

Gamma Ray Bursts

- **Osservazioni:**

- Dalla loro scoperta al Compton Gamma Ray Observatory
- Afterglows

- **Proprietà Osservate:**

- Energia
- Proprietà spettrali
- Proprietà temporali

- **Modelli teorici:**

- Standard fireball model
 - Internal - External Shocks model
- Modello Alternativo
 - Cannonball model
- Modelli di 'central engines'

- **GRB Visti da GLAST**

GRBs : Osservazioni

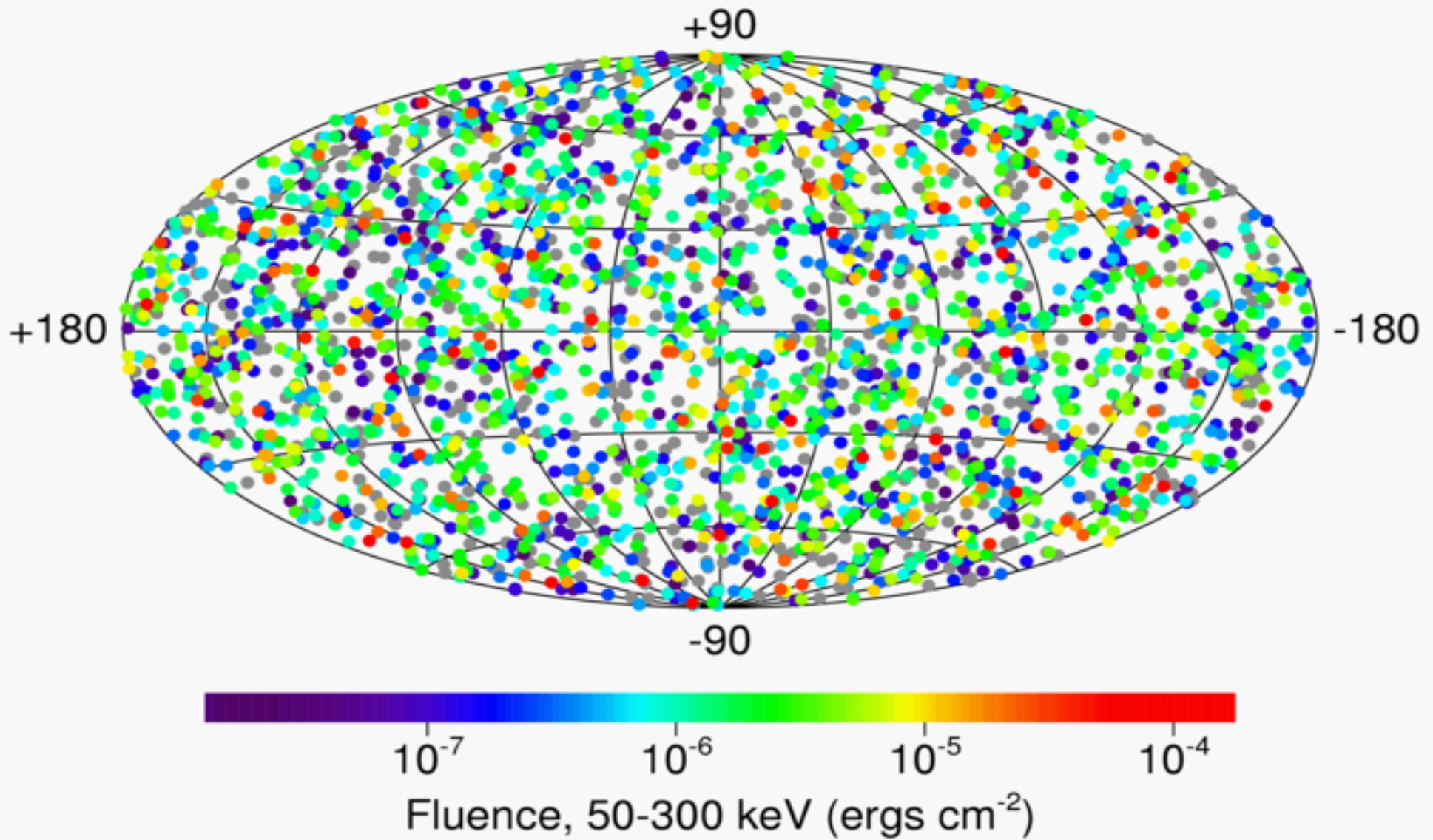
- Osservati per la prima volta nel 1973
(*Klebesadel, Strong & Olsen 1973*)
Associati NS → **Origine Galattica**
- CGRO/EGRET, 1991 (20 MeV÷30 GeV)
- CGRO/BATSE, 1991 (25 KeV÷10 MeV)
Distribuzione Isotropa → **Origine Cosmologica**
(*Fenimore, Meegan 1992, Briggs 1995*)

GRBs Rate ~ 10^3 Bursts/yr

(BATSE ~ 1 GRB/day)

(EGRET ~ 1 GRB/yr)

2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



Afterglows

- **BeppoSAX 1997**

Accurata localizzazione ($< \text{arcmin}$)

Visualizzazione dell' X-Afterglow

(Costa et al. 1997)

