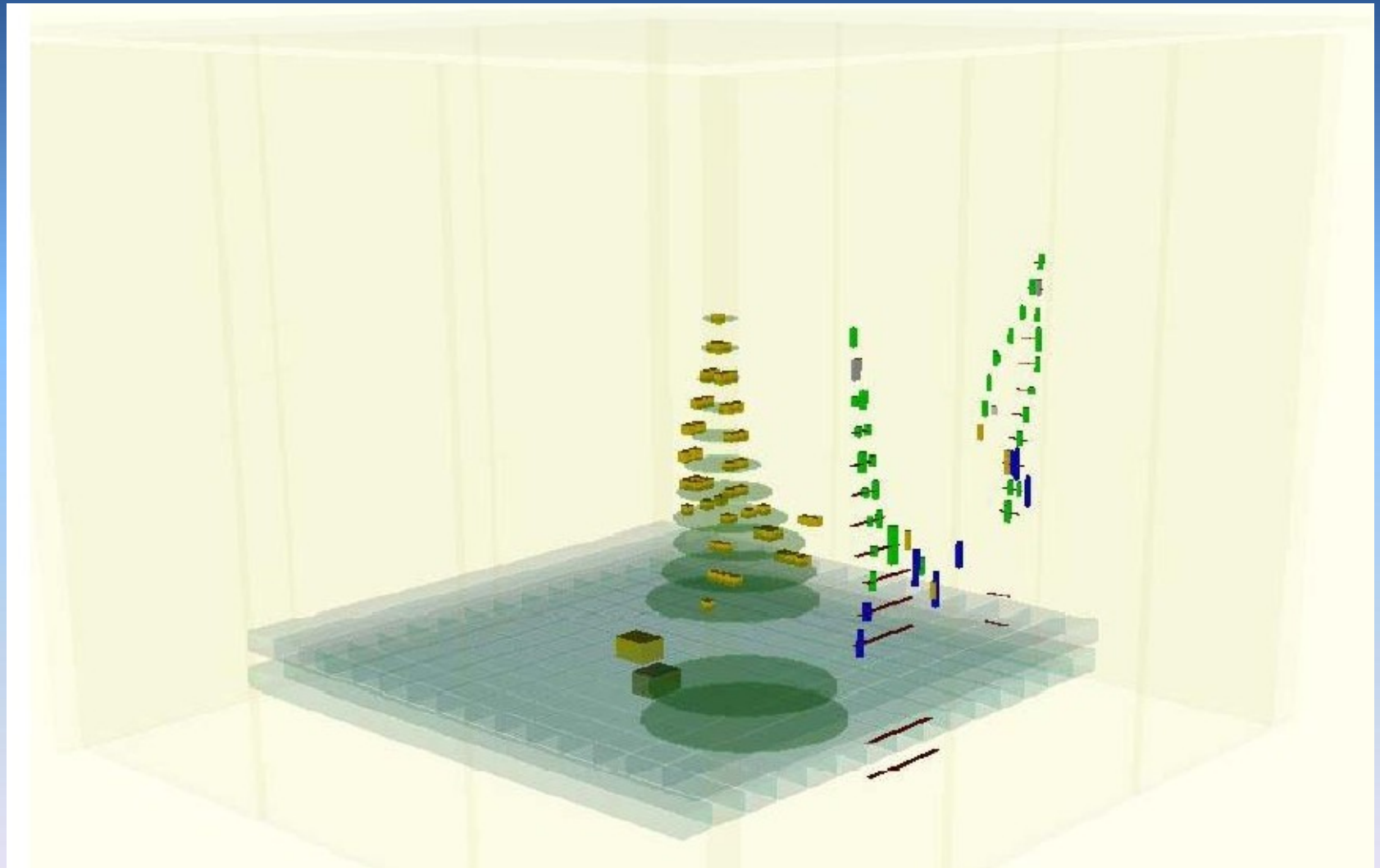
$\chi^2_{\text{red}}$  maggiore

$\rightarrow$  segnale migliore

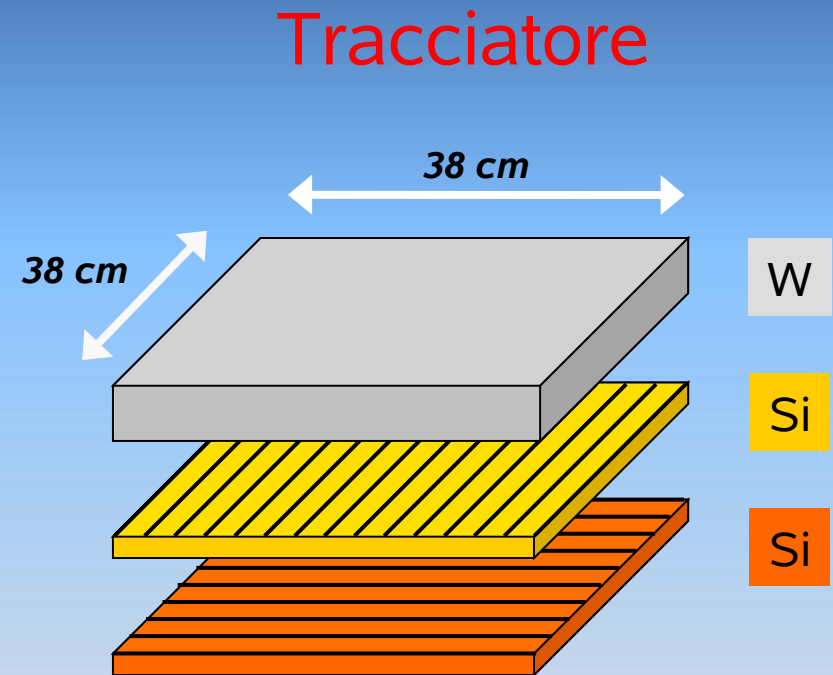
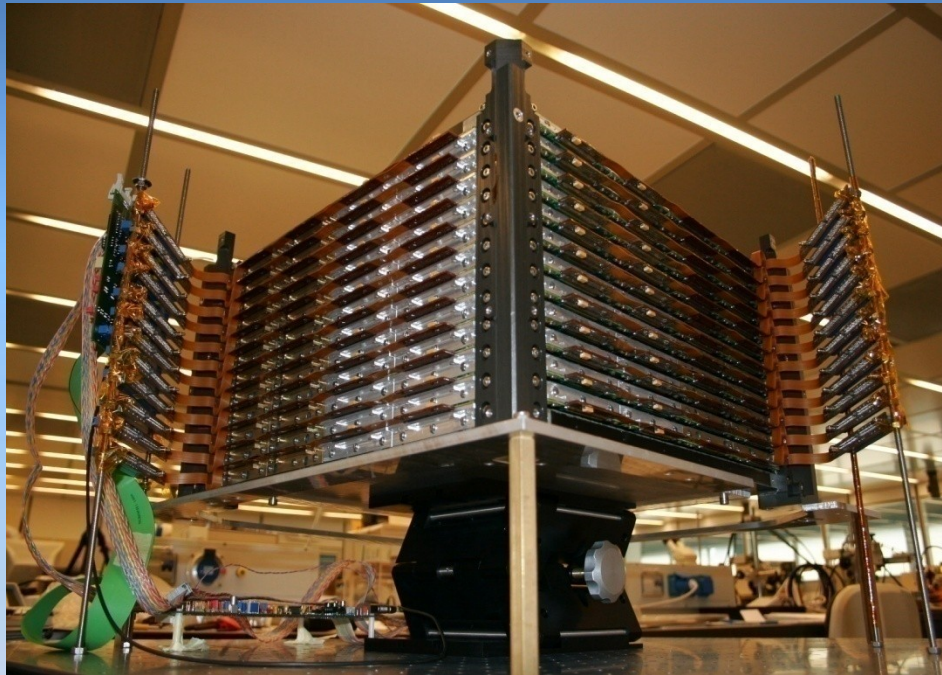




