

La straordinaria avventura del satellite COS-B

Come si producono i raggi gamma? Dove nascono? Come possono essere rivelati? Grazie a COS-B, frutto di una collaborazione tra Istituti e Università europei, l'astronomia gamma è diventata adulta.

6

I fotoni rappresentano la fonte principale delle informazioni che ci giungono dall'universo, se si escludono le recentissime, e limitate, esplorazioni fisiche dei pianeti vicini, l'analisi del materiale meteoritico e l'indagine sulle particelle cariche veloci (i raggi cosmici) che giungono alla Terra. Da quando è nata l'astronomia, diciamo dal 4000 a.C. e fino a 50 anni fa, la conoscenza sull'Universo era basata su quel piccolo intervallo di frequenze (cioè energia dei fotoni) alle quali l'atmosfera del nostro pianeta è ben trasparente

ed alle quali sono sensibili l'occhio dell'uomo e della maggior parte degli animali terrestri. Da qualche decina di anni è diventato possibile studiare il cielo in un intervallo di frequenza circa venti ordini di grandezza più esteso, dalla radioastronomia fino alla astronomia delle alte energie, riguardante i fotoni X e gamma.

La difficoltà principale nello studio della parte più energetica dello spettro elettromagnetico è data dall'assorbimento dell'atmosfera terrestre che, fortunatamente per tutte le forme di vita esposte all'irraggia-



Il satellite COS-B in un fotomontaggio sullo sfondo della Terra

mento solare, non permette alle radiazioni più energetiche di raggiungere il suolo. Si è dovuto perciò attendere lo sviluppo della tecnologia dei palloni stratosferici e, soprattutto, dei satelliti artificiali per portare al di sopra dell'atmosfera rivelatori progettati e realizzati per questa radiazione. L'astronomia gamma si interessa dei più energetici di questi fotoni; è una disciplina giovane, che fornisce risultati da meno di quindici anni. Per fissare le idee, nel seguito parleremo di fotoni compresi nell'intervallo di energia tra qualche decina di MeV e qualche GeV, che è l'intervallo dove è attualmente disponibile la maggioranza dei risultati. A queste energie, i fotoni hanno lunghezze d'onda piccole rispetto alle distanze interatomiche dei solidi, ed è perciò impossibile focalizzarli, o anche solo concentrarli, come è invece in grado di fare uno specchio per i "docili" fotoni ottici. Perciò, come vedremo più in dettaglio, un "telescopio" per raggi gamma è uno strumento simile ai rivelatori usati in fisica nucleare e/o in fisica delle alte energie, dove ogni fotone deve essere trattato individualmente e considerato sotto l'aspetto particellare. Questo rappresenta un problema, perché il flusso numerico dei fotoni è piuttosto esiguo: un cm^2 di rivelatore ogni ora è attraversato, in media, da pochi fotoni provenienti da ogni direzione; eppure le sorgenti di emissione celeste possono essere intrinsecamente molto potenti e, globalmente, la densità di energia dell'Universo in raggi gamma è un non trascurabile 10^{-4} eV/cm^3 , da paragonare ad $1-10 \text{ eV/cm}^3$ nell'ottico-infrarosso. Il basso flusso numerico impone, per poter fare della astronomia, grandi superfici di raccolta e lunghi tempi di esposizione: due caratteristiche difficili da ottenere per un veicolo spaziale.

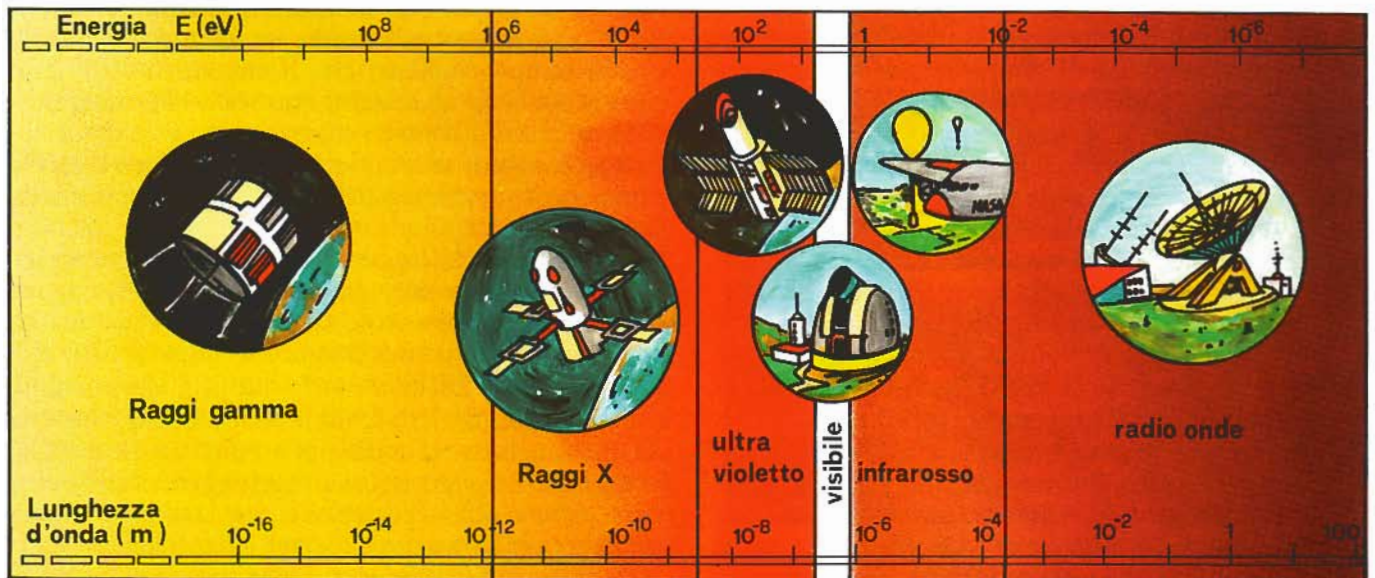
Nonostante queste difficoltà intrinseche ed altre non meno gravi di natura sperimentale che vedremo, le motivazioni per fare astronomia gamma sono così forti che hanno spinto e sostenuto lo sforzo osservativo iniziato negli anni Sessanta, continuato negli anni Settanta e che fornisce ora risultati determinanti per la nostra conoscenza astrofisica dell'Universo.

