

# *Catturare i raggi cosmici col CCD!*

61



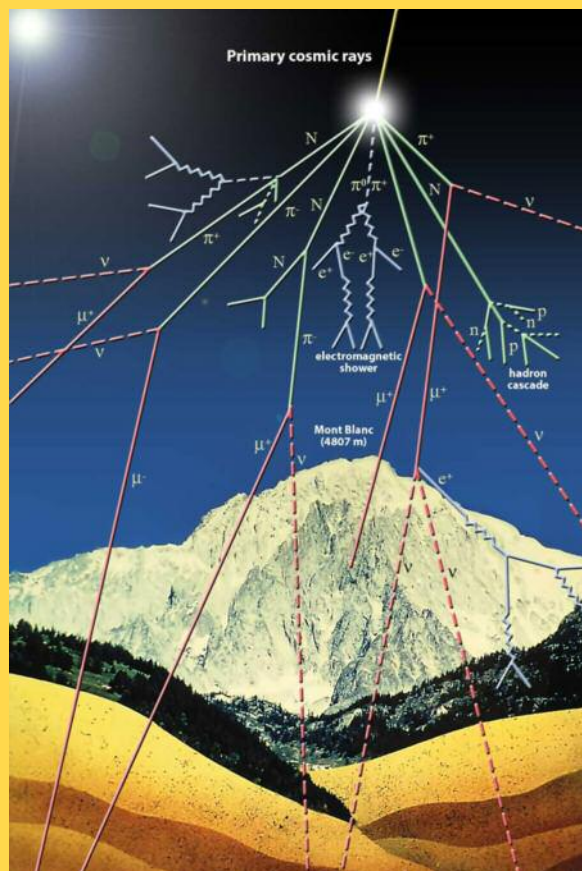
***Se le condizioni atmosferiche sono avverse o se le notti insonni all'addiaccio non vi attirano particolarmente, sappiate che anche un modesto CCD può consentirvi di fare ricerca astrofisica 24 ore al giorno, senza il benché minimo sforzo, e persino dormendo!***

**F**in da ragazzo sono stato un appassionato di astronomia, ha riempito i miei pensieri per anni. Poi, inevitabilmente, il corso della vita ti porta su vie assai frequentemente non scelte da te, e così anche le passioni tendono a soprirsi. Ma si sa, il primo amore non si dimentica mai, e ti può anche capitare che sia la passione a cercare te.

Per lavoro esamino molto spesso immagini di dark prodotte da camere digitali raffreddate. Infatti, già esaminando un'immagine di dark si possono verificare molte condizioni di funzionamento dello strumento. Così, mi capita sovente di vedere le tracce che i raggi cosmici lasciano sui pixel del CCD quando vi impattano.

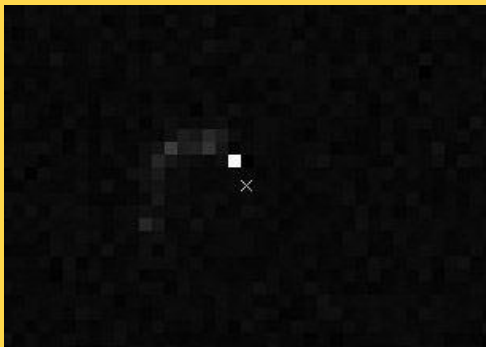
Non tutti i sensori CCD si comportano allo stesso modo. Ce ne sono alcuni che sono molto più sensibili di altri, non so dire il perché, ma probabilmente dipende dai differenti drogaggi usati nel silicio. Non sono mai riuscito a stabilire una correlazione con l'ambiente o con qualche evento astronomico, ma il fatto che taluni giorni la loro frequenza fosse maggiore mi ha sempre incuriosito.

I raggi cosmici sono particelle energetiche provenienti dallo spazio esterno, alle quali la Terra e tutti noi siamo esposti.



Rappresentazione schematica delle varie particelle che si originano a seguito dell'entrata in atmosfera di un raggio cosmico.

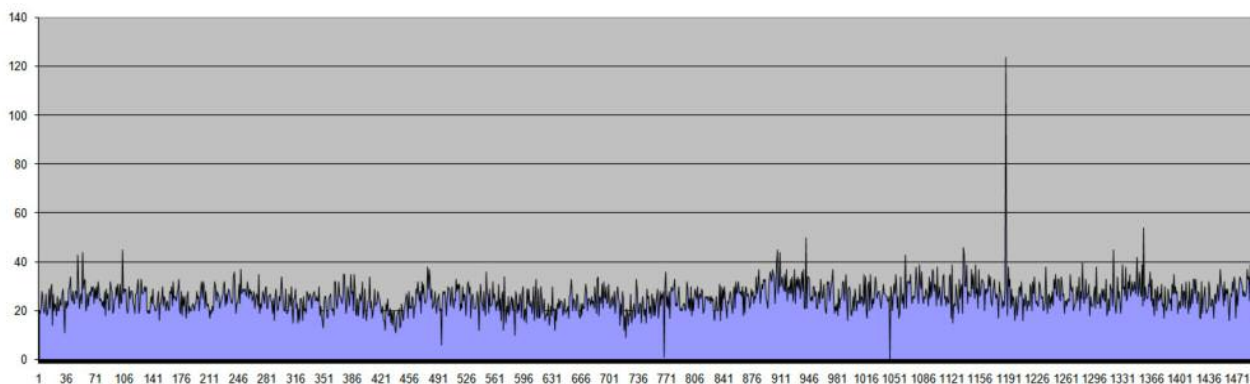
Simulazione dell'impatto atmosferico di un raggio cosmico e della conseguente cascata di particelle.