# Le tracce in 3-D



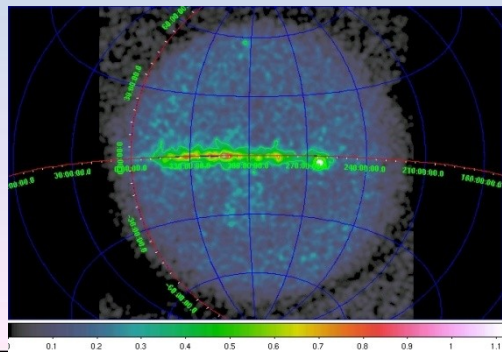
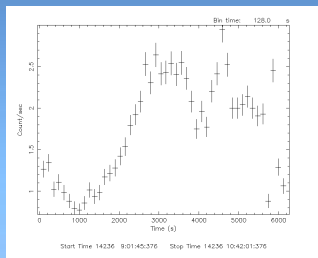
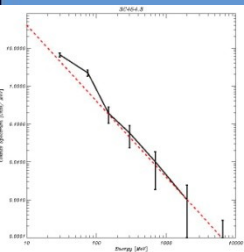
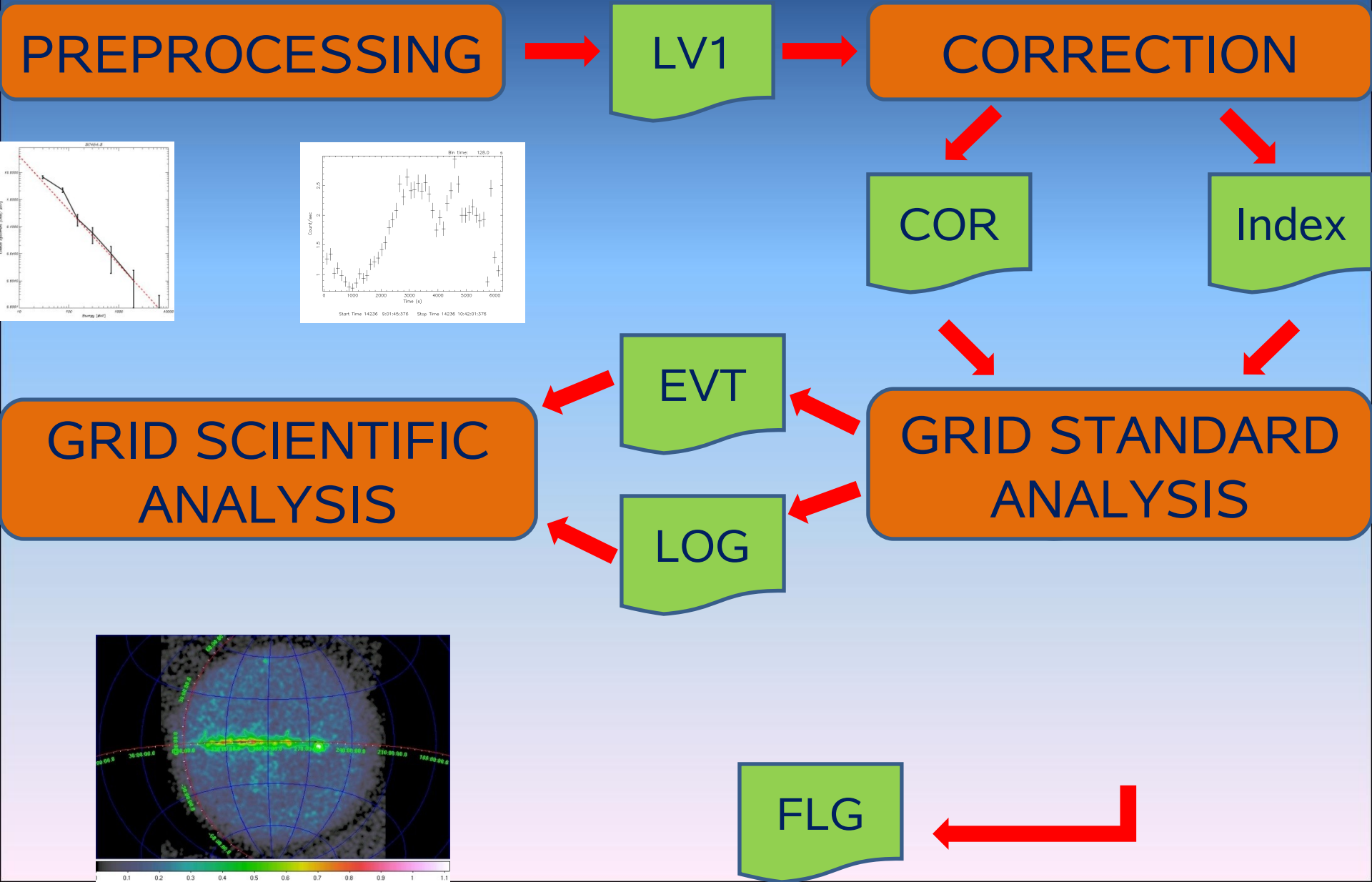
# Tracciatore + MiniCalorimetro = GRID (Gamma Ray Image Detector)



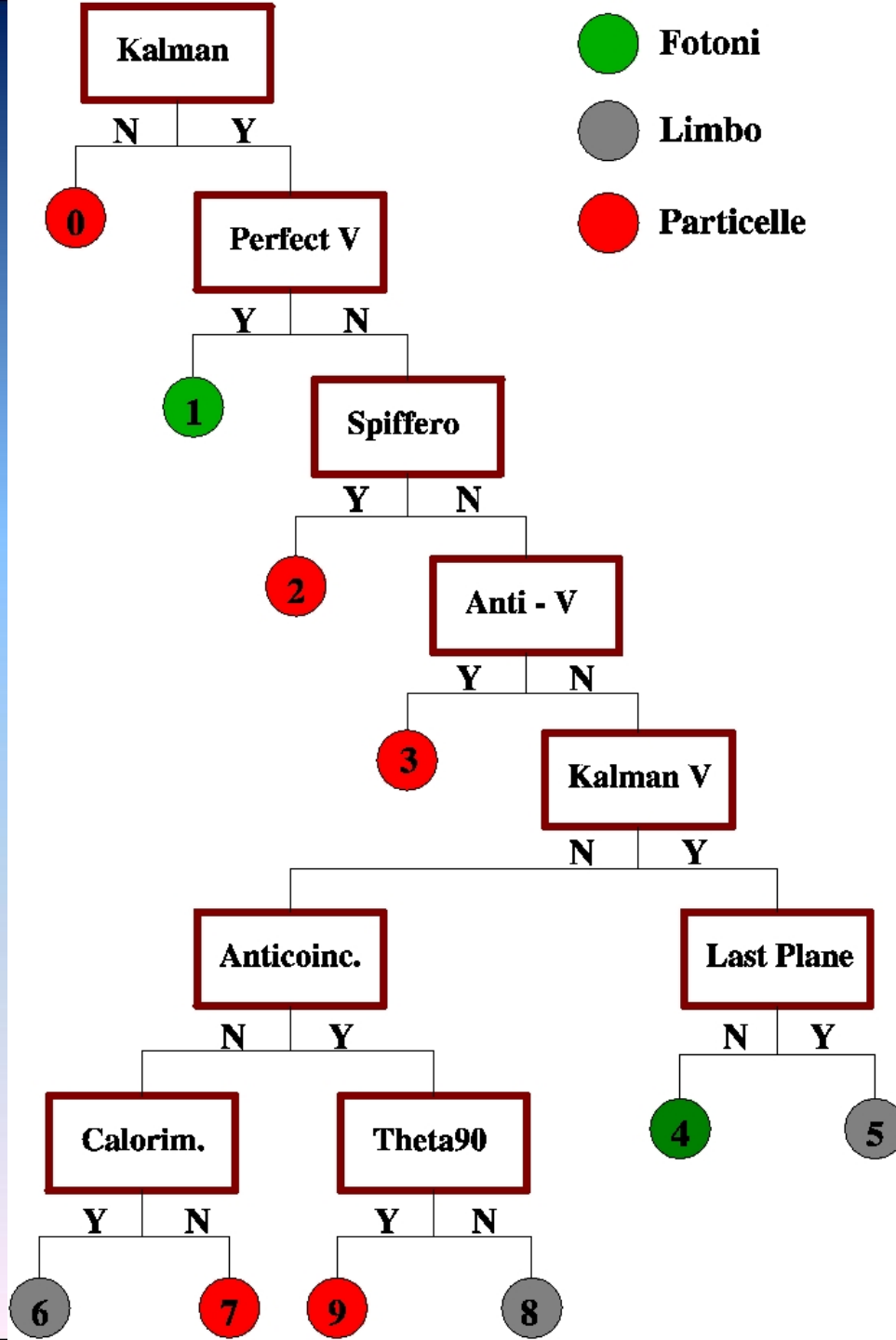
La probabilità di conversione del fotone è legata essenzialmente agli strati di tungsteno, ciascuno dei quali ha uno spessore pari a  $0.07 X_0$ , per cui :

$$L_{\text{tot}} \approx 0.7 X_0 \quad \Rightarrow \quad P = 1 - \exp(-7 L_{\text{tot}} / 9 X_0) = 0.42$$

