

## I risultati ottenuti

Il campione di dati analizzato comprende il periodo da gennaio 2010 a dicembre 2014 (5 anni).

In tale periodo i valori della varianza elettronica si mantengono pressoché costanti, telescopio per telescopio. Questi andamenti confermano la grande stabilità di acquisizione dell'elettronica del Rivelatore di Fluorescenza nel suo complesso, in quanto non si evidenzia alcun peggioramento del rumore elettronico neppure sul lungo periodo.

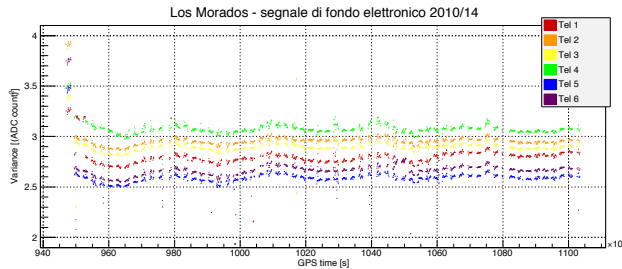


Figura 4: Andamento temporale delle varianze del segnale di fondo elettronico per il sito di Los Morados. Ogni punto rappresenta il valore, mediato sui pixel e sugli eventi, di una notte di presa dati.

Per l'intero periodo e per ciascuno degli Occhi sono stati realizzati i grafici dell'andamento temporale: l'aspetto più notevole è l'oscillazione periodica delle varianze, somma delle fluttuazioni stagionali. Il fatto che l'ampiezza delle oscillazioni stagionali osservate abbia sempre il medesimo valore permette di affermare, in prima approssimazione, che non vi sia una dipendenza dal ciclo solare.

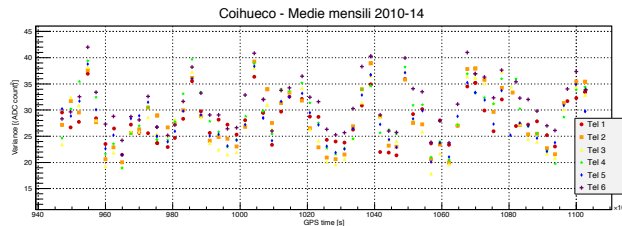


Figura 5: Andamento temporale delle varianze per il sito di Coihueco. Ogni punto rappresenta la media temporale su ogni mese dei valori ottenuti notte per notte come media su tutti i pixel di ciascuna camera.

La dipendenza del segnale di fondo luminoso dall'elevazione è stata studiata tramite le differenze tra le varianze misurate da pixel della stessa camera ma con campi di vista differenti in elevazione. Si osserva che la luminosità diffusa del

cielo notturno vista dai telescopi di fluorescenza aumenta di intensità tra  $0^\circ$  e  $30^\circ$  in elevazione, almeno a livello delle varianze del segnale luminoso osservato.

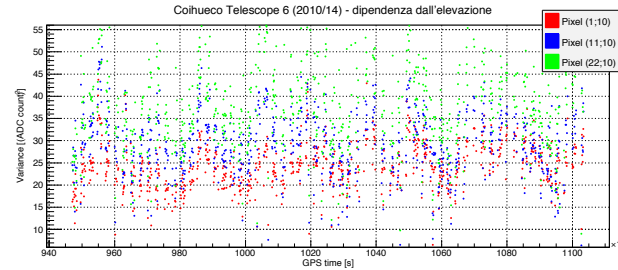


Figura 6: Andamento temporale, per il telescopio 6 del sito di Coihueco, delle varianze di 3 pixel, appartenenti alla stessa colonna (colonna n. 10) ma a differenti righe: riga 1, rosso,  $1.6^\circ$  in elevazione; riga 11, blu,  $\approx 15^\circ$ ; riga 22, verde,  $30.4^\circ$ . Ciascun punto rappresenta la media temporale dei valori della varianza registrati dai pixel notte per notte.