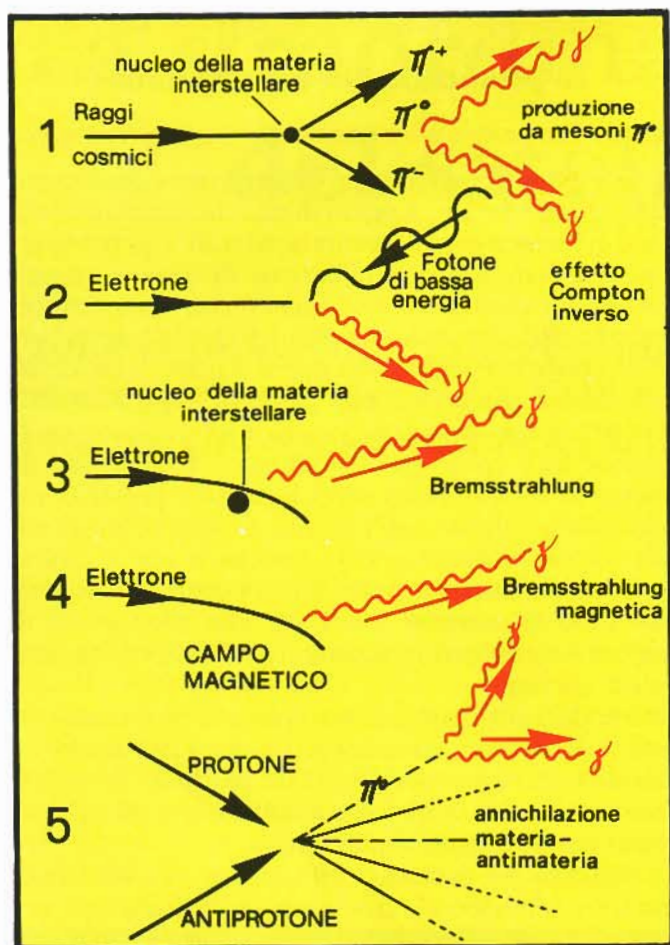
La produzione di raggi gamma

I processi fisici che generano nei vari corpi celesti raggi gamma con energie maggiori di qualche decina di MeV sono evidentemente di natura non termica, perché per emettere sotto forma di radiazione di corpo nero tali fotoni si richiederebbero oggetti con temperature superficiali di centinaia di milioni di gradi. Oggetti così caldi, finora, non sono stati scoperti. A parte il caso della radioattività simile a quella presente negli elementi terrestri, e che comunque produce fotoni solo fino a qualche MeV, i processi di produzione di raggi gamma energetici in astrofisica sono legati alla presenza di particelle accelerate nell'Universo (i raggi cosmici) ed alla loro interazione con la materia e con i campi magnetici e fotonici interstellari; oppure ad interazioni che sono fisicamente simili, ma che avvengono in regioni limitate dello spazio nelle vicinanze di oggetti celesti speciali.

Riferendoci alla figura per una spiegazione pittorica, si può vedere come i processi più comuni per la produzione di fotoni gamma da parte di particelle (protoni, nucleoni ed elettroni) con energie come quelle che si osservano nei raggi cosmici sono:

- 1) l'interazione protone - protone, ovvero nucleone - protone o nucleone - nucleone, nella quale cioè un raggio cosmico (protone o nucleone) accelerato urta un nucleo (o un protone) del mezzo interstellare a riposo. Se le interazioni sono abbastanza energetiche, la fisica ci insegna che vengono prodotte tra l'altro delle particelle neutre, dette mesoni π^0 , che decadono quasi istantaneamente in due fotoni gamma con una distribuzione di energia "piccata" intorno a circa 70 MeV, cioè metà della massa a riposo della particella π^0 .
- 2) L'interazione elettrone - fotone, quando un elettrone energetico trasferisce parte della sua energia cinetica ad un fotone-bersaglio (tipicamente della luce stellare o della radiazione "fossile" di fondo): il fotone può





8

I processi fisici, illustrati nell'articolo, che portano alla produzione di radiazioni gamma.

venire trasformato in raggio gamma. Questo meccanismo si chiama *effetto Compton inverso*.