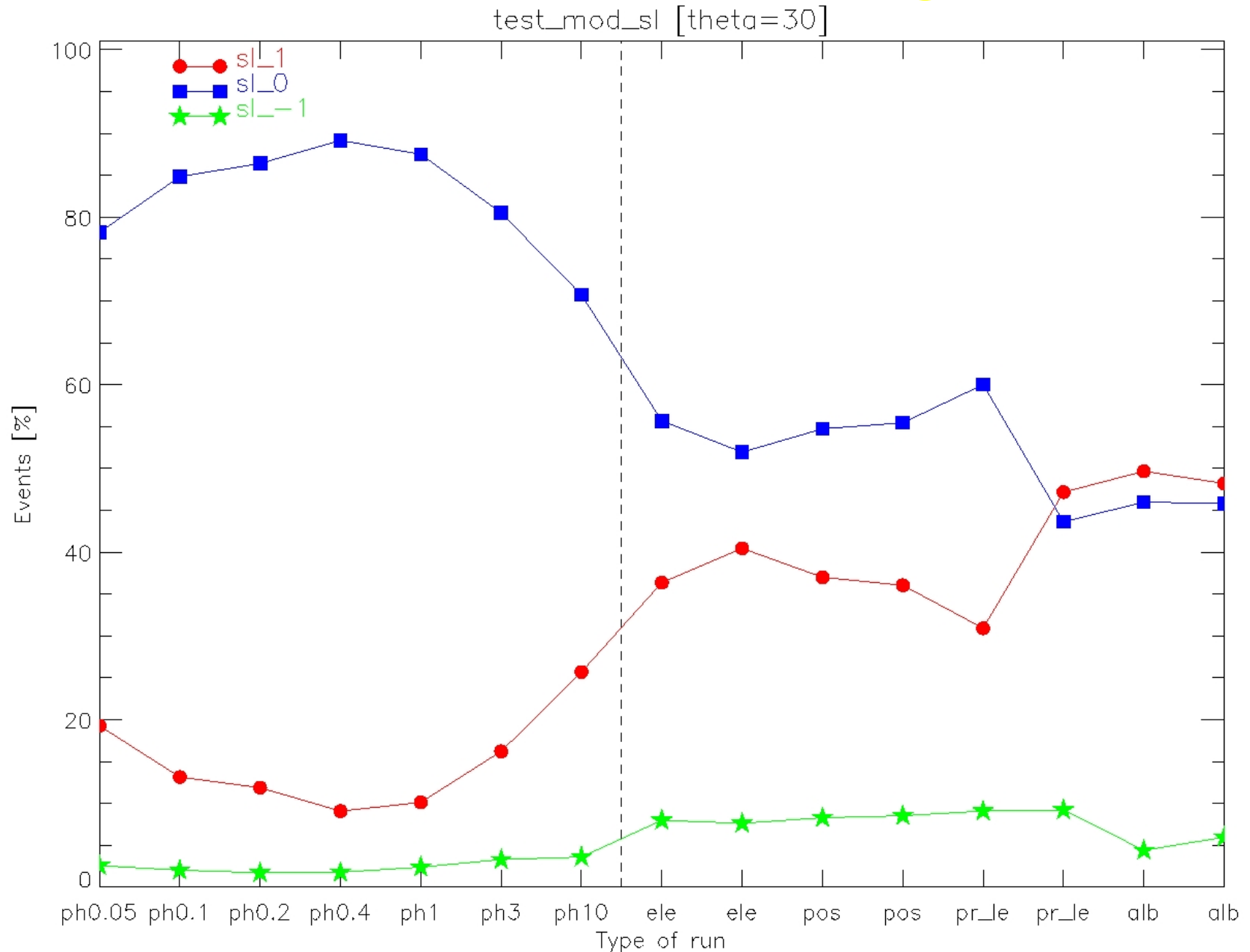
# L'analisi dei dati di AGILE/GRID



# Il Filtro F

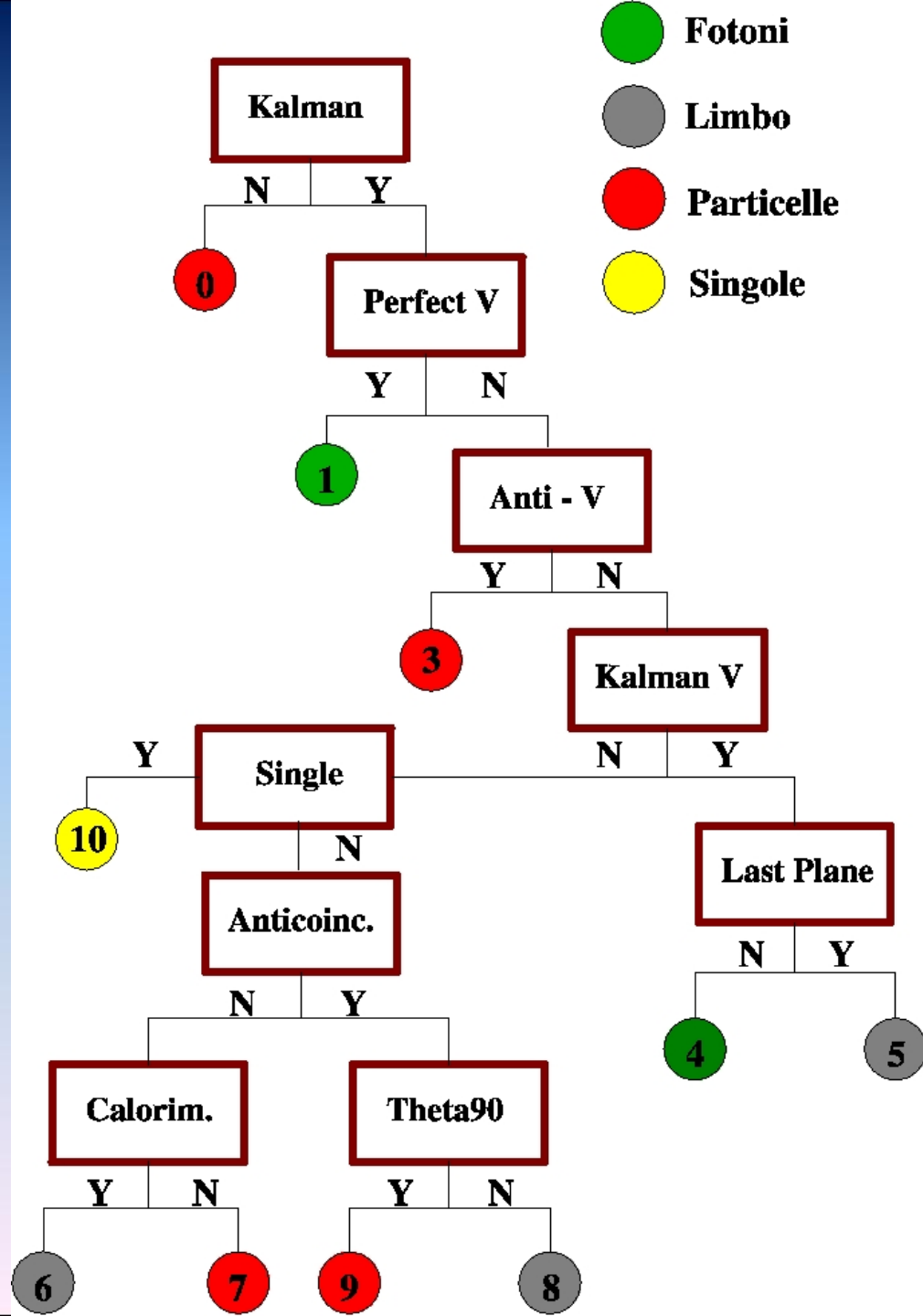