## Le prospettive future

Questo lavoro di tesi è il primo nella Collaborazione, dopo diversi anni, a riprendere l'analisi della luminosità diffusa, pertanto estremamente prezioso tenendo conto della enorme mole di dati che si sono accumulati nei 10 anni di presa dati dei 27 telescopi. In futuro si prevede di:

1. fornire alla Collaborazione un più corretto valore del fondo luminoso da sottrarre ai segnali di fluorescenza dovuti ai raggi cosmici di energia estrema;
2. creare una banca dati che possa essere utilizzata negli studi successivi, comprendendo tutte le misure del segnale di fondo luminoso registrate finora;
3. aggiungere i dati raccolti dai 3 telescopi di HEAT, includendo quindi delle misure della varianza relative ad angoli di elevazione da  $30^\circ$  a  $60^\circ$ .

Infine, in seguito al processamento di tutti i dati a disposizione, sarà possibile compiere una selezione delle migliori acquisizioni (notti serene e senza Luna in cui vi sia una stabilità ottimale dell'elettronica) al fine di calcolare un valore della luminosità diffusa che possa confrontarsi con le stime trovate da altri osservatori di raggi cosmici ma soprattutto con le misure effettuate dagli osservatori astronomici.



UNIVERSITÀ degli STUDI di CATANIA  
DIPARTIMENTO di FISICA e ASTRONOMIA

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN FISICA

GIOACCHINO ALEX ANASTASI

STUDIO E MONITORAGGIO DELLA LUMINOSITÀ DIFFUSA DEL CIELO NOTTURNO CON I TELESCOPI DI FLUORESCENZA DELL'OSSERVATORIO PIERRE AUGER

TESI DI LAUREA

RELATORE:  
CHIAR.MA PROF.SSA R. CARUSO

ANNO ACCADEMICO 2014/2015

## Contatti

e-mail – [gialex.anastasi@gmail.com](mailto:gialex.anastasi@gmail.com)

LinkedIn – Gioacchino Alex Anastasi

Twitter – @GialexAnastasi

## Introduzione

In questo lavoro di tesi si è compiuto uno studio della luminosità diffusa del cielo notturno presso l'Osservatorio Pierre Auger (<https://www.auger.org/>), attraverso le misure del segnale di fondo luminoso registrate dal Rivelatore di Fluorescenza dell'Osservatorio.

Notte dopo notte, il segnale proveniente dalla luminosità diffusa viene registrato al fine di stimare il fondo che deve essere sottratto al segnale di fluorescenza degli sciami dovuti ai raggi cosmici di energia estrema. La convinzione è che questa mole di misure possa contenere al suo interno molte informazioni: dal valore della luminosità, inteso come flusso di fotoni nel campo di vista dei telescopi, al monitoraggio di questa brillantezza nonché delle variazioni dovute alle condizioni meteorologiche, ambientali ed eventualmente correlate al ciclo solare. È possibile anche ottenere informazioni sugli apparati, evidenziando eventuali andamenti legati all'invecchiamento di questi.

## La luminosità diffusa del cielo notturno

Definiamo come luminosità diffusa del cielo notturno la radiazione che giunge sulla Terra (dopo aver attraversato l'atmosfera) in notti serene e senza Luna (*moonless night*).

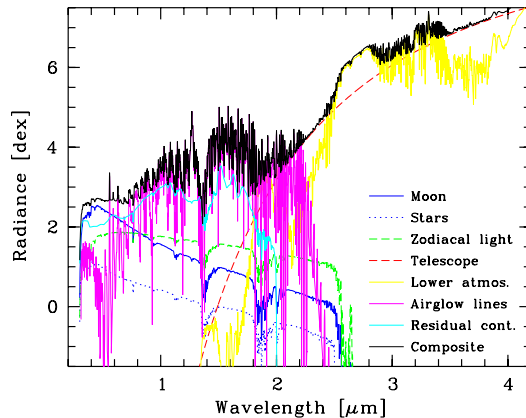


Figura 1: Componenti della luce diffusa del cielo notturno, per lunghezze d'onda tra 0.3 e 4.2  $\mu\text{m}$  e in unità di radianza arbitrarie. L'immagine è il risultato di una modellizzazione per l'osservatorio ESO-Paranal.

Essa presenta molteplici componenti: la luce diretta e diffusa delle stelle, la luce zodiacale (dovuta alle polveri interplanetarie), la luce diffusa della Via Lattea e delle pol-

veri intergalattiche, il fondo di radiazione extragalattico, la luminescenza dell'atmosfera (*airglow*).

