

Introduzione ai sistemi di riferimento e coordinate in EEE Importanza nelle misure

Grazzi Stefano, Centro Studi e Ricerche 'Enrico Fermi'

30/05/2017, Erice

VII Conferenza dei Progetti del Centro Fermi

Progetto EEE – La Scienza nel cuore dei giovani

Riassunto

Introduzione generale ai sistemi di riferimento

Sistema di riferimento locale del telescopio

- Studi variazione flusso con pressione
- Studi variazione Forbush per eruzioni solari
- Decadimento del muone

Sistema altazimutale - Orientamento al Nord Geografico

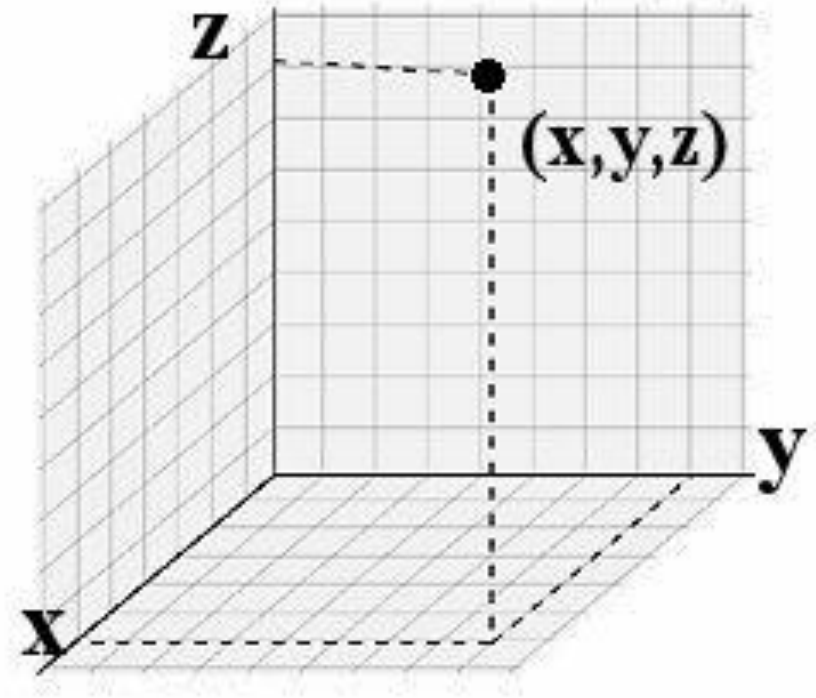
- Ricerca coincidenze tra telescopi

Da sistema altazimutale a coordinate equatoriali

- Studi anisotropie
- Ricerca correlazione lunga distanza (LDC)
- Introduzione alla misura della distanza angolare

Sistemi di riferimento e di coordinate

- Un **sistema di riferimento** è un sistema rispetto al quale viene osservato e misurato un certo fenomeno fisico o un oggetto fisico.
- Dalla definizione di un sistema di riferimento è possibile costruire un **sistema di coordinate** per la misura grandezze fisiche



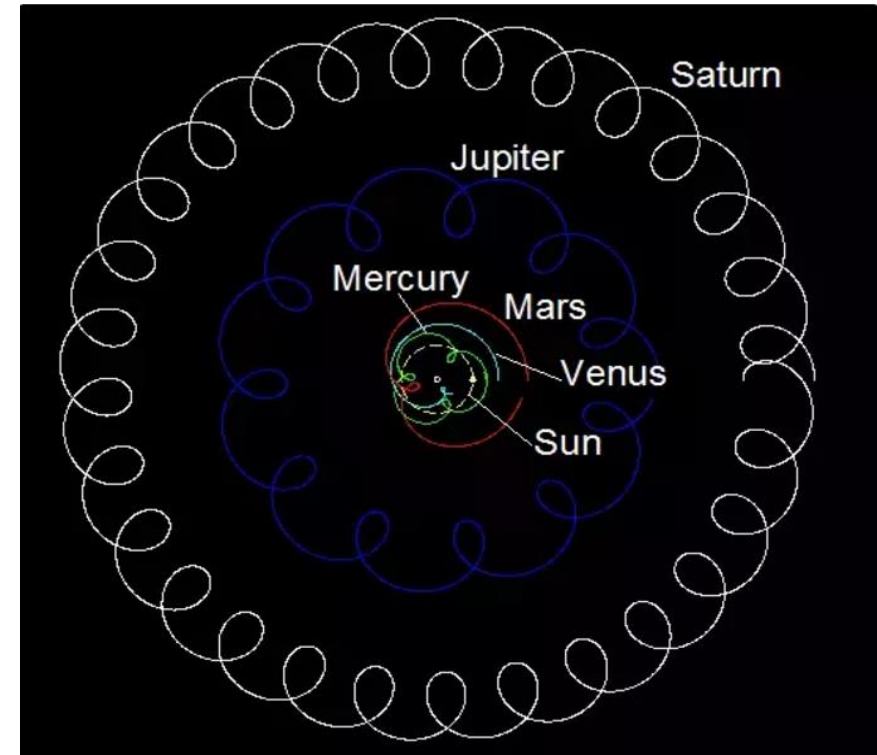
Come scegliere sistema di riferimento e coordinate

Per descrivere un fenomeno fisico dobbiamo definire il sistema di riferimento da cui lo osserviamo

-> *Non esiste un sistema di riferimento assoluto*

Osservando fenomeni astronomici solitamente si usano **sistemi di riferimento sferici con centro la Terra**

- Utile per individuare stelle sulla volta celeste
- Ma rendono complicato la descrizione del moto degli astri (*in figura il moto apparente dei pianeti del sistema solare*)



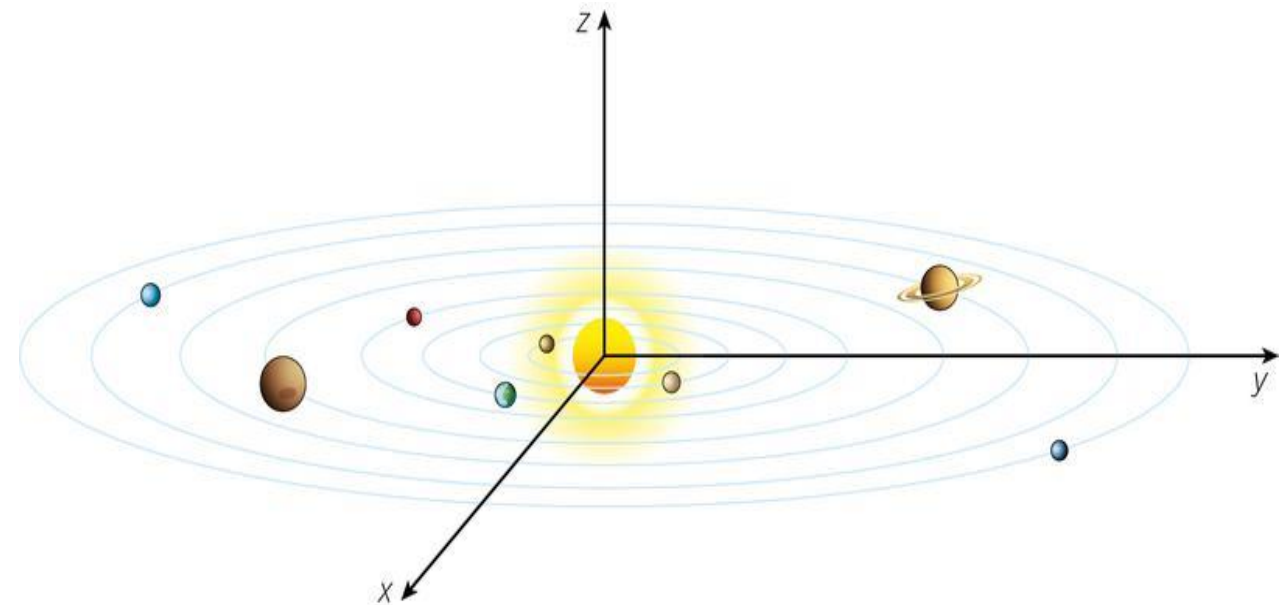
Come scegliere sistema di riferimento e coordinate

Per descrivere un fenomeno fisico dobbiamo definire il sistema di riferimento da cui lo osserviamo

-> ***Non esiste un sistema di riferimento assoluto***

Se ci poniamo invece in un sistema di coordinate con al **centro il Sole o invariante al moto della Terra**

⇒ Il calcolo e la descrizione delle orbite planetarie risulta più semplice



Come scegliere sistema di riferimento e coordinate

Per descrivere un fenomeno fisico dobbiamo definire il sistema di riferimento da cui lo osserviamo

-> *Non esiste un sistema di riferimento assoluto*

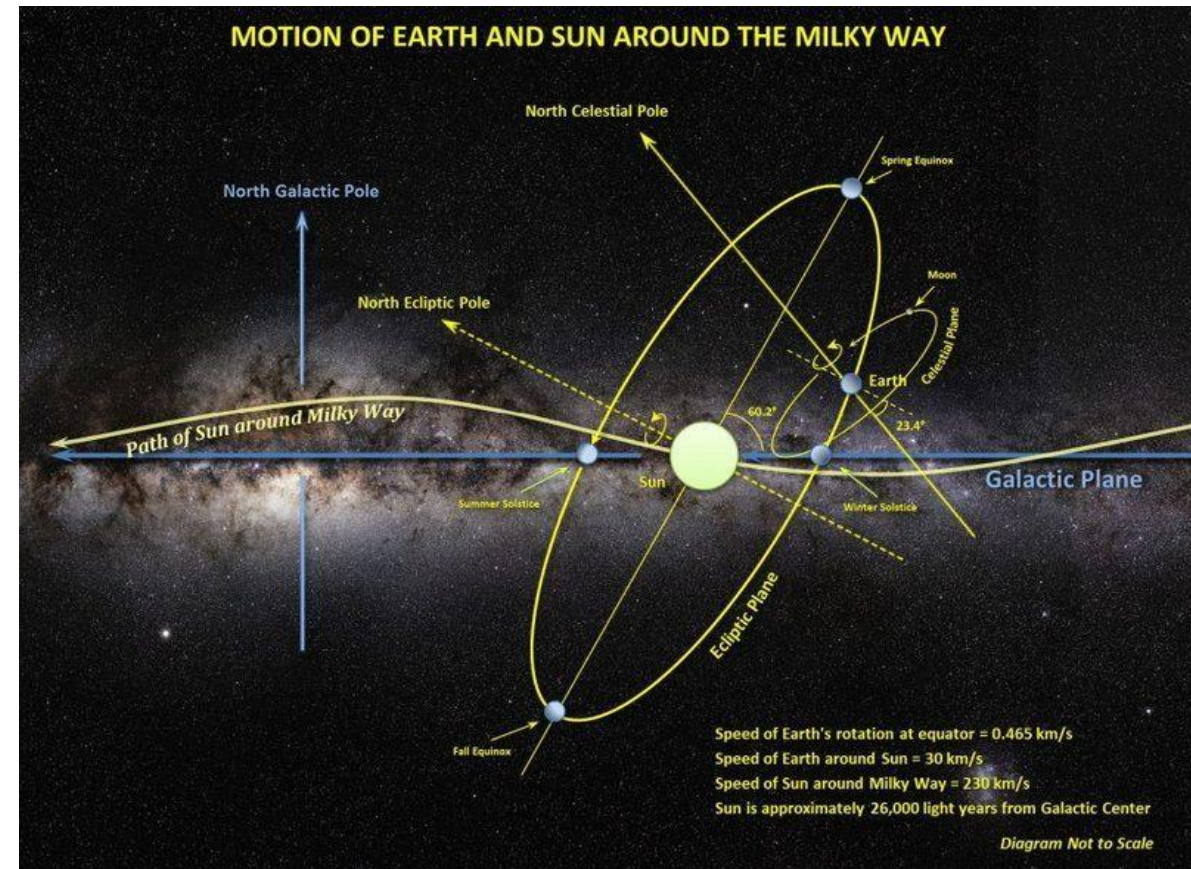
Esistono anche sistemi di **coordinate galattiche**

