

Calibrazione in volo di INTEGRAL SPI/ACS tramite l'osservazione dei GRB e aloni di scattering in banda X dovuti alla polvere interstellare

Daniele Viganò

Relatore esterno: Sandro Mereghetti
Relatore interno: Pierre M. Pizzochero

Università degli Studi di Milano - IASF-INAF Milano

Astrosiesta
28 Gennaio 2010



Sommario

Parte I:

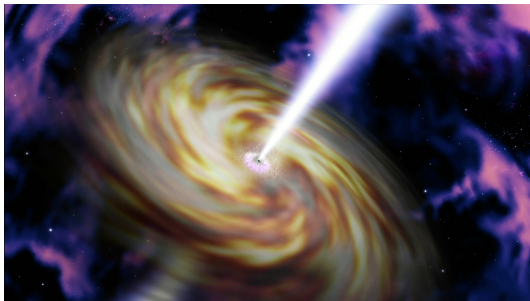
- 1 Gamma Ray Burst
- 2 Calibrazione in volo dello strumento SPI/ACS di INTEGRAL tramite l'osservazione dei GRB

Parte II:

- 3 Diffusione di raggi X da parte della polvere interstellare
- 4 Casi astrofisici

Parte I

Osservazione di Gamma Ray Burst con SPI/ACS



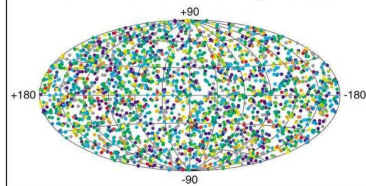
Gamma Ray Burst: Panoramica

Gamma Ray Burst

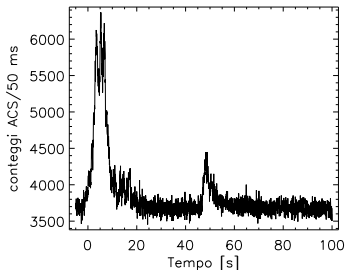
- Lampi che sovrastano momentaneamente in intensità ogni altra sorgente gamma ($F_{GRB} \sim 10^3 F_{crab}$)
- Enorme quantità di energia elettromagnetica $\sim 10^{51} \text{erg}$ sprigionata in pochi secondi
- Origine extragalattica, distribuzione isotropa
- Frequenza: ~ 1 al giorno in tutto l'universo osservabile