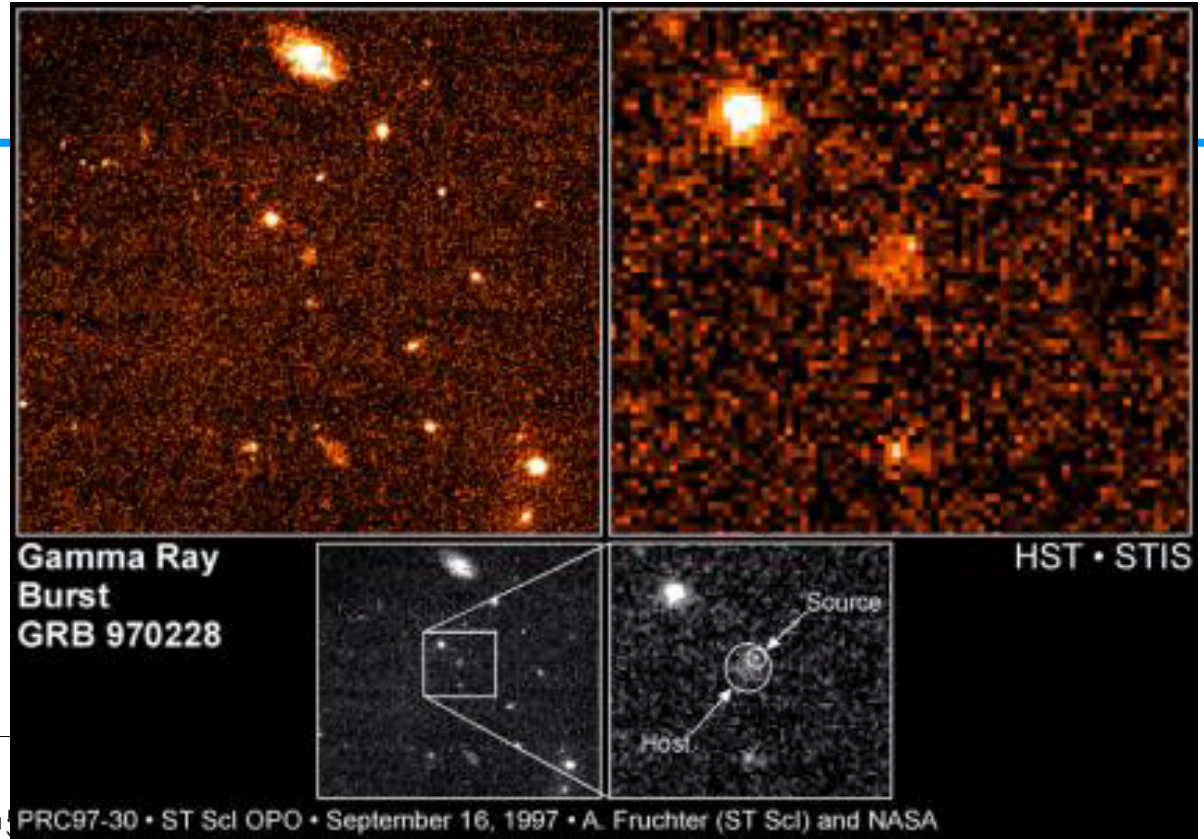
- **Optical Afterglow (HST, Keck)**

Si osservano le galassie ospiti

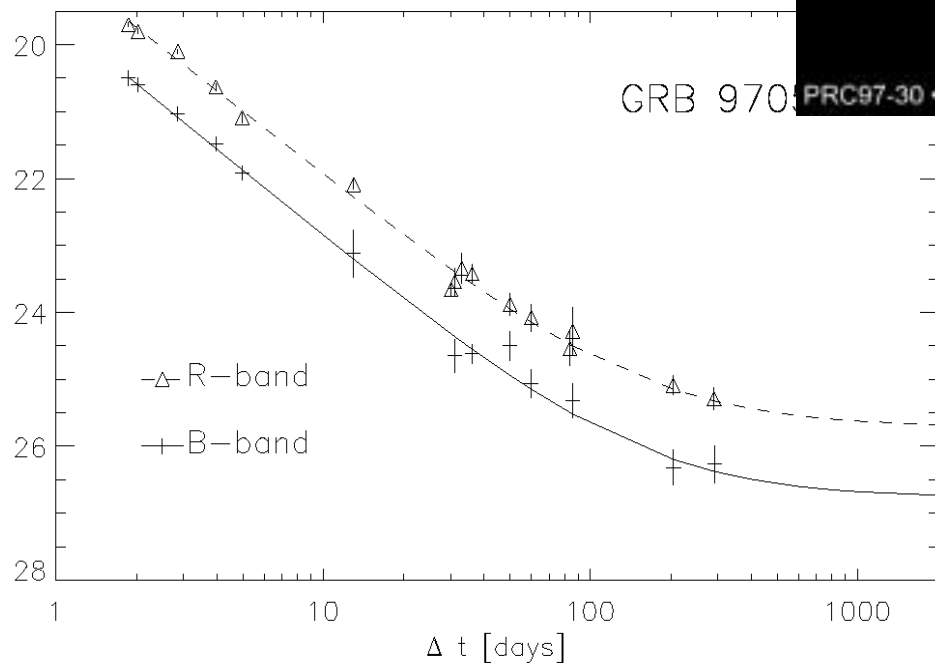
(Groot 1997, van Paradijs et al. 1997)

Redshift $\sim 1 \div 5$

Afterglows



J.S. Bloom et al. 1997



$$M_{\Delta v} = -2.5 \text{Log}(I_{\Delta v}) + \text{Cost}$$

Magnitudini della galassia ospite

Energia dei GRBs

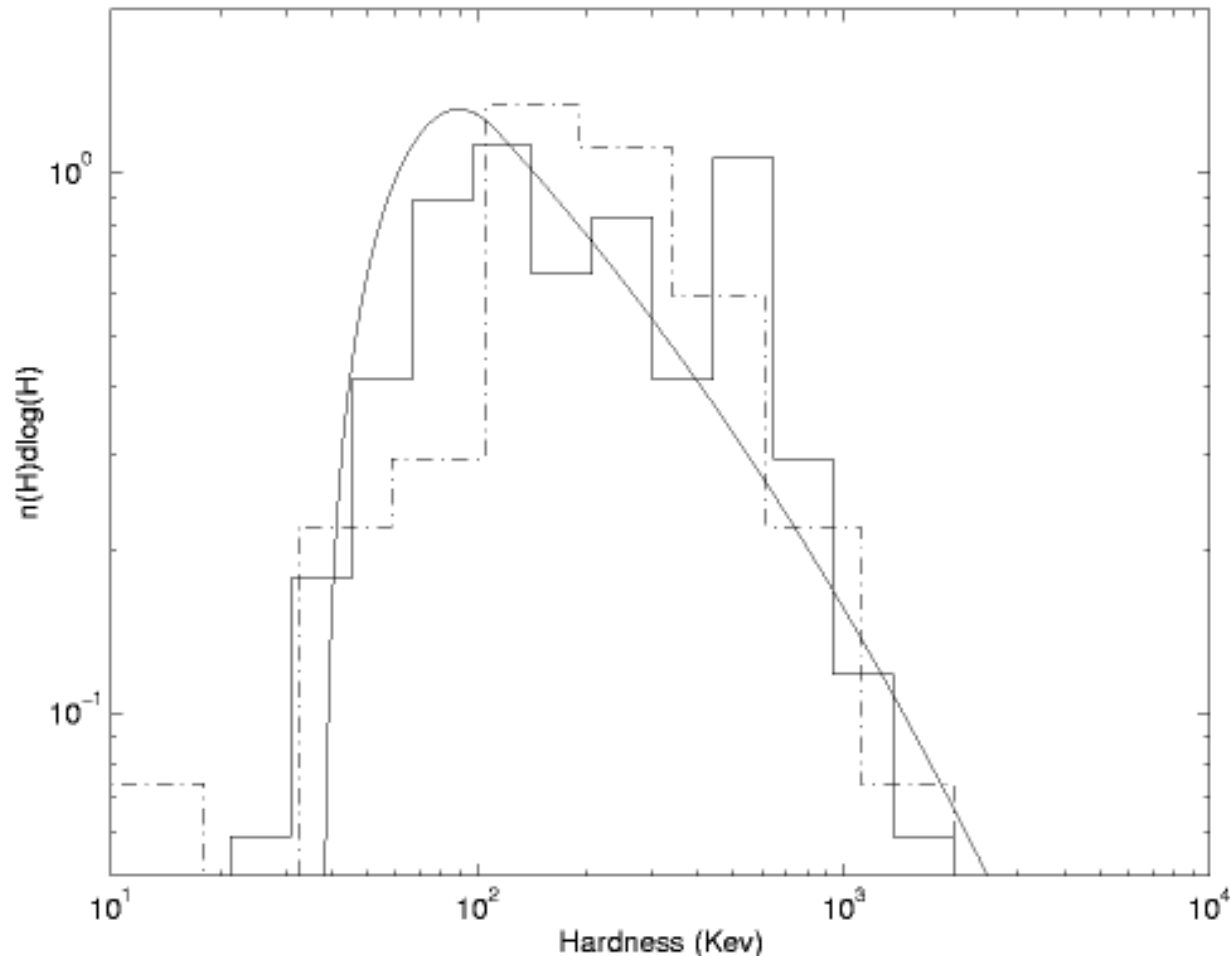
- **Flusso (γ):** $(0.1-10) \times 10^{-6} \text{ erg/cm}^2 (\Omega/4\pi)$