- Studio Via Lattea e galassie vicine

e **super-galattiche**

- Studio distribuzione galassie su grande scala

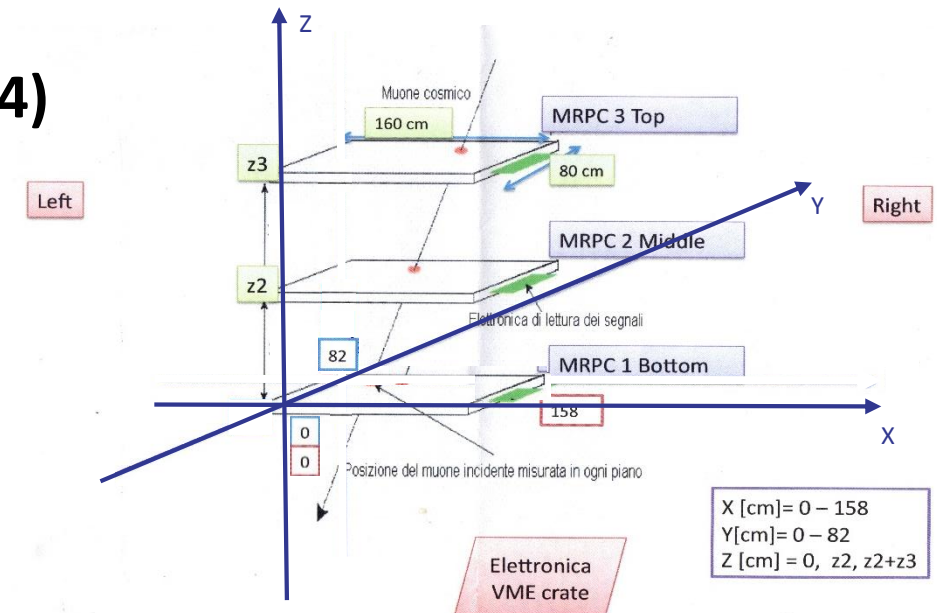
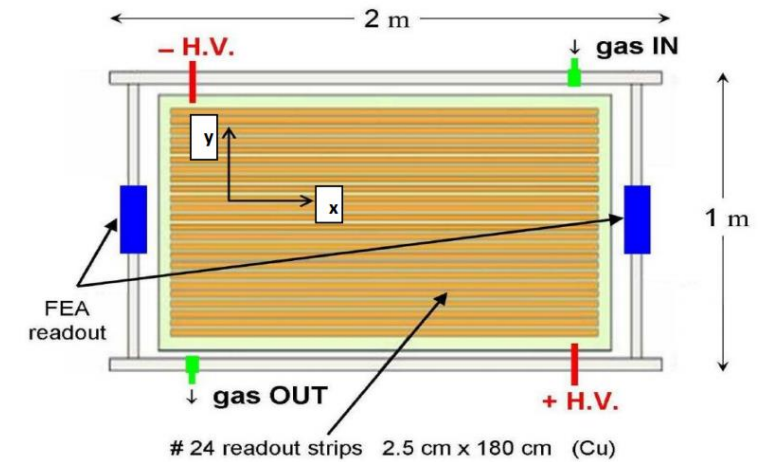
Si sceglie il sistema di riferimento che migliora e semplifica descrizione fenomeni osservati



Sistema coordinate locali telescopi EEE

Telescopio è costituito da 3 piani e possiamo identificare i punti di impatto tramite **coordinate cartesiane (x,y,z)**:

- Su ogni piano la **coordinata x** viene identificata dal **Δt dei segnali delle strip**,
- La **coordinata y** invece è identificata dalla **strip (1-24)** che ha generato segnale
- Identifichiamo la **coordinata z** mettendo a zero la camera in basso e conoscendo la distanza tra le camere ($Z_b = 0, Z_m = d_{12}, Z_t = d_{13}$)



Sistema coordinate locali telescopi EEE

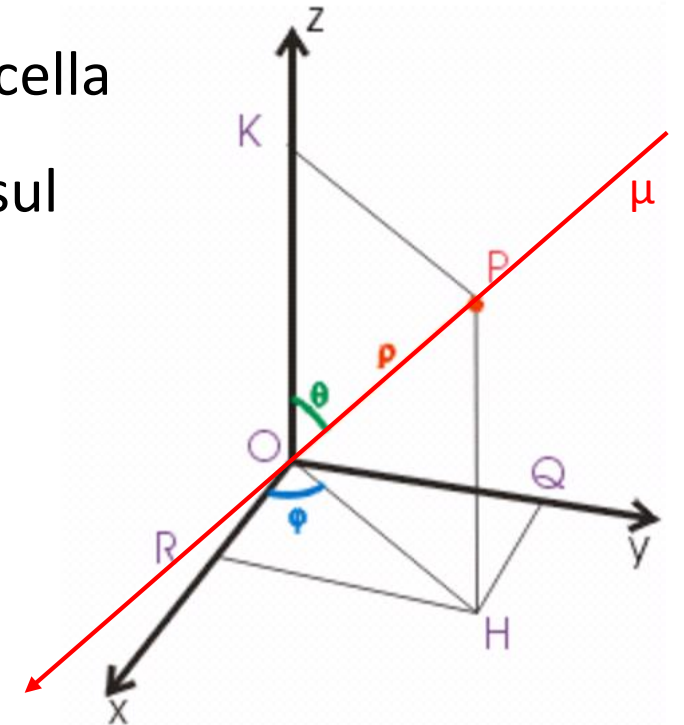
Le direzioni di arrivo dei muoni sono invece descritte da due **coordinate polari** (θ , φ):

- La **coordinata θ** è l'angolo tra l'asse z e la traccia della particella
- La **coordinata φ** è l'angolo tra l'asse x e proiezione traccia sul piano xy

Possiamo portare le coordinate x,y,z dei punti di impatto in **coordinate polari o sferiche**:

$$\begin{aligned}x &= \rho \operatorname{sen}(\theta) \cos(\varphi) \\y &= \rho \operatorname{sen}(\theta) \operatorname{sen}(\varphi) \\z &= \rho \cos(\theta)\end{aligned}$$

con ρ la distanza dei punti dal centro delle coordinate



Che analisi siamo in grado di fare?

- Studi riguardo variazione flusso di RC (indipendenti in prima istanza dal sistema di coordinate):
 - dovuto a fattori ambientali
 - dovuto ad attività solare (Forbush decrease)
- Studio degli eventi Upward-going (verso l'alto) e decadimento del muone (sufficiente il sistema cartesiano)

Variazioni per fattori ambientali - Pressione

Maggiore **pressione atmosferica**

⇒ maggior materia attraversata dai muoni nel loro percorso fino a terra

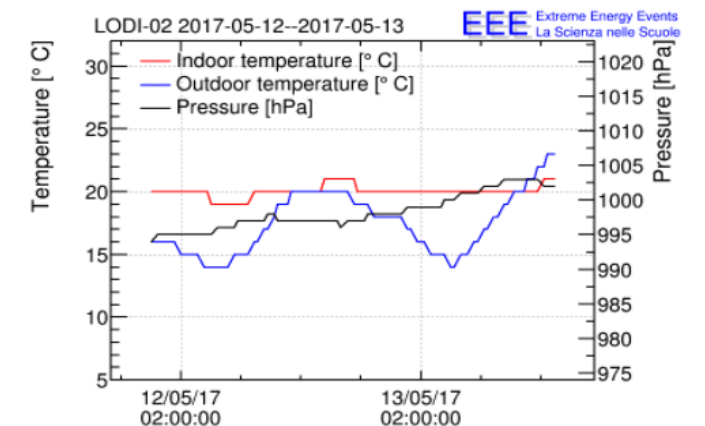
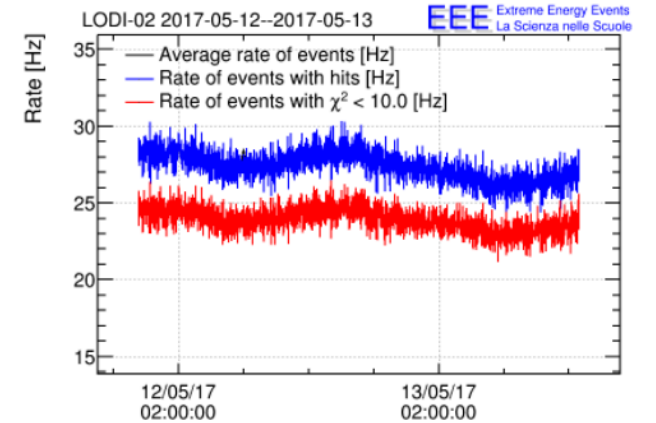
⇒ diminuzione della frequenza di tracce rilevate

Δf è inversamente proporzionale alla ΔP

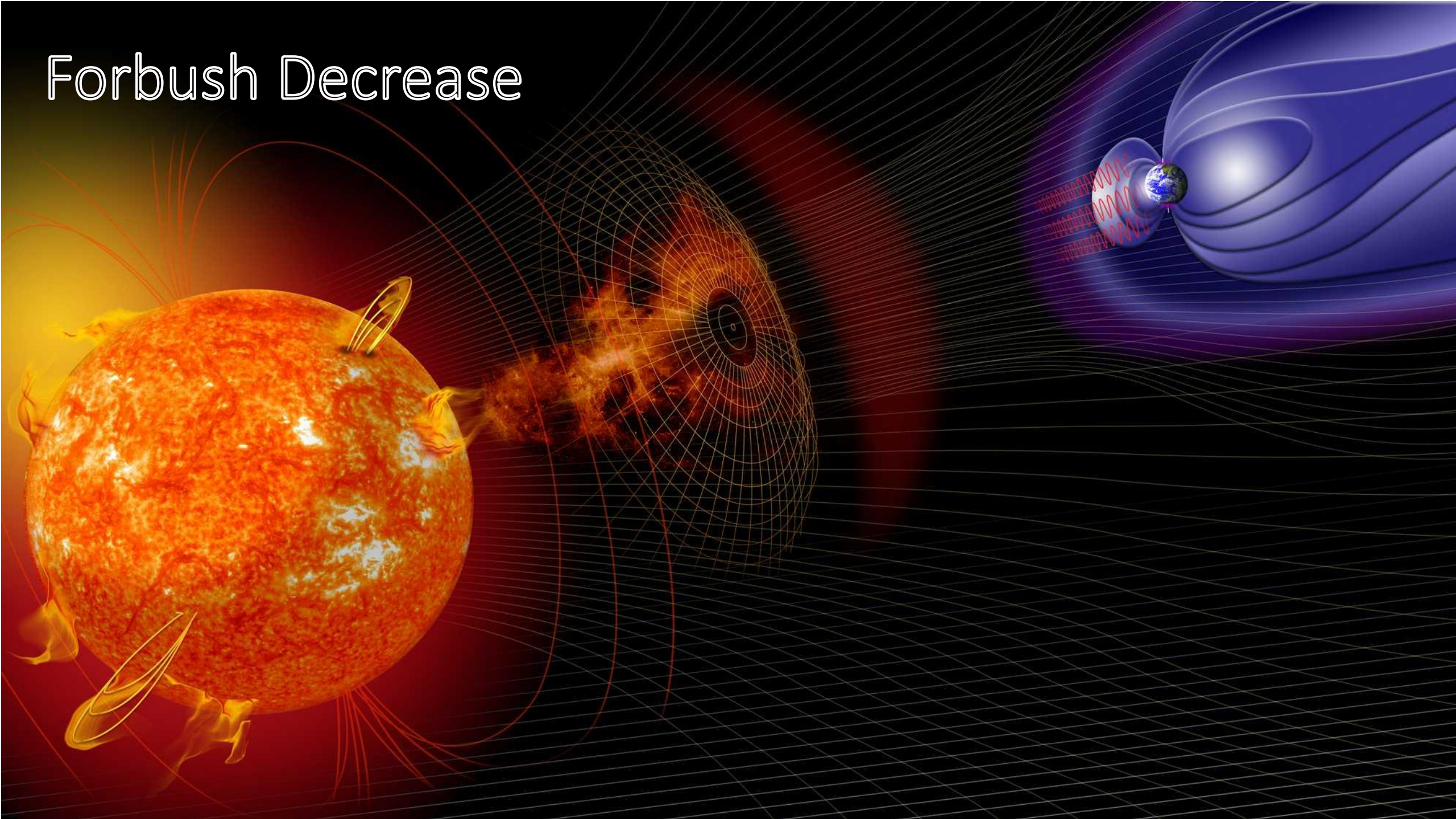
$$\Delta F \propto \frac{1}{\Delta P}$$

Stima coefficiente di anti-proporzionalità

=> correggere rate per studio di altri fenomeni (Forbush)



Forbush Decrease



Forbush Decrease

Variazione transitoria del flusso dei raggi cosmici osservati sulla Terra, causati da eruzioni solari (CME e Brillamenti)

1937-38 - Prima osservazione sperimentale del fenomeno a opera di S. E. Forbush.