Distribuzione dei GRB visti dal satellite BATSE

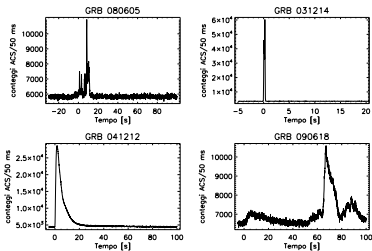
2704 BATSE Gamma-Ray Bursts



GRB 030217



Emissione Prompt e Afterglow

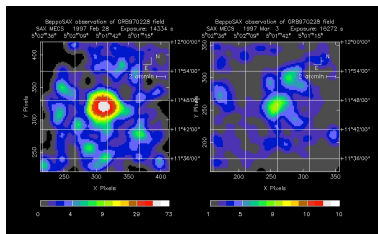


Emissione Prompt

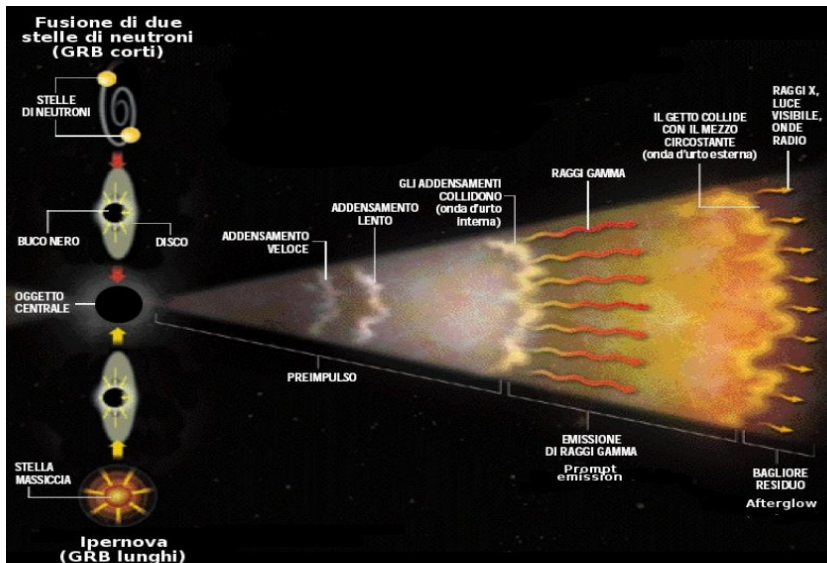
- Durata da pochi *ms* a qualche minuto
- Emissione X-gamma (pochi keV-pochi MeV), $E_{peak} \sim 100 - 1000 \text{ keV}$
- Spettro: legge di potenza troncata o doppia legge di potenza (fenomenologiche)

Emissione Afterglow

- Tutto lo spettro elettromagnetico
- Durate da ore (X) ad anni (radio)
- Identificazione controparte \Rightarrow distanza GRB



Modello fireball



Schermo AntiCoincidenza (ACS) di INTEGRAL/SPI

Satellite ESA per astronomia gamma
INTEGRAL attivo dal 2002:

- **SPI (spettrometro)** 20 keV-8 MeV
- Attorno a SPI:
Schermo AntiCoincidenza
(91 cristalli BGO, 512 kg)

ACS: Funzione principale

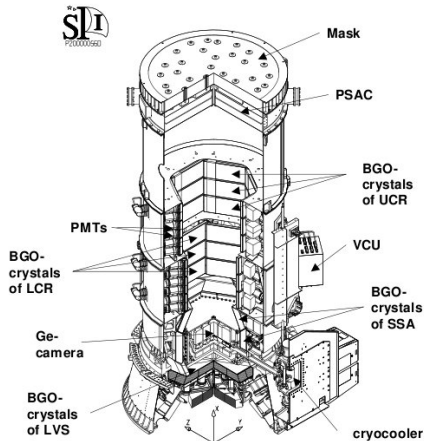
- 1 Ridurre il fondo in SPI
- 2 Segnali di veto: discriminazione eventi dentro/fuori dal campo di vista di SPI



No info su direzione o spettro del segnale

Inoltre:

Area efficace elevata
⇒ molto sensibile ai GRB ($\gtrsim 10$ al mese)



Calibrazione ACS tramite GRB

Area efficace A_{eff} dipende da:

- 1 Energia del fotone
- 2 Direzione di arrivo (effetti di oscuramento, geometria strumento)

CALIBRAZIONE

- Conversione conteggi ACS in unità fisiche di flusso
- Attualmente: tramite codice Monte Carlo (basato su calibrazioni pre-lancio) si calcola a una direzione fissata $A_{eff}(E)$
- OBIETTIVO: calibrazione in volo da confrontarsi con simulazioni Monte Carlo



METODO: OSSERVAZIONE DEI GRB

- Catalogazione 196 GRB misurati sia da ACS che da altri strumenti con informazioni spettrali (es: Fermi/GBM, Konus-WIND)
- \forall GRB: estrapolazione della fluenza (= flusso integrato su durata GRB) nel range ACS ($E \gtrsim 75 \text{ keV}$)
- \forall GRB: fattore di conversione $k = \frac{\text{Fluenza}[\text{erg}/\text{cm}^2]}{N_{ACS}[\text{conteggi}]}$

Risultati della calibrazione

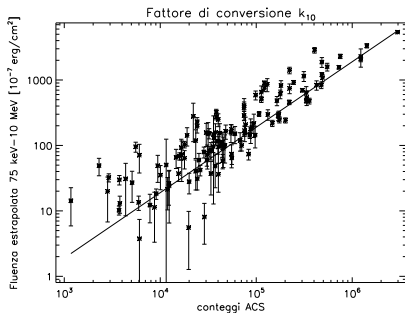
[Viganò & Mereghetti 2009, arXiv:0912.5329]