Origine galattica: $E \sim 10^{45} \div 10^{46} \text{ erg}$

Origine cosmologica: $E \sim 10^{52} \div 10^{53} \text{ erg}$

$$M = E/c^2 \sim 1 M_{\text{sol}}$$

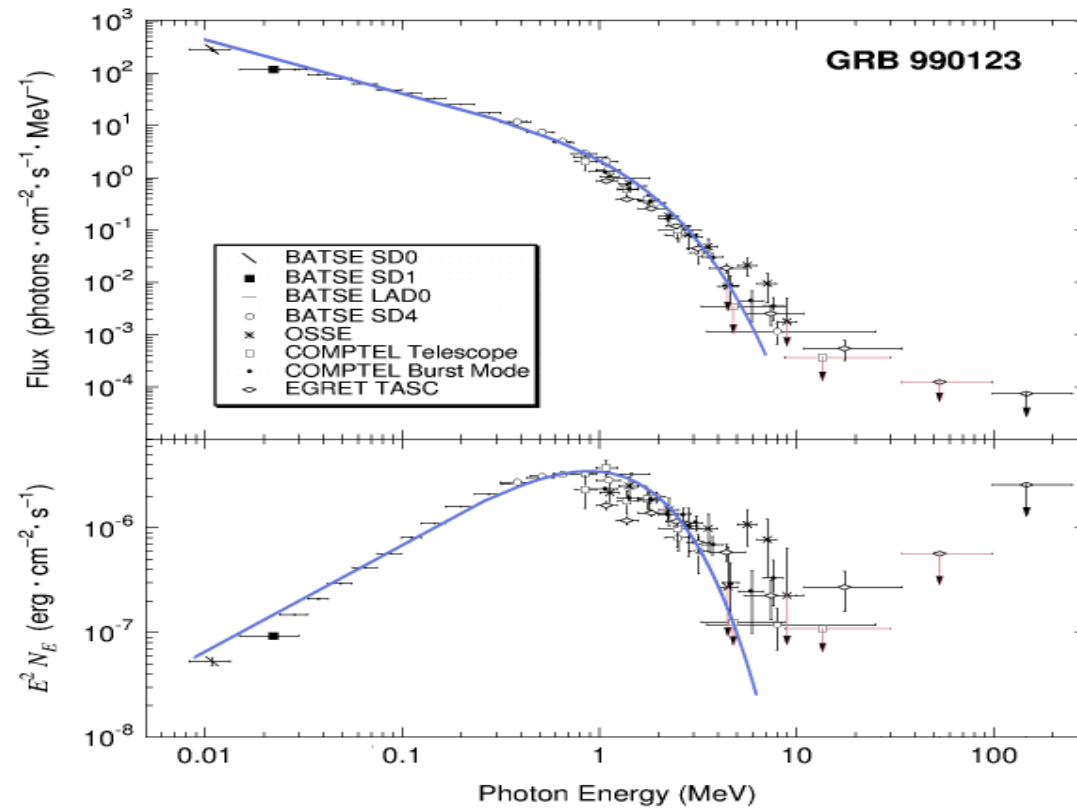
Distribuzione in energia



Dati da Band et al. 1993, Cohen et al. 1997

Errore sistematico: É più difficile vedere GRB più “duri”
(*Cohen, Narayan, Piran 1998, Lingensfelter et al. 1997*)

Proprietà spettrali



Range (γ):
100 KeV ÷ 10 GeV

Doppia Power Law (*D.L. Band et al. 1993*)

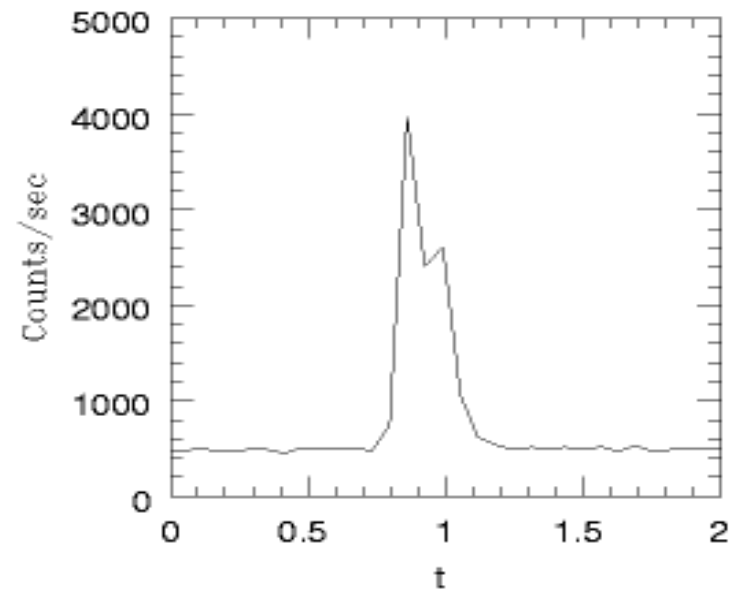
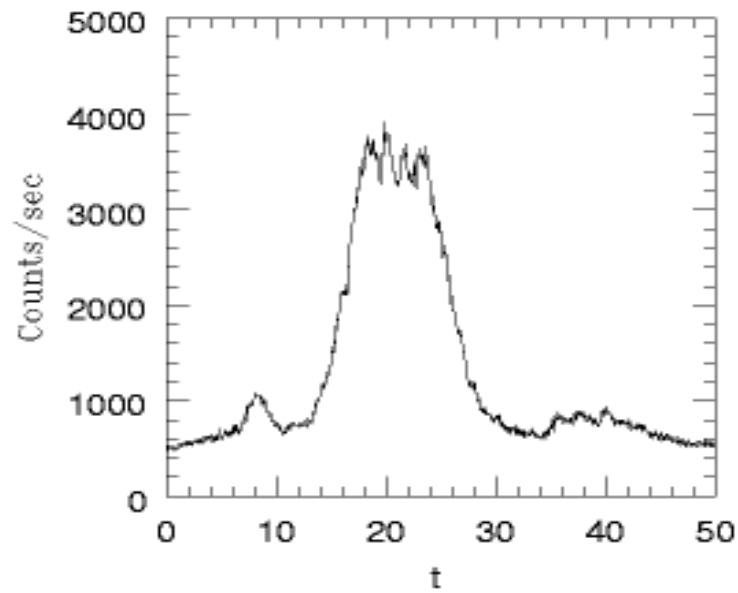
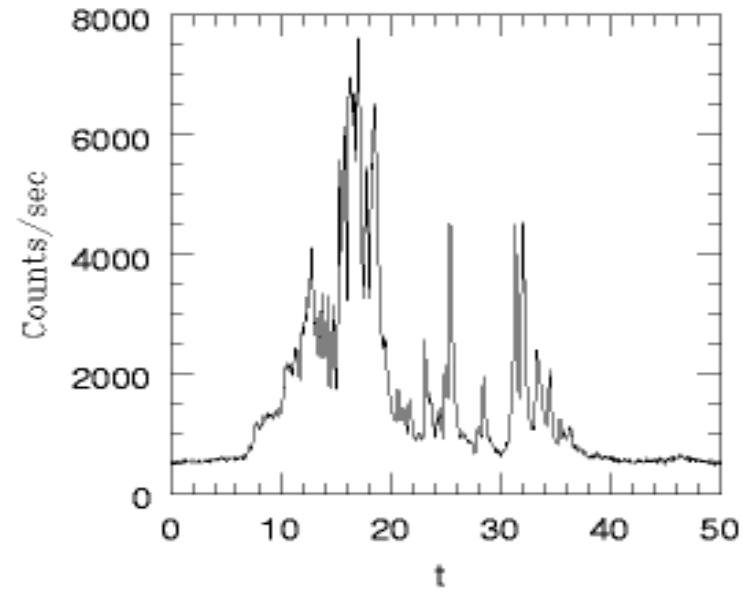
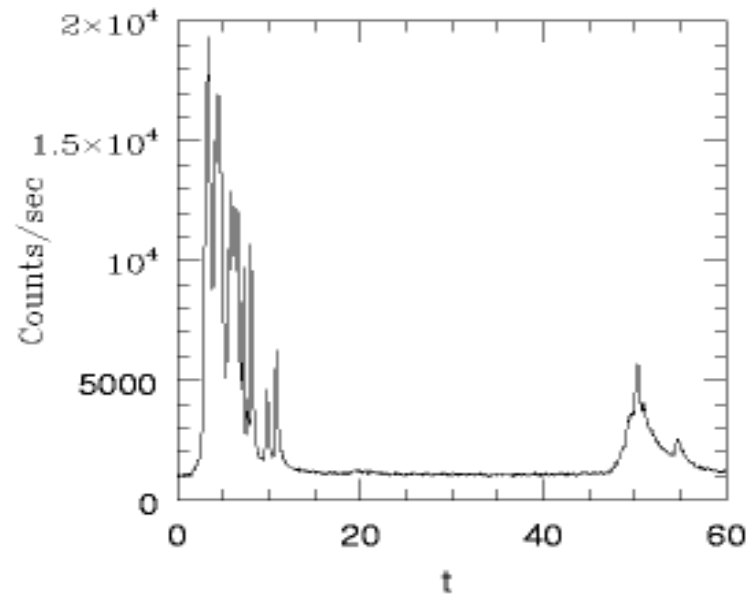
$$N(\nu) = N_0 \begin{cases} (h\nu)^\alpha \exp\left(\frac{h\nu}{E_0}\right) & h\nu < (\alpha - \beta)E_0 \\ ((\alpha - \beta)E_0)^{(\alpha - \beta)} & h\nu > (\alpha - \beta)E_0 \end{cases}$$