# Test sul modulo "Single"

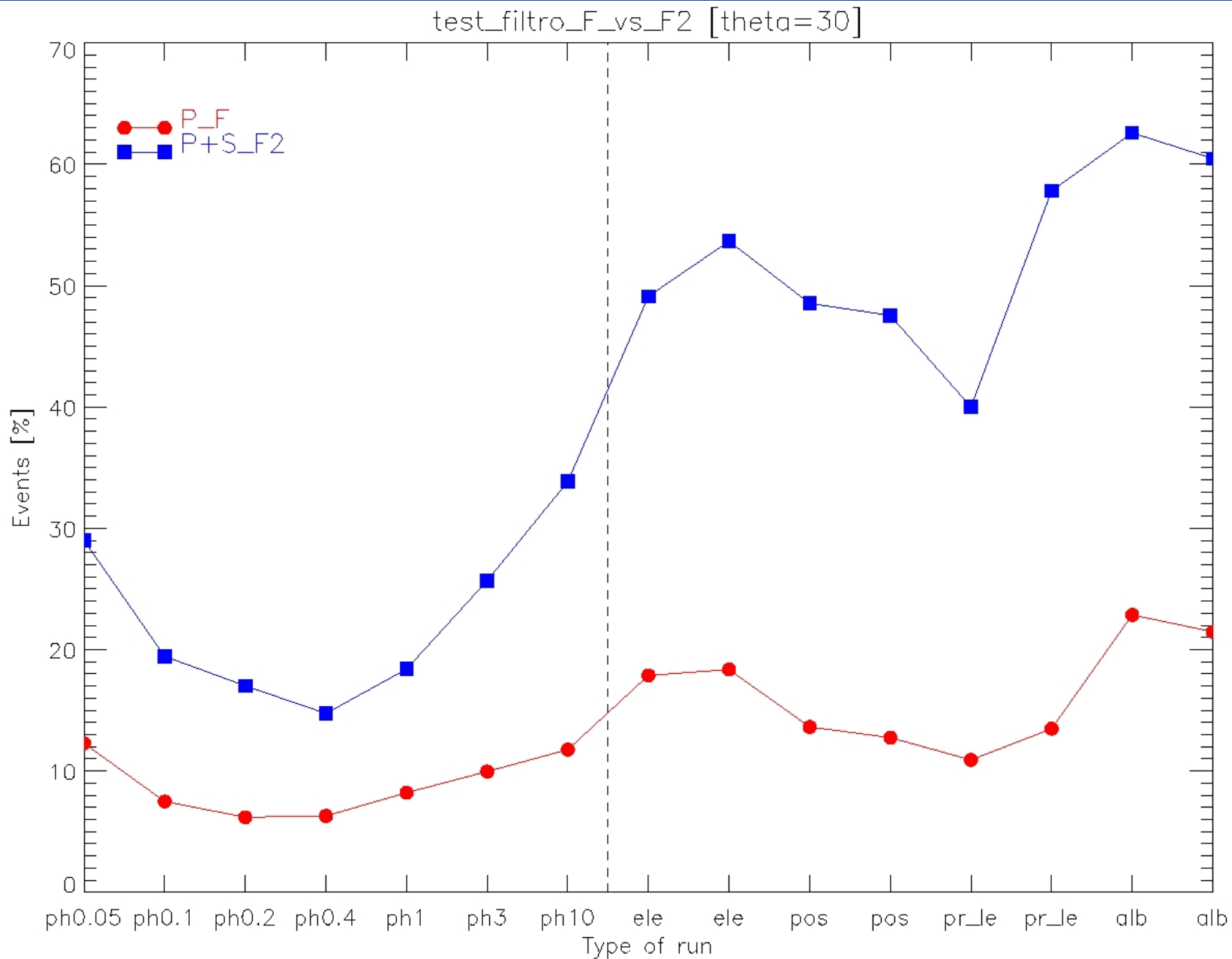




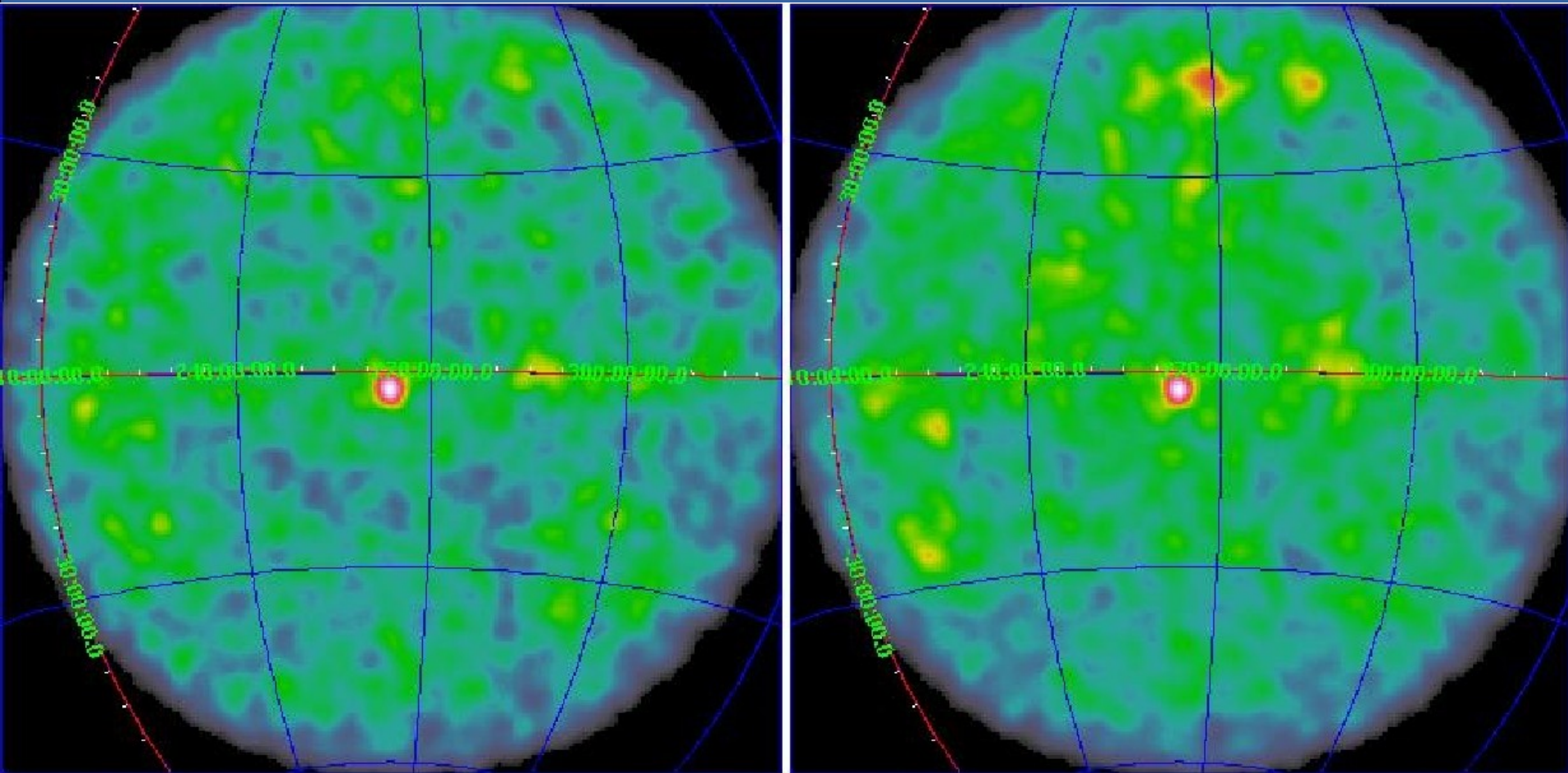
# Il Filtro F2



# F vs F2



# La Vela pulsar