Tipica traccia lasciata da un raggio cosmico, con il pixel di impatto più luminoso e con rilascio di maggiore energia e attraversamento dei pixel adiacenti.

Nel mondo esistono molti laboratori che si occupano della loro rivelazione con tecniche molto diverse le une dalle altre. Avendo però io facile accesso a strumenti basati su sensori CCD, ho deciso di utilizzare questi ultimi. Pertanto, circa due anni fa, avendo a disposizione una camera digitale raffreddata, equipaggiata con un FOS (Fiber Optic Scintillator) e finestra in berillio, ho deciso di iniziare una serie di osservazioni. Avevo

zione silicio+colla+vetro. Comunque, nonostante la temperatura fosse abbastanza alta, ho sempre avuto ottimi rapporti segnale/rumore. La scelta del binning 2x2 voleva ridurre le dimensioni delle immagini prodotte, senza perdere superficie di rivelazione. Bisogna considerare, infatti, che con questi parametri si producono più di 4000 immagini al giorno per un totale 2,1 GB/giorno! Inoltre, non trascurabile, è anche il tempo necessario al programma per estrarre dalle immagini gli eventi registrati, per cui questa configurazione mi era sembrata un buon compromesso. Il risultato della campagna è stato molto interessante, anche se ha aperto più interrogativi di quante risposte abbia fornito.



stabilito che avrei fatto una registrazione degli eventi 24 ore al giorno per una decina di giorni, impostando un tempo di esposizione di 20 s in binning 2x2, ad una temperatura operativa del sensore di 10°C. Per ridurre il rumore introdotto dalla corrente di buio mi sarebbe stato utile lavorare con una temperatura molto più bassa del sensore CCD, ma avendo questo un FOS incollato sopra era rischioso scendere al di sotto degli 0°C a causa dei differenti coefficienti di dilata-

Un esempio dei dati raccolti è rappresentato nel grafico qui sopra, che riporta il numero degli eventi nel tempo, mostrando circa otto ore di registrazione. Solo per una questione di grafica troppo compressa, non risultano evidentissime le due modulazioni del flusso che l'andamento presenta, una veloce e una assai più lenta, che si ripetono nei giorni successivi.

Non mi aspettavo di trovare una qualche sorta di "informazione" ma piuttosto un

Questo grafico indica il numero degli eventi registrati in 8 ore (asse delle ordinate).



La camera CCD utilizzata per la campagna "osservativa": in primo piano la finestra in berillio.

andamento caotico. Per cui, dopo aver verificato la mia ignoranza, per capire cosa contenesse il segnale registrato ho provato a chiedere aiuto ad alcuni ricercatori dei laboratori nazionali che si occupano di raggi cosmici, ottenendo risposte e interpretazioni tanto cordiali quanto diversificate. Ecco alcuni esempi.

Risposta di un primo ricercatore: *"Il flusso dei raggi cosmici varia in anticorrelazione con l'andamento giornaliero della pressione atmosferica, che durante le 24 ore (oltre ai cambiamenti su lungo periodo dovuti alle perturbazioni) va su e giù in modo quasi sinusoidale e ha due massimi e due minimi. Se hai un barometro puoi misurare la pressione e vedere la correlazione precisa fra il tuo conteggio e la pressione. In quanto a variazioni di più breve durata, le cause possono essere molteplici: o qualche guaio strumentale o qualcosa di più fisico... o il tram che passa sotto casa!"*