$$E_0 = E_p / (\alpha + 2)$$

$$\alpha = -0.86 \pm 0.15 \quad \beta = -2.5 \pm 0.07 \quad E_p = 457 \pm 30 \text{ KeV}$$

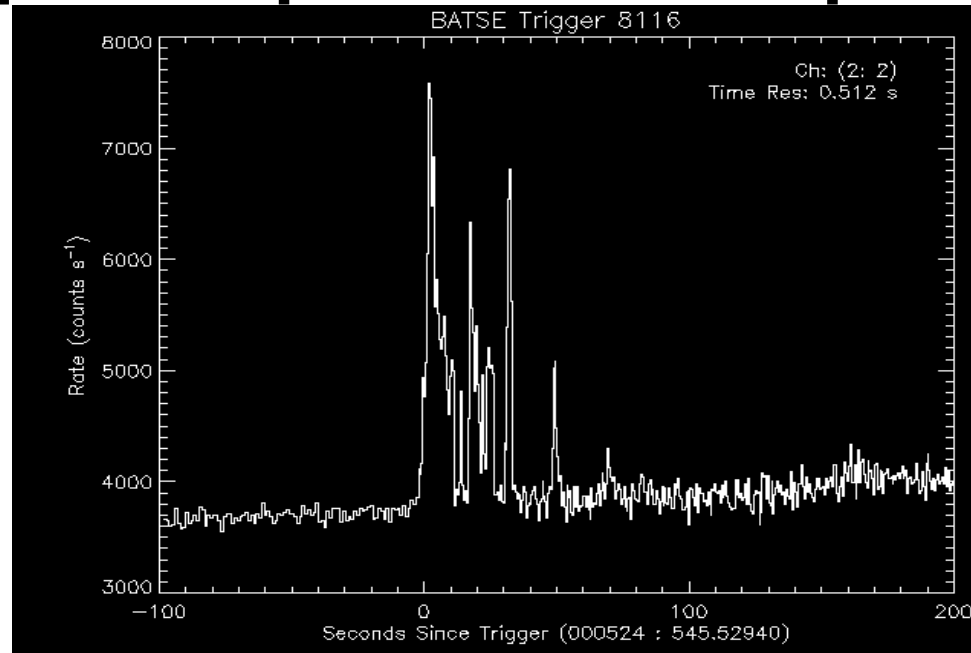
(*J.Greiner et al. 1994*)

Curve Luce



Proprietà temporali

Spettro tipicamente complesso



$T \sim 1-10^2$ sec (durata del burst)

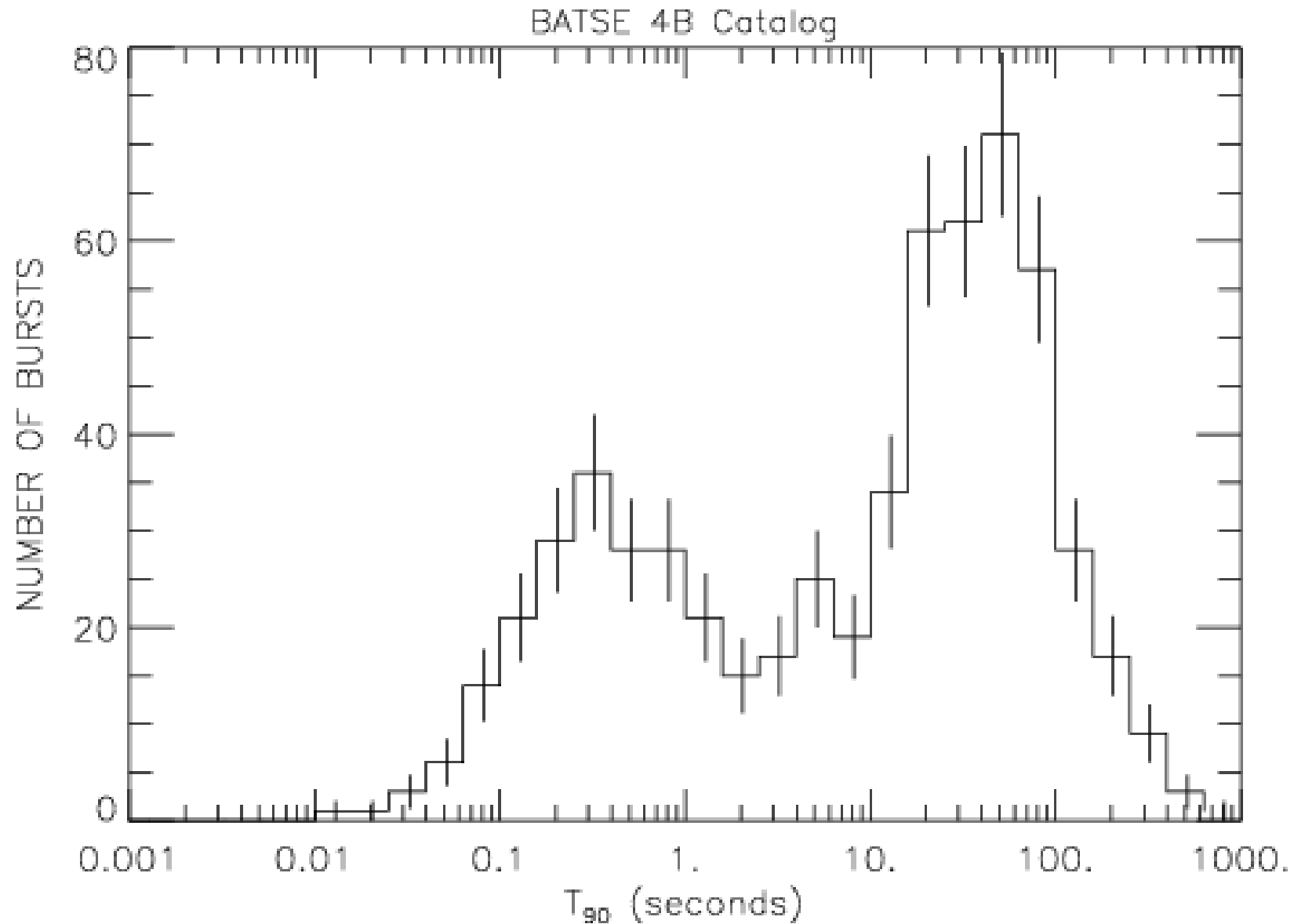
$\delta T \sim 10^{-3} T$ (durata di un picco)