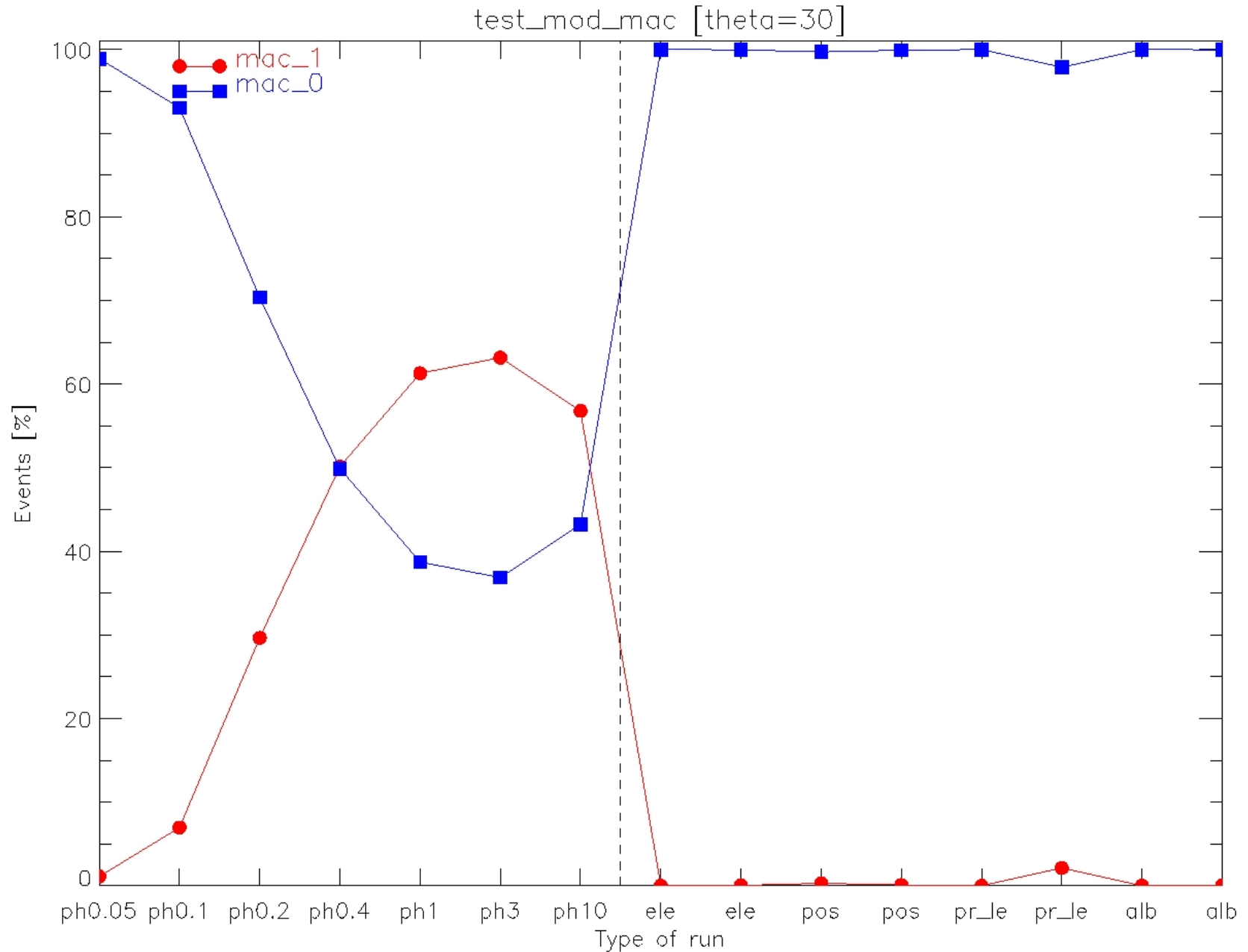


F2

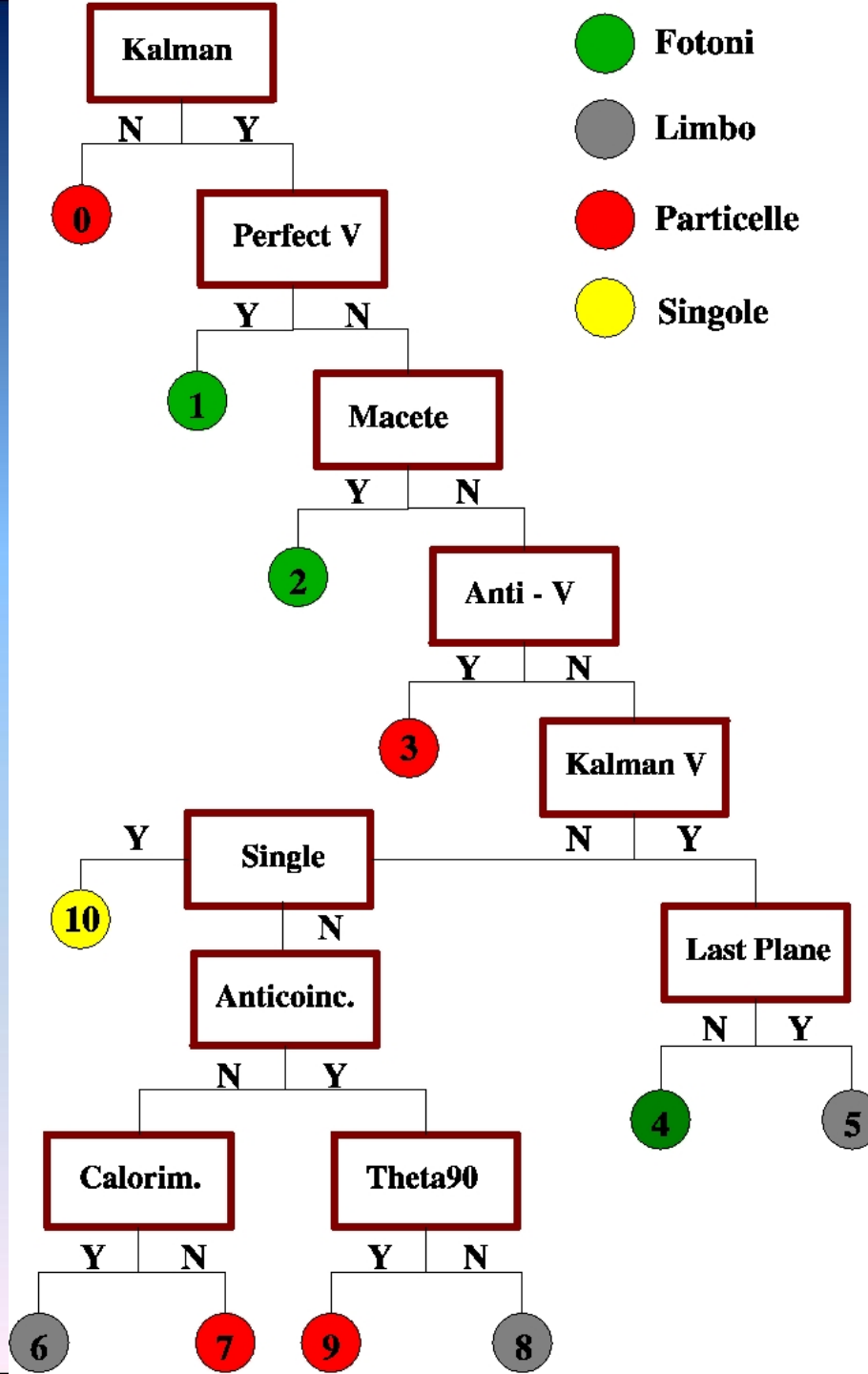
vs

F

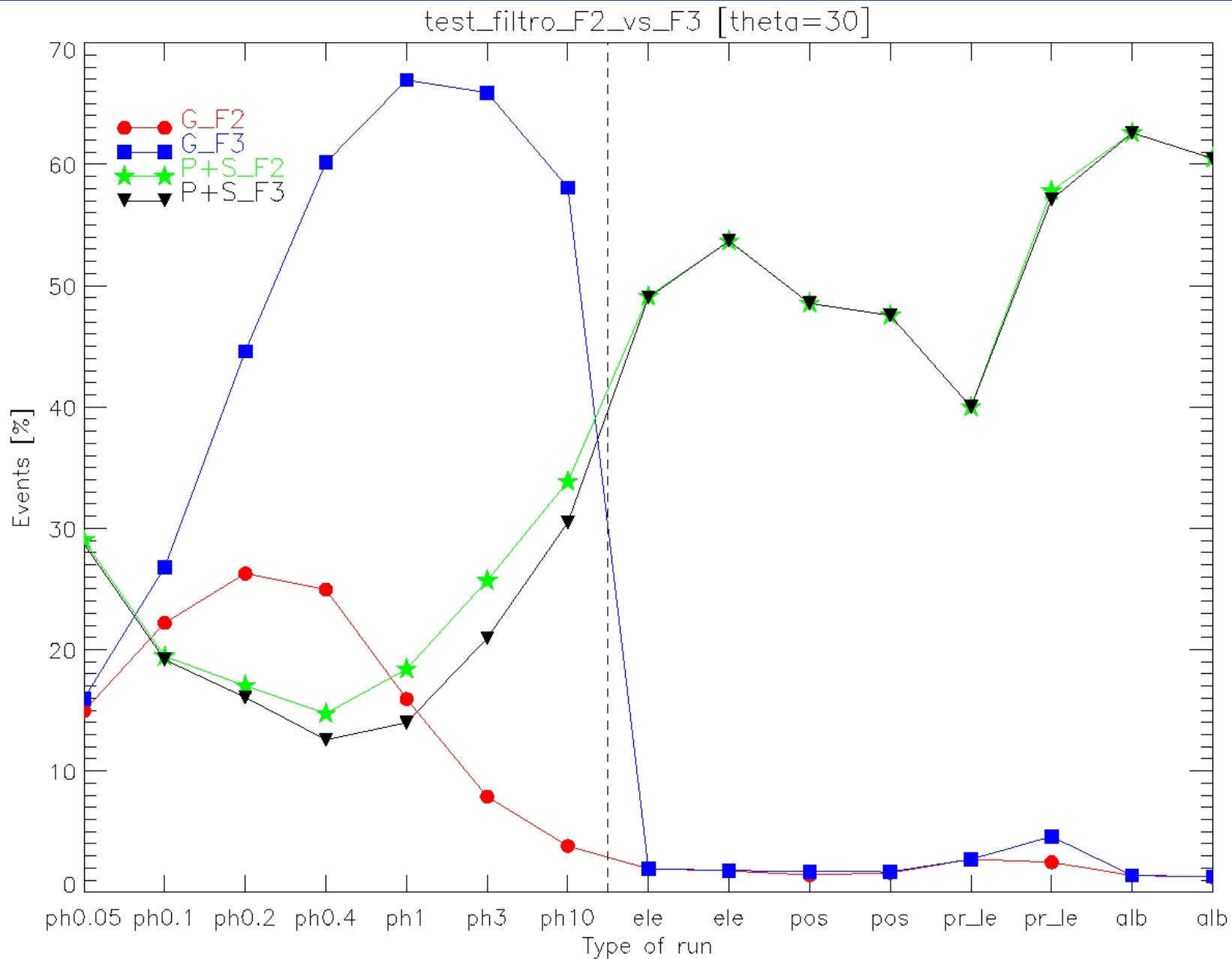
# Test sul modulo "Macete"