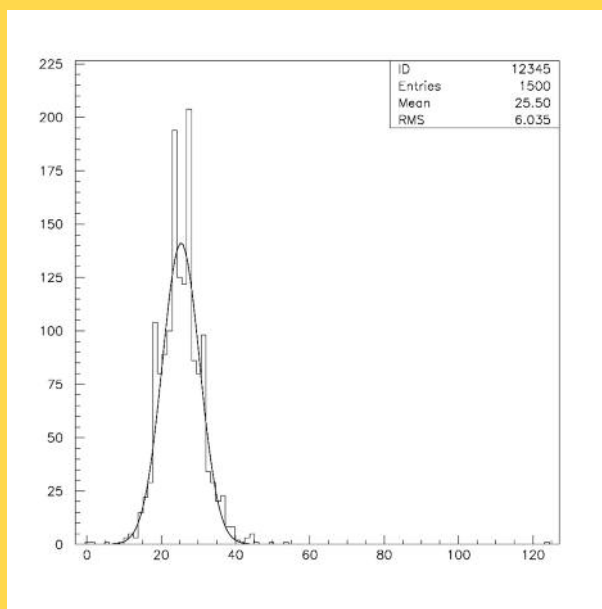
Un altro ricercatore mi ha invece così risposto: *"Il rate di muoni varia tra 100 e 200 per metro quadrato (dipende dalla quota: più atmosfera attraversano più è alta la possibilità di decadere; infatti sono particelle con vita*

*media dell'ordine di due microsecondi, specie se poco energetici). Su questo numero ci possiamo mettere una mano sul fuoco. Se riesci, prova a ripetere l'analisi alzando la soglia di discriminazione evento/rumore: prova a vedere se il flusso si uniforma (attualmente ti varia del 20% in media).*

Un'altra soluzione proposta: *"Il fondo ambientale è dovuto a interazioni con particelle di bassa energia (alfa, principalmente, dovute alla presenza di radon) oppure metalli attivati etc. etc.*

*L'unico modo per eliminarlo sarebbe quello di mettere in coincidenza due rivelatori posti sulla verticale a una distanza fissa. In questo modo i raggi cosmici passanti li prendi tutti (chiaramente a quel punto dovresti considerare l'accettanza angolare), mentre le particelle alfa daranno segnale nei due rivelatori in maniera completamente scorrelata (cambia stanza!)"*.

Quest'ultimo ricercatore mi ha mandato anche una sua elaborazione (grafico qui sotto) dei dati grezzi che gli avevo in-



Questo grafico evidenzia la divergenza dei conteggi dalla gaussiana principale.

Per l'analisi delle immagini, alla ricerca di eventi, ho scritto un programmino in javascript che per ogni immagine esegue le seguenti operazioni:

1. sottrae dall'immagine grezza una dark mediata
2. analizza l'immagine corretta in blocchi di 10x10 pixel
3. calcola la deviazione standard (STD) del blocco in esame
4. calcola il centroide e l'area dell'evento se la STD supera la soglia prefissata (se l'area è maggiore di un pixel e non sono presenti pixel saturati conta un evento)
5. passa al blocco successivo e si torna al punto 3

Ecco sotto alcune stringhe prodotte dal programma durante l'analisi.

```
Frame: 9, Event 15 @ X = 165.000, Y = 177.000, V = 266, A = 1
Frame: 9, Event 16 @ X = 440.000, Y = 206.718, V = 563, A = 2
Frame: 9, Event 17 @ X = 437.529, Y = 218.473, V = 217, A = 4
Frame: 9, Event 18 @ X = 439.000, Y = 223.000, V = 615, A = 1
Frame: 9, Event 19 @ X = 296.542, Y = 256.427, V = 252, A = 4
Frame: 9, Event 20 @ X = 352.000, Y = 284.000, V = 377, A = 1
Frame: 9, Event 21 @ X = 153.000, Y = 297.000, V = 690, A = 1
```

Alla fine, lo script genera un file di testo con i conteggi registrati e visualizza un grafico con gli stessi.

65

viato, nella quale si evince la modulazione.

A quel punto mi rendo conto che occorre una grande quantità di tempo per cercare di approfondire il problema e stilo un programma di successive verifiche e misure da effettuare. Purtroppo, però, sono passati due anni dalla prima osservazione e il tutto è rimasto "nel cassetto". Forse è ragionevole dedurre che non ho (e non mi posso permettere di spendere) tempo libero a sufficienza per questa indagine; del resto già la prima campagna era stata eseguita in un periodo di ferie.

Mi sarebbe piaciuto pubblicare i risultati di questa indagine con un minimo di certezze in più, ma a questo punto è meglio condividere quello che si ha. La speranza, ovviamente, è che qualche astrofilo sia stimolato a intraprendere questo particolare tipo di ricerca a carattere astrofisico.

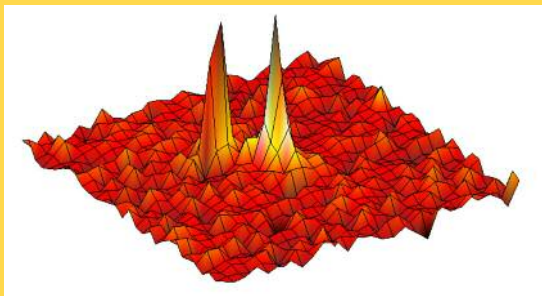
In definitiva, come attività osservativa presenta diversi vantaggi: la si può esercitare pure in cantina, 24 ore al giorno, utilizzando anche sensori di un *grade* basso e normali camere CCD raffreddate, benché queste avranno preferenza a interagire solo con particelle ad alta

energia. A beneficio di quanti vorranno cimentarvisi, illustro brevemente come è stato realizzato l'esperimento.

