

Unità didattica 8

I lampi gamma

Introduzione

Facendo ricorso ai fenomeni esotici e più strani presenti in cielo, l'astrofisica offre numerosi spunti per l'insegnamento delle leggi fisiche, a studenti incuriositi dalla discussione dei fenomeni celesti.

Compito dei docenti è quello di introdurre queste unità didattiche in funzione degli argomenti svolti in classe e di differenziarle in funzione dell'indirizzo scolastico nell'ambito del quale vengono proposte, sviluppando diversi gradi di difficoltà.

L'astronomia dei raggi gamma costituisce un veicolo essenziale per l'individuazione di fenomeni esotici, strani e poco intuitivi, perché assenti nella nostra vita quotidiana. Per questo motivo abbiamo scelto di presentare unità didattiche rivolte maggiormente verso l'astronomia dell'invisibile, trascurando l'osservazione del cielo ad occhio nudo, per la quale rimandiamo ad uno dei molti manuali divulgativi di astronomia.

A tale scopo facciamo riferimento a tre missioni spaziali, due della NASA e una dell'ESA, esplicitamente dedicate ai raggi gamma; si tratta di missioni alle quali l'Italia, grazie all'ASI, ha dato un importante contributo.

Le tre missioni sono INTEGRAL, SWIFT e GLAST. Queste missioni sono dedicate all'osservazione del cielo nei raggi gamma, solo una di esse è però dedicata all'osservazione di lampi gamma: SWIFT! Poiché l'unità è dedicata al fenomeno dei lampi gamma, parleremo della missione SWIFT.

Che cos'è SWIFT?

SWIFT è un osservatorio orbitale della NASA costruito in collaborazione con alcuni istituti di ricerca inglesi ed italiani e con l'Agenzia Spaziale Italiana. La missione principale di SWIFT consiste nell'osservare i lampi gamma. I lampi gamma sono straordinarie esplosioni che si pensa abbiano origine durante la formazione di un buco nero di taglia stellare.

Le capacità di SWIFT sono uniche, il suo sistema di puntamento è così veloce da consentire il puntamento del satellite in meno di un minuto. Per questo al satellite è stato attribuito il nome di Swift che, in inglese, significa rondone. Infatti come un rondone, SWIFT cambia velocemente la sua direzione di puntamento verso un nuovo obiettivo.

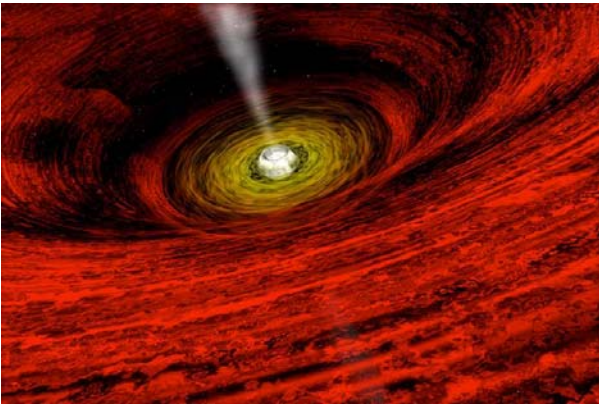
Quale strumentazione utilizza SWIFT?

Swift è un satellite complesso e molto pesante. Dispone di tre telescopi ciascuno dei quali è all'avanguardia nella propria finestra spettrale. Il primo strumento è il *Burst Alert Telescope* (BAT) che significa telescopio di allerta dei lampi, il secondo strumento è lo *X-ray Telescope* (XRT) cioè telescopio a raggi X, infine uno strumento, che opera in banda ultravioletta e ottica chiamato Ultraviolet/Optical Telescope (UVOT) completa la strumentazione di questo satellite.

Il BAT opera nella banda di maggiore energia dei raggi X tra 15 keV e 150 keV; il suo compito è rilevare l'emissione dei lampi gamma per puntare successivamente XRT che opera nei raggi x di energie più basse dove, mediante l'uso di specchi, è possibile focalizzare la radiazione, permettendo il posizionamento del lampo con un'accuratezza maggiore. Tale accuratezza sarà necessaria per osservare l'afterglow (termine inglese che indica il residuo ottico del lampo) ed individuare la controparte ottica e la galassia ospite del lampo.

Introduzione ai lampi gamma

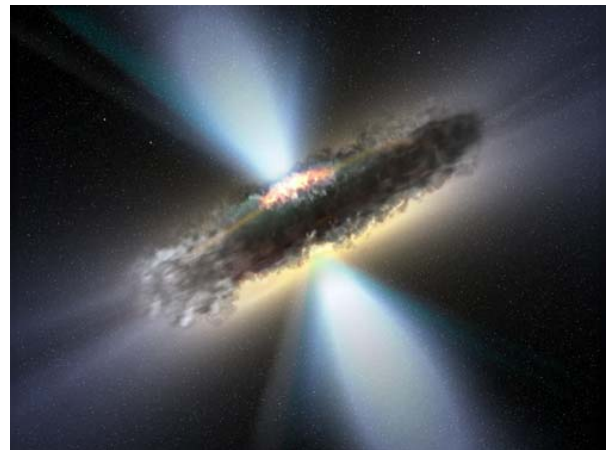
L'osservazione dei corpi celesti in diverse bande di energia permette di studiare diversi aspetti del cielo: le onde radio mostrano le nubi molecolari della galassia a temperature di pochi gradi Kelvin mentre i raggi gamma permettono di osservare i fenomeni più energetici dell'universo. Sorgenti che appaiono poco appariscenti nell'astronomia ottica possono risultare tra le sorgenti più luminose del cosmo in altre bande di energia.



L'emissione di un corpo dipende essenzialmente dalla temperatura, i corpi più freddi dell'universo emettono onde radio mentre quelli più caldi, come le stelle di neutroni o il gas estremamente caldo presente negli ammassi di galassie, riescono ad

emettere anche nella parte più energetica dello spettro X.

L'emissione nei raggi gamma costituisce un discorso a parte, le energie in gioco sono così elevate che l'emissione prodotta in questa regione dello spettro elettromagnetico non è mai termica. Generalmente si tratta di emissione prodotta dall'interazione tra particelle cariche e campi elettromagnetici, inoltre in alcuni casi, si registrano decadimenti radioattivi di radioisotopi instabili.

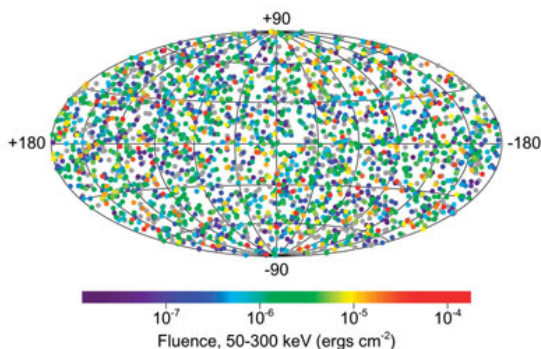


Intense Emissioni di raggi gamma possono essere prodotte da stelle di neutroni provviste di elevati campi magnetici. Nei pressi dei buchi neri rotanti, intensi campi magnetici rotanti possono incanalare particelle cariche in

getti relativistici che, interagendo con la materia circostante, possono produrre emissione collimata di radiazione gamma.

Lo studio dei lampi gamma è nato per caso negli anni '60 quando gli Stati Uniti, per verificare il rispetto del trattato di non proliferazione nucleare da parte degli altri paesi sottoscrittori, misero in orbita una costellazione di satelliti muniti di rivelatori gamma: i satelliti Vela.

Il trattato prevedeva che gli esperimenti nucleari potessero essere effettuati soltanto nel sottosuolo; un'esplosione atomica in superficie o nello spazio avrebbe comportato l'emissione di raggi gamma, da qui la necessità di monitorare lo spazio intorno alla Terra alla ricerca di tale radiazione.

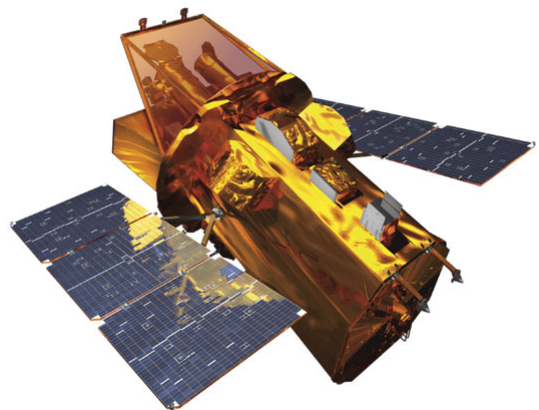


Con notevole sorpresa, gli scienziati registrarono diversi brillamenti gamma certamente non dovuti alla detonazione di armi nucleari. Osservazioni condotte

con più satelliti mostrarono che questi lampi provenivano dallo spazio profondo.

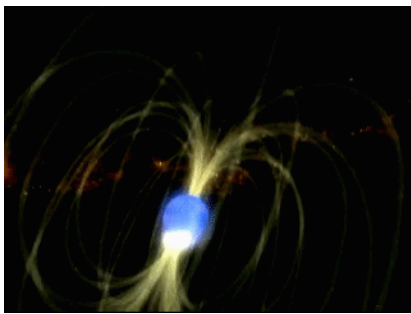
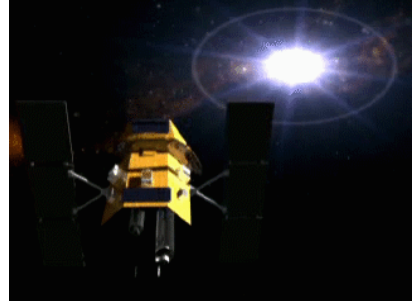
Alcuni lampi duravano qualche secondo, altri pochi millisecondi. La brevità di questi fenomeni li collegava ad oggetti compatti o di taglia stellare.

Nello stesso tempo la brevità del fenomeno favoriva il mistero, infatti non si riusciva ad osservare una controparte ottica e a collegare sperimentalmente questi fenomeni ad una sorgente conosciuta. Alcuni astrofisici ritenevano che il fenomeno fosse localizzato all'interno della nostra galassia, altri invece, considerando la distribuzione uniforme dei lampi su tutta la volta celeste, ritenevano che avessero un'origine extragalattica, in tal caso si sarebbe trattato del fenomeno più energetico dell'universo dopo il Big Bang.