3) L'interazione elettrone - nucleone (protone): un elettrone perde energia nel campo elettrico di un nucleo (protone), e così facendo può irraggiare un fotone alle frequenze gamma. Il processo è detto "radiazione di frenamento" e, tradizionalmente, in tedesco, *bremstrahlung*.

4) L'interazione tra elettrone e campo magnetico ambiente: in presenza di campo magnetico, a causa della deflessione subita dalla sua traiettoria, l'elettrone emette un fotone; il meccanismo, per la sua somiglianza con il precedente, viene anche chiamato *bremstrahlung magnetico*. Questo meccanismo è comune in radioastronomia: si rivela cioè molto efficace nella produzione di fotoni alle frequenze radio in presenza di "normali" campi magnetici cosmici, da parte di elettroni relativistici. Invece, per produrre raggi gamma con questo meccanismo ci vorrebbero campi magnetici intensissimi, come per esempio quelli che si trovano nelle vicinanze di oggetti compatti, quali le pulsar.

5) L'interazione tra materia ed antimateria: meccanismo un po' esotico, che prevede l'incontro, ad esempio, di un protone e di un antiprotone, con successiva annichilazione ed emissione di particelle neutre, tra le quali i mesoni π^0 , che poi producono raggi gamma.

Perchè fare astronomia gamma

Questo elenco, abbastanza arido, dei principali meccanismi che portano alla produzione di raggi gamma è necessario per capire quali ambienti astrofisici siano potenzialmente interessanti, e dunque le ragioni di fare astronomia gamma. Contemporaneamente, è importante notare che i raggi gamma hanno la proprietà di attraversare grandi regioni dello spazio senza venire deviati o assorbiti, a differenza di quanto avviene per la maggior parte dei fotoni di minore energia, che soffrono di qualche forma di assorbimento o, nel caso dei raggi cosmici, della diffusione delle particelle cariche da parte dei campi magnetici galattici e non. Ad esempio, considerando la nostra Galassia nel senso del suo diametro (circa 30 kpc) e con densità sul piano equatoriale di 1 protone/cm³, un fotone di circa 100 MeV ha una probabilità di pochi percento di essere assorbito, cioè di interagire con uno dei protoni che eventualmente incontra sul suo cammino. In prima approssimazione, la stessa cosa è vera anche nello spazio extragalattico, dove la densità centomila volte più bassa permette cammini corrispondentemente più lunghi, se si trascurano altri possibili fenomeni di assorbimento più complicati.

Un aspetto, quindi, della astronomia gamma è lo studio della struttura a larga scala della nostra Galassia, grazie alle interazioni tra i raggi cosmici, la materia e i campi interstellari. In questo caso i fotoni gamma non assorbiti, fanno da "traccianti" di quei componenti del disco galattico che sono fondamentali per il suo equilibrio magneto-idrodinamico, e cioè raggi cosmici, campi magnetici e materia interstellare. Lo stesso si può dire per l'interazione tra elettroni energetici e campi di luce stellare.

Un'altra importante motivazione per fare astronomia gamma è lo studio dei processi energetici in sorgenti localizzate, cioè in oggetti necessariamente particolari, come sono le stelle di neutroni o i buchi neri, per i quali i dati potrebbero fornire importanti indizi sugli elevati campi magnetici che li circondano. Un caso particolarmente interessante sono le radio-pulsar: PSR 0531 + 21 ed il resto di supernova ad essa associato (detta Granchio, nella costellazione del Toro) è stata la prima sorgente studiata dalla astronomia gamma nella sua infanzia.

Naturalmente il cielo extragalattico è ricco di promesse per l'astronomia in raggi gamma, purché si disponga di rivelatori sufficientemente sensibili a flussi resi ancora più piccoli dalle grandi distanze in gioco. Anche qui abbiamo due tipi di interessi: lo studio di una possibile emissione "diffusa", di fondo, simile a quella osservata ad altre lunghezze d'onda (per esempio, radio ed X) e lo studio di sorgenti associabili ad oggetti noti. L'emissione gamma diffusa potrebbe essere la somma di tante sorgenti puntiformi non "risolte" dallo strumento; ma potrebbe anche essere interpretata come radiazione di

annichilazione proveniente dall'incontro di materia con antimateria. L'idea che supporta quest'ultima ipotesi è l'esistenza di un "Universo" e di un "Anti-Universo" che nei punti di incontro si annichilano a vicenda. Invece lo studio della emissione gamma da oggetti noti ripropone, su grande scala, la problematica delle sorgenti galattiche: da un lato si può pensare di studiare l'emissione di galassie normali, cioè simili alla nostra, viste dall'esterno (ad esempio M 31 in Andromeda) e quindi analizzarne le proprietà nel complesso; dall'altro si possono individuare oggetti speciali sedi di violenti fenomeni energetici come i nuclei attivi di galassie, cioè quasar, radiogalassie, galassie di Seyfert, oggetti BL Lacertae ecc., che possono rivelare aspetti importanti della loro natura nel canale gamma.