(Walker, Schaefer & Fenimore, 2000)

Non vi é evidenza della variabilità > 10 MeV a causa del
Deadtime di EGRET (~ 100 ms)

➔ Deadtime di GLAST: LAT $< 100 \mu\text{s}$, GBM $< 15 \mu\text{s}$ ←

Distribuzione Bimodale



Modelli Teorici

Esistenza di un “*Central Engine*” che deve fornire l’energia necessaria per il GRB

Spettro non termico \leftrightarrow “*Problema della compattezza*” che si risolve se la sorgente é in moto relativistico rispetto all’osservatore

Il Central Engine é “*nascosto*”

Meccanismo di conversione dell’energia: l’energia della sorgente deve essere convertita nella radiazione osservata

La presenza di picchi apparentemente casuali fa pensare ad un’attività intermittente della sorgente

Giustificazione della presenza di un “*afterglow era*” successiva all’evento gamma

Standard Fireball Model

• Piran 1999

$\delta t \sim \text{ms} \rightarrow R_i \sim c \delta t \sim 3 \cdot 10^2 \text{ Km}$ (oggetto compatto...) $R = 2GM/c^2 \rightarrow M_{\text{sup}} \sim 10^2 M_{\text{sol}}$ (...stellare)
Problema della *Compattezza* \rightarrow Moto relativistico $\rightarrow E/M_{\text{bar}} \gg 1$ Problema della *Massa Barionica*

Inizialmente $T \gg T_{\gamma\gamma}$ (20KeV)



Formazione di coppie $e^+ e^-$
La sorgente é nascosta

Accelerazione ($\Gamma \approx R$) + Cooling ($T \approx R^{-1}$)

Radiation dominated

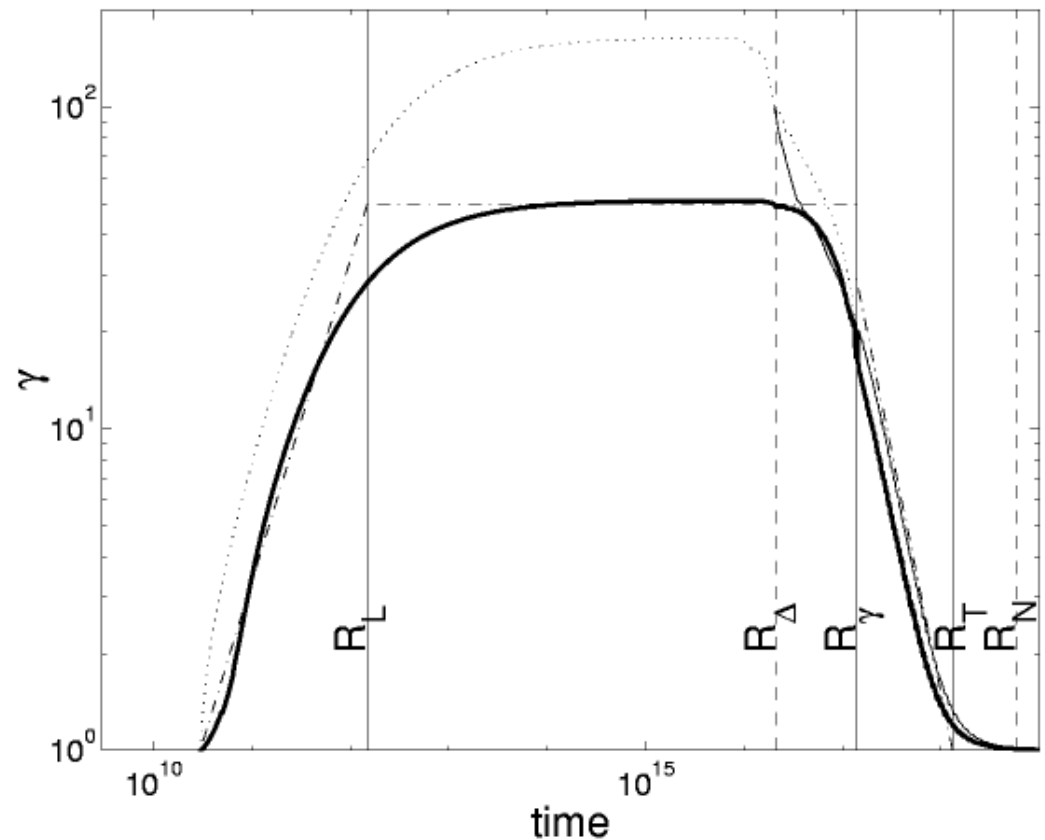
Quando $T \sim T_{\gamma\gamma} \rightarrow$ La FB diventa

trasparente alla radiazione e $\Gamma \approx \text{cost}$

Matter dominated

Meccanismo di conversione di energia
cinetica in radiazione dei γ

Internal-External Shocks



Problema della Compattezza

$$R_e < c \cdot \delta t$$

$$\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-$$

$$\tau_{\gamma\gamma} = \frac{f_p \sigma_T F \cdot D_L^2}{R_e^2 m_e c^2} \approx 10^{17} \cdot f_p \cdot \left(\frac{F}{10^{-6} \text{ erg/cm}^2} \right) \cdot \left(\frac{D_L}{3 \text{ Gpc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\delta T}{1 \text{ ms}} \right)^{-2}$$

$$\tau_{\gamma\gamma} \gg 1$$

Produzione di coppie, Compton Scattering, Spettro Termico !!