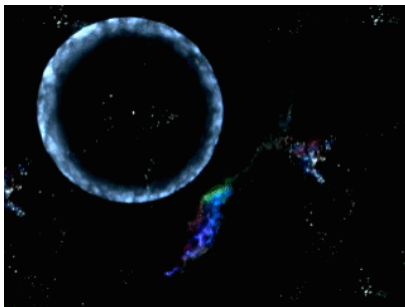
Lampi gamma e x

I lampi gamma per oltre due decenni rimasero un mistero irrisolto. Mentre le prime osservazioni avevano mostrato che i lampi gamma potevano essere classificati in due grosse famiglie: i lampi brevi, caratterizzati dalla persistenza al massimo di emissione per pochi decimi di secondo, e i lampi lunghi, che presentavano un massimo di emissione della durata di una trentina di secondi, la



confusione aumentò il 5 marzo 1979 quando un intenso lampo gamma venne osservato in direzione della Grande Nube di Magellano, una galassia satellite della via Lattea. Nei mesi successivi altri lampi vennero rilevati nella stessa regione del cielo. Questi eventi ripetitivi fecero mettere in dubbio l'ipotesi di un fenomeno distruttivo della sorgente e venne accolta dalla

comunità scientifica l'ipotesi di una nuova classe di oggetti i *Soft Gamma Repeaters*, cioè lampi a bassa energia gamma ripetitivi. Questo nome deriva dall'osservazione del picco di emissione che si



trovava ad un'energia più bassa rispetto a quello degli usuali lampi gamma. Le ipotesi più accreditate associano a questi eventi stelle di neutroni provviste di intensi campi magnetici, molto più intensi di quelli tipici delle altre stelle di neutroni. Questi campi magnetici possono provocare sismi sulla superficie della stella di neutroni, l'energia in gioco e il rilascio di particelle può causare

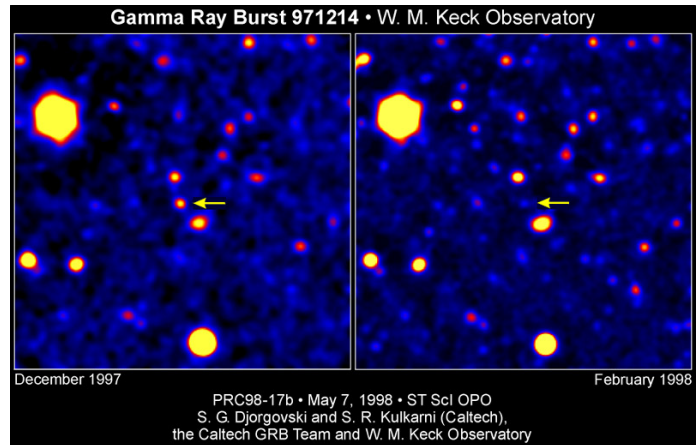
l'intenso lampo gamma osservato.

Sempre negli anni '70 venne identificato un altro tipo di eventi esplosivi nella banda delle alte energie: i lampi X. Come per i *Soft Gamma Repeaters* si tratta di stelle di neutroni con campi magnetici intensi ma a livelli inferiori a quelli dei *Soft Gamma Repeaters*. A differenza dei *Soft Gamma Repeaters*, che sono stelle di neutroni isolate, i lampi X provengono da sistemi binari contenenti stelle di neutroni. La stella di neutroni accresce dalla compagna fino a quando il nuovo materiale accumulato sulla superficie esplose in un bruciamento nucleare e produce un brillamento X.

Classificazione dei lampi gamma

I lampi gamma possono essere classificati tenendo presente alcuni parametri fisici importanti che possono fornirci importanti indicazioni a riguardo del fenomeno che interviene su di essi:

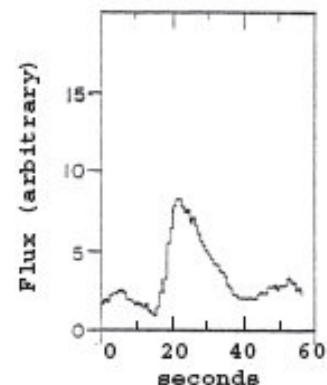
1. **il nome:** ai lampi gamma viene dato un nome caratterizzato dalla sigla GRB seguita da un numero indicante la data della prima osservazione, ad esempio GRB032905 indica un lampo gamma rilevato il 29 marzo 2005. Se viene individuata la controparte ottica questa potrebbe avere un nome diverso a seconda che l'oggetto sia stato già catalogato, oppure no. Gli oggetti astronomici vengono chiamati con una sigla, generalmente legata allo strumento che li ha scoperti, seguita da un



numero che indica le coordinate celesti dell'oggetto. Queste coordinate possono essere ascensione retta e declinazione o longitudine e latitudine galattica.

2. **la curva di luce:** o sarebbe meglio dire curva di emissione, alcuni lampi rimangono al massimo di emissione per pochi decimi di secondo, altri per anche una trentina di secondi. La diversa durata al massimo di emissione dipende dall'oggetto celeste responsabile dell'emissione. In particolare, i lampi lunghi hanno mostrato qualche correlazione osservativa con supernovae particolarmente luminose, mentre per i lampi brevi si hanno purtroppo poche indicazioni che rendono compatibili i pochi dati osservativi con il modello a coalescenza di stelle di neutroni.

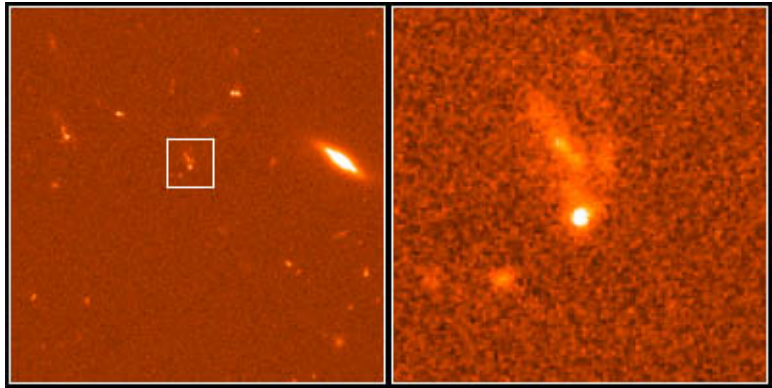
3. **l'energia di picco:** cioè l'energia dei fotoni dove si verifica il massimo di emissione. Alcuni lampi sono caratterizzati da un massimo in banda gamma, altri invece presentano un massimo ad energie inferiori come per i lampi X.



4. **ripetitività:** alcuni lampi si ripetono nel tempo, ciò è un'importante indicazione a favore di un evento non distruttivo per l'astro che ha originato il lampo. La grande maggioranza dei lampi invece si presentano una sola volta, facendo presumere che l'evento che ha originato il lampo ha anche distrutto l'astro.

5. **controparte ottica e distanza:** poiché la risoluzione sia spaziale sia spettrale nella banda gamma è piuttosto scarsa,

assume una notevole importanza la ricerca della controparte ottica del lampo gamma; l'osservazione ottica della sorgente consentirebbe, in alcuni casi fortunati, di ottenere lo spettro della

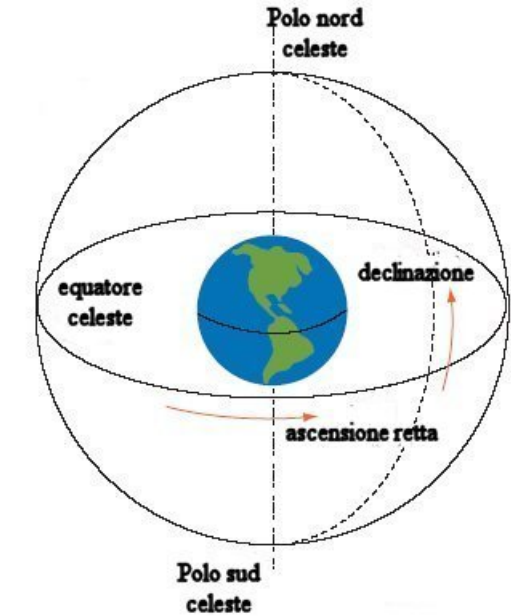


sorgente e ricavarne la distanza tramite la legge di Hubble. La conoscenza della distanza è di vitale importanza per la determinazione di tutti i parametri fisici del lampo, in particolare può essere utile tanto per determinare la luminosità bolometrica che alcuni parametri cosmologici.

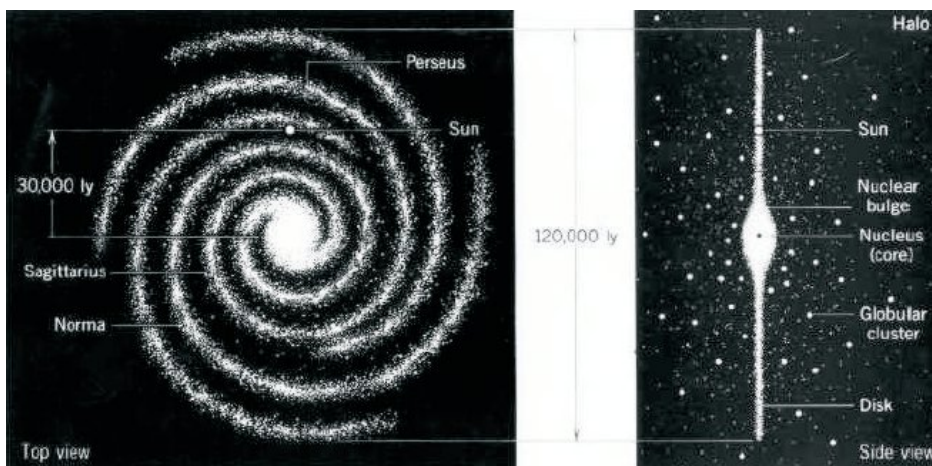
6. **periodo orbitale e spin:** alcuni lampi possono presentare fluttuazioni nell'energia del massimo di emissione, queste fluttuazioni possono essere legate al periodo orbitale di un sistema o al periodo di rotazione di una stella di neutroni. Esse possono fornire importanti indicazioni sulla conferma o smentita dei modelli proposti per descrivere questi fenomeni.
7. **localizzazione:** la localizzazione in cielo dei lampi ha rivestito un ruolo importantissimo per i primi vent'anni di studio di questi oggetti. Infatti la distribuzione lungo il piano galattico si poteva spiegare con la presenza delle sorgenti progenitrici all'interno della nostra galassia mentre una distribuzione uniforme, come quella effettivamente osservata, poteva essere indice di una natura extragalattica di questi oggetti. Lo studio della distribuzione spaziale e delle controparti ottiche ha permesso di determinare la natura extragalattica di questi lampi.

Navigare con le coordinate celeste

Per determinare la posizione in cielo di una stella vengono usati due sistemi di coordinate: le *coordinate equatoriali* e le *coordinate galattiche*. Le coordinate equatoriali vengono definite tramite la proiezione dell'equatore terrestre sulla sfera celeste. L'equatore celeste così costruito interseca l'eclittica, cioè la proiezione dell'orbita della Terra sulla sfera celeste, in due punti detti nodi: il *punto di Ariete* e il punto della Bilancia. Nel punto dell'Ariete l'eclittica passa dall'emisfero australe a quello boreale, per convenzione il punto dell'Ariete è stato scelto come origine del sistema di coordinate equatoriali.