Avevo a disposizione una camera digitale raffreddata a 16 bit, dotata di un sensore 1024x1024 pixel, con una dimensione di questi di 24  $\mu$ m, quindi la mia area utile di osservazione era di 24,5x24,5 mm. Sul sensore era stato incollato un FOS. Questo tipo di camera era nata per applicazioni con raggi X a bassa energia (8÷40 Kev), ma si è dimostrata utile an-



In questa tipica immagine si evidenziano le tracce lasciate dai raggi cosmici.



Visualizzazione in 3D (luminanza sull'asse Z) dell'evento cerchiato in nero nell'immagine precedente.

che nella mia inusuale applicazione, dal momento che il silicio interagisce direttamente con la radiazione ad alta energia, mentre lo scintillatore converte in luce

la radiazione a bassa energia, che difficilmente interagisce con il silicio del sensore.

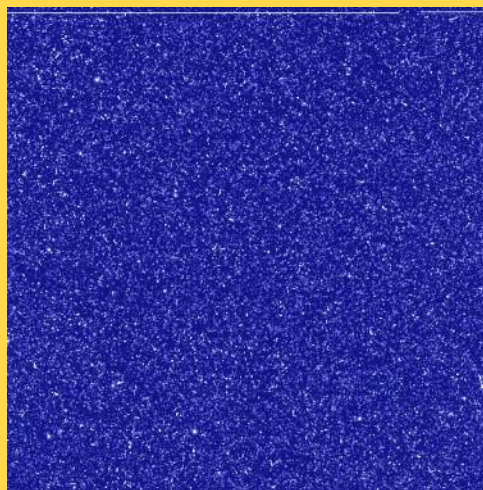
Il FOS è realizzato utilizzando un FOP (Fiber Optic Plate), in pratica un pacco di fibre ottiche di pochi micron, che semplicemente trasporta la luce generata dallo scintillatore direttamente sui pixel del CCD. Gli scintillatori in commercio sono di svariati tipi, nel mio caso avevo del solfuro di gadolinio ( $Gd_2O_2S$ ), un cristallo inorganico in grado di produrre fotoni a 550 nm quando interagisce con una particella o un fotone altamente energetico, con un'efficienza sul trasferimento di energia maggiore del 10%. La camera aveva una finestra in berillio, che è molto trasparente alle particelle e oscura completamente la luce dell'ambiente. È possibile utilizzare anche una lamina sottile (0,1 mm) di alluminio o plastica al posto del pericoloso berillio (è cancerogeno). Installare un FOS sul sensore CCD è una operazione costosa e vi sconsiglio vivamente di tentare in proprio una cosa del genere, causa sicuro danneggiamento del sensore, per cui conviene lavorare direttamente con un sensore CCD oscurato (sensori con pixel grossi sono ottimi).

Altro punto rilevante è l'elaborazione dei dati, occorre infatti estrarre il numero dei conteggi dalle immagini acquisite. Giusto per dare l'idea di che cosa stiamo parlando (e soprattutto di quali immagini vedremo), riportiamo nella pagina precedente una tipica esposizione di 20 s realizzata con la suddetta attrezzatura. Qui sopra, in 3D, si evidenzia meglio una interazione presente nell'immagine.

Nell'ultima immagine, invece, si evidenziano le aree del chip che più sono rima-

ste coinvolte (nell'arco di 8 ore) come numero di eventi, ed è la dimostrazione che su tempi brevi la sfortuna esiste!

In conclusione, l'introduzione delle camere CCD in astronomia ha effettivamente offerto anche agli astrofili svariati



Totale delle tracce lasciate dai raggi cosmici in 8 ore sulla superficie del sensore.

modi di esplorare lo spazio che ci circonda. Sinceramente, non so quanto questa tecnica di rivelazione dei raggi cosmici risulti efficiente rispetto ad altri tipi di tecnologia, certo è che se già disponiamo di una camera che usiamo per l'ottico è facile utilizzarla anche per lo scopo qui evidenziato, senza apportare alcuna modifica. E magari, chissà, potremo registrare l'interazione fra il nostro sensore e i protoni provenienti da una lontana galassia!

**Manuele Turini**, nato a Pisa nel 1957, è appassionato di astronomia e scienze sin da piccolo. Ha sempre pensato che la matematica e la fisica fossero una chiave di lettura del mondo che ci circonda. Da oltre 30 anni lavora nel settore dell'elettronica occupandosi di strumentazione scientifica.