Sorgente in Movimento: Correzione Relativistica:

$$\Gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$R_e < \Gamma^2 c \cdot \delta t$$

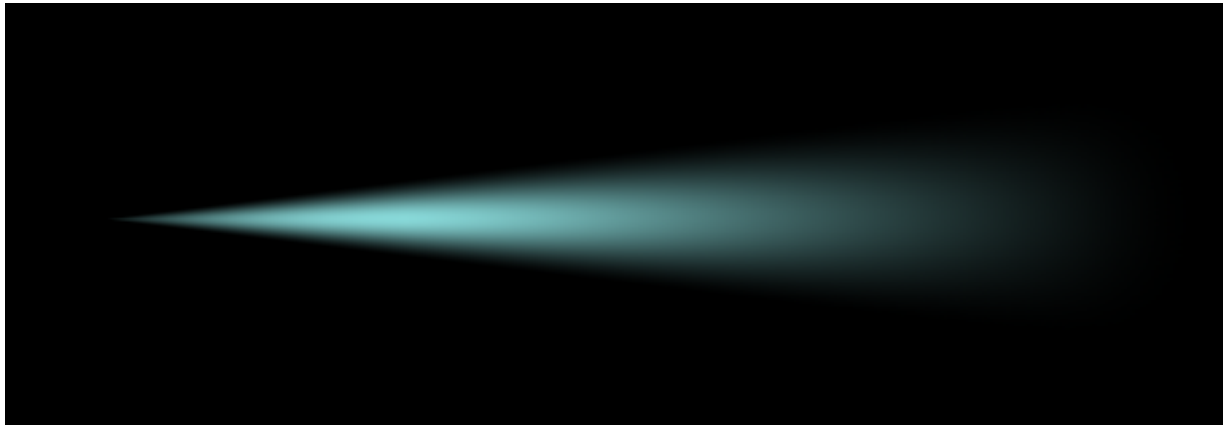
$$f_p \rightarrow f_p \cdot \Gamma^{-2\alpha}$$

$$\tau_{\gamma\gamma} = \frac{f_p \sigma_T F \cdot D_L^2}{R_e^2 m_e c^2} \approx \frac{10^{17}}{\Gamma^{4+2\alpha}} \cdot f_p \cdot \left(\frac{F}{10^{-6} \text{ erg/cm}^2} \right) \cdot \left(\frac{D_L}{3 \text{ Gpc}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\delta T}{1 \text{ ms}} \right)^{-2}$$

$$\Gamma \approx 10^2 \div 10^3$$

To *Beam* or not to *Beam* ?

Beaming relativistico: La radiazione emessa da una sorgente in moto relativistico verso l'osservatore appare confinata all'interno di un cono di apertura $1/\Gamma$



1. Se l'emissione é sferica appare *collimata*

2. Se la sorgente ha dei Jets di emissione é visibile solo se $\theta \sim \Gamma^{-1}$

$$\delta = \frac{1}{\Gamma(1 - \beta \cos \theta)}$$

Effetto doppler relativistico

$$t_{obs} = \frac{t_{em}}{\delta} (1 + z)$$

Relazione tra il tempo osservato da GLAST e il tempo osservato dalla sorgente del GRB

$$E_{obs} = \delta \frac{E_{em}}{1 + z}$$

Energia di un fotone misurata da GLAST in funzione dell'energia di un fotone emesso

Flusso misurato da GLAST

$$\frac{dF}{d\Omega} = (1 + z) \frac{E_{em}}{4\pi D_L^2} \delta^3$$

(A. Dar 2001)

Internal-External Shocks Model

• Energia interna

Energia cinetica
(barioni) e i gamma ?

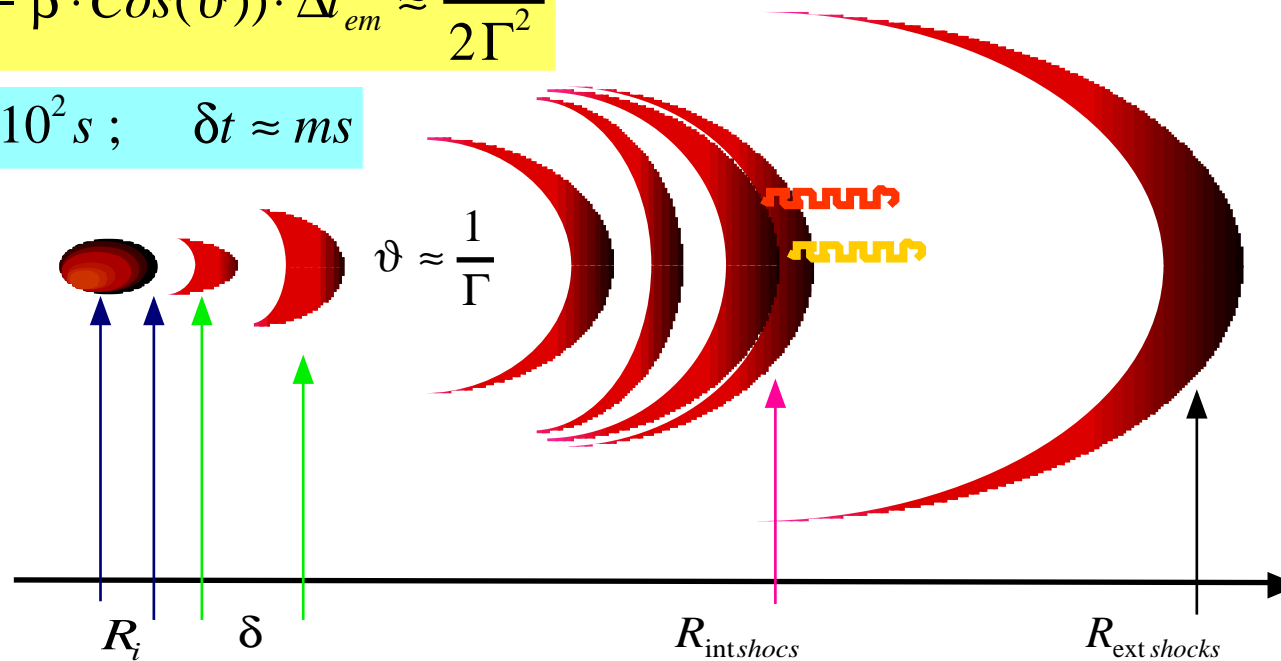
SHOCKS



Produzione di fotoni
• Emissione di Sincrotrone •

$$\Delta t_{obs} = (1 - \beta \cdot \cos(\vartheta)) \cdot \Delta t_{em} \approx \frac{\Delta t_{em}}{2\Gamma^2}$$