Per determinare la posizione di un oggetto occorrono due coordinate: *la declinazione*, che varia da -90° a $+90^\circ$ e misura la latitudine di un oggetto celeste, e *l'ascensione retta*, che varia in senso antiorario da 0 h a 24 h e viene misurata per comodità in ore, minuti e secondi. Questo sistema di coordinate è molto comodo per un osservatore situato sulla Terra, che può avvalersi

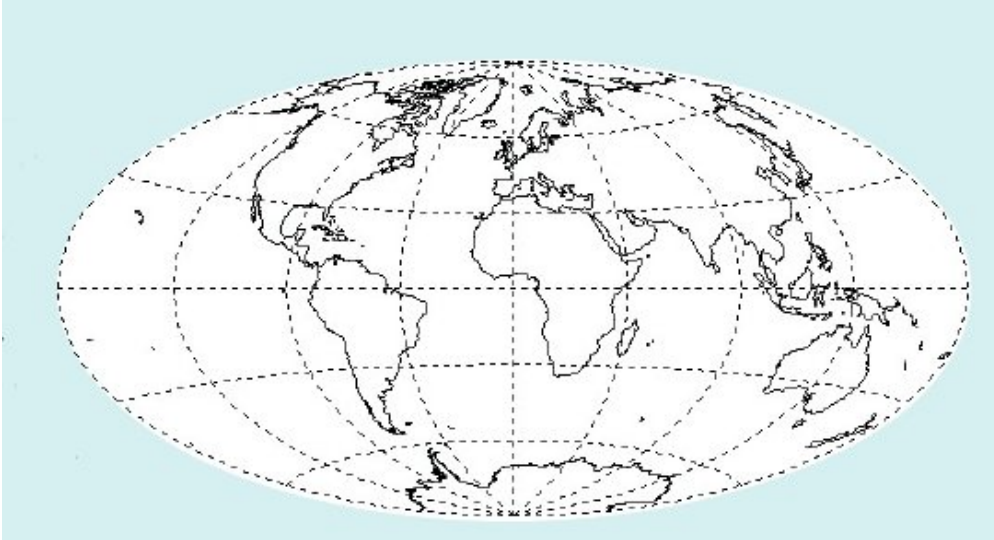


dell'orientazione dell'asse terrestre. Le coordinate galattiche sono state definite partendo dall'equatore galattico medio, definito secondo ragioni di simmetria di distribuzione delle stelle

e della polvere; la distanza di una sorgente dall'equatore galattico è la latitudine galattica che varia da $+90^\circ$ a -90° . L'origine della longitudine galattica è invece stata scelta nel centro galattico, assunto con la radiosorgente Sagittarius A; la longitudine galattica varia tra 0 e 360°

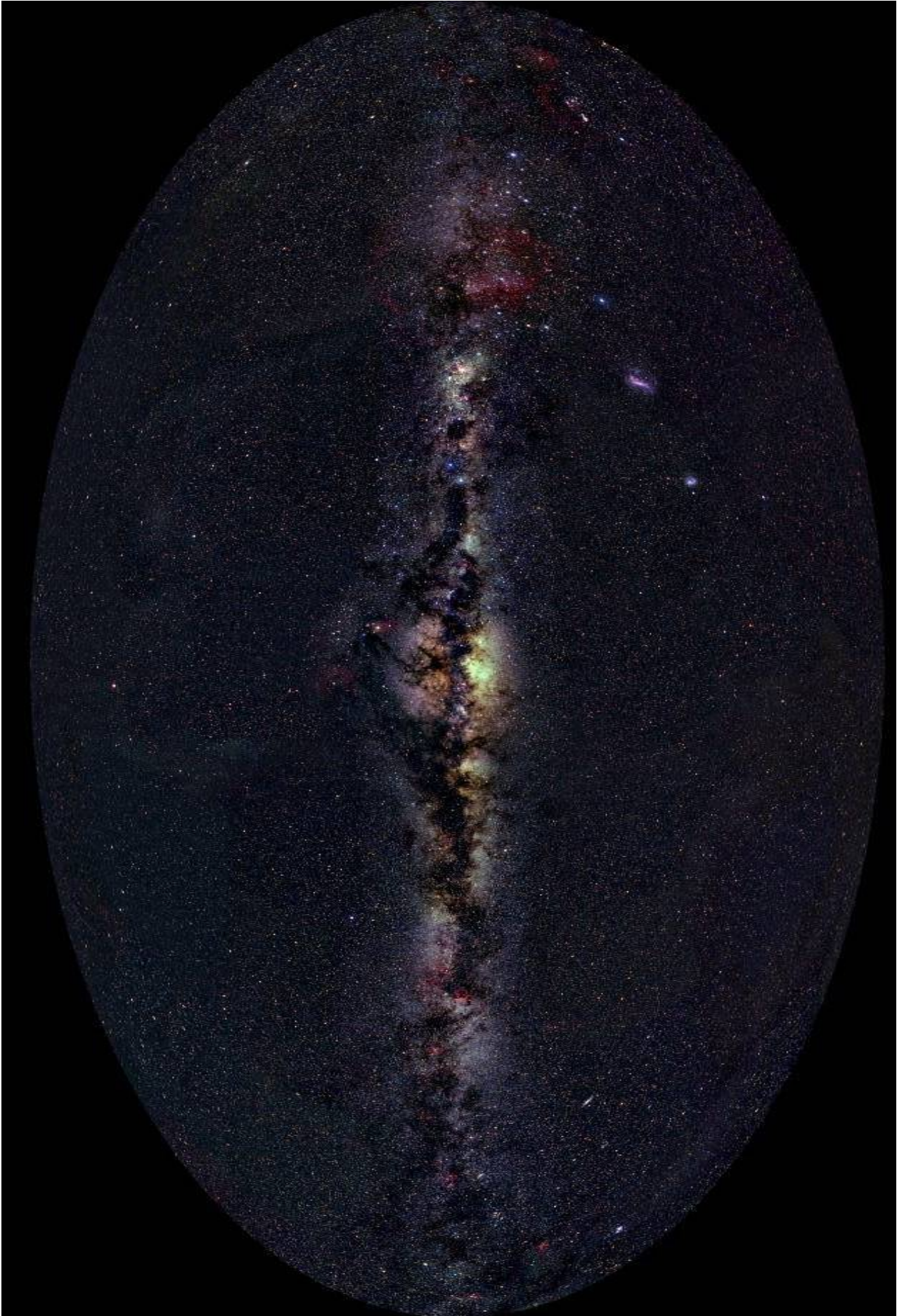
Mappe Celesti

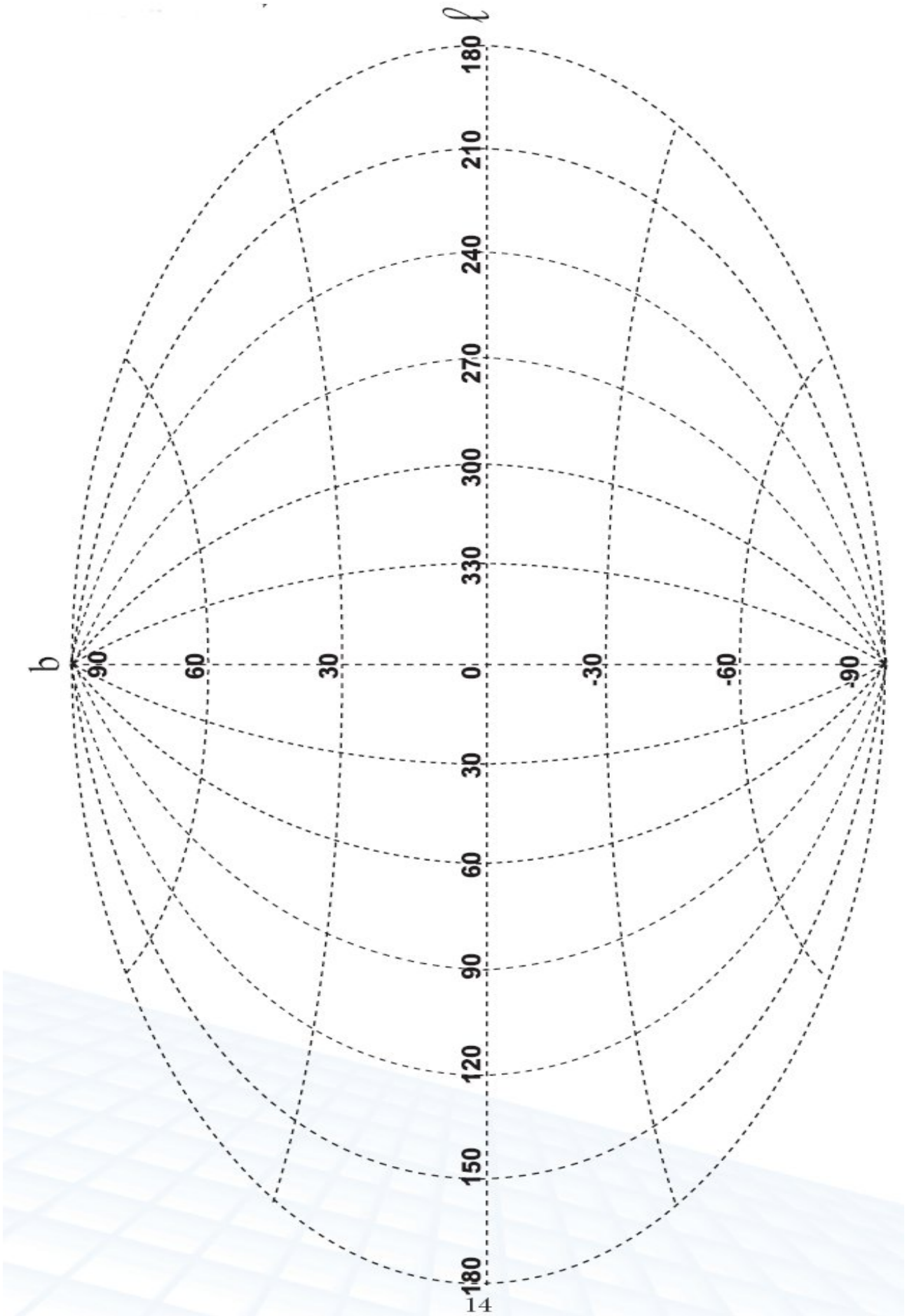
Come per la cartografia terrestre, ci sono diversi tipi di proiezioni per costruire mappe del cielo stellato, una di esse riveste però un'importanza straordinaria per gli astrofisici. Come abbiamo già accennato la conoscenza della distribuzione di fenomeni dello stesso tipo può risultare utile per individuarne l'origine galattica o extragalattica. La proiezione più utile a questo scopo è quella che consente di inserire in un'unica mappa tutta la sfera celeste: la proiezione *Aitoff*.



Come è possibile osservare dall'immagine sopra, la proiezione Aitoff è quella che consente di ottenere la rappresentazione di tutta la superficie terrestre limitando al minimo le deformazioni locali. Nella proiezione Aitoff la linea verticale centrale rappresenta il meridiano fondamentale, la longitudine cresce verso sinistra, fino al limite della mappa, dove assume il valore di 180° . Nella parte destra della mappa la longitudine continua a crescere in direzione da destra verso sinistra, da 180° per l'estrema parte destra della mappa, fino ai 360° dell'origine da cui si era partiti a misurare. La linea orizzontale è l'equatore, cioè il parallelo di latitudine 0° . La latitudine cresce fino a $+90^\circ$ per il polo boreale a -90° per il polo australe. Può essere interessante notare che in questo tipo di proiezione i paralleli non sono più paralleli, ma tendono a divergere verso i bordi.