1. Fattore di conversione medio

$$1 \text{ conteggio ACS} \sim (1.9 \pm 0.8) \times 10^{-10} \text{ erg/cm}^2 \\ 75 \text{ keV} - 10 \text{ MeV}$$

Dispersione molto elevata dovuta a

- ① Direzione di arrivo del GRB
- ② Varietà spettri GRB



Risultati della calibrazione

[Viganò & Mereghetti 2009, arXiv:0912.5329]

1. Fattore di conversione medio

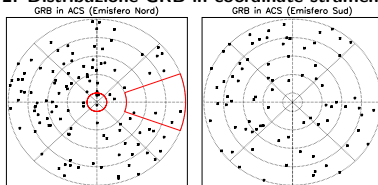
$$1 \text{ conteggio ACS} \sim (1.9 \pm 0.8) \times 10^{-10} \text{ erg/cm}^2$$

75 keV – 10 MeV

Dispersione molto elevata dovuta a

- 1 Direzione di arrivo del GRB
- 2 Varietà spettri GRB

2. Distribuzione GRB in coordinate strumentali



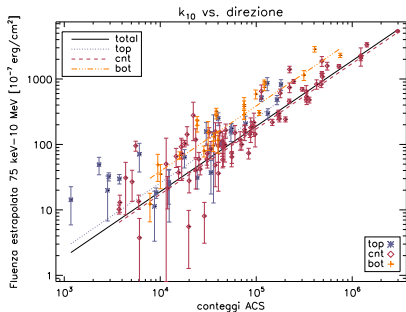
3. Correlazione con direzione

Fattori di conversione per tre sottocampioni:

- k_{top} : direzioni vicine all'asse di puntamento, area geometrica bassa
- k_{cnt} : esposizione massima dello strumento
- k_{bot} : direzioni oscurate dal supporto inferiore

$$k_{top} \simeq k_{bot} \simeq 2 - 3 \times k_{cnt}$$

Risposta 2-3 volte migliore per direzioni circa \perp all'asse



Conclusioni

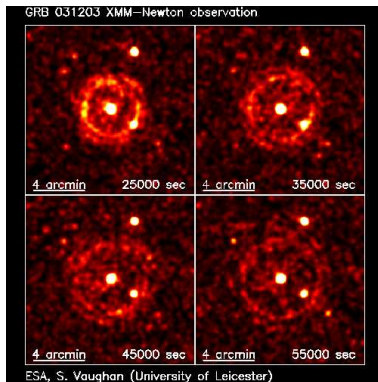
Conclusioni

- Prima calibrazione in volo di INTEGRAL/SPI-ACS
- Buon accordo dei fattori di conversione con quelli derivanti da simulazioni Monte Carlo
- Leggera sottostima degli effetti di oscuramento nelle simulazioni



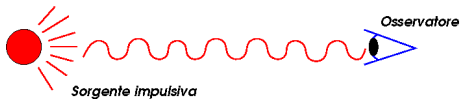
Parte II

Diffusione in banda X da parte della polvere interstellare

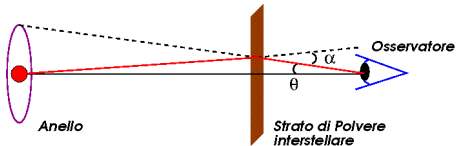
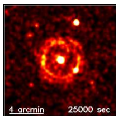


Anelli in espansione

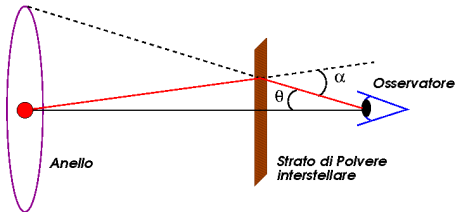
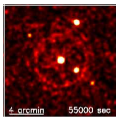
- Tempo $t_0 = 0$: radiazione da sorgente impulsiva (es: GRB)



- Tempo $t_1 > 0$: fotoni diffusi dalla polvere interstellare arrivano in ritardo sotto un angolo θ_1 rispetto a linea di vista della sorgente