- analisi statistica approfondita e degli effetti barometrici e di temperatura sul flusso dei RC

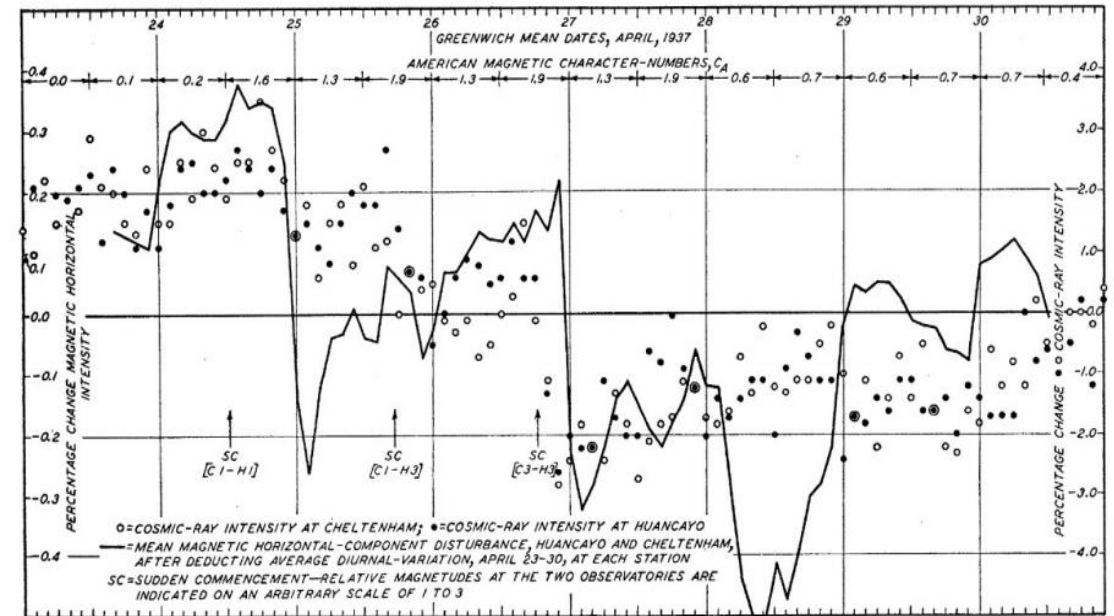
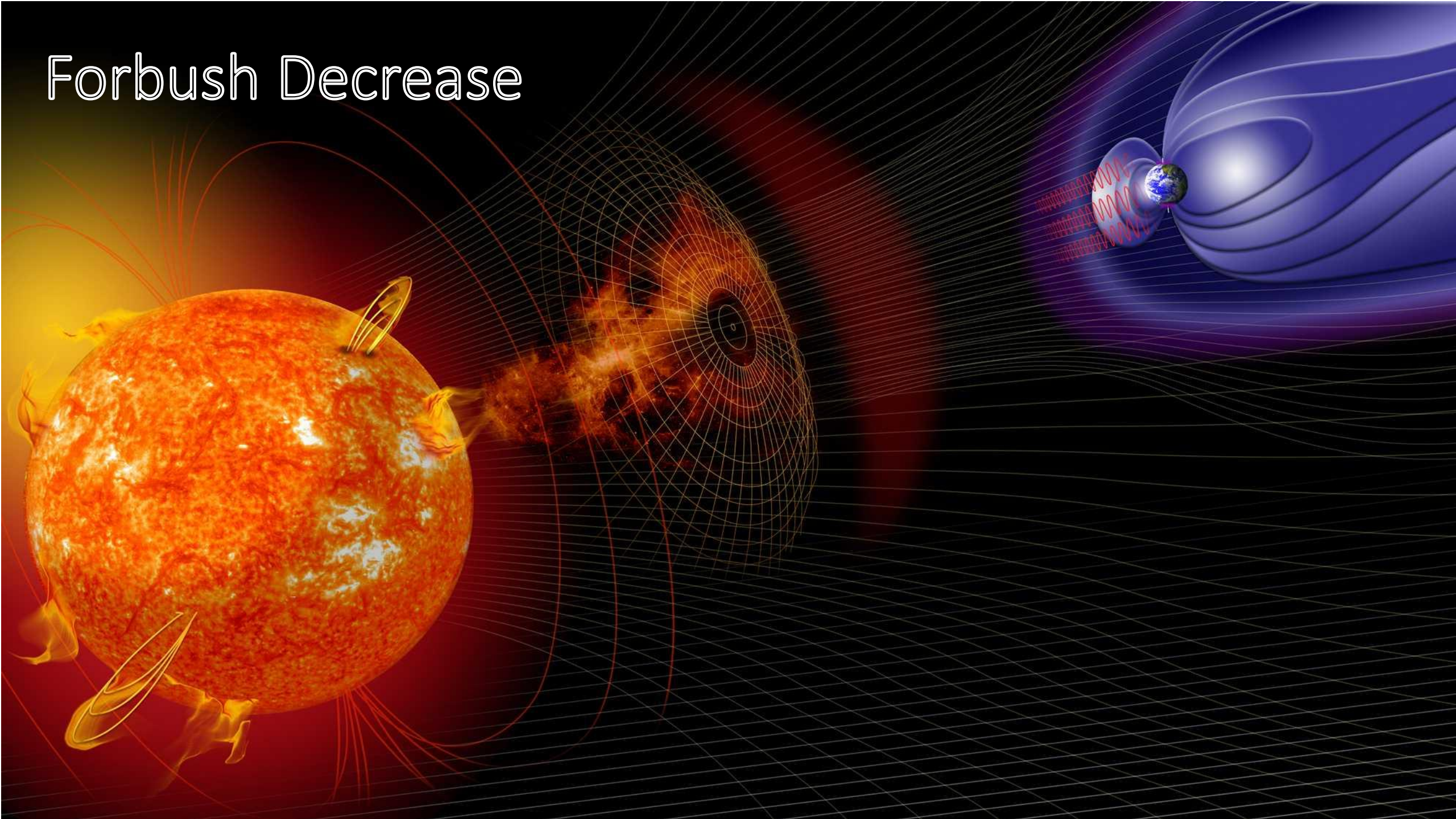


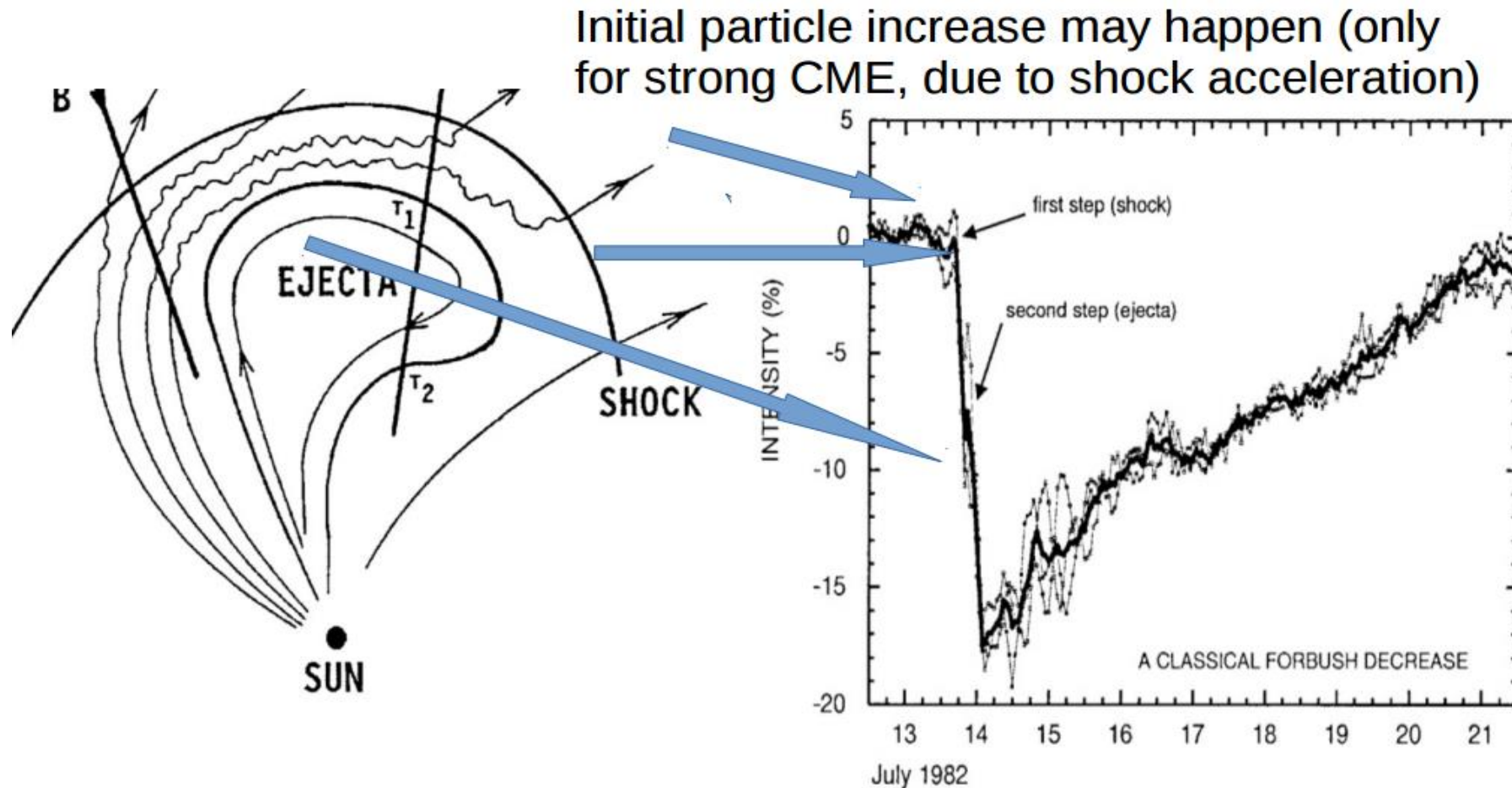
Fig. 1. Bi-hourly departures expressed in percentage of absolute values for cosmic-ray intensity and for disturbance of horizontal magnetic component April 23-30, 1937, Huancayo and Cheltenham magnetic observatories.