Anche la mappa del cielo stellato funziona allo stesso modo, l'unica differenza è che avremo la *longitudine galattica* e la *latitudine galattica*. Un esempio di mappa Aitoff celeste è la seguente: lungo l'equatore Galattico vediamo le stelle e le polveri che disegnano il piano della nostra galassia. Utilizzando questo tipo di proiezione è immediato farsi un'idea della distribuzione celeste dei lampi gamma. Mappe ottenute proiettando tutta la sfera celeste per gli eventi osservati con l'osservatorio Compton consentono di verificare a colpo d'occhio l'uniformità della distribuzione dei lampi gamma in tutta la sfera celeste.





Distribuzione galattica

Com'è distribuita una particolare classe di oggetti celesti rispetto alla nostra galassia? Per rispondere a questa domanda gli astrofisici riportano su una mappa celeste in coordinate galattiche ogni singolo evento. Poi inizia un lavoro di analisi della distribuzione di quella classe di oggetti, ad esempio si è notato che, distribuendo in tale mappa tutti gli ammassi stellari aperti, si otteneva una distribuzione lungo l'equatore galattico. Questa distribuzione indicava in maniera palese che gli ammassi aperti facevano parte del disco galattico. Al contrario, riportando sulla stessa mappa, tutte le nebulose a spirale si ottiene una distribuzione uniforme in tutto il cielo. Fu grazie a questa distribuzione uniforme che Peet Curtis, in polemica con Harlow Shapley, poté sostenere che le nebulose a spirale fossero galassie come la Via Lattea poste a distanze enormi.

I lampi gamma sono fenomeni così enigmatici e misteriosi che hanno portato gli scienziati a prendere in considerazione le due ipotesi, naturalmente se fossero prodotti da sorgenti interne alla nostra galassia osserveremmo una distribuzione prevalente lungo il piano galattico, invece nel caso di sorgenti esterne osserveremmo una distribuzione uniforme nel cielo.

Ti proponiamo ora di improvvisarti astrofisico e di riprodurre la distribuzione dei lampi gamma dei mesi di aprile, maggio, giugno e luglio del 2005, cioè dei primi mesi di operatività dell'osservatorio SWIFT.

GRB	long	latit.	GRB	long	latit.	GRB	long	latit.
GRB		-	GRB			GRB		
050803A	86.52°	50.68°	050712A	146.31°	14.62°	050504A	98.47°	74.87°
GRB			GRB			GRB		
050802A	40.74°	66.59°	050709A	358.57°	-64.24°	050502B	214.35°	42.59°
GRB			GRB			GRB		
050801A	316.57°	39.72°	050701A	319.65°	-1.09°	050502A	98.6°	72.61°
GRB			GRB			GRB		
050730A	336.85°	53.97°	050626A	300.17°	-0.39°	050422A	98.05°	2.58°
GRB			GRB			GRB		
050726A	310°	30.4°	050607A	49.22°	-10.9°	050421A	107.16°	19.53°
GRB			GRB			GRB		
050724A	350.4°	15.09°	050603A	214.52°	-65.63°	050418A	203.11°	59.84°
GRB			GRB			GRB		
050721A	353.95°	9.66°	050528A	109.15°	-14.85°	050416B	216.87°	32.54°
GRB			GRB			GRB		
050717A	316.6°	10.04°	050525A	54.95°	15.54°	050416A	268.67°	82.72°
GRB			GRB			GRB		
050716A	95.61°	-16.8°	050522A	14.88°	82.98°	050412A	278.61°	60.38°
GRB			GRB			GRB		
050715A	244°	45.11°	050520A	127.26°	86.7°	050410A	134.06°	24.33°
GRB			GRB			GRB		
050714B	272.38°	41.78°	050509B	182.91°	86.16°	050408A	265.14°	70.04°
GRB			GRB			GRB		
050714A	133.58°	8.87°	050509A	316.57°	39.72°	050406A	273.19°	61.67°
GRB			GRB			GRB		
050713B	96.11°	12.46°	050507A	193.93°	193.93°	050402A	212.04°	37.02°
GRB			GRB			GRB		
050713A	112.15°	18.83°	050505A	196.28°	45.46°	050401A	17.42°	31.82°

La tabella di pagina 12 mostra i lampi gamma dei primi quattro mesi di SWIFT, ora dovete fotocopiare la mappa con le coordinate galattiche di pagina 11 su un formato cartaceo A3 (quello di dimensioni doppie). Muniamoci di una penna rossa e disegniamo un pallino rosso corrispondente alle coordinate di ciascun lampo gamma.

Rispondiamo allora alle seguenti domande:

- Quale tipo di distribuzione assume la famiglia dei lampi gamma?
- Che cosa puoi dedurre da tale distribuzione?
- Quali conseguenze si hanno sull'energia di questi fenomeni?

La direzione di un lampo gamma

Destinato agli insegnanti

Questa parte dell'unità didattica si prefigge lo scopo di creare una sorta di gioco che consenta, agli studenti delle scuole medie e superiori, di mettere in pratica il metodo della triangolazione utilizzato dagli astronomi per stimare la direzione di provenienza dei lampi gamma. Per facilitare agli studenti la comprensione del fenomeno cerchiamo di utilizzare dei paragoni con esperienze da effettuare in prima persona.

L'intera attività didattica è costruita per essere percorsa in alcune semplici fasi. Ciascuna di esse è essenziale per lo svolgimento di quella successiva e per la comprensione di ciò che si sta facendo.

Prima di svolgere con i ragazzi, l'attività didattica in classe, è opportuno fare delle copie del "La direzione dei lampi gamma: manuale dello studente" destinato agli studenti e fotocopiare su un cartoncino semirigido i "metri di luce". Si consiglia di consegnare ai ragazzi il manuale dei lampi gamma prima di fornire le spiegazioni necessarie e in modo che possano leggerlo a casa e farsi un'idea del tipo di attività che devono affrontare. Il giorno successivo potrebbe tenersi una lezione, in classe, a riguardo dei ritardi temporali dovuti a differenti posizioni di osservatori rispetto al punto in cui avviene un fenomeno. Un'idea interessante, che noi proponiamo, è quella di tenere conto dei ritardi temporali del tuono durante un temporale; si potrebbe spiegare come il tuono non venga percepito simultaneamente da tutti gli osservatori, mostrando ai ragazzi che il parametro discriminante dei tempi è la distanza dalla regione di cielo in cui si è originato il fulmine.

Solo dopo un'opportuna discussione a riguardo, sarà possibile procedere con l'unità didattica. In particolare sarà necessaria una lezione che metta in evidenza come i ritardi subiti da un tuono si ritrovino (a causa della velocità finita della luce) anche per i segnali luminosi.

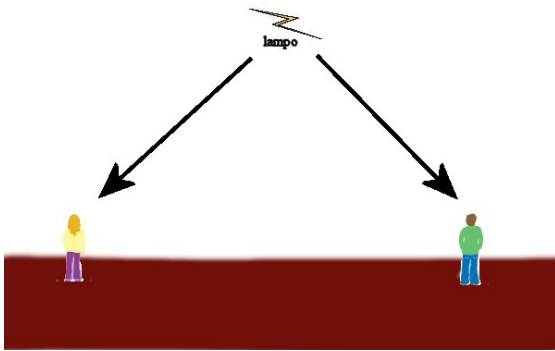
L'attività proposta è strutturata in modo che possa essere affrontata anche da studenti delle scuole medie inferiori, vengono infatti consigliati strumenti semplici che possono essere utilizzati senza alcuna difficoltà dai ragazzini delle scuole medie. Lo scopo però è quello di strutturare questa attività in maniera da rispondere alle esigenze di studenti più maturi. Abbiamo pensato allora di introdurre al termine dell'attività una scheda, indirizzata a studenti di quarta e quinta liceo e a studenti del triennio degli istituti tecnici industriali. Con essa ci prefiggiamo lo scopo, dove è possibile, di trattare l'argomento con funzioni goniometriche in modo da porre gli studenti di fronte a possibili applicazioni pratiche della trigonometria.

La direzione di un lampo gamma

Manuale dello studente

Dai temporali ai lampi gamma

Prova ad immaginare un temporale in avvicinamento, presto o tardi ci apparirà un lampo, seguito da un tuono. Il motivo del ritardo del tuono rispetto al lampo è semplice e abbastanza conosciuto. Infatti, mentre il tuono si propaga alla velocità del suono 320 m/s, il lampo si propaga alla velocità della luce che è oltre un milione di volte maggiore. Tuono e lampo avvengono simultaneamente, il ritardo del tuono è provocato dalle diverse velocità di propagazione dei segnali.

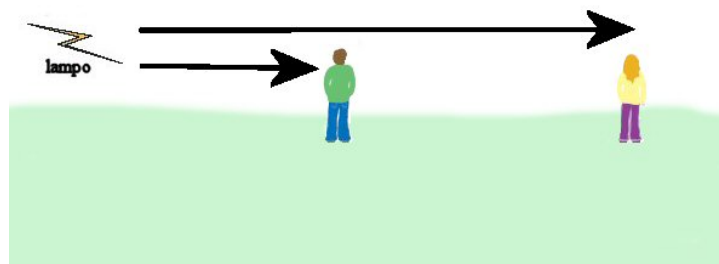


Due osservatori registreranno ritardi diversi a seconda della loro posizione rispetto al temporale. La differenza tra gli intervalli di tempo è nulla se i due osservatori si trovano alla stessa distanza dal temporale.

In realtà questo fenomeno si verifica piuttosto raramente in natura, infatti la simultaneità della registrazione dello stesso evento richiede una configurazione geometrica particolare, nella maggior

parte dei casi due persone si troveranno a distanze diverse da un temporale.

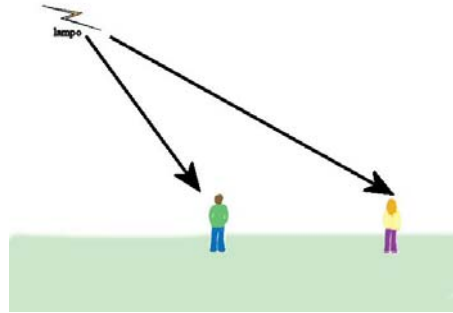
Quando due persone si trovano allineate su una retta ipotetica che li congiunge al luogo in cui ha origine il lampo, occupando posizioni differenti, misureranno ritardi diversi. L'eccesso di ritardo accumulato da una persona rispetto all'altra è causato dalla sua



maggiore distanza dal luogo d'origine del tuono, e poiché la sorgente della luce e del rumore e le due persone sono allineate su una retta, la differenza dei tempi misurata dai cronometri di ciascuna persona è il tempo impiegato dal segnale a percorrere la distanza che intercorre tra queste due persone.

Il ritardo nell'ascolto del tuono dipende dall'angolo che la congiungente tra i due osservatori forma con la congiungente osservatore – temporale. Infatti se le due persone non sono allineate con il tuono la distanza che il segnale deve percorrere per raggiungere l'osservatore più lontano è diversa dalla distanza tra i due osservatori. Anzi la conoscenza dei tempi di ritardo e della distanza tra gli

osservatori consente di ricavare la direzione di provenienza del tuono e del lampo senza disporre di un'osservazione diretta del fenomeno.