$$T_{burst} \approx 1 \div 10^2 s ; \quad \delta t \approx ms$$



$$R_i = c \cdot \delta t \approx 10^{7+8} cm$$

$$\delta = c \cdot T_{burst} / N \approx 10^{8+10} cm$$

$$R_{intshocs} = \Gamma^2 \cdot \delta \approx 10^{12+14} cm$$

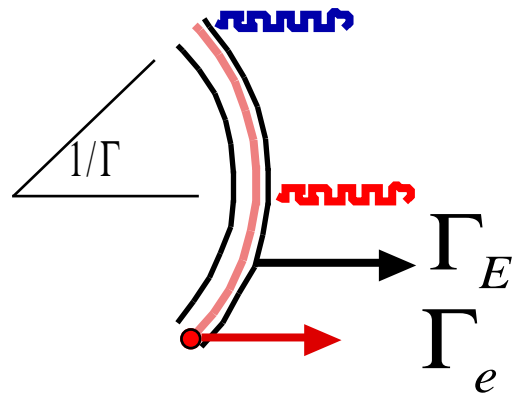
Internal Shocks

Tempo di salita \leftrightarrow Geometria dello shell

$$\delta t_{rise} \sim 10^{-6} s$$

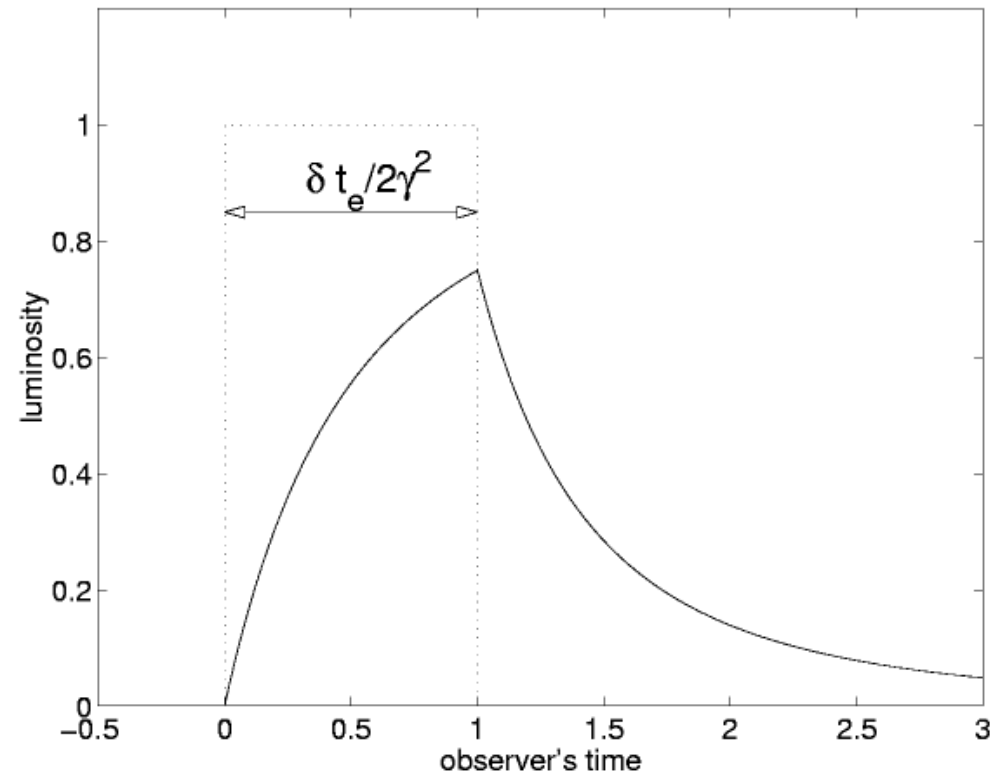
Tempo di discesa \leftrightarrow Cooling Time

$$\delta t_{decay} \sim 10^{-4 \div 6} s$$



**FRED = Fast Rise
Exponential Decay**

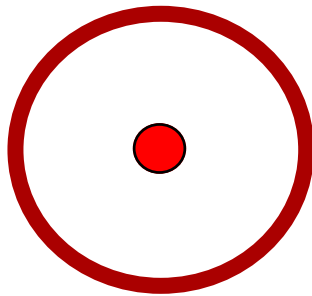
(Fenimore & Ramirez-Ruiz 1999)
Decelerazione del primo Shell,
maggiore conversione di energia



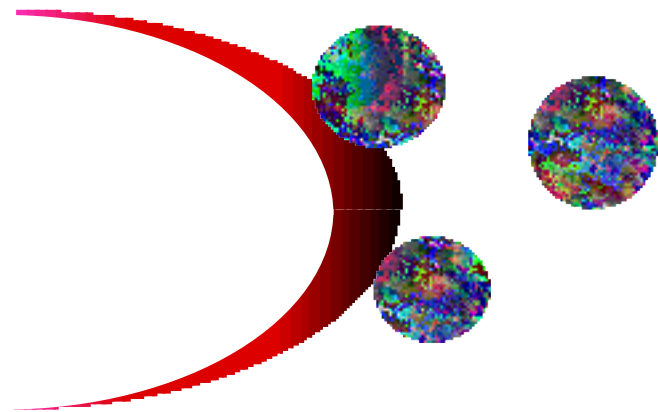
External Shocks

Convertono ~ 80% dell'energia iniziale

Interazione con ISM a $R \sim 10^{17} \text{ cm}$
 SN Remnant ? Formazione stellare ?



Sono in grado di produrre picchi ?
 Dimensioni delle clouds $\sim 10^{12} \text{ cm}$



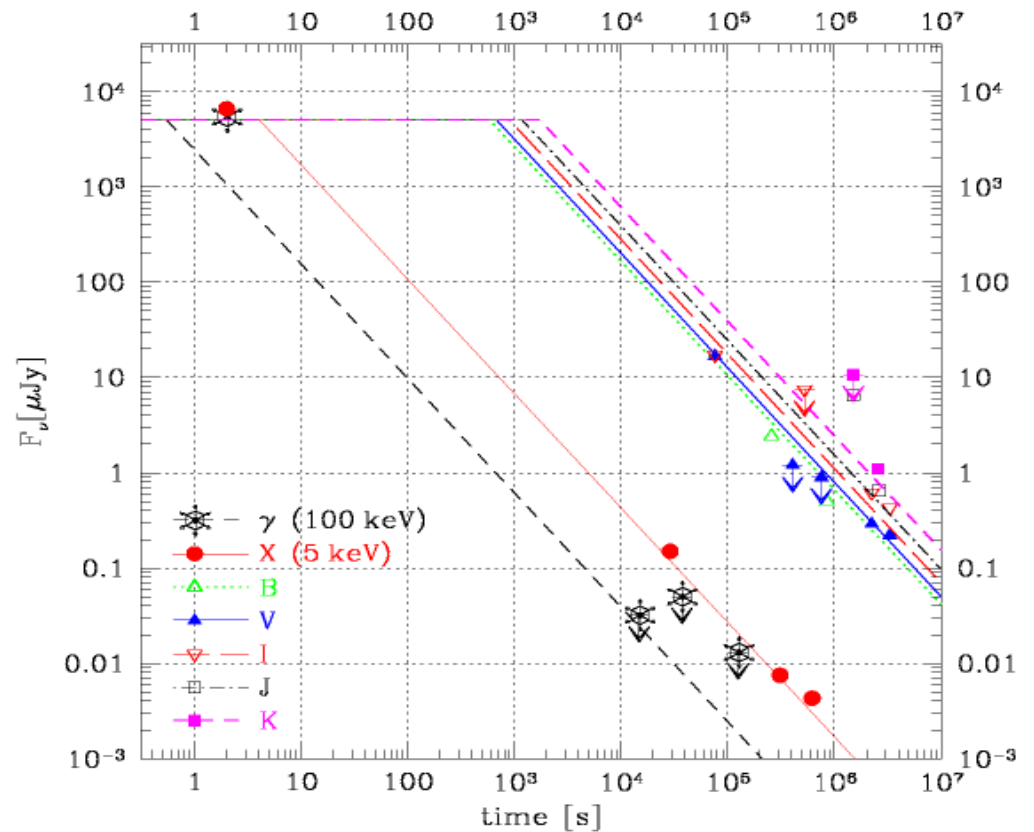
Dermer & Mitman 1999

Afterglows:

Dipendono dalla densità dell' ISM

Perché solo in alcuni GRB si é osservato un AG ?

Decelerazione dello Shell $\rightarrow \gamma - X - B - V - I - J - K$



Wijers, Rees & Mészáros 1997

Internal Shocks

Pro:

Picchi Casuali
Gamma ~ Const.