Forbush Decrease



Forbush Decrease

Effects on Galactic Cosmic Rays



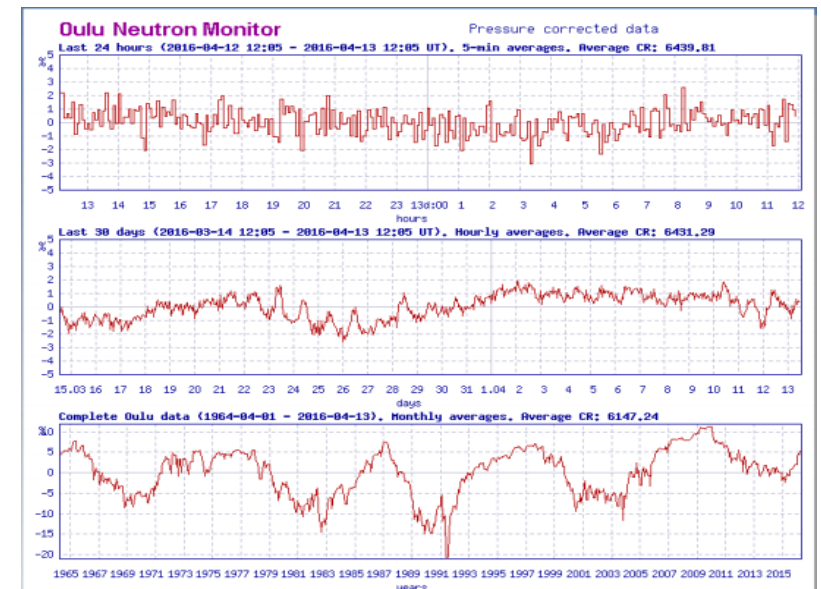
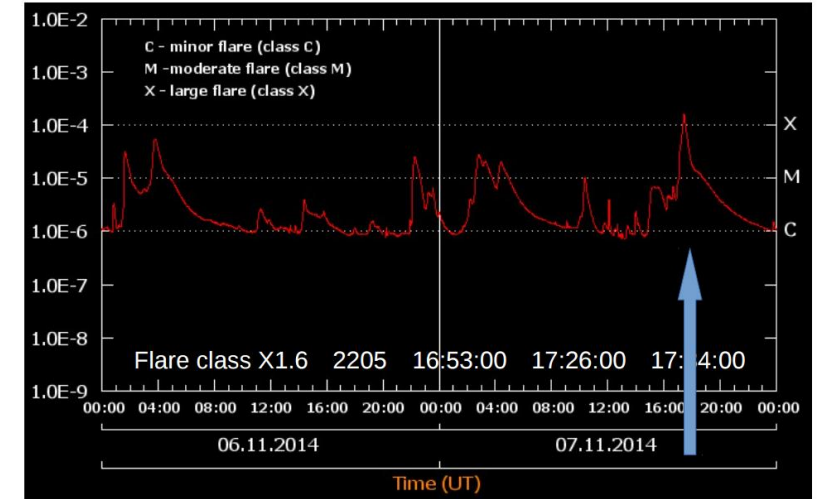
Forbush Decrease

Primo passo:

- individuare un evento solare di grande magnitudo dai sistemi di allerta ed archivi di questi fenomeni

Identificato il periodo dell'evento solare

- selezionati i dati contenenti variazione del flusso raggi cosmici, (**2-3 giorni dopo allerta**)
- corretti per pressione e temperatura,
- confrontati con i dati dai monitor di neutroni,
 - Oulu in Finlandia o Moscow in Russia.



Eventi Upward-going

I dati restituiscono molte informazioni

- **Tempo di volo (TOF)** -> differenza di tempo tra hit top ed hit bottom

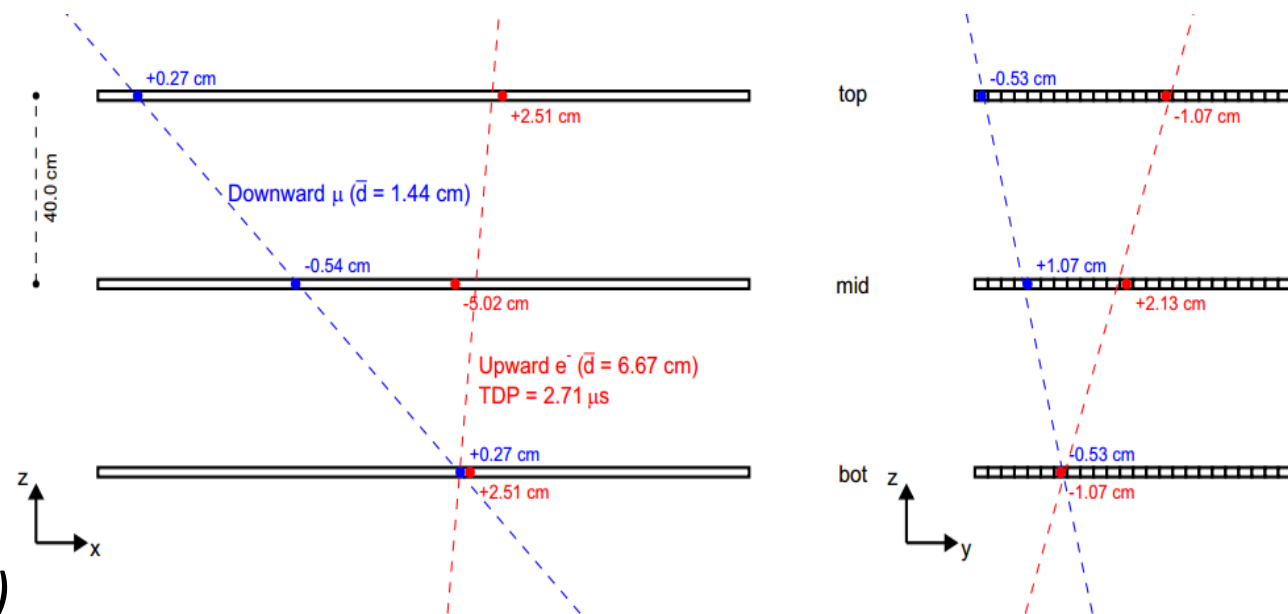
- **Eventi con tempo di volo negativo**

⇒ sono eventi che viaggiano verso l'alto

Come interpretiamo questi eventi?

- *Traiettorie 'poco dritte' (χ^2 un po' + alto)*

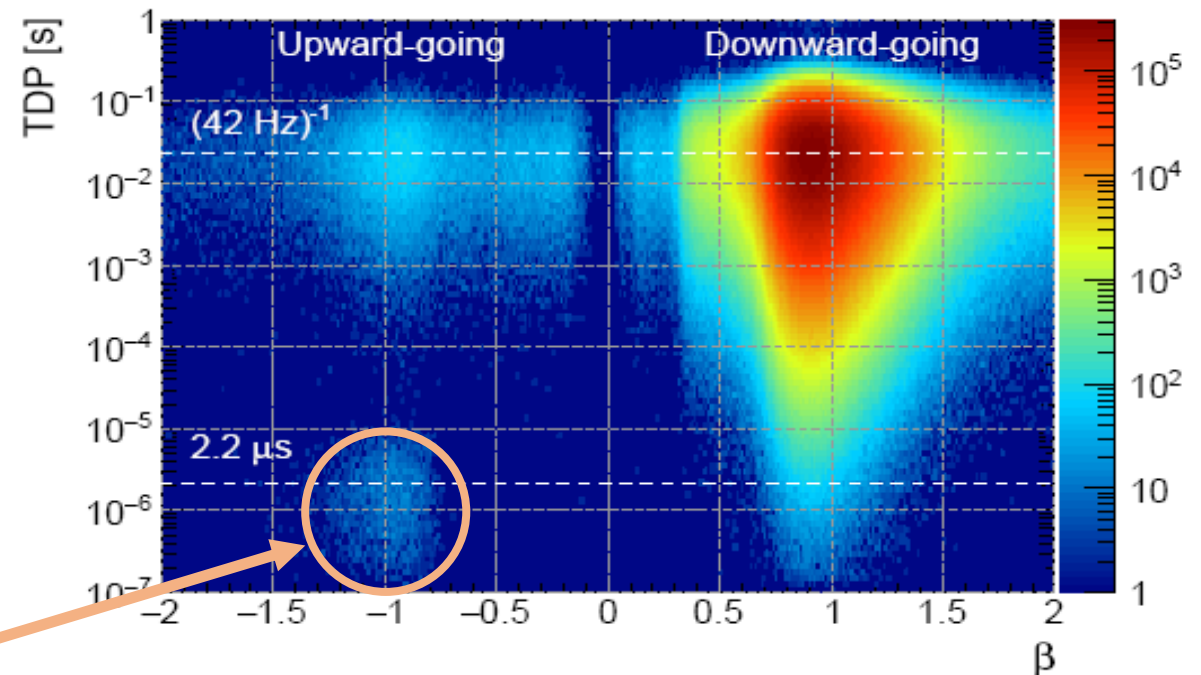
⇒ e^\pm relativistico prodotto da decadimento di μ^\pm ($\tau = 2.2 \mu\text{s}$) precedente



$$\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \nu_{e/\mu} + \bar{\nu}_{\mu/e}$$

Eventi upward-going

- Come verificiamo l'ipotesi?
 - Ricerca combinazioni evento downward-going preceduti da up-going
 - Studio della differenza di tempo con l'evento precedente (**TDP**)
 - Cercare possibili correlazioni con tempo di decadimento del muone
- **2 popolazioni con $\beta < 1$ identificati chiaramente**
 - Una con TDP $\sim 2 \mu\text{s}$



Limiti del sistema di coordinate locali

- Possiamo fare diverse analisi, ma:
 - Ogni stazione è sistema a se stante
 - Possibili solo correlazioni temporali (GPS) tra telescopi distinti ma non direzionali
- Dobbiamo identificare un riferimento comune tra i telescopi
 - Conoscere l'orientazione telescopi rispetto a punto fisso (Nord Geografico) e la sua posizione su globo (latitudine e longitudine)

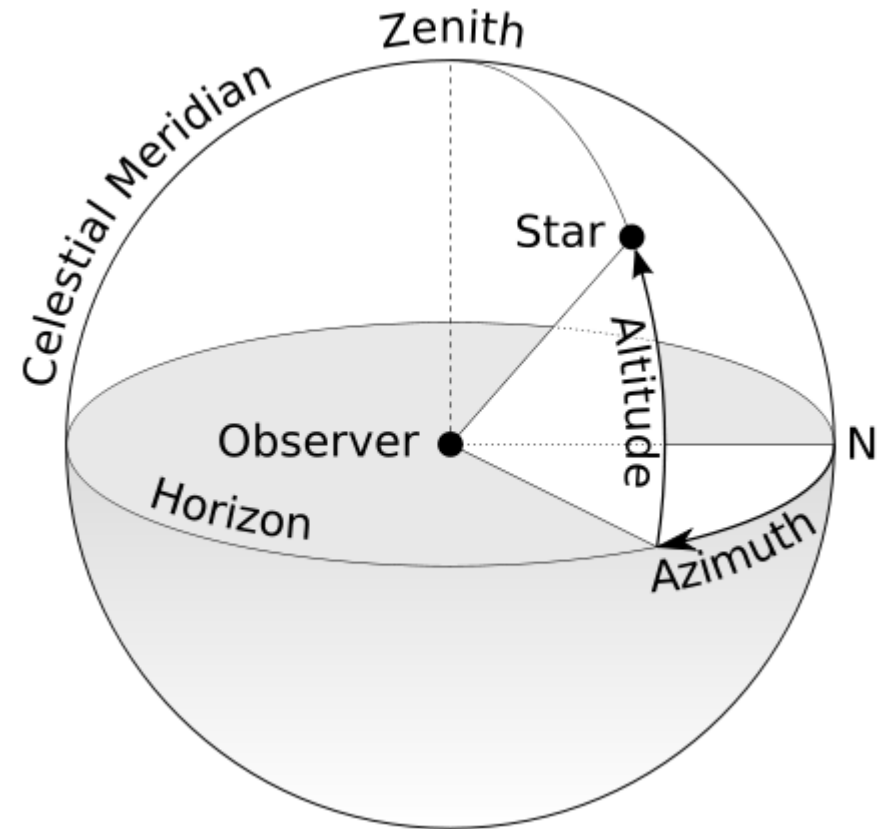
Sistema altazimutale

Il **sistema altazimutale** (o orizzontale) è un sistema di coordinate astronomiche che permette definire le posizioni degli oggetti sulla sfera celeste partendo da un **osservatore fisso rispetto alla Terra (telescopio)**.

