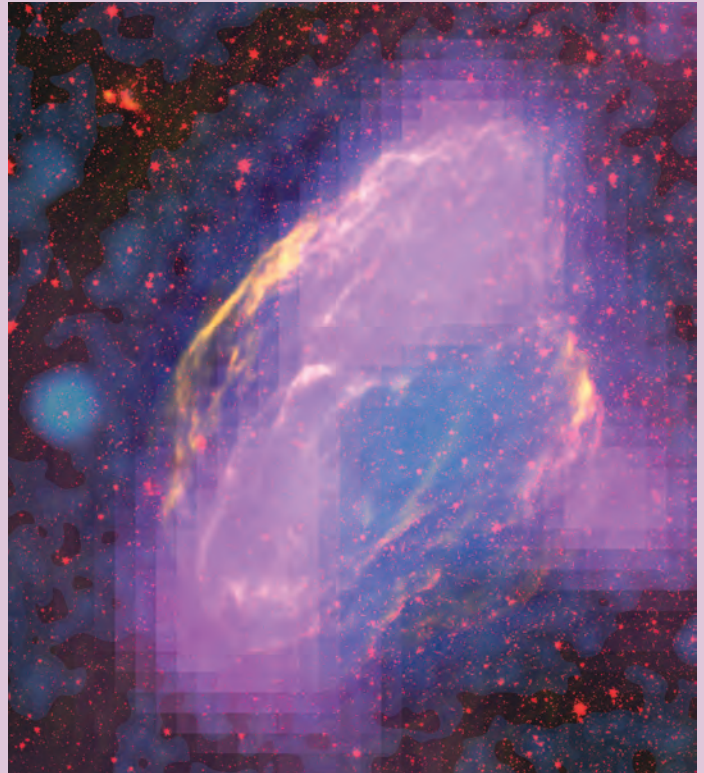


# Star Track

## Mettere a fuoco l'universo

di Luca Latronico

a.  
Mappa composta della supernova W44. L'emissione gamma registrata da Fermi, in viola, è sovrapposta a osservazioni in X (blu) del satellite Rosat, infrarosso (rosso) di Spitzer e radio (arancione) del Very Large Array (Socorro, New Mexico). La risoluzione nell'immagine gamma è inferiore a quella di altre osservazioni, perché la misura della radiazione di questa energia richiede di convertire i fotoni gamma in coppie di elettrone e positrone le cui tracce vengono perturbate dagli urti che subiscono con i nuclei del convertitore.



Capita a tutti di sbagliare una foto, magari perché non è a fuoco o perché è mossa. Ma anche la foto migliore non può essere ingrandita a piacere senza perdere di nitidezza: c'è un "errore" intrinseco, legato alla risoluzione della lente dell'obiettivo e alla granularità della pellicola (o alle dimensioni del pixel in una moderna macchina digitale). Gli stessi problemi di risoluzione li ritroviamo nelle osservazioni astrofisiche, anche se qui le foto sono ottenute con raffinati telescopi che utilizzano diverse tipologie di rivelatori. Attraverso questi rivelatori, i fisici riescono a ricostruire le immagini delle stelle e delle galassie lontane, guardando alla radiazione che queste sorgenti emettono. Costruiti per risolvere i grandi problemi aperti in astrofisica, cosmologia e fisica fondamentale, come l'origine e l'accelerazione dei raggi cosmici, la natura della materia oscura o la fisica dei buchi neri, i telescopi della fisica astroparticellare *multimessenger* osservano una molteplicità di particelle diverse con energie molto elevate, fotoni, neutrini, raggi cosmici carichi e onde gravitazionali (vd. in *Asimmetrie* n. 21 p. 21, ndr). L'osservazione dei fotoni attraverso opportuni rivelatori è concettualmente simile alla vista del cielo notturno a occhio nudo. I fotoni si propagano in linea retta e non sono deviati da campi elettrici e magnetici, restituendoci l'immagine della sorgente da cui provengono. La densità di questa radiazione è elevata e permette di vedere migliaia di sorgenti, anche se il loro flusso decresce rapidamente con l'energia, richiedendo telescopi sempre più sensibili per captare le emissioni più energetiche e interessanti.