A queste ambiziose motivazioni per fare astronomia gamma, presentate dai teorici negli anni Sessanta e Settanta, con precursori addirittura dal 1952, la comunità degli astrofisici ha risposto con interesse ed entusiasmo nella direzione di progettare missioni per astronomia gamma, sia in pallone che in satellite. Sono tuttavia apparse subito evidenti le difficoltà sperimentali che condizionano la realizzazione di un telescopio per raggi gamma ed il suo utilizzo al di sopra della atmosfera. Per esaminarle, bisogna tener conto sia dell'ambiente in cui il rivelatore deve lavorare, che del processo fisico di rivelazione di un fotone gamma energetico.

Camera a scintille: come osservare un fotone quando non c'è più

Innanzitutto, i bassi valori di flusso menzionati più sopra implicano la necessità di ampie superfici di raccolta, buona efficienza di rivelazione e lunghi tempi di esposizione. Il che significa, comunque, costruire strumenti grandi (e quindi pesanti) che devono stare in orbita per lungo tempo. Un altro problema è dato dall'elevato "rumore di fondo" sempre presente nel rivelatore: infatti, non solo il numero dei fotoni gamma è piccolo in termini assoluti ma, il che è ancora più grave, è di circa cinque ordini di grandezza più piccolo del flusso di particelle cariche (essenzialmente protoni) della radiazione cosmica. Ciascuno di questi protoni energetici può, con una sua interazione nucleare all'interno del rivelatore, simulare in qualche modo una rivelazione di fotone gamma; è quindi necessario non solo costruire strumenti il più possibile "puliti", cioè che producano il minimo rumore di fondo possibile, ma anche avere a disposizione una tecnica che permetta di identificare in un modo sicuro la avvenuta rivelazione di un fotone gamma.

Per quanto riguarda la rivelazione vera e propria poi, bisogna ricordare che al di sopra delle decine di MeV, l'interazione caratteristica del fotone con la materia è la cosiddetta *produzione di coppia*: quando il fotone si trova nelle vicinanze di un nucleo atomico esso ha una certa probabilità di materializzarsi, cioè di creare una coppia elettrone-positrone (l'antiparticella dell'elettro-

ne) che, nel processo, assumono buona parte della energia del fotone. Si creano così due particelle cariche, facilmente evidenziabili, le cui traiettorie hanno una origine comune nello spazio e che, dentro il rivelatore, lasciano una traccia di forma caratteristica. Per applicazioni astronomiche, tuttavia, il rivelatore deve essere in grado non solo di individuare l'evento gamma, ma anche di indicare con la massima precisione possibile la direzione di arrivo del fotone, e qui purtroppo è ancora la fisica del processo di rivelazione a porre dei limiti severi. Infatti, per conoscere la direzione di arrivo del fotone ci si affida alle leggi di conservazione di grandezze dinamiche vettoriali come la quantità di moto. La quantità di moto totale dopo la materializzazione, è uguale a quella posseduta dal fotone gamma all'inizio. Ma il nucleo atomico, nel cui campo avviene la materializzazione del fotone, non è solo uno spettatore passivo, e si porta via una parte della quantità di

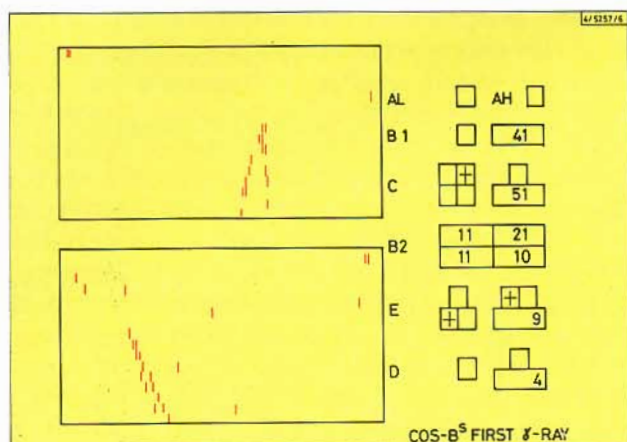
La Caravan Collaboration

Questi gli Istituti di ricerca e le Università europee che hanno realizzato gli strumenti di COS-B e che sono responsabili della missione:

- Cosmic Ray Working Group, Huygens Laboratorium, Leiden, Olanda.
- Istituto di Fisica Cosmica del CNR, Milano, Italia.
- Istituto di Fisica Cosmica ed Informatica del CNR, Palermo, Italia.
- Max Planck Institut fuer Physik und Astrophysik, Institut fuer Extraterrestrische Physik, Garching bei Muenchen, RDT.
- Service d'Electronique Physique, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, Gif-sur-Yvette, Francia.
- Space Science Department of the European Space Agency, ESTEC, Noordwijk, Olanda.

Agosto 1980: quinto anniversario del lancio di COS-B. La Caravan Collaboration festeggia l'eccezionale longevità del satellite (previsto per una durata massima di due anni) con una memorabile torta.





Ricostruzione al computer, in due proiezioni, dell'immagine del primo raggio gamma visto dal satellite COS-B pochi giorni dopo il lancio.