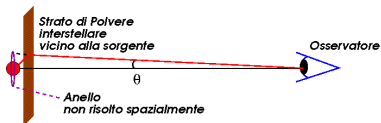
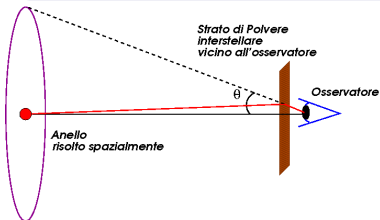
- Tempo $t_2 > t_1$: fotoni diffusi dalla polvere interstellare con ritardo ancora maggiore sotto angolo $\theta_2 > \theta_1$



- Energie: $\sim 2-6$ keV
- Ritardo: ore-settimane

Possibili casi astrofisici

- 1 Caso galattico: sorgente e polvere interstellare nella Via Lattea (fig. precedenti, $\theta \lesssim \text{arcmin}$)
- 2 Sorgente extragalattica, polvere interstellare nella Via Lattea (fig. a sx, $\theta \lesssim \text{arcmin}$)
- 3 Sorgente extragalattica, polvere interstellare nella galassia ospite (fig. a dx, $\theta \ll \text{arcsec}$)



Calcolo di brillantezza superficiale e flusso

Brillantezza superficiale:

$$B_h(t, E, \theta) = F_0(E) \rho(d) \frac{d\sigma}{d\Omega}(E, \alpha) \frac{1}{t + \frac{D_s}{2c} \theta^2}$$

Flusso non risolto dell'alone:

$$\int B_h(t, E, \theta) d\theta = F_h(t, E)$$

$F_0(E)$: spettro X radiazione incidente

$\frac{d\sigma}{d\Omega}$: sezione d'urto differenziale

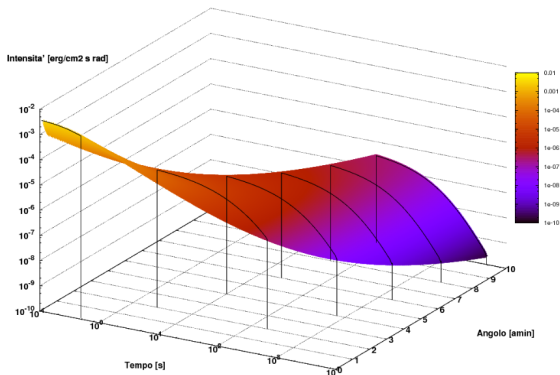
D_s : distanza della sorgente

$\rho(d)$: densità polvere interstellare

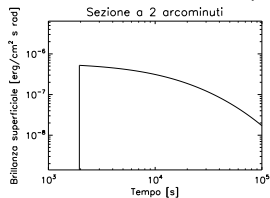
Finora: $\rho(d) \propto \delta(d - d_{strato})$

Brillanza superficiale

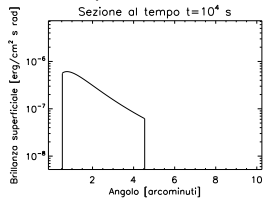
In generale lo strato di polvere è esteso spazialmente: $\rho(d)$ forma arbitraria



- fisso $\theta \Rightarrow$ evoluzione nel tempo



- fisso $t \Rightarrow$ profilo radiale



Scattering di Rayleigh-Gans

Assunzioni (valide per $E \gtrsim 2$ keV)

- Grani sferici di raggio a
- Riflessione trascurabile $|m - 1| \ll 1$
- $\frac{2\pi a}{\lambda} |m - 1| \ll 1$
- $\tau_{SC} \ll 1$

Calcolo della curva di luce: PARAMETRI

- *Geometria*
- *Modello di polvere interstellare*
- *Spettro in X della radiazione incidente*

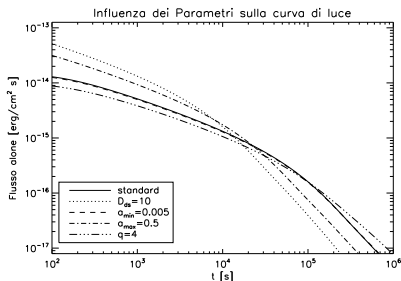
APPLICAZIONE ASTROFISICA

- Evoluzione temporale
⇒ Ricavo info su geometria
- Conosco lo spettro in X
⇒ Ricavo info su polvere interstellare
- Assumo modello di polvere interstellare
⇒ Ricavo lo spettro in X