Sistema altazimutale

- Coordinate simili a quelle polari:
 - L'**azimut (A)** è l'angolo formato dal piano del *cerchio verticale* passante per un punto (per esempio sulla traiettoria del μ) e un certo punto di riferimento.
 - **Altezza (h)** è l'angolo tra un punto sulla sfera celeste e il *piano dell'orizzonte* su cui poggia l'osservatore
 - La **distanza zenitale (z)** è l'angolo complementare dell'altezza (h):

$$z = 90^\circ - h$$



Sistema altazimutale - Telescopio

Come trasformiamo il sistema di coordinate locali dei telescopi ?

- La **coordinata θ locale** è già la distanza zenitale della traiettoria dei μ rilevati
- La **coordinata φ locale** va invece ruotata dell'angolo tra l'asse x e un punto di riferimento

Che punto di riferimento scegliamo per orientare tutti i telescopi?

-> Utilizziamo il punto cardinale Nord Geografico

Cosa è cambiato?

Unificazione dei sistemi di riferimento dei telescopi della rete possiamo mettere in relazione i dati di più rivelatori



Attuare correzioni e tagli sulle direzioni di arrivo delle particelle

+

Dati GPS



Ricerca di coincidenze tra telescopi vicini (a una certa distanza ΔL)

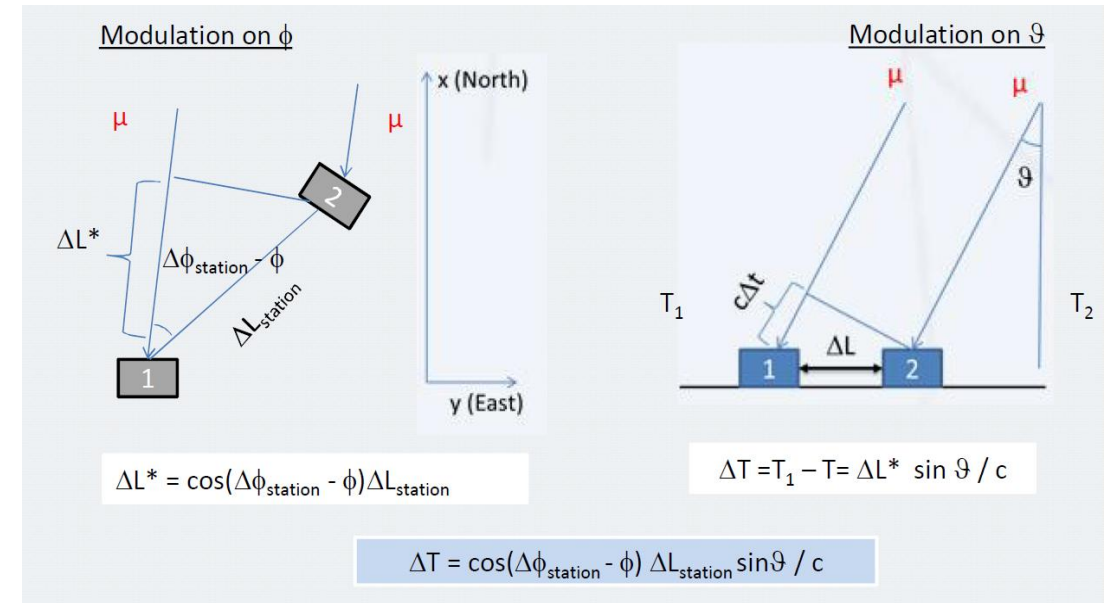
Coincidenze tra telescopi

Cercando eventi 'simultanei' (GPS) tra telescopi vicini **studiamo gli sciame**

Basta la 'simultaneità' (entro un certo ΔT) ? -> **Non è sufficiente**

ΔT per verifica coincidenze dipende da ΔL telescopi -> servono alcune correzioni:

- Direzione angolare di arrivo dello sciame
- Posizione angolare dei telescopi dall'asse dello stesso
- Concentrarsi su direzioni di arrivo //



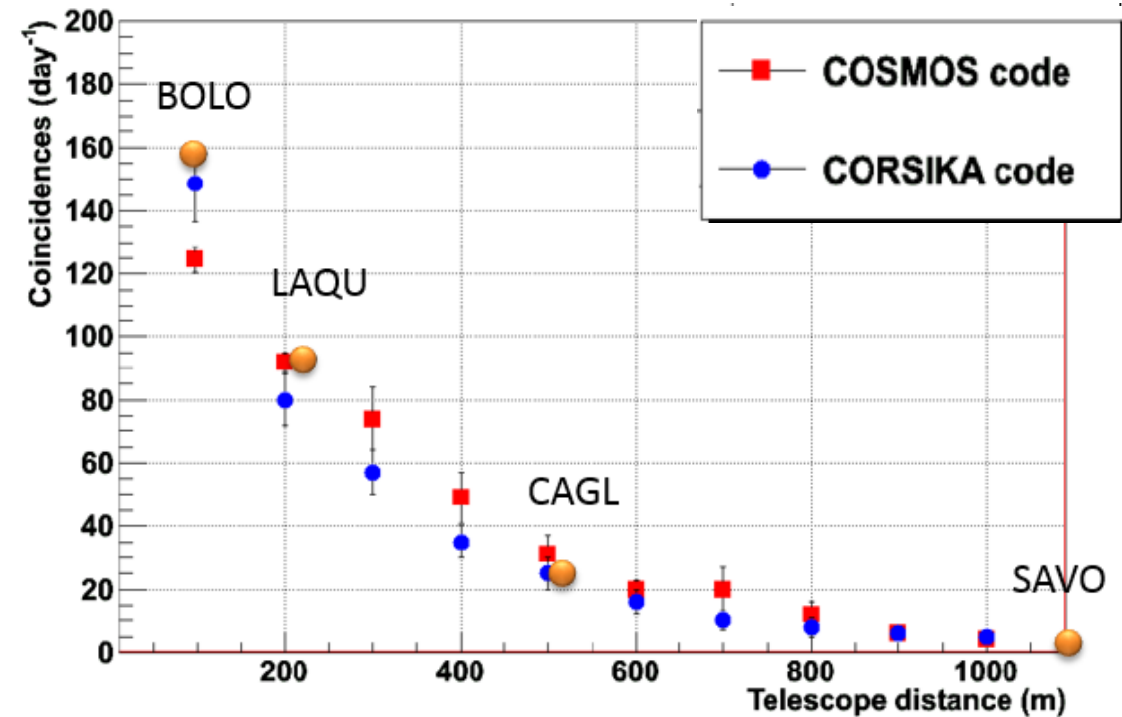
Correzioni che ci permettono di selezionare correttamente i dati e riducono il fondo di coincidenze casuali

Coincidenze tra telescopi

I risultati trovati sono in accordo con le previsioni

⇒ All'aumentare della distanza la il numero di coincidenze diminuisce

⇒ *Rari sciami molto estesi e quindi prodotti da RC di alta energia*



Limiti del sistema altazimutale

Nel sistema altazimutale 'l'osservatore è fisso' (rispetto alla Terra), **ma:**

la Terra si muove

=> coordinate oggetto (fenomeno) osservato cambiano nel tempo

Il sistema delle coordinate rimane **locale** (riferito al telescopio)

=> non tiene conto della **curvatura terrestre**

=> μ visti // da due telescopi non lo sono

=> effetto importante per telescopi
distanti 100-1000 km



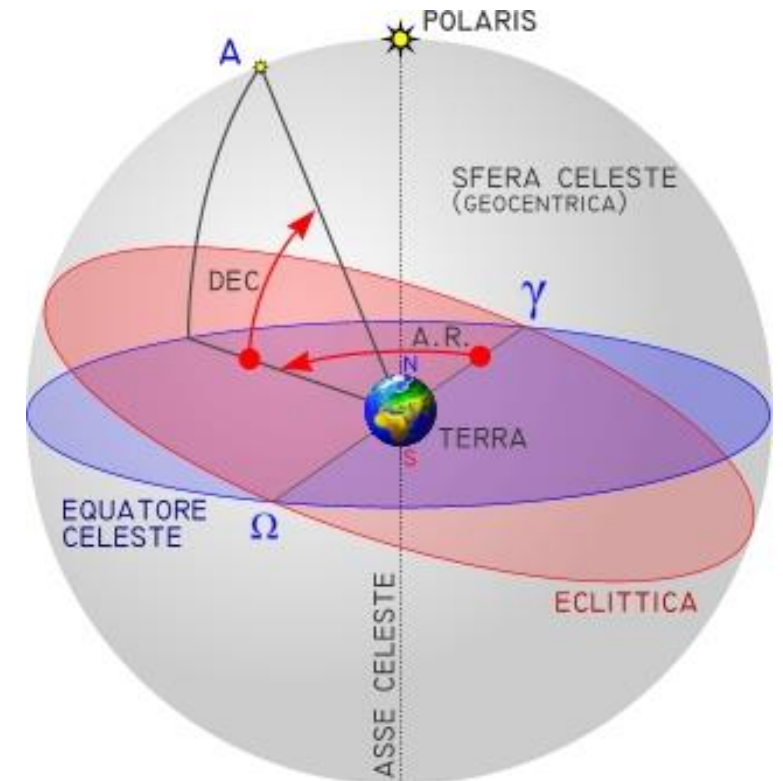
Serve sistema coordinate non locale e invariante nel tempo

Coordinate equatoriali geocentriche

Coordinate equatoriali usate per indicare la posizione degli oggetti sulla volta celeste

Il **piano di riferimento** è la proiezione dell'equatore della terra sulla sfera celeste ed il **centro del sistema** è il centro della Terra

Questo sistema di coordinate non ruota con la Terra ma rimane fisso rispetto alle stelle

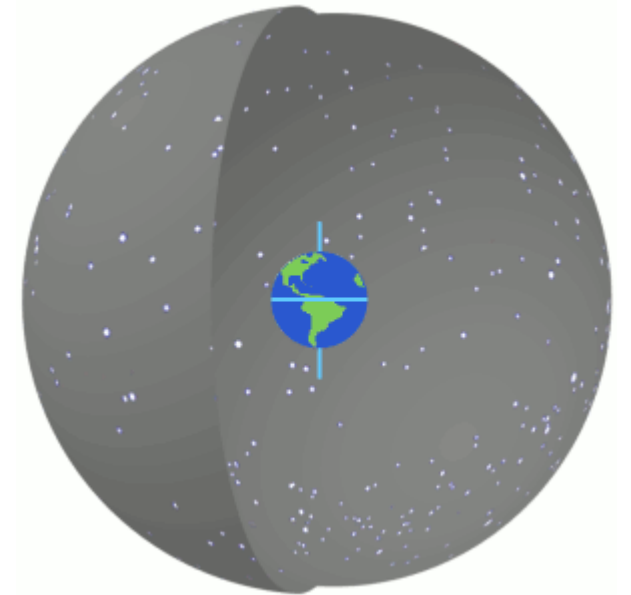


Coordinate equatoriali geocentriche

Le coordinate sono:

L'ascensione retta (α o RA) è la distanza angolare oggetto lungo l'equatore celeste. Partendo dal **punto vernale** (γ intersezione eclittica ed equatore) fino al cerchio orario che passa per l'oggetto.