10

moto e della energia cinetica disponibili; a causa però della sua massa grande rispetto a quella degli elettroni, il suo movimento non è apprezzabile e, di fatto, non è rivelabile. Ci si viene così a trovare nella spiacevole situazione di poter misurare gli effetti solo su due corpi di un processo a tre. Nella stessa direzione lavora purtroppo anche il processo di *scattering* degli elettroni, i quali, appena creati, subiscono interazioni elettriche con la materia circostante e tendono quindi a "dimenticarsi" della loro direzione di arrivo, che è poi l'unico mezzo per risalire a quella del fotone. Per diminuire lo *scattering* degli elettroni bisogna limitare lo spessore della materia che devono attraversare, ma così facendo si riduce la probabilità che il fotone gamma si materializzi, e quindi si perde in efficienza di rivelazione. Insomma per fare un telescopio a raggi gamma ci si trova davanti a una serie di esigenze difficili e spesso contrastanti, poste dalla fisica della interazione e della rivelazione che, in ultima analisi, limita *a priori* la precisione della ricostruzione della direzione di arrivo del fotone. Alle energie menzionate, questa incertezza dovuta alla fisica è da sola dell'ordine di 1° , ed è perciò un grave *handicap* per chi vuol fare astronomia gamma. All'aumentare della statistica, cioè del numero di fotoni rivelati, la situazione migliora, seppure non di molto; ma d'altra parte in una missione astronomica possono introdursi altri errori sperimentali, anche sistematici, che è quasi impossibile correggere.

Tra i tipi di strumenti utilizzati e/o immaginati per astronomia gamma, il rivelatore che ha avuto storicamente più fortuna e che è tutt'oggi il più utilizzato è la *camera a scintille*, sviluppata per lavori di fisica delle alte energie e modificata per l'uso nello spazio.

Una camera a scintille è costituita da una pila di lamine, di forma quadrata, di materiale assorbitore ad alto numero atomico, intervallati da spaziature (*gap*) dove le particelle viaggiano in un gas particolare ad una opportuna pressione. Il fotone incidente si materializza in una delle due lamine, la coppia elettrone-positrone che ne emerge attraversa la camera, ionizzando lungo il percorso il gas ambiente. Se si applica attra-

verso i *gap* una opportuna differenza di potenziale, al passaggio delle particelle scoccano delle scintille che permettono di visualizzarne la traiettoria lungo tutta la camera.

Un primo vantaggio di questo tipo di strumento è evidente: lo spessore di assorbitore necessario per aumentare la probabilità di materializzazione del fotone, può essere diviso in molte lamine relativamente sottili così da minimizzare lo *scattering* degli elettroni. Il secondo vantaggio fondamentale della camera a scintille è il carattere "pittorico" della rivelazione. Infatti se si immagina ad esempio di fotografare, o in qualunque modo di registrare, le tracce disegnate dalle scintille, si dispone di un mezzo potente per discriminare la caratteristica forma a V rovesciata dell'evento gamma contro il "rumore" di fondo. Dalla parte vicina al vertice della V rovesciata si può poi trarre la informazione sulla direzione di arrivo del fotone, proiettando in cielo la bisettrice dell'angolo tra i due elettroni. Infine, dalla parte bassa delle tracce si traggono le informazioni sulle direzioni di uscita degli elettroni dalla camera, anche questo un parametro importante. In questa pagina è mostrato un esempio delle figure tipiche di un evento gamma.

Dalla figura si capisce anche come una caratteristica di una camera a scintille sia il modo di "leggere" le scintille stesse, il cosiddetto *read-out*. Per uno strumento il cui recupero sia fisicamente possibile (ad esempio dopo un volo in pallone), nel passato è stata molto usata una comune macchina fotografica. Naturalmente nel caso di uno strumento per satellite bisogna pensare a sistemi che permettano la digitalizzazione e la successiva trasmissione telemetrica dell'immagine: i due tipi più comuni sono il sistema *vidicon* ed il sistema *a file*. Nel primo caso si utilizza un sistema quasi televisivo, nel quale l'immagine della camera viene "trasportata", con una apposita ottica, su di un tubo elettronico a scansione che la digitalizza e la invia alla trasmissione. Nel secondo caso, la digitalizzazione dell'immagine è assicurata automaticamente dal fatto che ogni scintilla scocca tra due sistemi ortogonali di fili tesi tra due lamine (cioè in un *gap*). I codici dei fili interessati dalle scintille vengono scritti su una matrice di nuclei magnetici che viene "letta" con un impulso elettronico e trasmessa a terra, dove sullo schermo di un elaboratore si ricostruisce l'immagine.

Dopo questa sommaria descrizione dei principi di funzionamento di un moderno strumento per astronomia gamma, cioè del cosiddetto *hardware*, bisogna parlare anche del *software*, cioè di analisi dei dati, soprattutto dell'immagine nel caso di una camera a scintille. La parte principale è data da programmi di riconoscimento d'immagine, che devono cioè decidere se l'immagine di un evento è dovuta ad un raggio gamma, e va perciò conteggiata nel calcolo del flusso e analizzata ulteriormente, o se invece è una delle numerose immagini spurie generate dal rumore di fondo. È evidente l'importanza che ha l'efficienza di questo programma, cioè il numero di volte in cui si prende la decisione giusta in rapporto al numero totale di eventi.



La Terra vista da COS-B. I raggi gamma sono prodotti dall'interazione dei raggi cosmici con l'atmosfera.

Per il risultato finale della missione, i sistemi *software* di analisi d'immagine hanno la stessa importanza delle superfici geometriche di raccolta delle lamine della camera a scintille. Il sistema globale di analisi dati di una missione di astronomia gamma è poi composto anche da programmi in grado di ricostruire la direzione di arrivo del fotone a partire dalla figura riconosciuta, e poi di proiettarla in cielo in modo da ricostruire, alla fine, una carta celeste in raggi gamma.