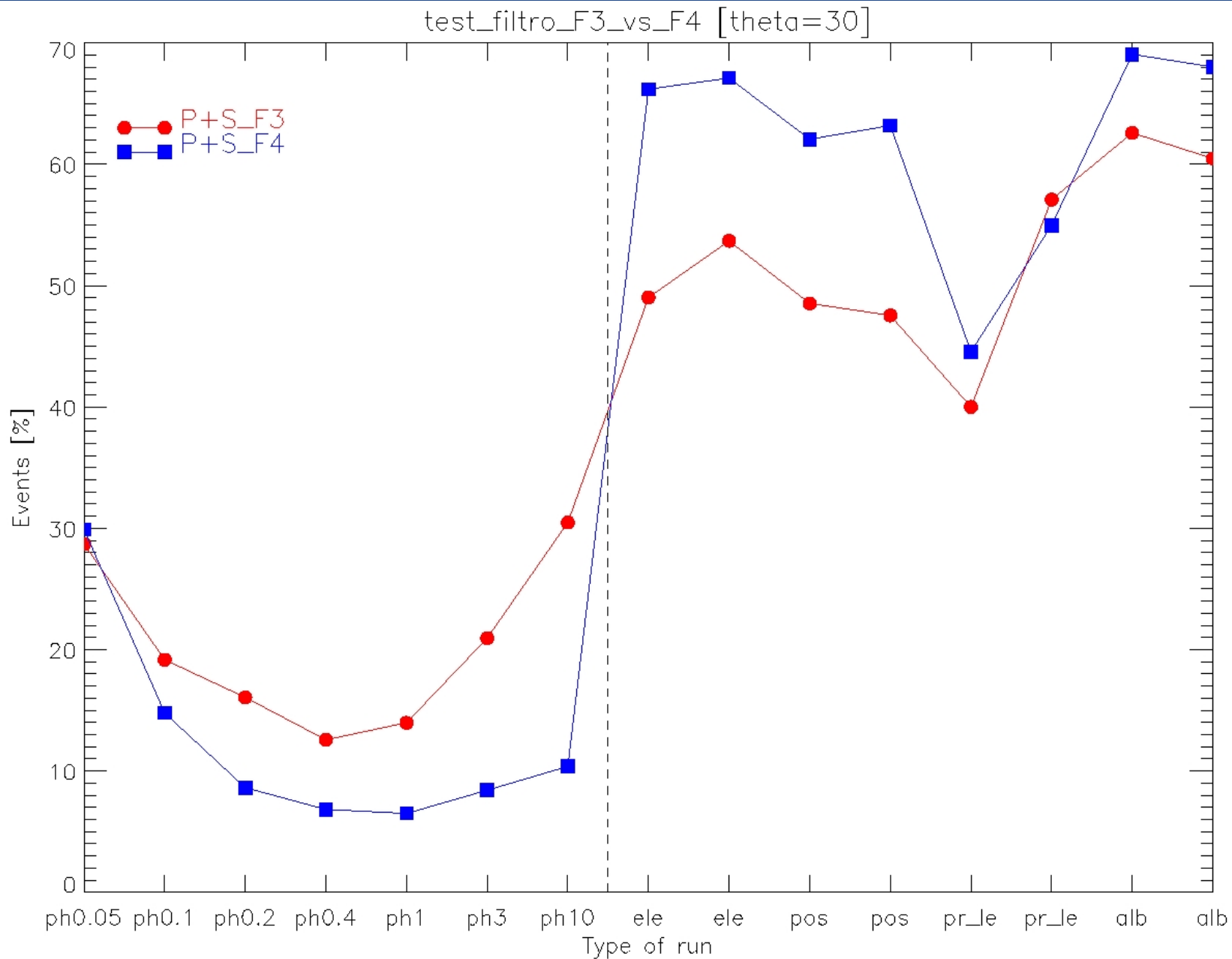
# Il Filtro F3



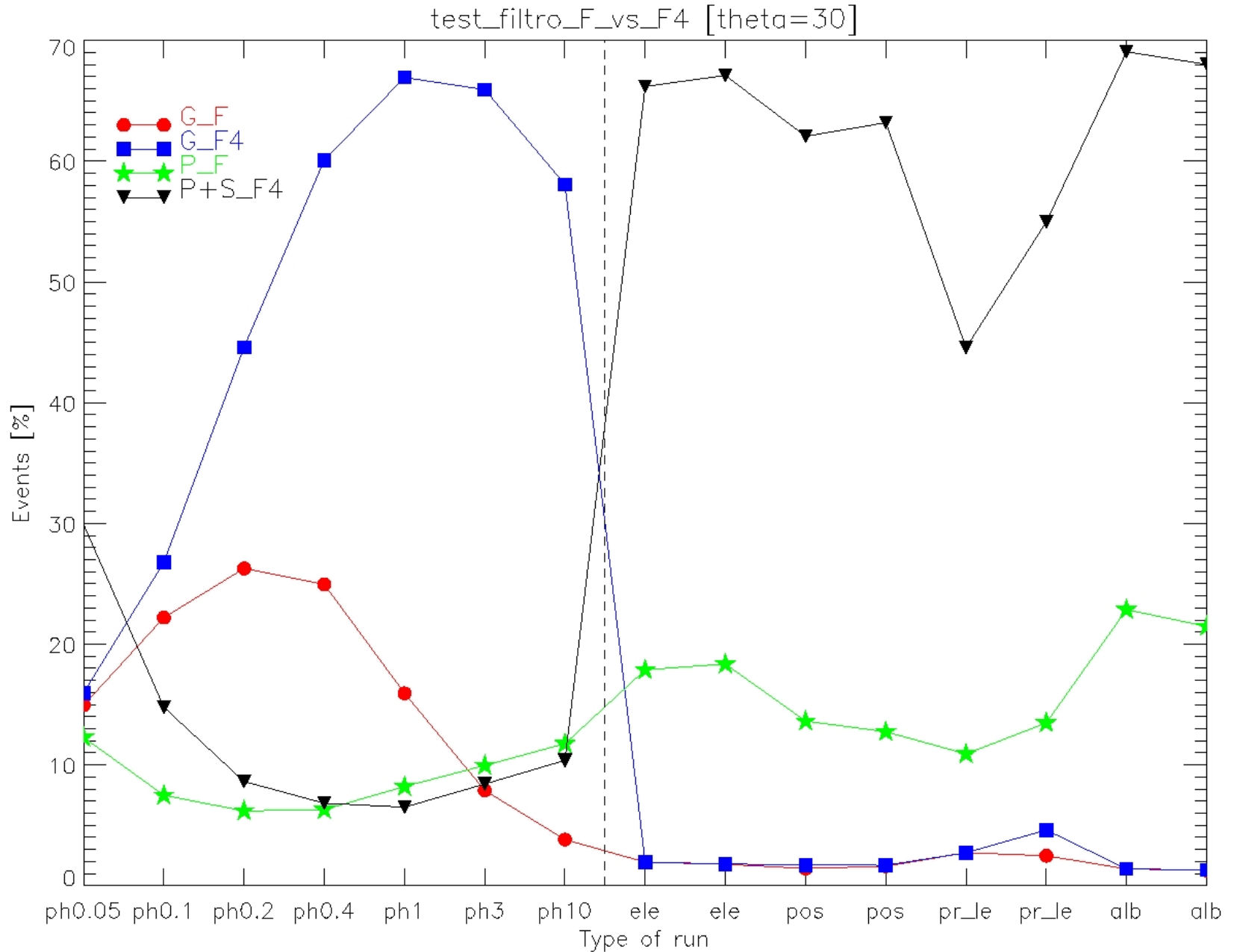
# F2 vs F3



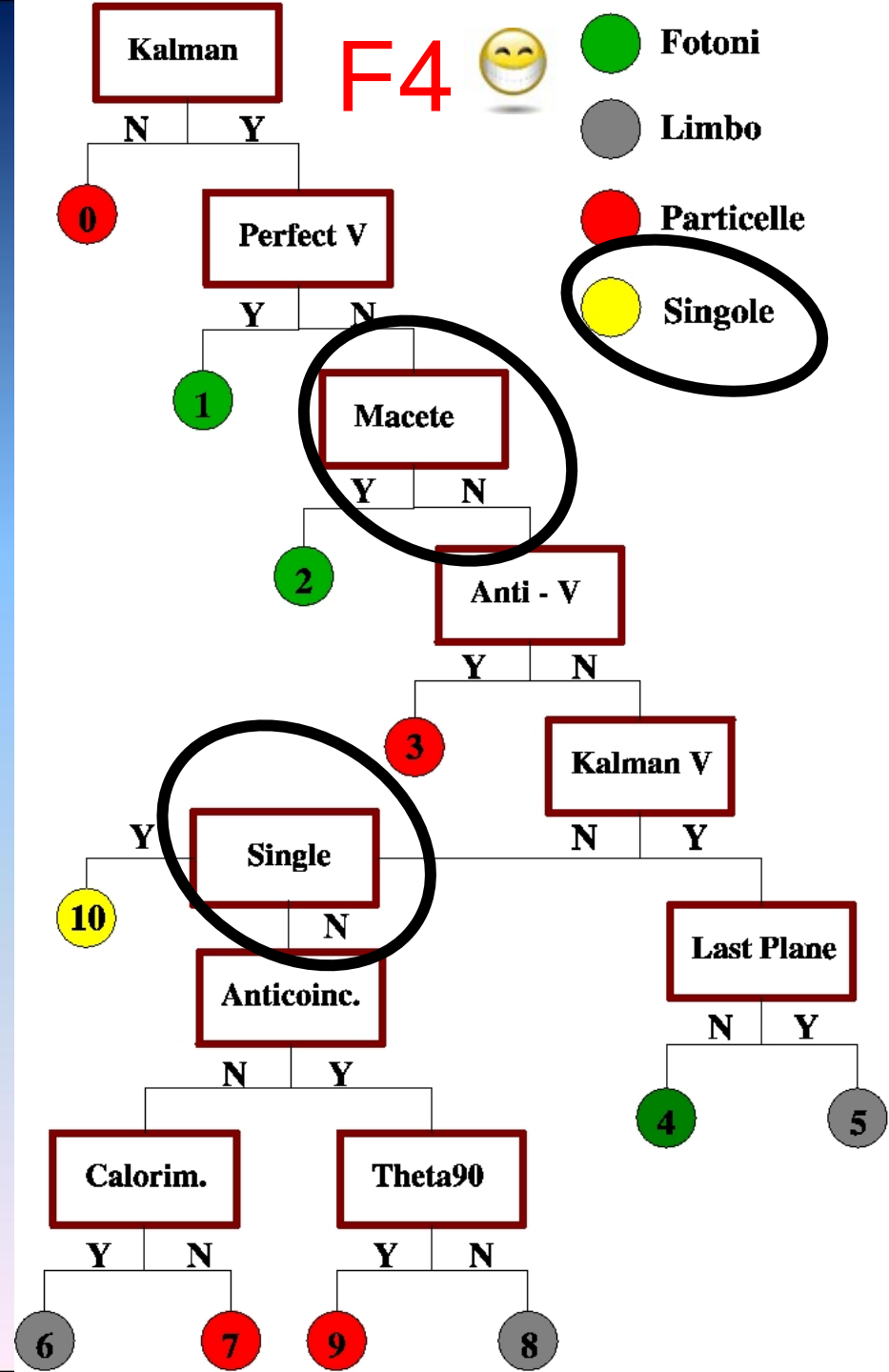
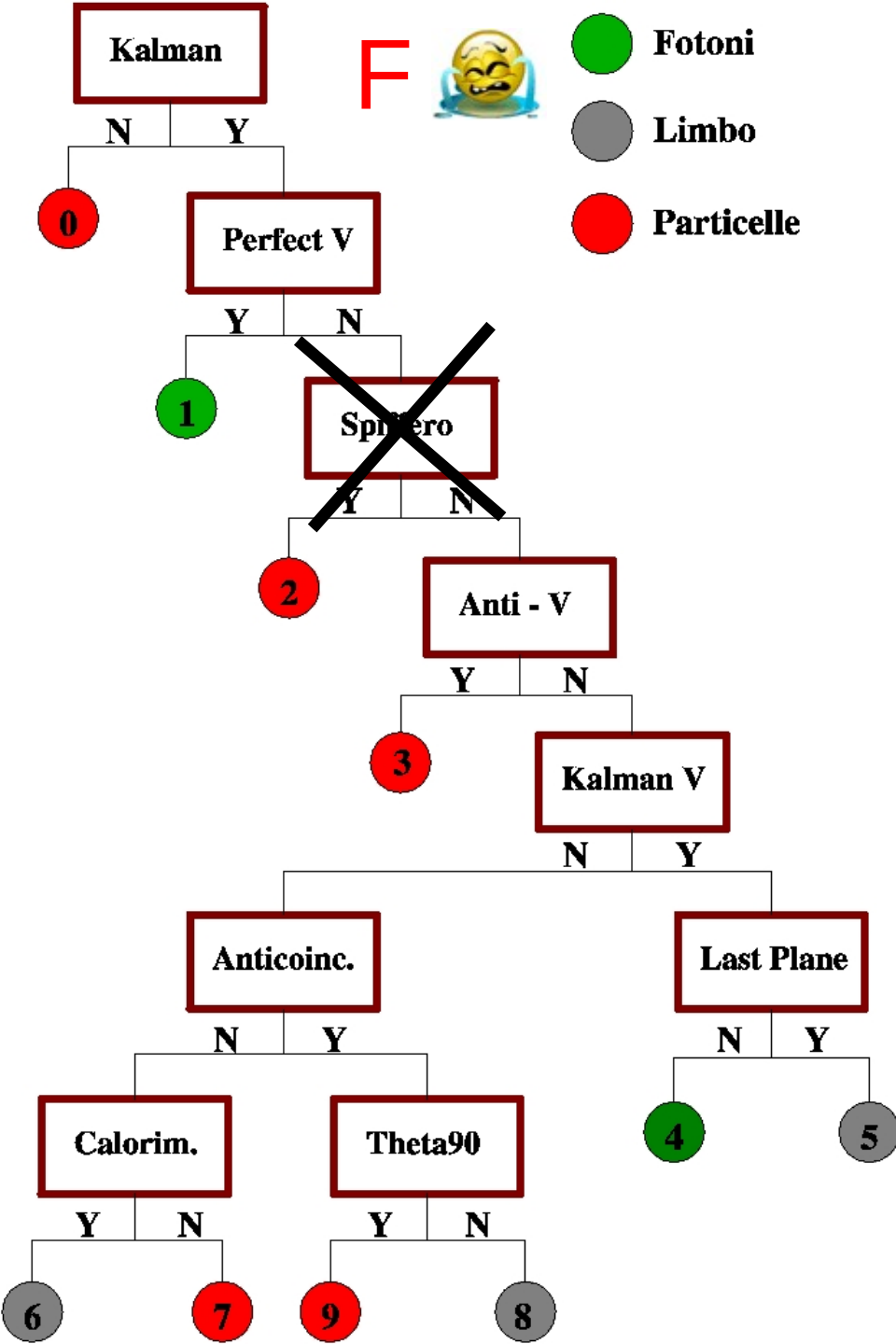
# F3 vs F4