L'accuratezza di queste osservazioni si fonda su due concetti, in perfetta analogia a quanto sperimentiamo con un binocolo o un telescopio amatoriale. Per osservare il cielo ci occorrono dei punti di riferimento, tipicamente stelle con posizioni, nomi

e caratteristiche note. La necessità dei riferimenti diventa ancora più critica se il campo di vista del nostro strumento è piccolo e possiamo visualizzare solo poche stelle di riferimento. Dovremo poter rapidamente identificare quelle note su una mappa e affidarci a un sistema di puntamento stabile, da un semplice treppiede e fino a raffinate meccaniche di movimentazione, che non modifichi l'immagine che osserviamo mentre troviamo i punti di riferimento.

Anche tutte le osservazioni dei satelliti, dalle immagini di galassie lontane del telescopio Hubble alle rilevazioni Gps per mappare la superficie terrestre, richiedono l'uso di sistemi avanzati di tracciamento di stelle (cosiddetti *star tracker*). Questi navigatori spaziali, sistemi compatti basati su sensori e micro-processor integrati, calcolano istante per istante la direzione di puntamento del satellite che equipaggiano, confrontando la posizione delle stelle visualizzate sul sensore con cataloghi di riferimento, con una precisione di qualche secondo di arco (un 3600-mo di grado).

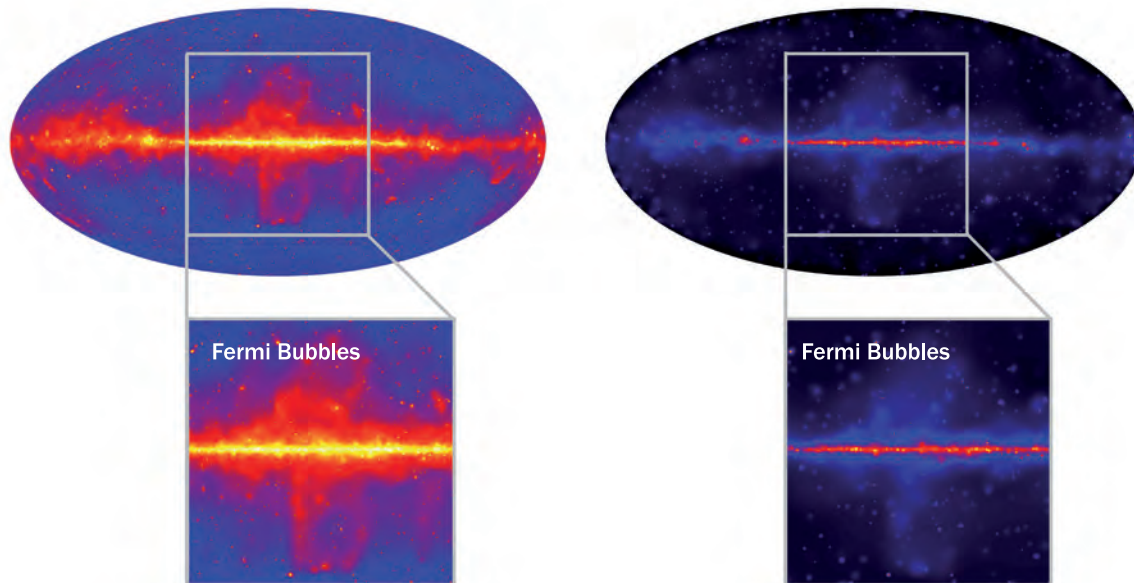
Il secondo concetto è quello della risoluzione, cioè la capacità dello strumento di ricostruire fedelmente l'immagine che osserviamo. Nelle macchine fotografiche digitali, una buona lente convoglia la luce su un piano, opportunamente posizionato al fuoco e suddiviso in milioni di sensori (pixel) per non mescolare sul singolo sensore la luce proveniente da punti lontani. I telescopi sviluppati nei laboratori di ricerca sono ottimizzati in tutti gli aspetti che influenzano la ricostruzione dell'immagine, dai sistemi di focalizzazione della radiazione incidente, alla granularità e sensibilità dei singoli sensori che la raccolgono e la trasformano in segnali elettrici, alla dinamica dell'elettronica che li elabora in segnali digitali, al software che viene utilizzato per comporre le immagini.