"Massa Barionica"

Contro:

Conversione dell'energia
Afterglows

External Shocks

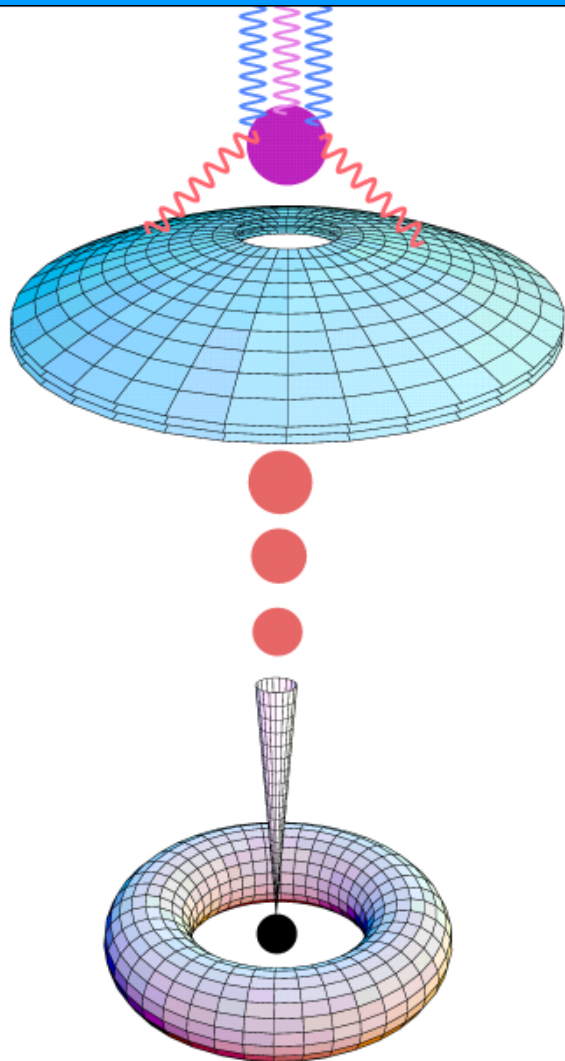
Pro:

Conversione energia
Afterglows

Contro:

Massa barionica (SN)
Decelerazione
Picchi che si allargano

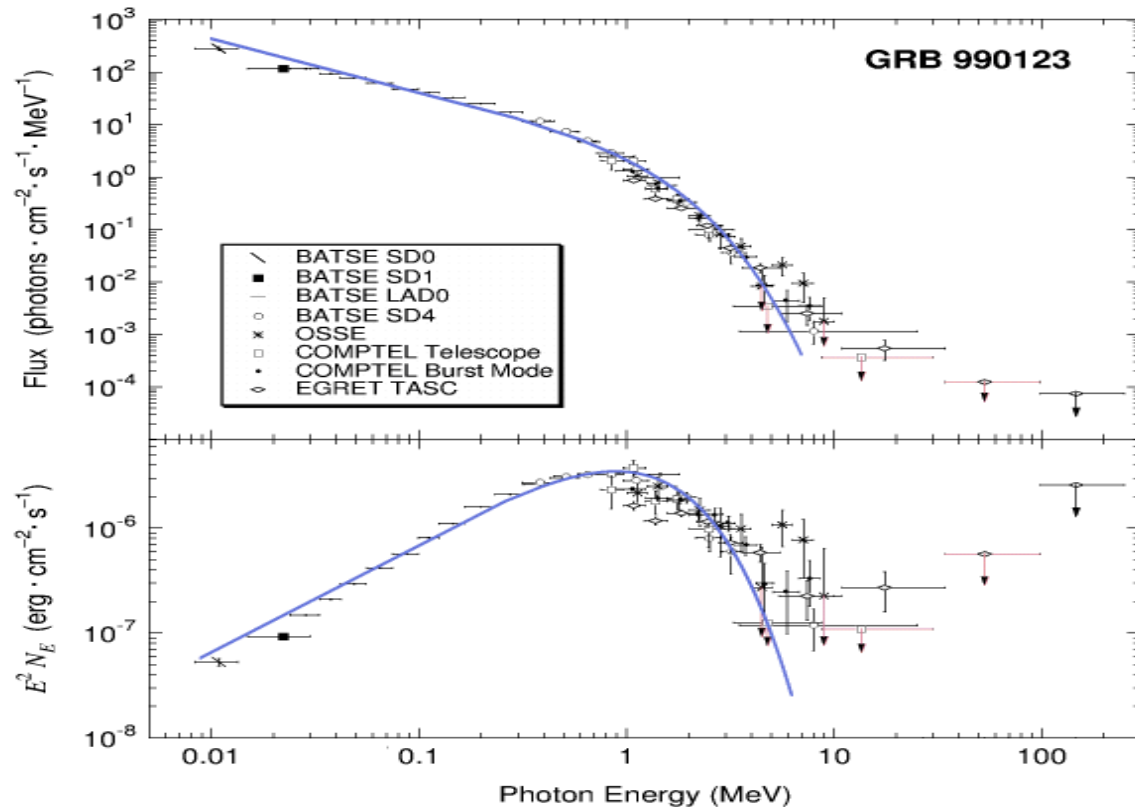
Modelli alternativi di GRBs



Cannonball (Dar 2001):

Evento di SN + collasso \rightarrow Formazione del toro
Espulsione di CB relativistiche di $M \sim 1 M_{\text{Earth}}$

Produzione di gamma nel momento in cui le CBs raggiungono lo shell di SN ($\sim 10^{14} \text{cm}$)



Possibili 'Central Engines'

I più gettonati:

1. *Unione di due oggetti compatti (NS-NS, NS-BH, BH-BH):* sono oggetti osservati, tempo di merging $\sim 10^8$ yr. Disco di accrescimento. Qualche problema per il budget di energia, nessuno per la contaminazione barionica.
2. *Supernova 'mancata' o Hypernova:* Stella molto massiccia che collassa in un BH rapidamente ruotante. OK per il budget di energia, ma problemi a causa della troppa materia barionica presente (SNR). Forse meccanismo a 2 steps ? Identificazione con SN !

Origine cosmologica:

Oggetto compatto rapidamente ruotante & fortemente magnetizzato (10^{15} G)
(Usov 1992, Duncan & Thompson 1992)

Buchi Neri Massicci in accrescimento: ($10^6 M_{\text{sol}}$!!)
(Carter 1992, Cheng & Lu 2001)

Modelli galattici:

NS espulse dal Disco verso l' Alone galattico con $v \sim 450$ Km/s
(Li & Dermer 1992, Podsiadlowski, Rees & Ruderman 1995)

I GRBs visti da GLAST

- GLAST osserverà il comportamento di GRBs in energie mai osservate in precedenza
- La buona risoluzione temporale permetterà di individuare una "Short Time Scale" per energie $> 10 \text{ MeV}$
- Possibilità di discriminare tra *Internal-External shocks* scenari
- LAT e GBM osserveranno ≈ 200 GRB/year, fornendo informazioni in tempo reale per l'osservazione degli *afterglows* per mezzo di altri osservatori
- (Determinazione delle distanze)

Quantity	EGRET	LAT (Minimum Spec.)
Energy Range	20 MeV – 30 GeV	20 MeV – 300 GeV
Peak Area	1500 cm ²	8000 cm ²
Field of View	0.5 sr	> 2 sr
Angular Resolution	5.8°	< 3.5° (100 MeV) < 0.15° (> 10 GeV)
Energy resolution	10%	10%
Deadtime per event	100 ms	< 100 μs
Source Location Determination	15'	< 0.5'
Point Source Sensivity	$1 \times 10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$< 6 \times 10^{-9} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$

Quantity	BATSE	GBM (Minimum Spec.)
Energy Range	25 KeV – 10 MeV	< 10 KeV – > 25 MeV
Field of View	4π sr	All sky not occulted by Earth
Energy resolution	< 10%	< 15%
Deadtime per event		< 15 μs
Burst Sensivity	$0.2 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$< 0.5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
GRB Alert Location	~25°	< 15°
GRB Final Location	1.7°	< 1.5°