Una carta del cielo in raggi gamma, ovvero lo studio della emissione gamma da un oggetto celeste particolare, è tanto più interessante se il telescopio è anche in grado di misurare l'energia dei fotoni, cioè fornire lo spettro della sorgente. La soluzione sperimentale più usata è il cosiddetto "calorimetro", ancora una volta preso in prestito dalla fisica delle alte energie. Si pone sul cammino degli elettroni di materializzazione un blocco di assorbitore, in generale di materiale ad alto numero atomico, all'interno del quale gli elettroni, attraverso una serie di interazioni elettromagnetiche, generano una cascata di particelle secondarie alle quali trasmettono tutta la loro energia. Con opportuna scelta

dello spessore dell'assorbitore, in funzione dell'energia della radiazione incidente, è possibile contenere tutto lo sciame di particelle, e quindi tutta l'energia incidente. Se si usa un materiale scintillatore, si ottiene un impulso di luce proporzionale all'energia liberata, e si può così valutare l'energia del fotone incidente. Si comprende in questo quadro l'importanza di valutare la direzione di uscita degli elettroni dalla camera a scintille sfruttando la parte bassa della figura a V rovesciata: si può così capire se l'impulso nel calorimetro è stato generato da uno o due (o più) elettroni incidenti. Il primo telescopio per raggi gamma che avesse effettive capacità di trasmettere un'immagine, cioè una camera a scintille, e che abbia funzionato nello spazio come osservatorio con risultati di tipo astronomico è stato lo strumento SAS-2 (il secondo della serie *Small Astronomical Satellite*) della NASA. È rimasto operativo per circa otto mesi, dal novembre '72 al giugno '73. Le caratteristiche fondamentali di tale strumento sono molto simili a quelle dello strumento europeo COS-B, che ha avuto una maggiore fortuna con una vita orbitale di quasi sette anni, dal 9 agosto 1975 al 25 aprile 1982.

Praticamente la totalità dei dati di astronomia gamma di alta energia oggi disponibili vengono da tale missione, che verrà ora descritta da questo punto di vista, ormai storico, degli strumenti da satellite di questo tipo.

L'avventura di COS-B

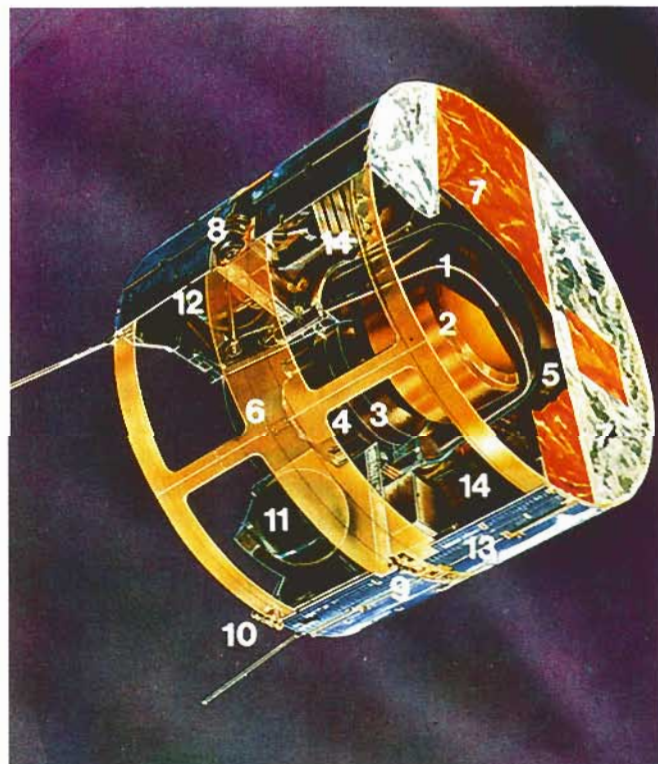
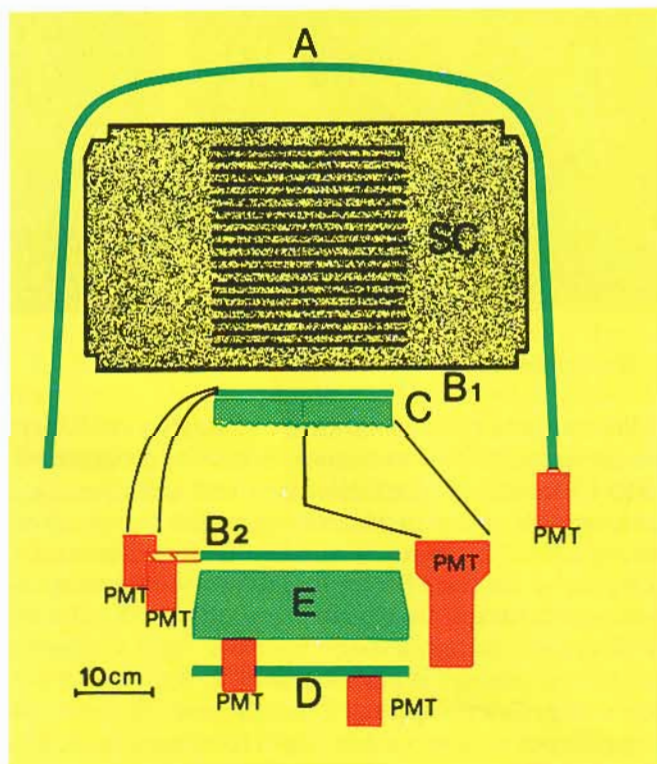
La missione COS-B fu immaginata da una collaborazione di laboratori di ricerca europei nel corso della seconda metà degli anni Sessanta ed infine approvata dall'ESRO (predecessore dell'ESA) nel 1969. La composizione finale della Collaborazione, detta *Caravane*, responsabile per la gestione della missione COS-B è data nel riquadro a pag.9. Una volta risolti alcuni problemi politici di partenza, ed alcuni problemi tecnici di crescita e sviluppo, venne scelta la seguente configurazione sperimentale.