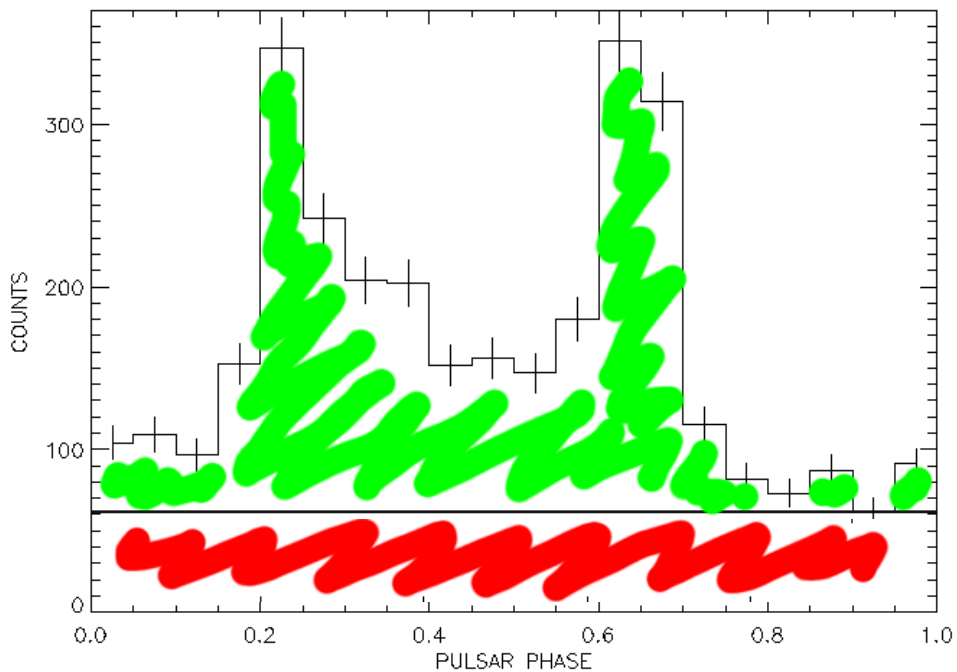
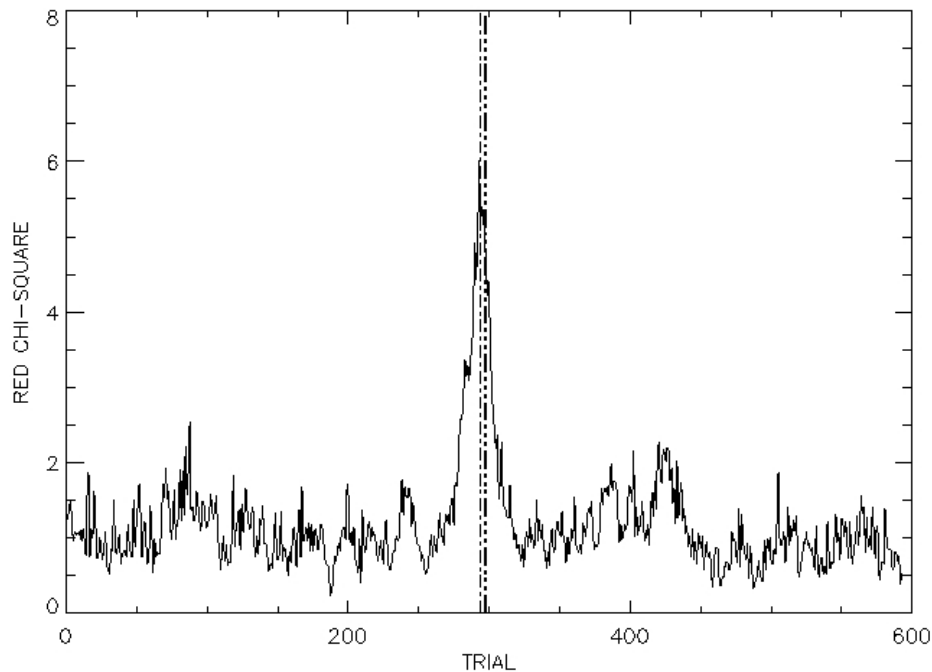


# F vs F4









$$\chi_{red}^2 = \frac{\chi^2}{K-1}$$

segnale periodico  $\rightarrow \chi_{red}^2 \gg 1$

$$S = T - B$$

$$F = \frac{S}{A_{eff} \cdot t \cdot k} = \frac{S}{Exp}$$

Segnale maggiore

$\rightarrow A_{eff}$  maggiore

$$\frac{S}{N} \equiv \frac{S}{\sigma_S} = \frac{S}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_B^2}} = \frac{S}{\sqrt{S + 2B}}$$

maggior rapporto S/N

$\rightarrow$  migliore segnale

# F2 vs F4

Vela	conteggi pulsati	rapporto S/N
Filtro F2	1196 ± 205	5.81
Filtro F4	2400 ± 239	10.02

conteggi pulsati aumentati di un fattore ~ 2



conferma dei risultati ottenuti dalle simulazioni

Rapporto S/N maggiore



qualità del segnale migliore

# Fusione di due stelle di neutroni (GRB corti)

STELLE DI NEUTRONI

BUCO NERO  
DISCO

OGGETTO CENTRALE

STELLA MASSICIA

# Ipernova (GRB lunghi)

ADDENSAMENTO VELOCE

ADDENSAMENTO LENTO

GLI ADDENSAMENTI COLLIDONO (onda d'urto interna)