In linea di principio la misura del ritardo può essere usata per determinare la direzione di provenienza del tuono e del lampo. La tecnica utilizzata prende il nome di triangolazione ed è la stessa tecnica usata dagli astrofisici per stimare direzione dei lampi gamma, per questo abbiamo utilizzato l'esempio del temporale in modo da chiarire in maniera semplice la tecnica usata dagli scienziati. L'attività che proponiamo consiste nel replicare le operazioni compiute dagli astrofisici per determinare la direzione di un lampo gamma.

Per svolgere l'intera attività dobbiamo munirci del seguente materiale:

- Un righello
- Un paio di forbici
- Una matita
- Un goniometro
- Il regolo di luce da costruire durante l'attività
- Una calcolatrice

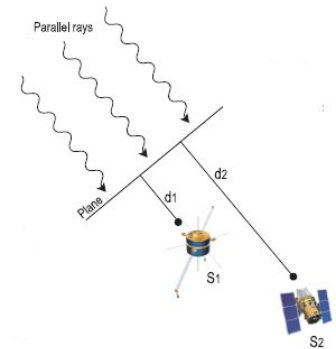
Introduzione al metodo della triangolazione

Determinare la direzione di un lampo gamma è una sfida. Mentre la direzione di una sorgente luminosa è relativamente semplice da determinare utilizzando uno specchio parabolico per focalizzare la sua luce, i telescopi gamma non sono in grado di focalizzare i fotoni¹ gamma.

Infatti l'energia dei fotoni gamma permette loro di attraversare qualsiasi specchio, di conseguenza è impossibile focalizzarli e determinare semplicemente da quale direzione del cielo provengono. I

satelliti moderni come [SWIFT](#) sono costruiti con sistemi di maschere codificate che consentono una stima ragionevolmente accurata della

[posizione del lampo gamma](#). In alternativa gli astrofisici utilizzano più satelliti, che occupano posizioni diverse all'interno del sistema solare, equipaggiati con rivelatori di raggi gamma. Utilizzando il metodo della triangolazione è possibile determinare la posizione del lampo gamma; sfruttando i ritardi nei tempi di ricezione del lampo da diversi satelliti per determinare la posizione del lampo. Aiutiamoci allora con



la figura a fianco; il lampo gamma esplose ad una distanza di miliardi d'anni luce, i suoi raggi ci giungono paralleli e arrivano simultaneamente lungo un certo piano. In figura sono rappresentati due satelliti: WIND e SWIFT, ognuno di essi occupa una posizione specifica e ben conosciuta nel sistema solare. Poiché i raggi gamma devono percorrere distanze diverse per raggiungere i satelliti, l'informazione riguardante questo particolare lampo raggiungerà prima il satellite WIND e poi il satellite SWIFT. In questo caso il piano che individua il fronte d'onda² di questo lampo gamma, per raggiungere WIND deve percorrere la distanza d_1 , molto più piccola della distanza d_2 che lo separa da SWIFT.

Occorre precisare che il modello creato ora non è realistico perché presuppone che si sappia a priori l'orientamento del fronte d'onda, questo modello è una semplificazione di ciò che avviene nella realtà, creata per costruire un'attività didattica da proporre in ambito scolastico. Nella realtà si viene a conoscenza del fronte d'onda solo quando il fronte stesso raggiunge il primo satellite; i tempi di arrivo misurati sono soltanto i ritardi nella registrazione dell'evento di tutti gli altri satelliti in riferimento alla rilevazione del primo satellite investito dal lampo. Il modello proposto diventerebbe coerente con la realtà se trasferissimo il piano sul satellite WIND, ciò comportava una eccessiva complessità del modellino da costruire. Per tale motivo è stata adottata la semplificazione che vi proponiamo.

¹ Il fotone è la particella di energia di cui è composta tutta la radiazione elettromagnetica, luce compresa. I fotoni gamma hanno energia molto più grande dei fotoni di luce.

² Il fronte d'onda è quella superficie che individua tutte le creste dell'onda elettromagnetica.

Le proprietà che entrano in gioco in questo fenomeno sono allora due: la velocità delle onde elettromagnetiche è finita³ e vale circa 300000 km/s, l'enorme distanza delle sorgenti di lampi gamma permette di considerare i raggi emessi da queste sorgenti come fronti d'onda paralleli, quindi i fotoni raggiungono il piano considerato tutti contemporaneamente.

Allora è sufficiente imbarcare su ogni satellite un oscillatore, cioè un orologio, che sia in grado di determinare l'istante di ricezione del lampo gamma con una precisione di almeno un microsecondo⁴. La misura precisa di questi tempi e la conoscenza della posizione relativa di ciascun satellite ci permette di determinare la direzione di provenienza del lampo. In effetti, tale tecnica è applicata con successo fin dagli anni '70 quando, nel sistema solare, era in viaggio un numero di sonde interplanetarie equipaggiate con rivelatori di lampi gamma tale da consentire la messa in pratica di questa tecnica. Tale rete di satelliti nota col nome di *Interplanetary Satellite Network* (IPN) era composta da una mezza dozzina di satelliti e ha permesso di individuare la direzione di più di 180 lampi in un solo anno.

Con quest'attività didattica, proponiamo di far costruire dei metri di luce in cartoncino, per applicare il metodo della triangolazione in un sistema di riferimento in cui la posizione dei due satelliti è nota a priori.

Grafico dei satelliti e calcolo del tempo di ritardo

Utilizzeremo ora un foglio a quadretti o della carta millimetrata per svolgere la nostra attività; disegneremo due assi cartesiani perpendicolari tra loro che s'incontreranno nell'origine che è individuata dalla coppia di coordinate (0,0). Costruiamo il nostro grafico in modo che ogni quadrato del foglio abbia un lato di circa 1 minuto luce, in pratica, considerando la velocità della luce nel vuoto, ogni lato di quadretto corrisponde alla distanza di $1,8 \times 10^{10}$ metri (18 milioni di km). Ciò che abbiamo appena costruito è un sistema di riferimento, esso sarà di fondamentale importanza per aiutarci nella soluzione del nostro problema.

- Collochiamo la Terra nell'origine del nostro sistema di riferimento: il nostro pianeta occuperà la posizione di coordinate (0,0).
- Ora con l'aiuto di un righello riportate sui regoli di luce le tacche corrispondenti alla lunghezza del lato di ciascun quadretto in cui il piano è suddiviso.
- Posizioniamo ora i due satelliti, poiché il satellite SWIFT orbita attorno alla Terra possiamo considerarlo nell'origine.

³ La luce è un'onda elettromagnetica, ecco perché la velocità della luce coincide con quella delle onde elettromagnetiche.

⁴ Il microsecondo è un milionesimo di secondo.

Disegniamo un punto per ciascun satellite della seguente tabella.

Satellite	Posizione	coordinate
WIND	S_1	(5,10)
SWIFT	S_2	(0,0)

Il 16 maggio 2005 alle ore 9:23:00 UT⁵ un lampo gamma che è avvenuto sul piano definito dal nostro foglio (stiamo considerando un universo a due dimensioni). Il lampo è stato rilevato dal satellite S_1 alle 9:28:00 UT. Alle ore 9:36:00 anche il satellite S_2 ha rivelato lo stesso lampo gamma.

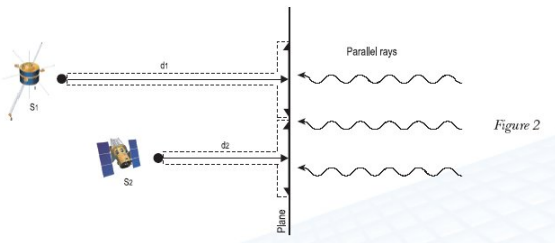
Proviamo ora a rispondere alle seguenti domande:

1. *Dopo quanti minuti dal passaggio nel piano di riferimento la radiazione gamma raggiunge ciascun satellite?*
2. *Considerando la velocità della luce di 3×10^8 m/s quale distanza ha percorso il segnale per raggiungere ciascun satellite dal piano di riferimento?*
3. *Quanti minuti impiega il segnale luminoso per raggiungere ciascun satellite percorrendo le distanze calcolate?*
4. *Confronta la risposta 3 con la 1, quali conclusioni si possono trarre?*

⁵ Con la sigla UT si indica l'Universal Time o tempo universale, si tratta di un orologio uniforme per tutti gli astronomi e gli astrofisica del mondo sincronizzato con l'ora del fuso di Greenwich.

Grafico del tempo di ritardo utilizzando i regoli di luce

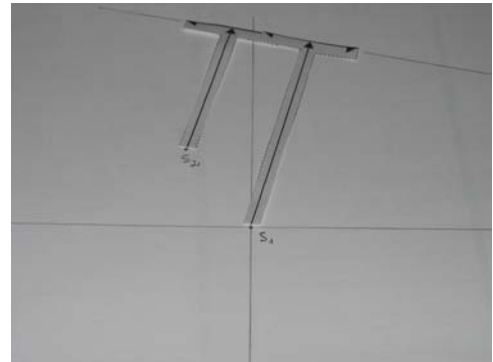
Ritagliamo ora i regoli di luce a forma di T e con cura molto precisa disegniamo col pastello rosso una tacca corrispondente ai tempi di ritardo di ciascun satellite. Posizioniamo i regoli di luce sul



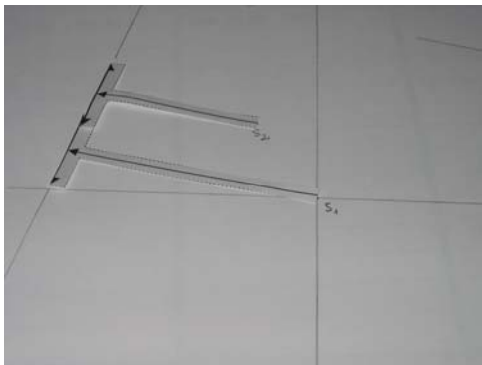
nostro grafico in modo da far combaciare le frecce corte su un unico piano di riferimento come in figura.

Ora nasce un serio problema di fronte al quale si sono trovati

anche tutti gli astrofisici che lavoravano con il metodo della triangolazione. Vediamo di cosa si tratta. Collochiamo gli estremi dei regoli di luce sui punti S_1 e S_2 del nostro grafico e ruotiamo i due regoli in modo da far coincidere i bracci corti con un piano⁶ come mostrato nella figura qui a fianco.



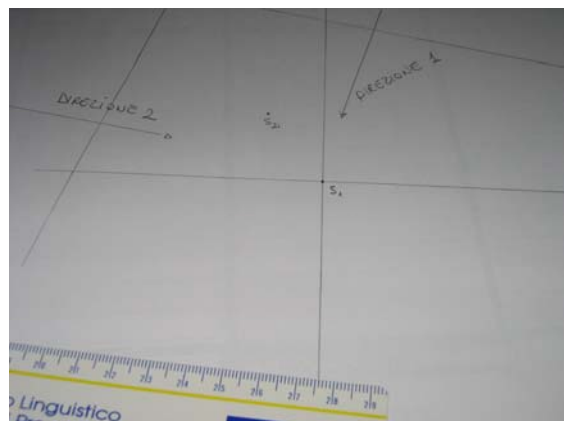
Abbiamo così trovato il piano di riferimento e la direzione di provenienza del lampo gamma? No, proviamo ora a ruotare i due regoli di luce utilizzando i punti S_1 e S_2 come centri di rotazione. Dopo un certo angolo ci accorgeremo che esiste un altro piano (retta nel grafico) sul quale i due bracci corti possono disporsi tranquillamente.