Declinazione (δ o Dec) è distanza angolare oggetto perpendicolarmente all'equatore celeste (+ \uparrow N; - \downarrow S)



Da altazimutali a equatoriali

Per passare al sistema di coordinate equatoriali abbiamo bisogno di sapere:

- Latitudine e longitudine del sito
- Coordinate polari θ , φ
- Tempo dell'evento in UTC time

La trasformazione è complessa e richiede l'utilizzo di algoritmi.

Cosa riusciamo a fare ora

Sistema di riferimento invariante rispetto al moto della Terra



Studio di fenomeni fuori dalla sfera terrestre



Anisotropie



Correlazioni a
lunga distanza

Anisotropie

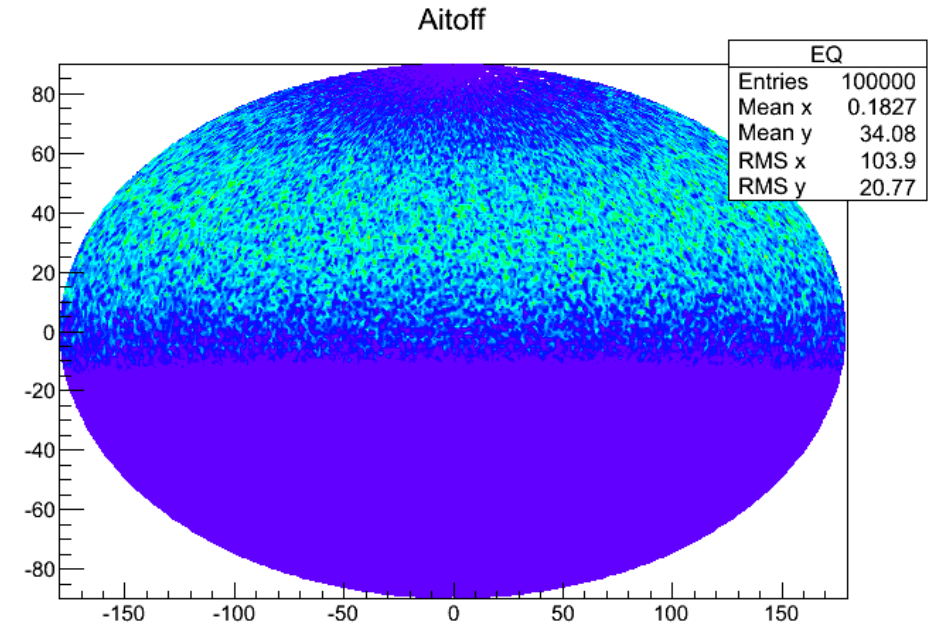
- RC galattici -> **distribuzione isotropa**.
 - indicazioni di deviazioni dalla isotropia ($<10^{-3}$) a basse energie
- Possibili effetti che le causano:
 - **$E_{RC} \ll 10^{15}$ (PeV)**
 - Interferenza da fenomeni di larga scala e peculiarità dei campi magneti locali
 - **$E_{RC} < 10^{12}$ (TeV)**
 - Fenomeni consistenti dalla Eliosfera e di origine terrestre
 - **Effetto Compton-Getting**, dovuto al moto della terra intorno al sole
 - Previste anisotropie dell'ordine 10^{-4}

Anisotropie

Come le rileviamo?

Livelli di anisotropie $< 10^{-3}$ richiedono:

- Ricostruzione delle direzioni di arrivo dei RC
 - Rilevatori traccianti -> **Camere MRPC**
- **Grande statistica** -> Lunghi tempi di acquisizione (anni)
 - Prese dati continue nel tempo



**Porzione di cielo vista da un telescopio EEE
(~ 37° lat.N) in 24 ore di presa dati**

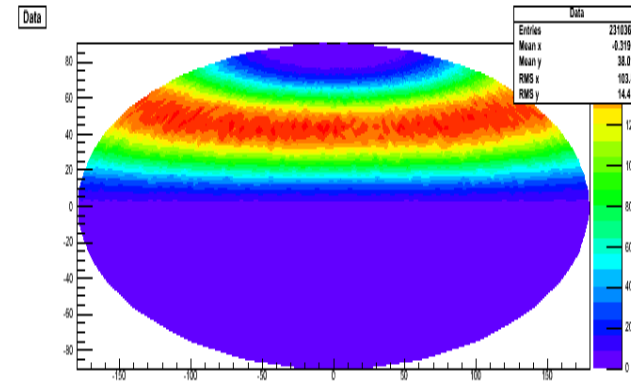
Anisotropie

Come facciamo l'analisi?

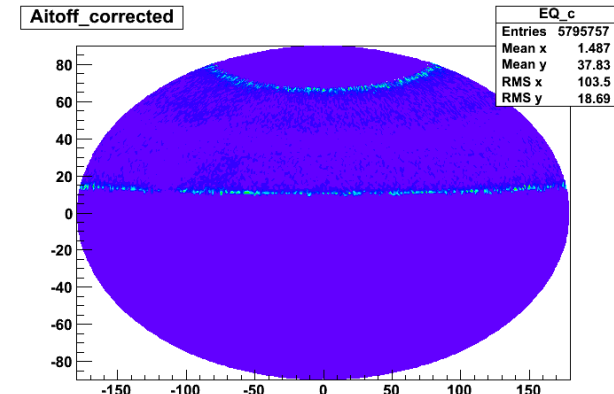
Portarsi in coordinate equatoriali

Dati corretti per l'accettanza geometrica e tempo di esposizione

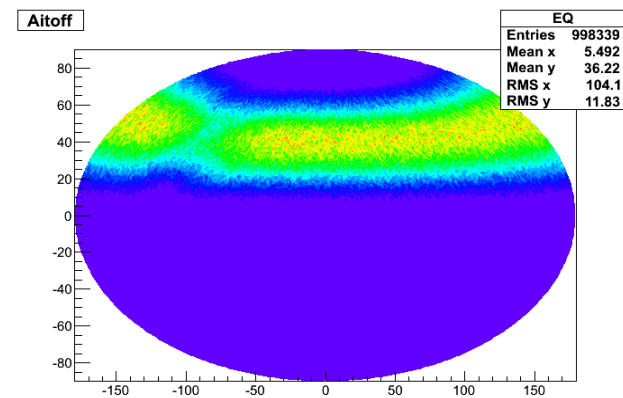
- Esclusi dall'analisi giorni con **tempo di esposizione troppo discontinuo**



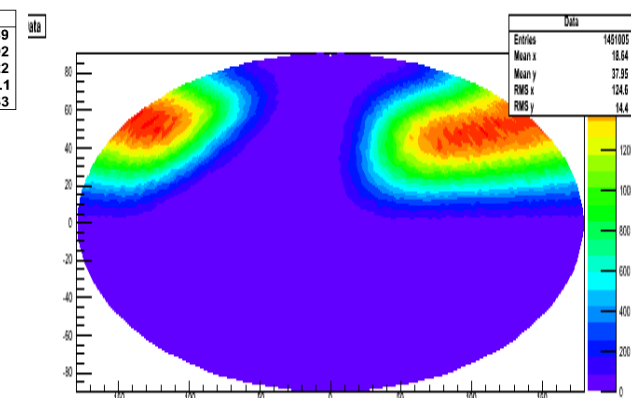
Esposizione Continua



Accettanza Corretta



Non corretta



Discontinua

Ricerca correlazioni a lunga distanza

Telescopi vicini (fino a ~ 10 km)

\Rightarrow Studio dei singoli sciami di RC

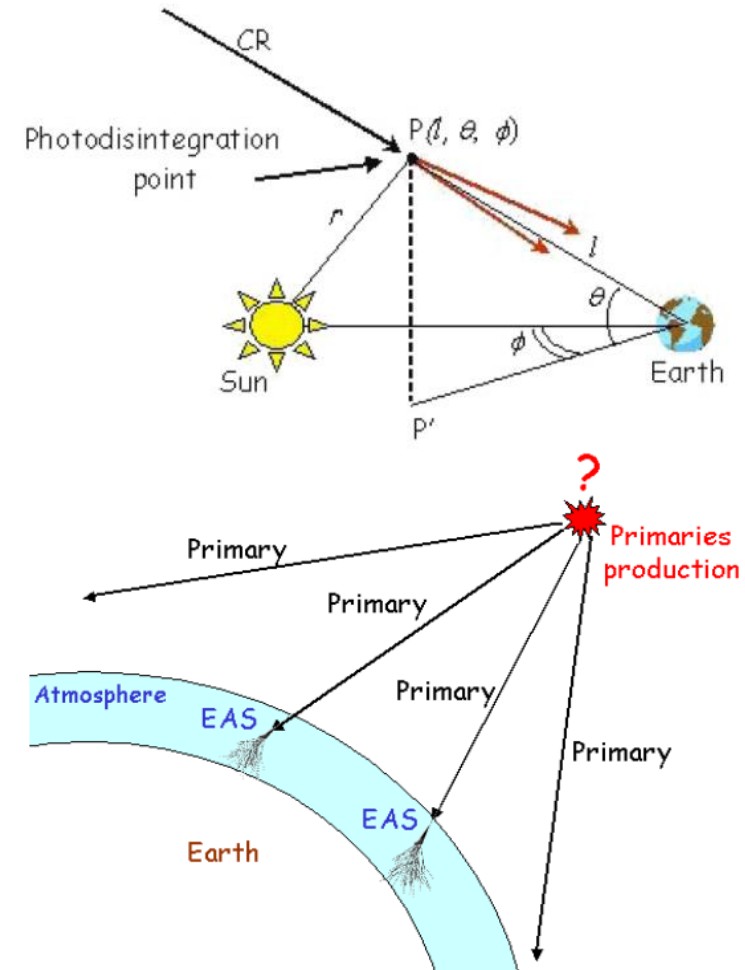
Telescopi distanti (100-1000 km)

\Rightarrow individuare la coincidenze tra due distinti sciami

Fenomeni coinvolti

- **Modello Gerasimova-Zatsepin (GZ)**, interazione RC con γ solare
- Interazione RC con il mezzo interstellare
- Emissione sincrona da una sorgente di RC

Sono tutti fenomeni rari



Ricerca correlazioni a lunga distanza

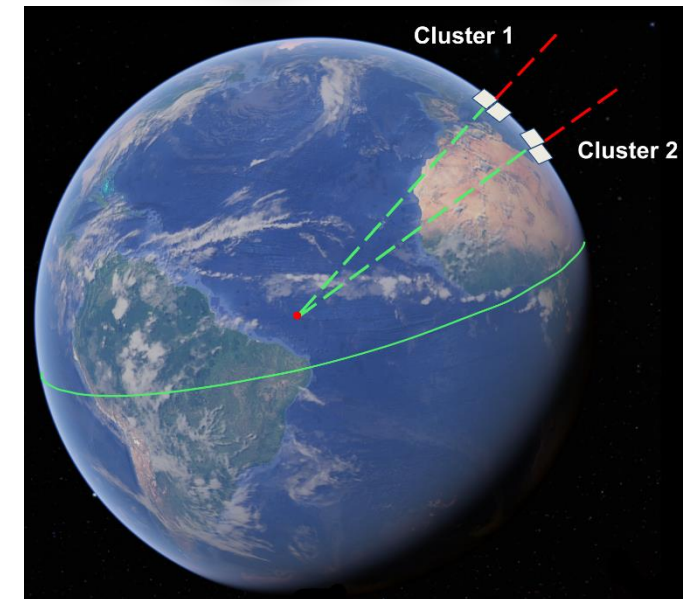
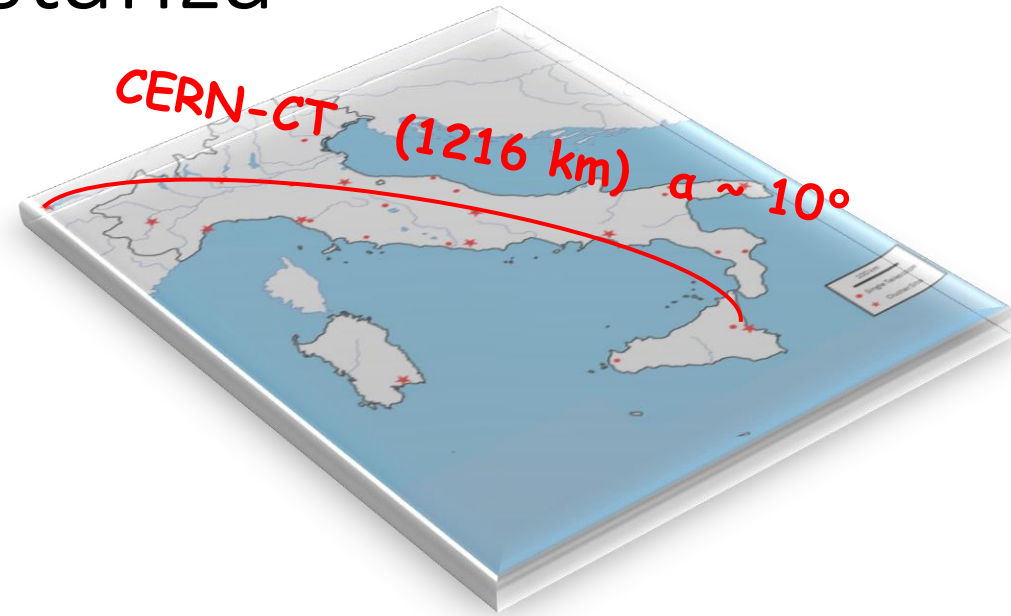
Cerchiamo correlazioni tra siti con 2+ telescopi (★) (vedere masteclass di Edoardo)