12

La camera a scintille è del tipo a fili con lettura a nuclei magnetici. Due sistemi di fili giacciono in piani paralleli distanti 3mm l'uno dall'altro. I fili sono tesi in direzioni ortogonali (cosicché consentono la lettura nelle due proiezioni X Z ed Y Z). Ciascun sistema

misura 240mm per 240mm e contiene 192 elementi, spazati cioè di 1,25mm, che risulta così il passo di digitalizzazione, mentre la separazione dei due sistemi (3mm) si riflette nell'altezza della scintilla. Due sistemi di fili successivi sono separati da 12mm (spessore di un *gap*), e tra di essi è posto il materiale assorbitore.

Esso consiste di dodici lamine di tungsteno, scelto per il suo numero atomico, accoppiato ad accettabili doti di lavorabilità meccanica, di circa 0,125mm di spessore individuale. Sotto di esse sono poste 4 lamine di molibdeno, molto sottili (0,05mm ciascuna), per evitare eccessive deviazioni agli elettroni in uscita. Tutto il sistema della camera a scintille è rinchiuso in un contenitore a pressione riempito a 2 atmosfere con un miscuglio di gas opportuni. È in questo gas che scocca la scintilla quando la differenza di potenziale, dell'ordine di 5000 Volt, viene applicata tra i due insiemi ortogonali del sistema di fili, e quando, naturalmente, una particella ha lasciato una traccia di ionizzazione. Il risultato della "lettura" elettronica delle scintille è appunto l'immagine dell'evento gamma, del tipo illustrato a pag.10, dove è mostrata la storica immagine del primo raggio gamma visto da COS-B nell'agosto del 1975. L'immagine dell'evento, che è tridimensionale,



La struttura di COS-B. 1) Contatore in anticoincidenza (A). Discrimina le particelle cariche dai raggi gamma. 2) Contenitore a pressione della camera a scintille (SC). 3) Telescopio di attivazione. È composto dai rivelatori B₁, B₂, C che, rivelando le particelle cariche in uscita dalla camera a scintille e discriminando le particelle provenienti dal basso, determinano il campo di vista dello strumento. 4) Calorimetro (E, D). Misura l'energia delle particelle cariche create dalla materializzazione dei raggi gamma e quindi la loro energia. 5) Rivelatore X ausiliario. 6) Struttura portante del satellite. 7) Copertura per isolamento termico. 8) Sensori solari. Misurano l'assetto del satellite. 9) Stabilizzatore di rotazione. 10) Stabilizzatore di precessione. 11) Serbatoio dell'azoto. 12) Serbatoio del neon. 13) Pannello delle cellule solari. 14) Scatola dell'elettronica. La presenza di un segnale in B₁, C, B₂ e l'assenza di segnale in A viene riconosciuto come evento gamma dalla logica dello strumento ed attiva la camera a scintilla applicando l'alta tensione ai fili. I segnali degli scintillatori sono raccolti dai fotomoltiplicatori (PMT).

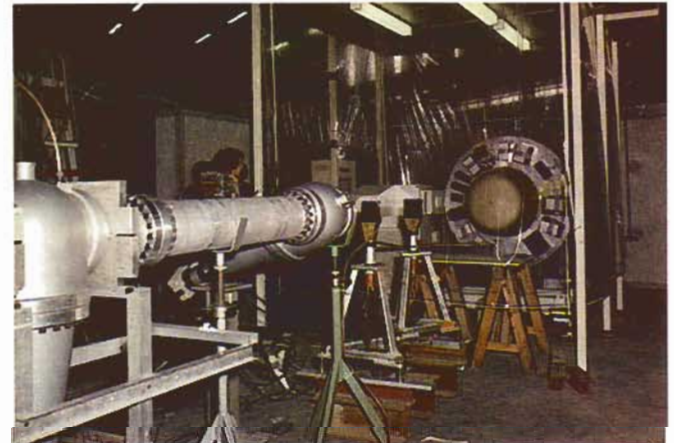
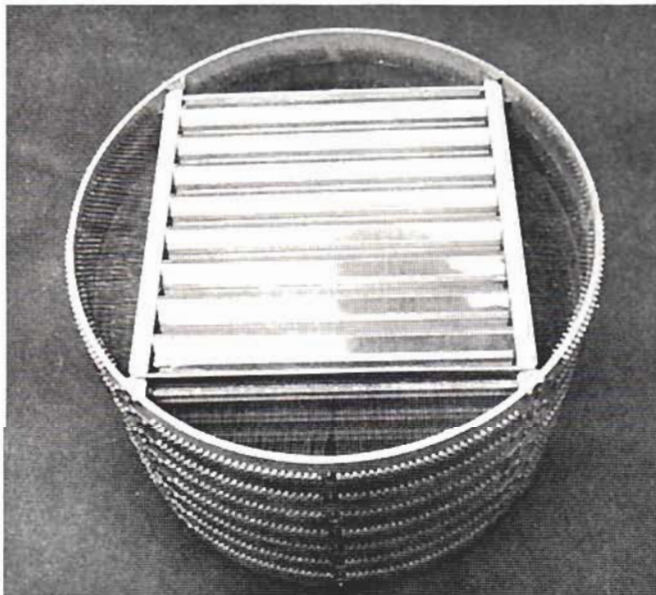
viene presentata nelle sue due proiezioni ortogonali (X Z e Y Z) e da queste si può poi ricostruire la direzione di arrivo del fotone.