L'uso contemporaneo di due satelliti consente di determinare due direzioni diverse di provenienza del lampo gamma.

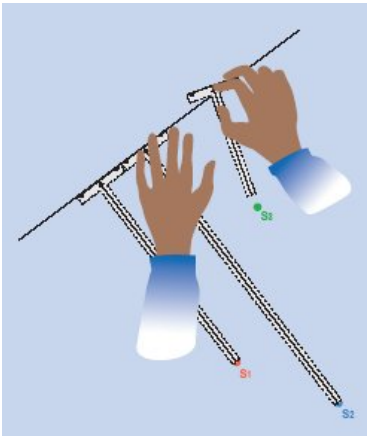
L'immagine a fianco mostra la seconda possibile direzione di provenienza del lampo gamma e in particolare le due direzioni sono equiprobabili.

La situazione d'incertezza che si è venuta a creare può essere risolta in un unico modo; dal punto di vista fisico i lampi gamma durano talmente poco che è arduo trovare un transiente ottico in una delle due direzioni in modo da individuare quale sia la direzione di provenienza del lampo tra le due possibili. Più realistica è invece la soluzione che prevede l'impiego di un terzo satellite.

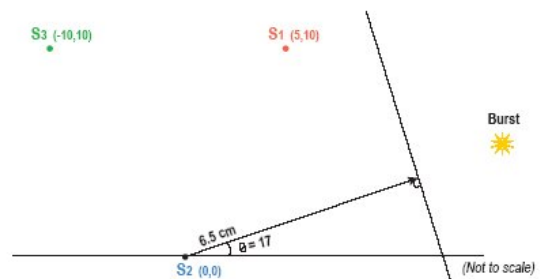


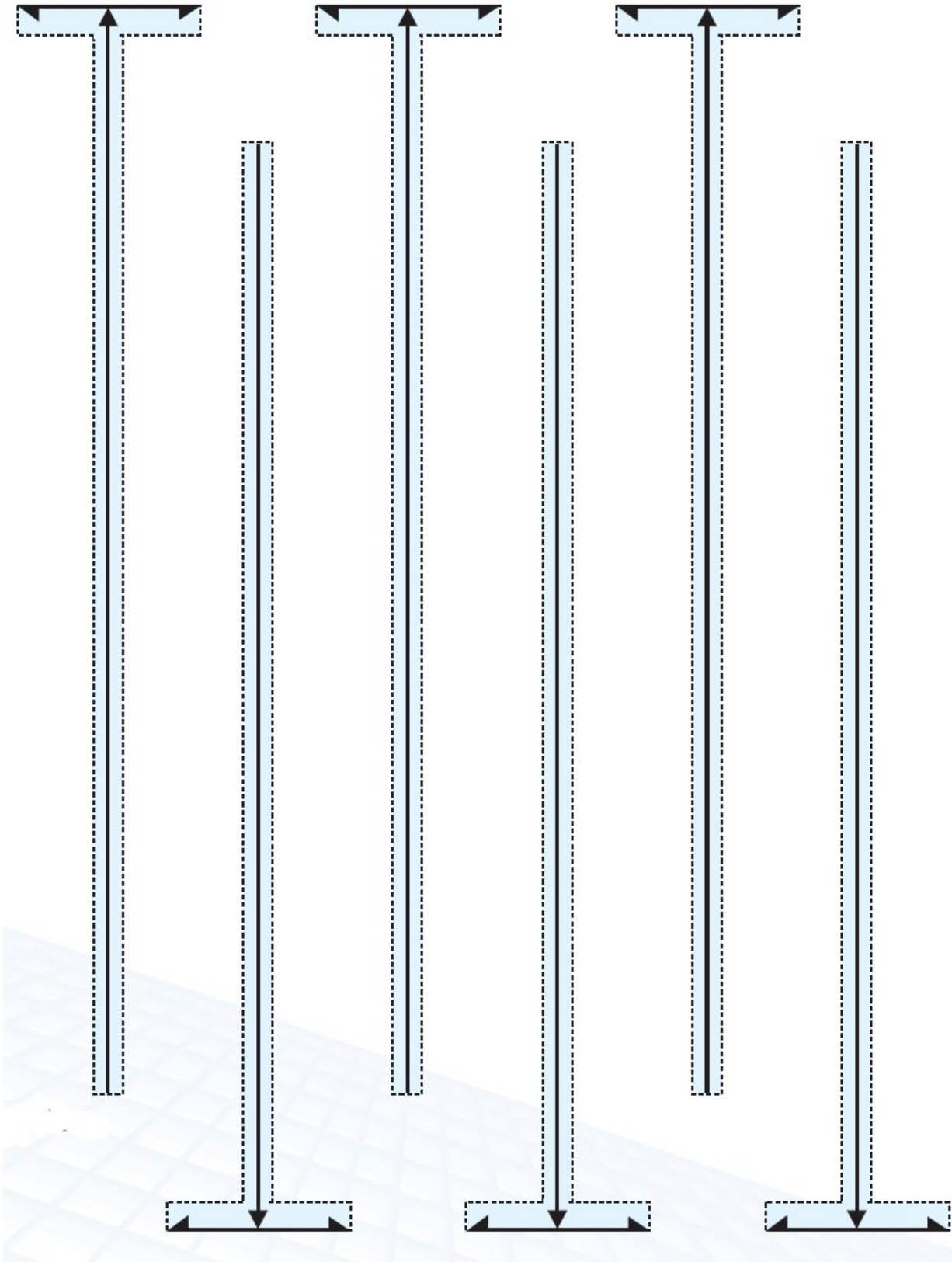
⁶ Nel nostro grafico bidimensionale il piano corrisponde ad una retta.

Utilizzeremo ora anche la navicella Ulysses, essa occuperà la posizione S_3 di coordinate $(-10, 10)$. Il 6 maggio 2005 lo stesso lampo gamma venne rilevato da Ulysses alle ore 9:42:24 UT. Utilizzando questi ulteriori dati è possibile determinare la direzione corretta del lampo. Naturalmente la procedura è identica anche per il terzo satellite. Dopo aver determinato la retta costituente il piano del fronte d'onda si tracci la direzione ad essa perpendicolare e passante per l'origine del sistema di riferimento. Aiutandosi poi con un compasso determiniamo l'angolo tra l'asse x e la direzione di provenienza del lampo. Questo angolo individua univocamente la direzione di provenienza del lampo gamma, la sua stima, però non è così precisa, infatti il goniometro stesso



fornisce un errore di circa 1 grado corrispondente ad un cerchio d'errore del diametro di 2° che, proiettato nel cielo, corrisponde ad un'area grande 16 volte la superficie apparente della Luna.

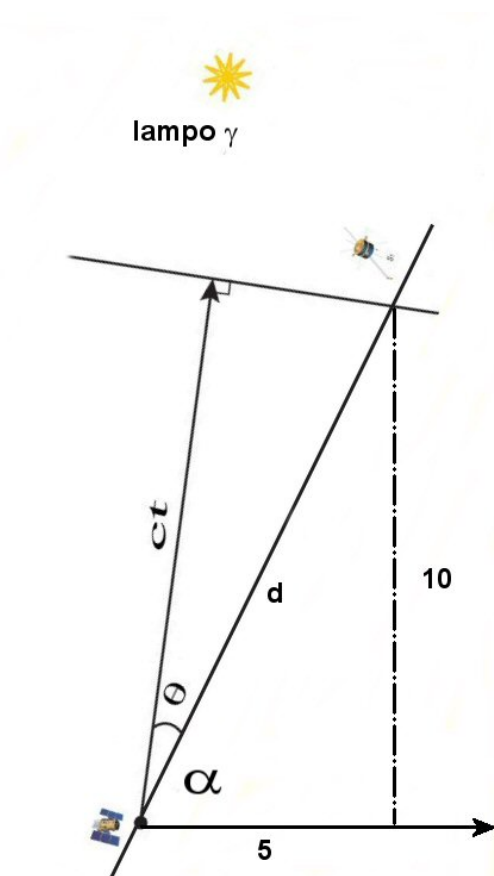




Estensione Matematica: uso della goniometria e della trigonometria

Nella realtà gli astrofisici non fanno uso di goniometri, ma utilizzano alcune relazioni di trigonometria per il calcolo della direzione di provenienza del lampi gamma.

Ora proponiamo una soluzione adatta agli studenti del triennio finale di un Liceo Scientifico, di un Istituto tecnico industriale (o liceo tecnico quando entrerà in vigore la riforma della scuola) e del liceo tecnologico. In realtà la soluzione che vi proponiamo non è quella utilizzata dagli astrofisici, ma soltanto una semplificazione, infatti ricordiamo che gli astrofisici applicano il sistema della triangolazione in tre dimensioni e necessitano di almeno 4 satelliti per determinare univocamente in quale regione della sfera celeste avviene il lampo gamma, noi invece adoteremo il solito approccio a due dimensioni. Naturalmente per svolgere questa estensione matematica sono necessarie nozioni di goniometria, ragione per cui sconsigliamo il suo utilizzo nel biennio e negli istituti commerciali, dove questa disciplina non viene trattata.



Aiutiamoci con la figura bidimensionale qui riportata, abbiamo detto che il satellite WIND rivela il lampo alle ore **9:28:00 T.U.** mentre alle ore **9:36:00 T.U.** SWIFT rivela lo stesso lampo. L'intervallo temporale trascorso di 8 minuti è indicato con t in figura e permette di calcolare il percorso ct che la radiazione deve percorrere in più per raggiungere SWIFT. Le posizioni delle due

navicelle erano rispettivamente WIND(5,10) e SWIFT(0,0), considerando che ogni unità misura $1,8 \times 10^{10}$ metri si può calcolare la distanza \mathbf{d} (*distanza tra i due satelliti*) con la formula:

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Moltiplicando il valore l per $1,8 \times 10^{10}$ metri si ricava \mathbf{d} . Tra il valore di \mathbf{ct} che abbiamo misurato grazie al ritardo e \mathbf{d} sussiste la seguente relazione:

$$\frac{ct}{d} = \cos \theta$$

Utilizzando la relazione inversa è possibile calcolare prima il valore di θ :

$$\theta = \arccos\left(\frac{ct}{d}\right)$$

Ora il lavoro più difficile è fatto, infatti il coefficiente angolare della retta congiungente SWIFT a WIND si ricava con la relazione:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

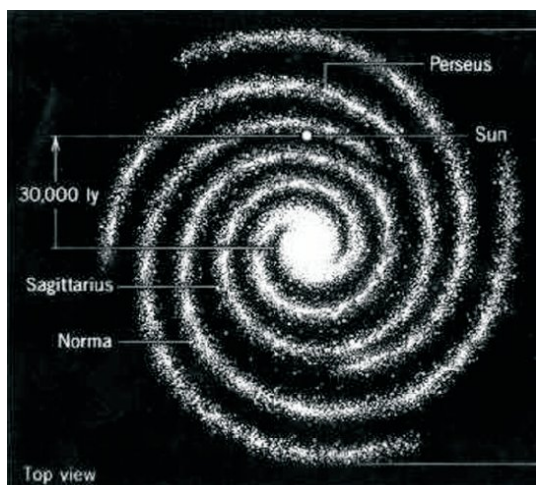
dove le coordinate da inserire sono le coordinate di SWIFT e di WIND, da esso ricaviamo l'angolo α con la relazione:

$$\alpha = \arctan(m)$$

Ora sommando i due angoli otteniamo la direzione di provenienza del lampo gamma.