Come coincidenze tra telescopi vicini

- Correzioni per ΔL tra telescopi
- Direzioni di arrivo //

Ma:

La **curvatura terrestre** è fattore importante
⇒ Necessità di conoscere la distanza angolare tra i siti coinvolti



Introduzione Misura distanza angolare

Misura altezza sole per calcolare distanza angolare
Erice - TREV,LODI,TORI

=> descritta nel dettaglio sulla guida

Metodo misura **analogo Nord Geografico**

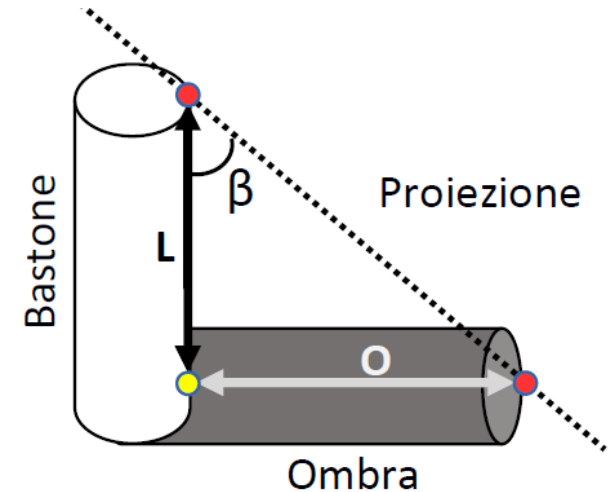
Necessità di **lavorare in gruppo/i**

=> confronto misure fatte

Fare più misure

=> ridurre errore sui dati

Infine si calcolerà il raggio terrestre



Introduzione Misura distanza angolare

Come si svolge la misura?

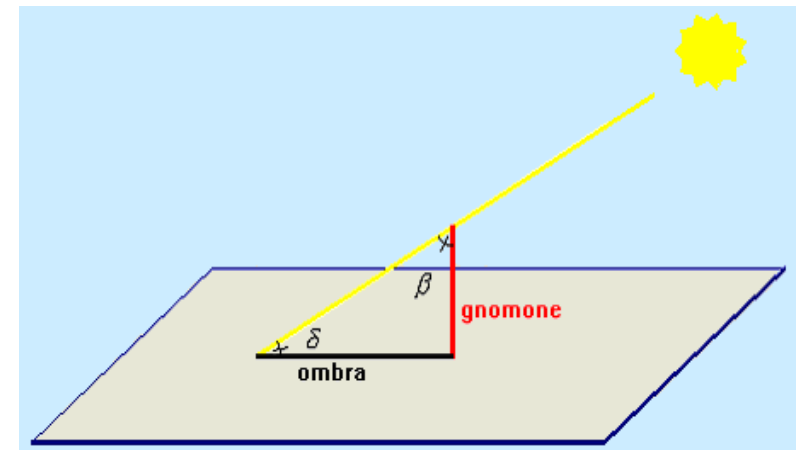
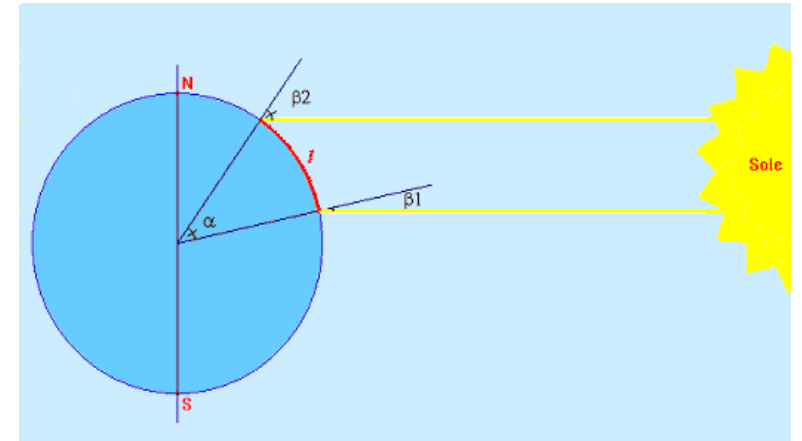
- Si misura la **lunghezza dell'ombra** da un manico di scopa grandezza nota proiettata dal sole al suo massimo
- Si calcola **l'angolo di inclinazione**:

$$\beta = \tan^{-1} \frac{O}{L}$$

- La **distanza angolare** (ΔLat) è calcolata facendo la differenza tra il β_{erice} e il $\beta_{\text{TO-LO-TR}}$
- Infine tramite la proporzione:

$$(\beta_2^\circ - \beta_1^\circ) : 360^\circ = d_{12} : 2\pi r$$

si calcola il raggio terrestre



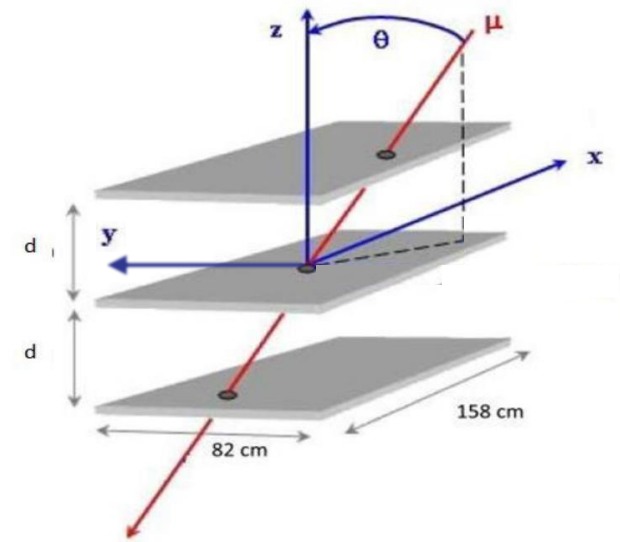
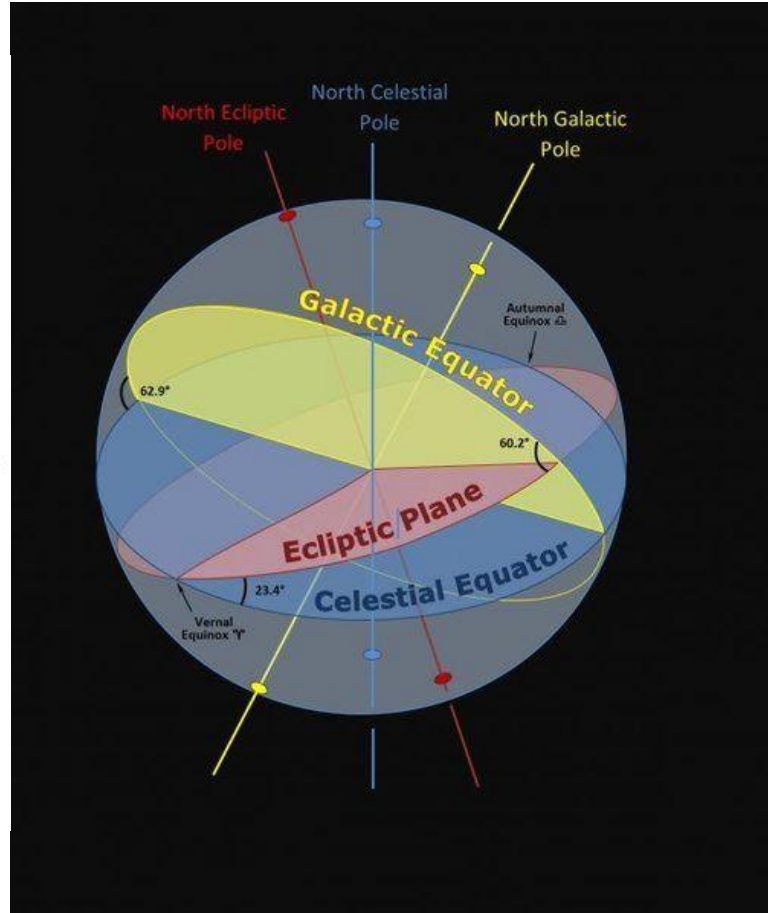
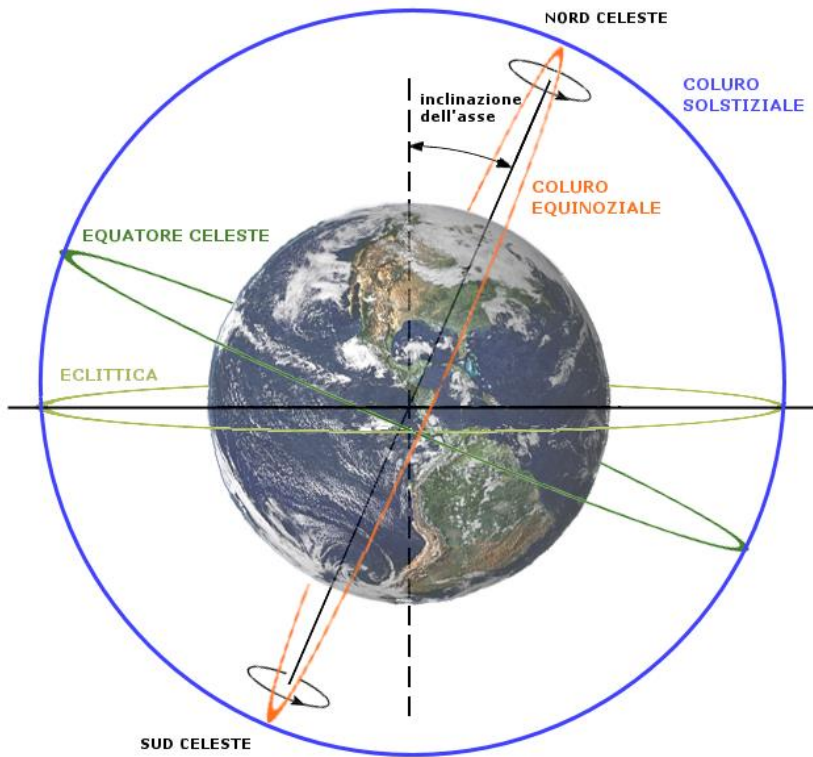
Grazie per l'attenzione
Ora simuleremo la misura seguendo la guida