PREIMPULSO

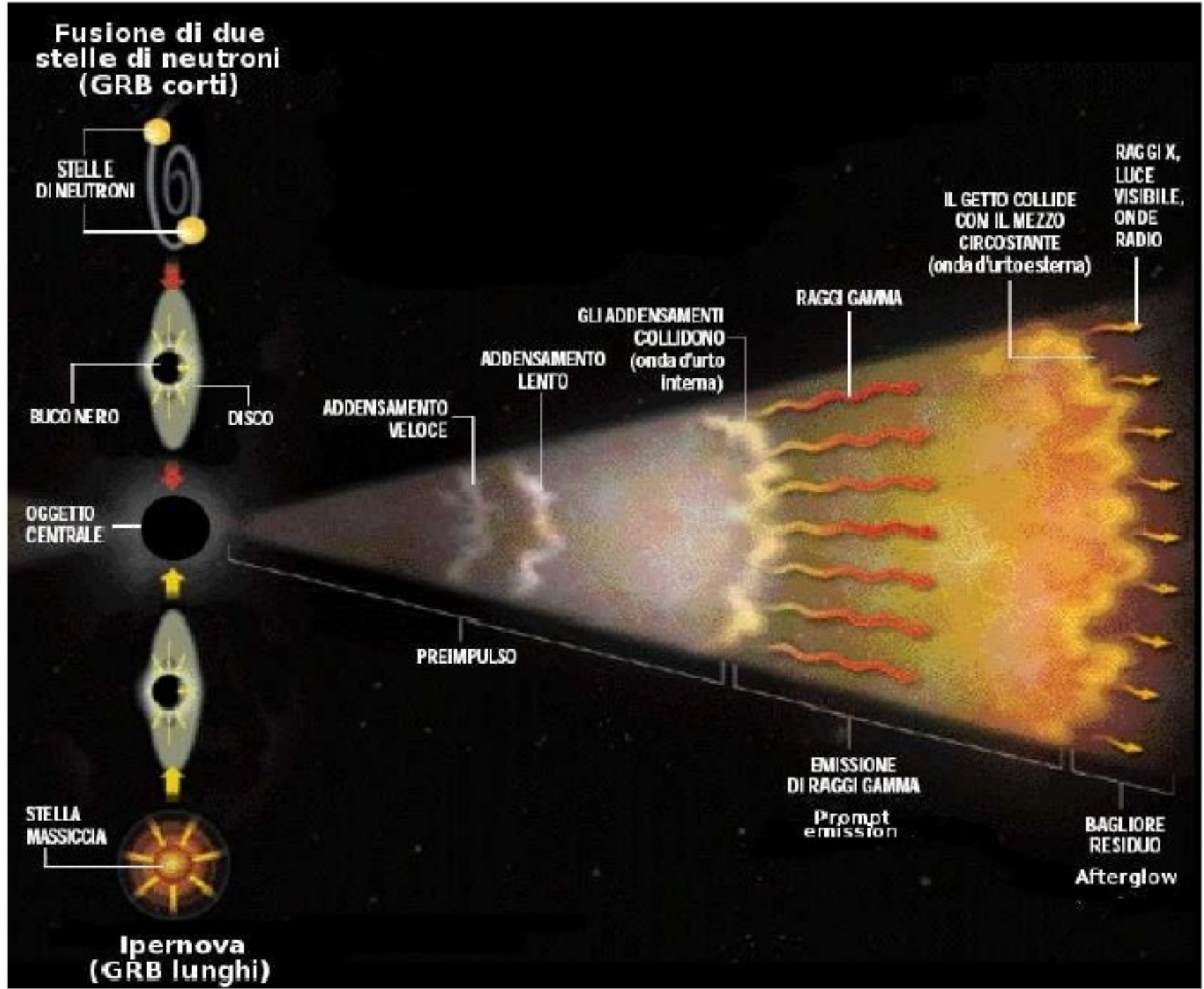
RAGGI GAMMA

EMISSIONE DI RAGGI GAMMA  
Prompt emission

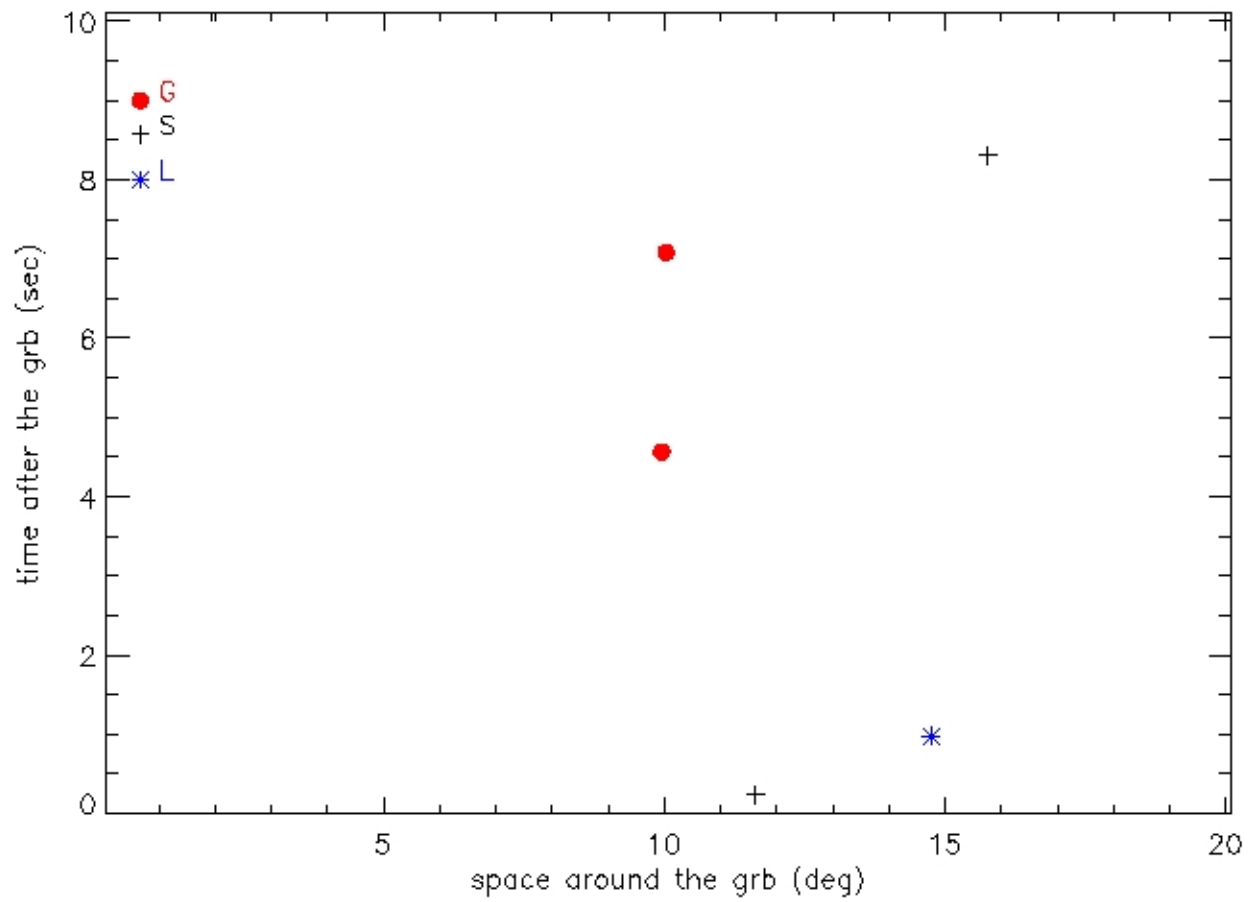
IL GETTO COLLIDE CON IL MEZZO CIRCOSTANTE (onda d'urto esterna)

RAGGI X, LUCE VISIBILE, ONDE RADIO

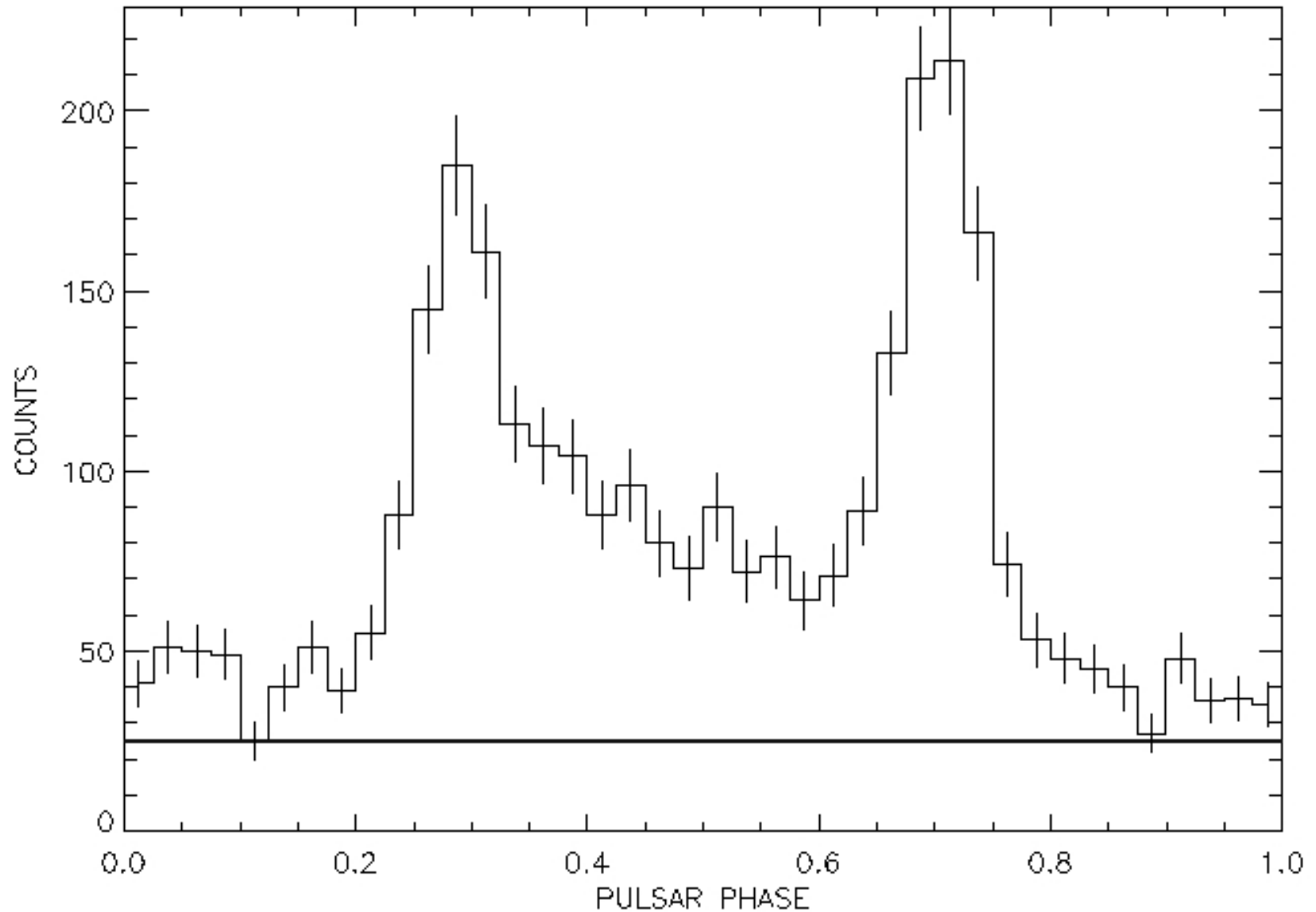
BAGLIORE RESIDUO  
Afterglow



GRB070724



# Curva di luce di Vela (F4)



F2

$\chi_{red}^2$  - Vela

F4