$$\beta = \alpha + \theta$$

La distribuzione spaziale dei lampi gamma



La distribuzione in cielo dei lampi gamma è una delle informazioni cruciali per conoscere le caratteristiche fisiche di questi strani oggetti. Per molti anni i lampi gamma venivano rilevati e col metodo della triangolazione veniva determinata la loro posizione. Allora era impensabile determinare distanza, quindi la luminosità. La distribuzione in cielo dei lampi gamma poteva però fornire importanti indicazioni sulla loro natura. L'accumularsi delle osservazioni ha reso evidente una distribuzione isotropa, difficilmente

associabile a sorgenti galattiche. Sopravvissero soltanto due ipotesi: i lampi gamma potevano essere prodotti all'interno della nube di Oort, un immenso serbatoio sferico di comete a 10000 unità astronomiche dal Sole oppure potevano essere il frutto di eventi in lontanissime galassie. Entrambe le proposte presentavano dei problemi teorici da risolvere; la nube di Oort è costituita da comete, cioè da oggetti relativamente freddi, era quindi difficile ipotizzare un meccanismo che fosse in grado di produrre raggi gamma di elevata energia. L'ipotesi di un'origine cosmologica invece apriva le frontiere verso una nuova classe di fenomeni molto energetici, ma lasciava aperto il problema su qual fossero le sorgenti di un fenomeno in grado di emettere una tale quantità di energia in pochi secondi.

Potenziali tranelli

La successiva attività presenta delle insidie da non trascurare. Anzitutto occorre distinguere, in una lezione opportuna che preceda l'attività pratica, il concetto di posizione apparente da quello di localizzazione nello spazio, ricordando che spesso gli studenti fanno confusione con la proiezione Aitoff ritenendo che la loro posizione sia compatibile con una coppia di coordinate della mappa.

Il primo concetto può essere chiarito prendendo come esempio quelle delle stelle doppie apparenti, le due stelle a noi appaiono molto vicine, ma in realtà una stella si trova ad una distanza maggiore. Analogamente quando vediamo la Luna affiancare il campanile di un paese lontano i due soggetti ci appaiono vicini, in realtà che si tratta solo di un inganno prospettico perché la Luna è molto più lontana. La conferma di questa affermazione si ha in quelle sere in cui la luna transita dietro la croce del campanile, purtroppo è invece difficile vedere il transito di una stella davanti ad un'altra

stella perché le distanze in gioco sono così elevate da rendere tali fenomeni assai rari nella vita di una persona.

Il secondo dubbio degli studenti può essere facilmente chiarito con l'esperimento della corda e delle palline di carta stagnola: prendiamo allora una corda e la disponiamo a formare un cerchio sufficientemente grande, su questa circonferenza disponiamo le palline di carta stagnola, ora invitiamo un ragazzo ad occupare il centro del cerchio e gli spieghiamo che lui è l'osservatore interno e che la circonferenza è invece la mappa.

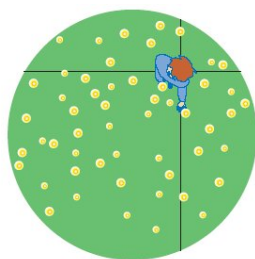
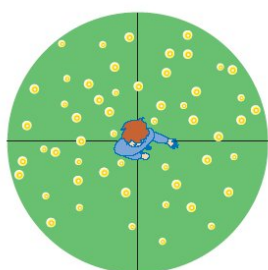
La distribuzione dei lampi gamma nel cielo

Guida dello studente

Introduzione

La scoperta dei lampi gamma è stato uno shock per gli astrofisici, infatti i raggi gamma sono fotoni di elevatissima energia la cui produzione richiede processi molto energetici. Come abbiamo già detto, i lampi gamma sono stati scoperti dai satelliti Vela, satelliti costruiti e progettati per rilevare le esplosioni nucleari sulla superficie terrestre. I satelliti Vela non avevano però le caratteristiche necessarie a determinare in quale posizione dell'universo si trovassero i lampi gamma; per svelare quali astri fossero coinvolti in tali eventi era necessario conoscere la posizione e la distanza di questi oggetti. Il principale ostacolo al determinare le sorgenti dei lampi gamma consiste nella breve durata di questi eventi, al massimo una trentina di secondi per i lampi lunghi e pochi secondi per quelli brevi.

Le uniche due informazioni che potevano essere ottenute erano la curva di luce del lampo e la posizione del lampo stesso determinata con i metodi della triangolazione. Ciò nonostante gli astrofisici capirono in breve tempo che la distribuzione dei lampi gamma sulla volta celeste poteva rivestire un ruolo importante anche nella comprensione dei fenomeni fisici che caratterizzano questi eventi.



Utilizziamo un semplice esempio per chiarire meglio il significato di questa affermazione, supponiamo di andare ad un concerto, ad un certo istante vengono spente le luci del teatro e ogni fans accende un lumino elettrico fornito dall'organizzazione. Ora se vi trovate al centro della folla noterete una distribuzione uniforme di luci, omogenea in qualunque direzione osserverete. Immaginiamo però di spostarci e di decentrarci rispetto la folla. La nostra distribuzione di luci non è più omogenea, in alcune direzioni vedremo meno luci, in altre molte di più. Ora vediamo di applicare questo risultato ai lampi gamma, se supponiamo che i lampi gamma siano prodotti da sorgenti presenti nel disco galattico (una struttura appiattita del quale il Sole fa parte), la distribuzione osservata

dovrebbe essere non omogenea. Una distribuzione omogenea può invece essere compatibile sia con le comete della nube di Oort che con lontanissime galassie.

Ritornando al nostro esempio, ciò che abbiamo proposto è una semplice osservazione qualitativa, può essere utile disporre di un riscontro quantitativo che ci consenta di costruire un grafico nelle due situazioni estreme e di poter distinguere quantitativamente una situazione dall'altra.

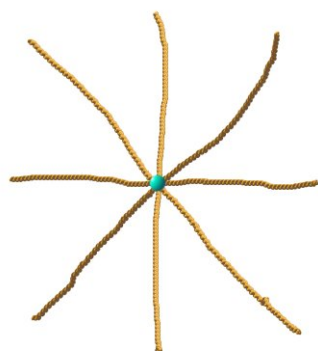
Tornando all'esempio degli spettatori con lumini al concerto, una soluzione potrebbe essere quella di dividere la nostra visione del teatro in quattro settori e contare il numero di luci presente in ogni settore.

Quando i lampi gamma vennero scoperti e studiati in dettaglio, gli astronomi non erano ancora sicuri della loro origine, la loro distribuzione sulla sfera celeste lasciava pensare che si trattasse di oggetti della nube di Oort o oggetti agli estremi confini dell'universo. A questa conclusione gli astronomi giunsero conteggiando il numero di lampi che furono osservati per ogni quadrato d'area unitaria della sfera celeste. Poiché tale numero risultava sostanzialmente costante gli astronomi si convinsero che i lampi gamma avessero una distribuzione costante sulla sfera celeste.

In quest'attività di proponiamo di emulare, nella classe, il lavoro svolto dagli astrofisici, negli ultimi decenni, per cercare di carpire i segreti dei lampi gamma.

Per realizzare quest'attività è necessario il seguente materiale:

- Un rotolo di carta stagnola
- Un dischetto
- Un rotolo di spago piuttosto spesso
- Un rotolo di nastro adesivo



Prendiamo il nostro dischetto e tracciamo delle tacche poste ad angoli di 45° l'una dall'altra, poi ritagliamo otto pezzetti di spago, ciascuno lungo 3 metri. Attacciamo il capo dello spago ad ogni tacca con del nastro adesivo in modo da costruire un grosso ragno a 8 zampe lunghe 3 metri. Questo strumento ci sarà utile per separare l'aula in 8 settori di area pressoché equivalente.

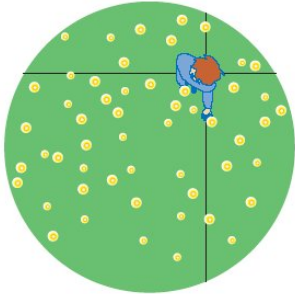
Ora cominciamo a strappare dal rotolo di carta stagnola dei pezzettini sufficientemente grandi da produrre delle palline con diametro di almeno mezzo centimetro, palline che verranno raccolte in un contenitore apposito.

Ora procediamo con l'esperienza, dopo aver opportunamente spostato lungo una parete i banchi, in modo da disporre dello spazio necessario alla realizzazione dell'esperienza, disponiamo casualmente sul pavimento le nostre palline di carta stagnola. Posizioniamo il ragno al centro dello spazio disponibile e contiamo il numero di palline presenti in ciascun settore.

Ora rispondiamo alle seguenti domande:

1. *Quante palline di carta stagnola ha prodotto?*
2. *Consideriamo il diametro del cerchio individuato dal ragno, supponendo di disporre tutte le sfere all'interno di questo cerchio qual è la distanza media tra le sfere di carta stagnola?*
3. *Qual è l'angolo del settore compreso tra due zampe del ragno?*

4. *In media quante palline di carta stagnola vi aspettate di trovare in ciascun settore?*
5. *Ti aspetti di trovare la stessa distribuzione numerica all'interno di ogni settore?*
6. *Dopo aver contato il numero di palline all'interno di ogni settore, cosa puoi concludere? Prova a riportare su grafico i conteggi appena effettuati, cosa puoi concludere?*

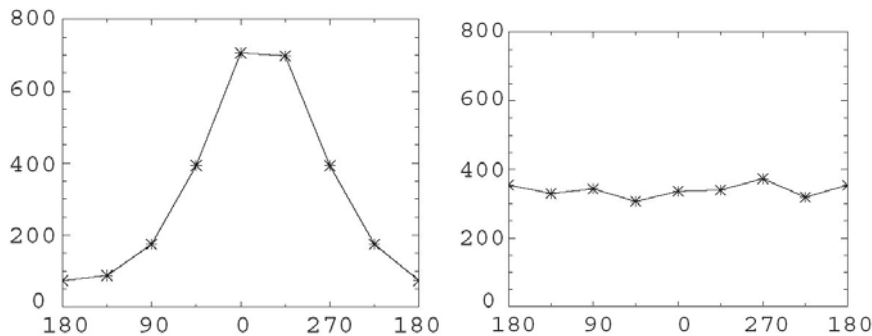


Sposta ora il ragnò verso uno spigolo dell'aula, il nostro sistema di riferimento non risulterà piú un sistema di riferimento centrale. *Cosa ti aspetti di osservare? Prova ad effettuare i conteggi per ogni settore, hai ancora una distribuzione uniforme?*

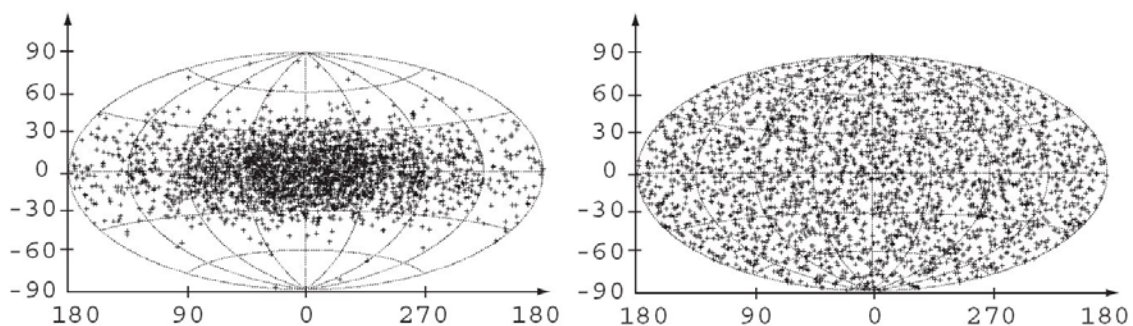
Prova a riportare su grafico i risultati ottenuti con i conteggi per settore, che cosa puoi notare?