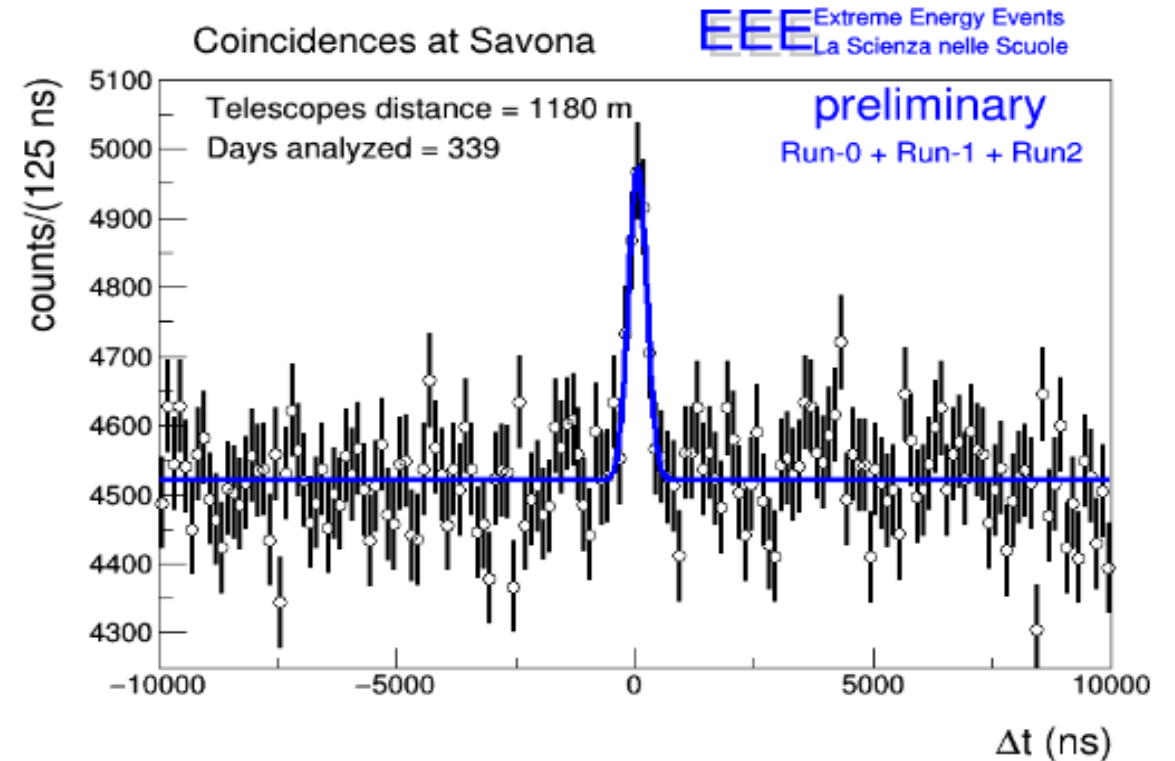
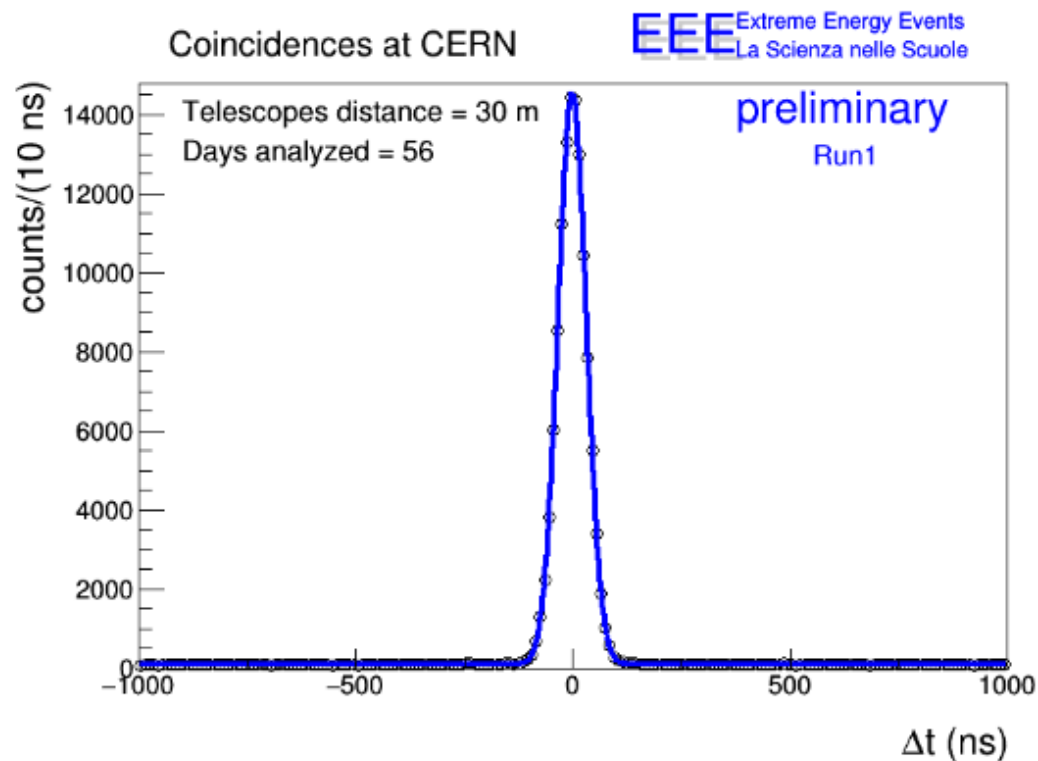
Poi un manico di scopa per gruppo e buona misura

Backup

Immagini backup



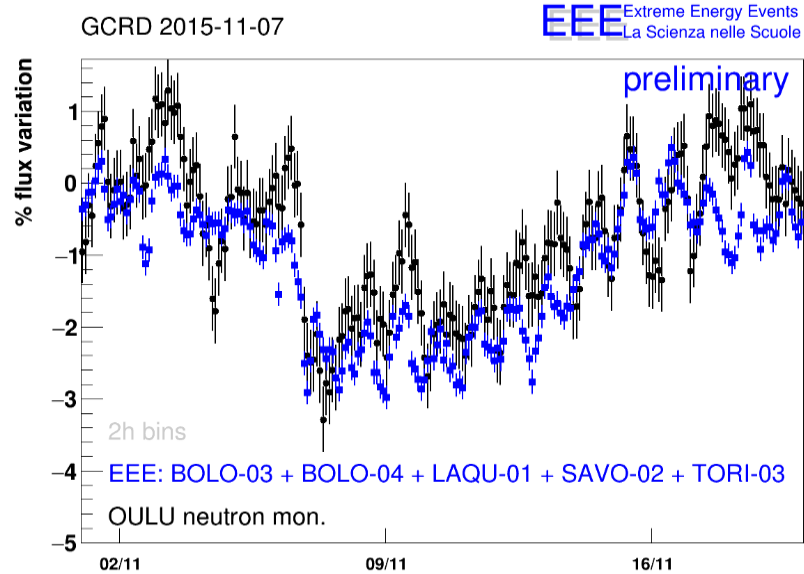
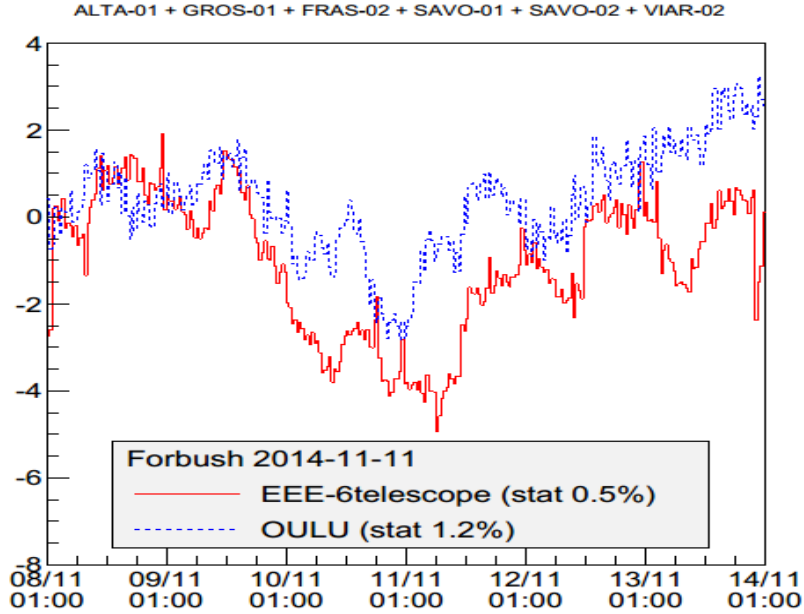
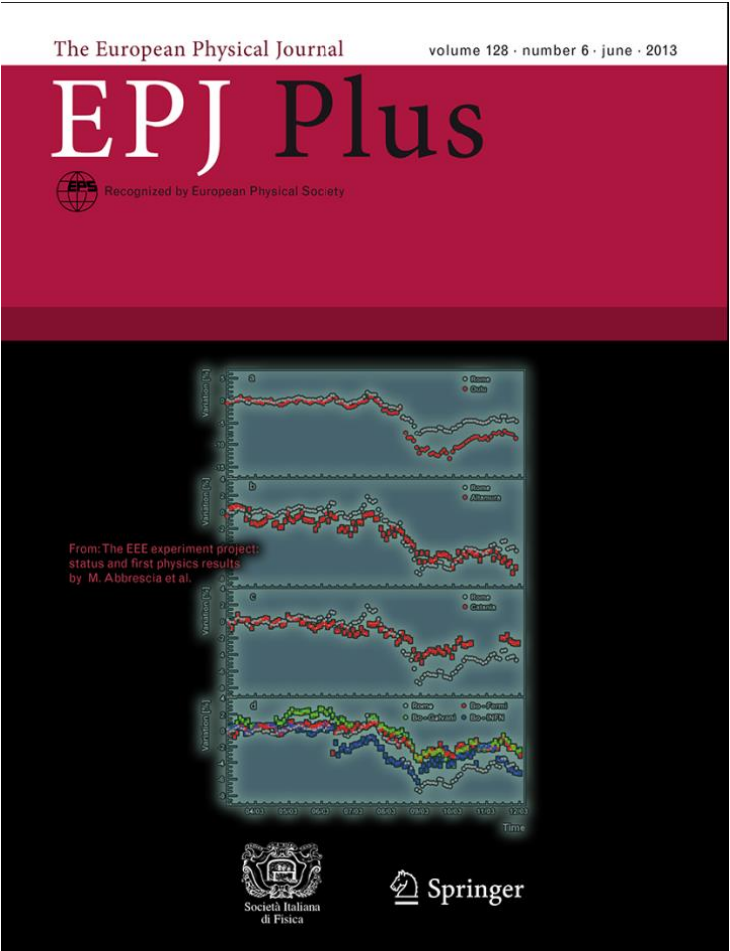
Coincidenze tra telescopi



Quante coincidenze vediamo? -> dipende da distanza telescopi

- Le stazioni più vicine (CERN01/CERN-02, 30 m) vedono 2131 coincidenze al giorno
- Le stazioni più lontane (SAVO-01/SAVO-02, 1180m) vedono circa 5 coincidenze al giorno

Forbush Decrease



Eventi upward-going

- Quanti sono?
- Su di un campione di $1,3 \cdot 10^8$ eventi analizzati
 - **~ 0,005% sono decadimenti (il 6% degli eventi upward-going)**

Anisotropie

- Cosa abbiamo rilevato?
- Da analisi preliminare di 10^9 eventi da 23 stazioni diverse
 - Tracce di alcune anisotropie ($< 10^{-3}$)
 - Statistica ancora troppo bassa
 - Incrementare stazioni e tempi di acquisizione