Nelle osservazioni scientifiche ci si dota di un modello matematico della risposta dello strumento in un singolo punto luminoso, chiamato *point spread function* (Psf), che descrive come un singolo punto venga “spalmato” su un’area più grande a causa di effetti strumentali. La Psf si ottiene attraverso simulazioni e calibrazioni dirette degli strumenti e la sua formulazione analitica consente di elaborare la risposta a immagini morfologicamente complesse e di analizzare le osservazioni in maniera quantitativa, per esempio per contare quanti fotoni associare a ciascuna sorgente nel campo di vista o all’interno di una struttura estesa e complessa come il resto di una supernova.

L’astrofisica moderna misura l’intero spettro elettromagnetico, dalle emissioni infrarosse, legate alla temperatura delle stelle e con energie di millesimi di eV (meV), fino alla radiazione X e gamma da mille (keV) a mille miliardi (TeV) di volte più energetica del visibile (vd. in *Asimmetrie* n. 10 p. 4, ndr). Per studiare i fotoni gamma di origine cosmica, i messaggeri per noi più interessanti perché associati a enormi trasferimenti di energia nell’universo, l’Infn ha costruito il “tracciatore a microstrip di silicio” più grande per lo spazio, di ben 73 m<sup>2</sup> di superficie attiva. È il Large Area Telescope (Lat), che opera sul satellite Fermi a 560 km di

altitudine, fuori dello schermo dell’atmosfera terrestre (vd. in *Asimmetrie* n. 10 p. 39, ndr). Il Lat è disegnato per misurare l’energia e la direzione dei fotoni attraverso la loro conversione in coppie elettrone-positrone. Per fotoni con energia di alcune centinaia di MeV la risoluzione angolare dell’apparato è di qualche grado e migliora fino a un decimo di grado per energie maggiori di 1 GeV. Selezionando i fotoni di alta energia si possono quindi ottenere immagini delle sorgenti con migliore risoluzione. I telescopi per raggi X, come Chandra o Xmm, invece, sono dotati di specchi riflettenti a incidenza radente, in grado di focalizzare i fotoni su speciali sensori di raccolta ad altissima granularità. La loro risoluzione si aggira pertanto intorno a valori tipici di qualche decina di arcosecondo. Di recente l’Infn ha introdotto un nuovo rivelatore di radiazione X, il *gas pixel detector* (Gpd), che per la prima volta permette di misurare efficacemente la polarizzazione della radiazione incidente, fortemente legata alla geometria della sorgente. I Gpd sono il cuore di una nuova classe di missioni spaziali come quella recentemente approvata dalla Nasa, Ixpe, capaci di realizzare vere e proprie mappe di polarizzazione della radiazione emessa da sistemi con campi gravitazionali e magnetici estremi, come buchi neri e stelle di neutroni.

b.  
Il cielo gamma di Fermi osservato ad alta (sinistra) e altissima energia (destra), con un ingrandimento della zona del centro galattico e delle Fermi Bubbles, una sorgente estesa 50.000 anni luce di natura ignota, che potrebbe essere il residuo dell’eruzione preistorica di un buco nero super-massiccio al centro della Via Lattea. Il confronto tra le immagini mostra l’effetto combinato del flusso delle sorgenti, che cresce molto velocemente a bassa energia e determina la maggiore intensità e numero di sorgenti nella mappa di sinistra, e della risoluzione del Lat, che migliora ad alta energia e permette di avere immagini più nitide quando utilizziamo solo i fotoni di altissima energia (a destra).



#### Biografia

**Luca Latronico** è un ricercatore dell’Infn a Torino. Per scoprire da dove arrivano i raggi cosmici e come è fatta la materia oscura, progetta rivelatori per la fisica astroparticellare. Ha lavorato a Pisa, Genova e Torino per l’esperimento Cms a Lhc, l’osservatorio Auger in Argentina e le missioni spaziali Fermi, di cui è responsabile italiano, e Ixpe.

#### Link sul web

<https://www.nasa.gov/content/fermi-gamma-ray-space-telescope>  
<https://wwwastro.msfc.nasa.gov/ixpe/index.html>

DOI: 10.23801/asimmetrie.2017.22.5