Rispondi alle domande:

1. *Quali dei due grafici individua una distribuzione uniforme? Perché?*



2. *É possibile ottenere due grafici diversi con la stessa distribuzione? Perché?*
3. *Sulla base di questa esperienza una distribuzione omogenea è compatibile con una sorgente galattica per i lampi gamma?*
4. *A quale classe di oggetti ti puoi riferire osservando le due seguenti distribuzioni?*



5. *Osserviamo la prima distribuzione di oggetti lungo l'equatore galattico, cosa potresti dire a riguardo della posizione del sistema solare nella nostra galassia?*

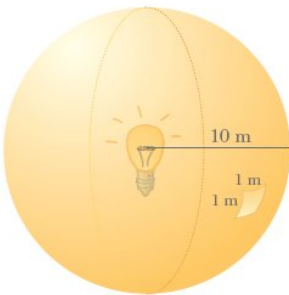
Un faro nel buio

Guida per l'insegnante

Se i lampi gamma emettessero tutta la loro energia in un fascio ben collimato otterremo una potenza emissiva globale ben differente dal modello che prevede un'emissione isotropa in qualunque direzione. Prima di scoprire i motivi di questa affermazione vediamo quali sarebbero le conseguenze per i lampi gamma nel caso l'emissione fosse isotropa. Consideriamo una lampada ad incandescenza in un salone molto grande, diciamo con pareti lunghe almeno 20 metri, poniamoci ora a 10 metri dalla lampadina e misuriamo la luminosità globale della lampadina. Il procedimento che utilizzano i fisici e gli astronomi è il seguente: si misura l'energia che incide su un metro quadrato e poi viene moltiplicata per l'area della sfera di raggio 10 metri:

$$area = 4\pi r^2 = 4\pi (10m)^2 = 1257m^2$$

Quindi la luce totale emessa dalla lampada è 1257 volte quella misurata su 1 m^2 , questo concetto può essere generalizzato per applicazioni astronomiche anche per oggetti molto lontani. Il lampo gamma del 23 gennaio 1999 si è verificato in una galassia lontana 10 miliardi di anni luce, applicando la formula vista precedentemente per la lampadina risulta che si trattava di un fenomeno 2×10^{15} volte più energetico del Sole. Benché gli astrofisici abbiano una grande familiarità con i grandi numeri, questa potenza emissiva risultava veramente molto elevata e diventava difficile



trovare una sorgente in grado di emettere in così poco tempo tutta l'energia osservata.

Se l'energia emessa dai lampi gamma fosse collimata in un fascio piuttosto stretto l'energia necessaria sarebbe di gran lunga inferiore. In linea di principio un fascio collimato all'interno di un grado quadrato (circa 4 volte le dimensioni apparenti della Luna) corrisponde ad un fattore di riduzione di 41000 volte. I lampi gamma sarebbero ancora oggetti molto luminosi, ma si troverebbero ad un livello di potenza emissiva compatibile con le supernovae più luminose, in pratica quelle che implicano la formazione di un buco nero.



In realtà questo modello, che sembra essere confermato dalle osservazioni attuali, apre un altro interrogativo sulla popolazione stellare, per ogni lampo che osserviamo ce ne dovrebbero essere

altri 40999 che non vediamo perché il getto non è diretto verso di noi, ma che potrebbero essere osservabili come semplici supernovae.

Questo semplice modello dà un'idea di quanto sia difficile il mestiere dello studioso dei lampi gamma. In realtà le osservazioni ci dicono che il fascio dovrebbe essere prodotto su un cono con apertura di circa una decina di gradi, quindi è vero che ci sono più lampi gamma di quelli che vediamo ma solo di circa un fattore 500!

Estensione matematica

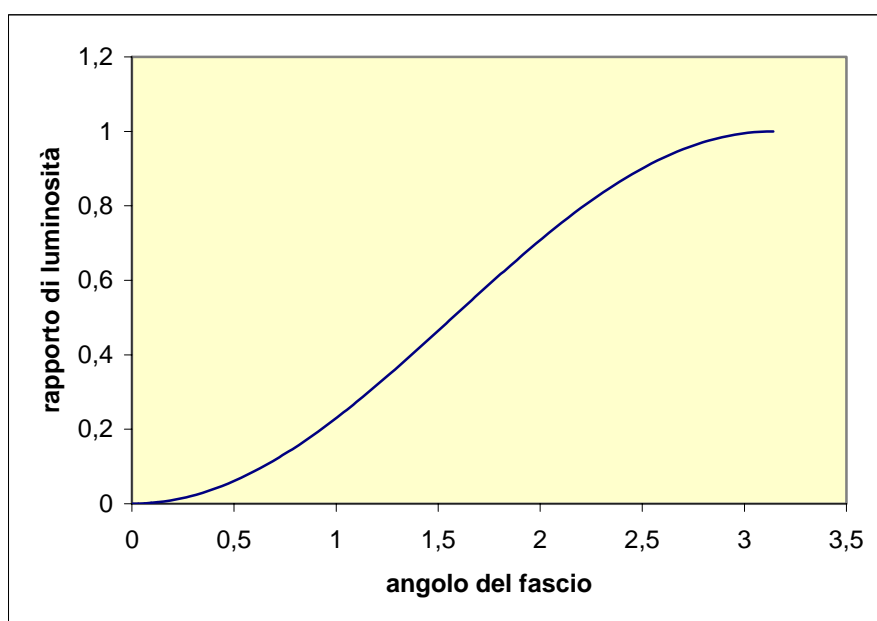
Con gli studenti del Liceo scientifico e degli ITIS è possibile approfondire l'argomento dal punto di vista matematico, anzitutto è possibile spiegare cosa sia un fascio di radiazioni e successivamente introdurre il rapporto tra l'area coperta dal fascio e l'intera area della sfera celeste. È opportuno far capire ai ragazzi che questo rapporto è cruciale perché esso definisce il rapporto tra la potenza emessa qualora l'emissione fosse isotropa e la potenza emessa in caso di emissione anisotropa lungo un fascio. L'area sottesa da un fascio collimato su un angolo θ è fornita dalla formula:

$$A = 2\pi(1 - \cos \theta)$$

Il rapporto tra l'emissione collimata e quella isotropa può essere ricavata con la relazione:

$$Q = \frac{1}{2}(1 - \cos \theta)$$

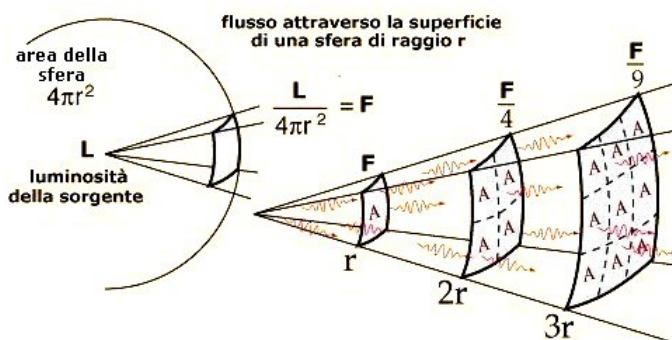
Questa potrebbe essere una funzione interessante da presentare al quinto anno di liceo e sulla quale creare uno studio di funzione; non si tratta di una funzione complessa ma presenta comunque un flesso, il suo grafico è qui rappresentato.



Un faro nel buio

Manuale dell'alunno

Più un oggetto è lontano, maggiore è l'energia che deve essere emessa affinché possa essere osservato; ad esempio il nostro Sole è l'oggetto più luminoso in cielo, ci appare almeno 10 milioni di volte più luminoso di Sirio, ma Sirio è anche 550000 volte più lontana! Se potessimo mettere il Sole e Sirio alla stessa distanza noteremmo che il sole sarebbe 23 volte meno luminoso di Sirio.



Il flusso luminoso ricevuto dipende dall'inverso del quadrato della distanza. Infatti, se prendiamo una lampadina da 100 kW questa apparirà 4 volte più luminosa se osservata alla distanza di 1 metro rispetto a quanto apparirebbe dalla distanza di 2 metri; allo stesso

modo la lampadina apparirebbe 100 volte più debole osservata da 10 metri e 10000 volte più debole se osservata da 100 metri di distanza.

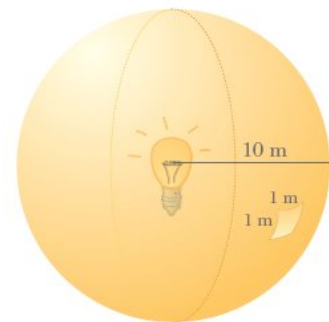
Proviamo ora a pensare ai lampi gamma: gli astronomi hanno dimostrato come queste sorgenti si trovano a distanze incredibilmente grandi, comprese tra qualche centinaio di milioni di anni luce a qualche miliardo di anni luce. A tali distanze la

luminosità di questi oggetti è risultata così grande da rendere difficile l'individuazione del meccanismo fisico in grado di emettere una quantità così elevata di energia.

Alcuni scienziati però riuscirono a trovare la strada giusta: essi immaginarono che il lampo gamma avesse un comportamento come quello di un faro che, per essere visibile anche a grande distanza, concentra la luce con uno specchio parabolico in un fascio collimato in modo da essere visto a grande distanza da coloro che si trovassero lungo l'asse del cono di luce.

Ci sono parecchie sorgenti celesti che si comportano come un faro per la navigazione, tra di esse le più famose sono le stelle di neutroni: Si tratta di stelle con un intenso campo magnetico che accelera le particelle responsabili dell'emissione in due fasci collimati intorno l'asse magnetico, quando questi fasci diventano visibili dalla Terra, la stella prende il nome di pulsar.

L'intuizione avuta da alcuni astrofisici era proprio legata alle pulsar. Ipotizzando che l'emissione gamma di un lampo gamma fosse collimata come l'emissione radio di una pulsar, i lampi gamma



sarebbero stati osservabili anche a grande distanza pur essendo meno luminosi di quanto si era calcolato in precedenza. Soltanto lo scorso anno, grazie l'osservazione di una particolare supernova da parte di alcuni astronomi italiani, si è potuto dimostrare che l'ipotesi del fascio collimato è corretta.