Sezione d'urto

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\alpha, a, E) \propto a^6 \left(\frac{j_1(u)}{u} \right)^2 \quad (u \propto \alpha a E)$$

$$\sigma(a, E) \propto a^4 E^{-2}$$



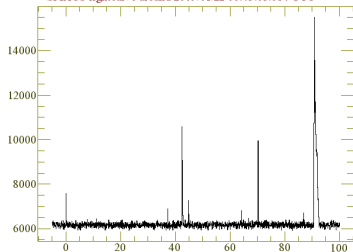
Anomalous X-Ray Pulsar 1E1547.0-5408

Caso rarissimo di anelli in espansione!

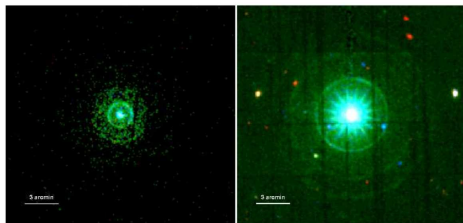
- AXP \in classe di sorgenti rare (se ne conoscono ~ 15)
- Saltuariamente emettono lampi intensi in banda X e gamma in poche ore

22/01/09: ripetuti lampi in banda γ

SPIACS lightcurve around 2009/01/22 06:43:05.684 UTC



Ore-giorni seguenti: rilevati in X 3 anelli in espansione
Origine: 1 lampo intenso diffuso da 3 strati di polvere interstellare



Nota

- Espansione $\theta(t)$
- Curve di luce degli anelli a diverse energie

INCOGNITE

- Distanza della sorgente
- Spettro in banda X

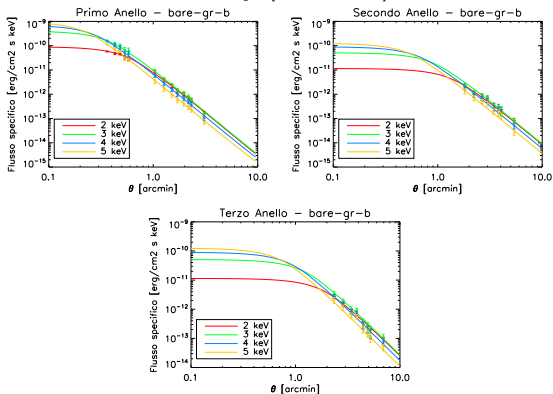


AXP 1547: Risultati

OBIETTIVO

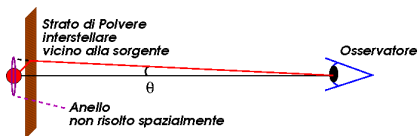
Riprodurre le curve di luce degli anelli assumendo modello di polvere \Rightarrow
Ricavare distanza della sorgente e spettro X della radiazione incidente.

Modello bare-gr-b [Zubko et al. 2004]:



Risultati ottenuti

Caso extragalattico: GRB

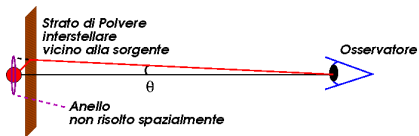


Ipotesi: alone di diffusione dovuto a polvere nella galassia ospite



- Contribuito all'afterglow X rilevabile
- Dimensioni angolari troppo piccole per essere risolto spazialmente.

Caso extragalattico: GRB

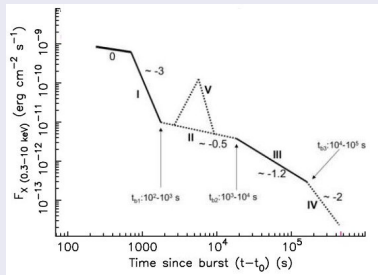


Ipotesi: alone di diffusione dovuto a polvere nella galassia ospite



- Contribuito all'afterglow X rilevabile
- Dimensioni angolari troppo piccole per essere risolto spazialmente.