Dalla parte finale della figura si capisce anche se gli elettroni in uscita sono nella direzione giusta per raggiungere il calorimetro e creare così la cascata di luce per la misura della loro energia. Tra camera a scintille e calorimetro è piazzato il cosiddetto *telescopio di trigger*, cioè un arrangiamento di contatori per particelle cariche che hanno il compito di inviare alla camera a scintille il segnale per l'applicazione della alta tensione al passaggio dell'evento gamma. Il pacco rivelatore è completato da uno schermo di scintillatore plastico in anticoincidenza che ha lo scopo di eliminare (o ridurre) il rumore di fondo generato dagli abbondantissimi protoni dei raggi cosmici. Per conoscere la risposta del rivelatore da montare su COS-B alla radiazione gamma di varia energia ed incidente a vari angoli, è stata necessaria una campagna di calibrazioni ad acceleratori di particelle, dove è possibile costruire fasci di fotoni gamma di intensità, energia e direzione note. A causa dell'ampio intervallo di energia (da 20 MeV a qualche GeV) da coprire e dell'accuratezza necessaria, le varie fasi delle calibrazioni si sono protratte per

scelta un'orbita ellittica con apogeo a 100.000km, anziché un'orbita circolare a bassa latitudine come quella del SAS-2 della NASA, perché questo permetteva lunghi ed ininterrotti periodi di osservazione, poche limitazioni sulla copertura del cielo, un effetto trascurabile dell'albedo terrestre e, cosa forse più determinante, permetteva una buona copertura per la raccolta dei dati da parte delle stazioni di ascolto a terra dell'ESA.

Il 9 agosto 1975 il satellite COS-B veniva messo in orbita con successo da un vettore Thor Delta dalla base NASA WTR (Vandenberg, California). Pochi giorni dopo iniziava le operazioni astronomiche e mandava a terra, al centro ESOC a Darmstadt (Germania) le immagini del suo primo raggio gamma.

Riusciranno i nostri eroi della *Caravan Collaboration* a svelare i misteri del cielo in raggi gamma? Il resto nelle prossime pagine.



(a sinistra) La camera a scintille di COS-B. In primo piano si vede uno dei 16 piatti di tungsteno, essi sono ondulati per aumentare la resistenza alle vibrazioni. (sopra) Calibrazione del telescopio per raggi gamma all'acceleratore DESY di Amburgo.

tre-quattro anni in vari acceleratori europei (CERN, Ginevra; SATURNE, Saclay; DESY, Amburgo; ecc.), ma i risultati ottenuti sono stati preziosi per la corretta interpretazione dei dati di volo.

Infine, il pacco strumentale contenente il rivelatore gamma è stato integrato nel satellite COS-B, studiato per agire nello spazio come un osservatorio orbitante, con controllo remoto a terra. Il satellite cioè, oltre a fornire allo strumento tutti i servizi necessari alla sua sopravvivenza, come corrente elettrica, telecomandi e telemetria, è stabilizzato per rotazione intorno all'asse della camera a scintille e mediante getti di gas può essere orientato nella direzione dello spazio che si vuole esplorare in raggi gamma. Per la missione, è stata

GIOVANNI F. BIGNAMI. Nato a Desio (Mi) il 10/4/1944, si è laureato in fisica all'Università di Milano nel 1968. Dal '71 è C.P.T. presso l'Istituto di Fisica Cosmica del C.N.R., si è occupato di Astrofisica delle alte energie (gamma ed X) partecipando ad esperimenti spaziali su satelliti NASA, in particolare il satellite SAS-2 (Goddard Space Flight Center nel periodo '73-'75 e '78), il satellite Einstein (Università di Harvard nel periodo '78-'82) e su missioni ESA, in particolare COS-B (1969 - oggi) per il quale è coordinatore del gruppo analisi dati. Ha insegnato alla Catholic University of America (Washington D.C.) nel '74-'75 e all'Università di Milano nel '77-'78. Nel 1981 ha ricevuto dall'Università di Parigi il Doctorat d'etat. Attualmente si occupa di sorgenti di alta energia, corre e alleva i suoi gemelli Elena e Daniele.