A questi contributi occorre aggiungere gli effetti dovuti alla propagazione in atmosfera (diffusione, assorbimento) nonché l'inquinamento luminoso che sempre più impedisce l'osservazione di questa già debole luminosità.

## Il Rivelatore di Fluorescenza dell'Osservatorio Pierre Auger

Il sistema dei telescopi di fluorescenza dell'Osservatorio Pierre Auger è composto da quattro edifici (Los Leones, Los Morados, Loma Amarilla e Coihueco) costruiti su delle collinette naturali. In ciascun sito sono presenti sei telescopi indipendenti, ognuno dei quali copre un'area di ( $30^\circ \times 30^\circ$ ) in azimuth e ed elevazione.

Il singolo telescopio di fluorescenza costituisce un *sistema ottico completo* formato da un filtro UV circolare posto sulla finestra di entrata, un anello correttore, uno specchio e una matrice di fotomoltiplicatori, ciascuno dei quali osserva una piccola area del cielo con un raggio  $1^\circ - 2^\circ$ .

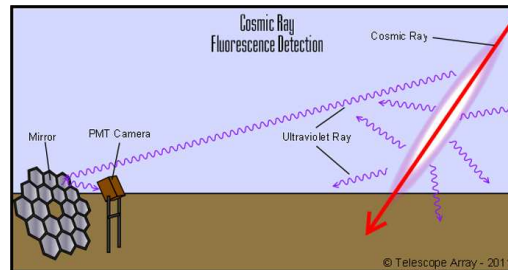


Figura 2: Rappresentazione grafica della raccolta di luce da parte di un telescopio di fluorescenza.

Il segnale di fondo luminoso osservato dai telescopi è dovuto alla luminosità diffusa del cielo notturno; poiché l'accoppiamento di ciascun fotomoltiplicatore con l'elettronica avviene in corrente alternata, il Rivelatore di Fluorescenza è sensibile solo alle fluttuazioni della luminosità diffusa del cielo notturno.

Supponendo che le fluttuazioni in questione siano aleatorie e assimilabili a un processo statistico di natura poissoniana, l'osservabile fisica che dà una misura della luminosità diffusa è la varianza del segnale di fondo luminoso anziché il segnale stesso.

## Il codice di riduzione e analisi dati

In ogni notte di misure, sono acquisiti periodicamente:

- eventi di rumore elettronico: circa 50 prima della presa dati e altrettanti dopo di questa, a saracinesche chiuse, con una frequenza di 5 secondi;
- eventi di fondo luminoso ambientale: dall'inizio della presa dati fino alla chiusura del ciclo di misure, a saracinesche aperte, con una frequenza di 30 secondi.

Il codice realizzato ha lo scopo di trasformare i valori di varianza del segnale di fondo elettronico e luminoso registrati in più di 16000 file di testo in formato ASCII, in un formato più flessibile e utilizzabile per la determinazione della luminosità diffusa del cielo notturno nonché delle sue variazioni nel corso del tempo, come osservate dal Rivelatore di Fluorescenza dell'Osservatorio Pierre Auger.

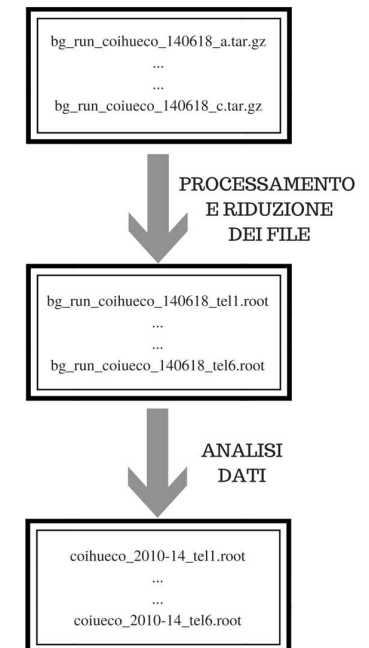


Figura 3: Schema di funzionamento del codice sorgente realizzato. In alto, i file grezzi archiviati presso il Centro di Calcolo di Lione in formato compresso; questi vengono ridotti nel formato TTree e conservati in appositi ROOT-file (al centro); infine i dati in questo formato vengono analizzati tramite *macro* in linguaggio C++ e il risultato è salvato in ROOT-file opportuni (in basso).