Afterglow in X dei GRB



Fase II non ancora compresa
Decadimento lento $F \sim t^{-0.5}$

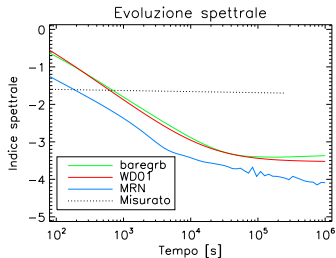
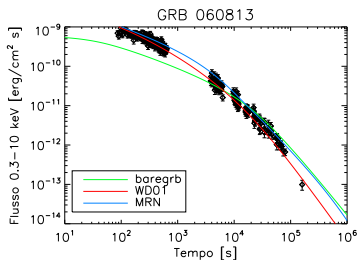
OBIETTIVO

- Calcolare il flusso non risolto con diversi modelli
- Verificare accordo con i dati
- Trovare parametri geometrici tramite fit

GRB 060813: Risultati

Fit dei parametri per diversi modelli
 Curva di luce si accorda bene per polvere
 interstellare a 10 pc dalla sorgente con
 modello WD01 o MRN

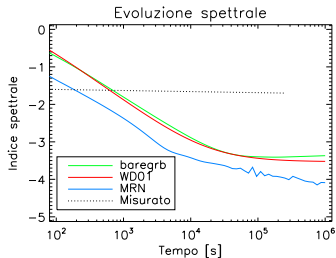
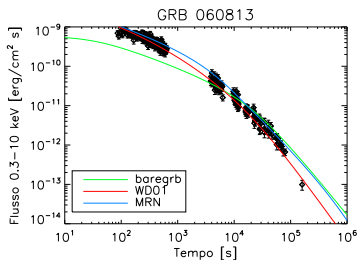
Mi aspetto ammorbidimento spettrale
 Osservo assenza di evoluzione spettrale



GRB 060813: Risultati

Fit dei parametri per diversi modelli
 Curva di luce si accorda bene per polvere
 interstellare a 10 pc dalla sorgente con
 modello WD01 o MRN

Mi aspetto ammorbidimento spettrale
 Osservo assenza di evoluzione spettrale



La diffusione da polvere interstellare **NON** può essere il contributo dominante

Conclusioni

Conclusioni

- Studio del fenomeno attorno a sorgenti galattiche e extragalattiche
- Dati vs. Curva di luce calcolata
 - ⇒ Informazioni su polvere interstellare e/o spettro in X della radiazione incidente
- Sviluppate strumenti di calcolo generali, applicabili per sorgenti galattiche ed extragalattiche

Prospettive future

Calibrazione SPI/ACS

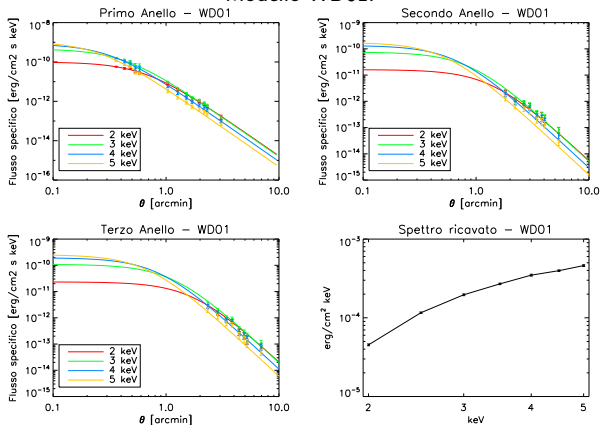
- Varietà spettrale e di direzioni comporta alta dispersione
- Nuovi dati Fermi/GBM
⇒ Ampliamento statistica, campione più uniforme

Diffusione da polvere interstellare

- Anelli e aloni in evoluzione attorno ad altre sorgenti
- Valutazione dell'eventuale contributo al flusso X da parte di un alone non risolto spazialmente

AXP 1547: Risultati

Modello WD01:



Risultati ottenuti

Miglior fit: $D_s = 6.9$ kpc [vedi anche Tiengo et al. 2009]