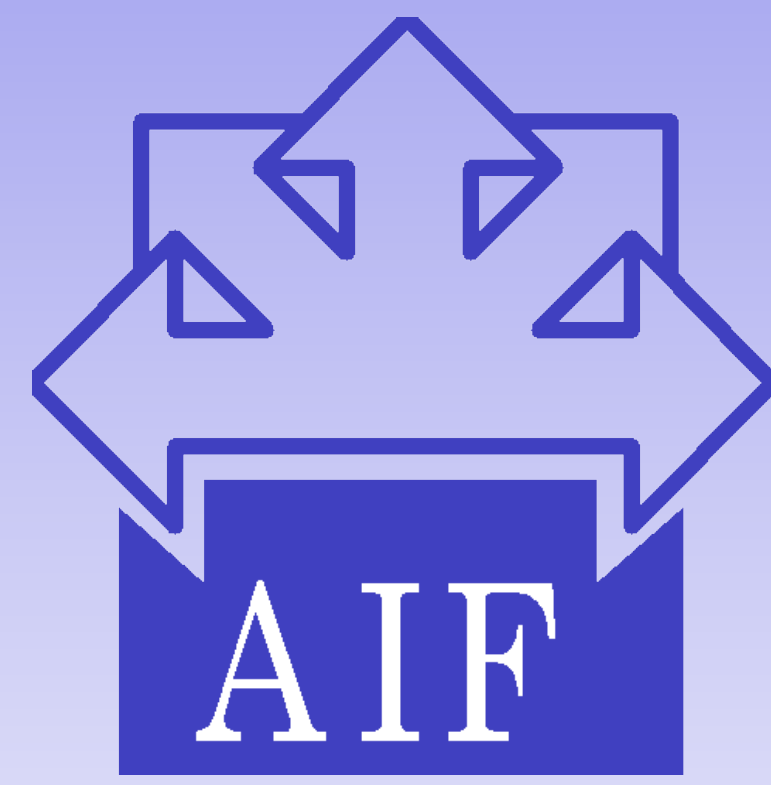


# Progetto Micro Macro: percorsi di Astrofisica per classi quinte



Alborni Maria, Amicizia Benedetta, Arcidiacono Fabio, Baiamonte Mauro, Bertoni Carlo, Casali Maurizio, Donini Gastone, Fabbri Mariagrazia, Focardi Silvia, Foschi Alessandro, Greggi Gisella, Helgesson Peter, Maiani Marina, Melley Stefania, Severi Michele, Targa Elisa, Tassinari Gabriele. (AIF Bologna e Fondazione Giuseppe Occhialini)

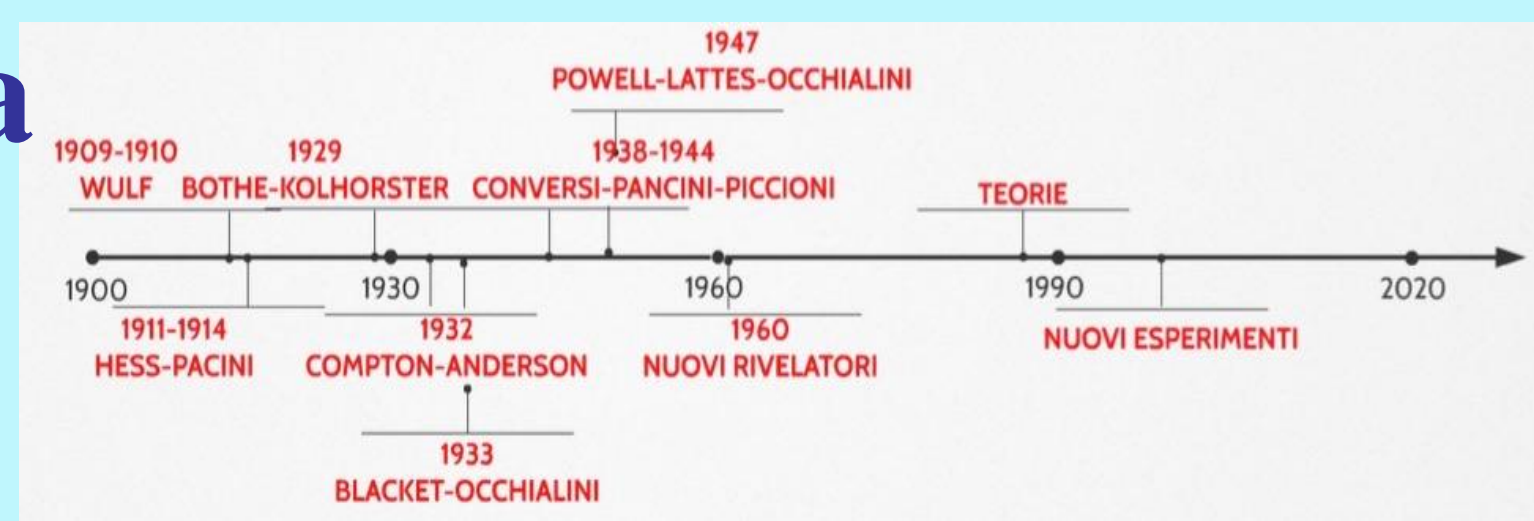
## Il progetto

Partendo dalle Indicazioni Nazionali che invitano all'approfondimento di tematiche di fisica moderna, la sezione AIF di Bologna ha organizzato un corso di aggiornamento dedicato all'Astrofisica, rivolto agli insegnanti di matematica e fisica provenienti da scuole secondarie di secondo grado dell'Emilia Romagna e delle Marche. Il progetto si è sviluppato in tre fasi: nella fase iniziale i docenti hanno seguito lezioni teoriche sui raggi cosmici e sui relativi apparati di rivelazione, nella fase intermedia si sono recati presso l'osservatorio del Roque de Los Muchachos nell'isola di La Palma (Isole Canarie) per visitare direttamente gli apparati sperimentali e approfondire le tematiche di ricerca dei telescopi MAGIC e TNG, nella fase conclusiva hanno elaborato un'unità didattica da proporre agli studenti. Questo progetto costituisce la seconda parte (Macro) di un più ampio progetto iniziato due anni fa con un aggiornamento sulla fisica delle particelle elementari svoltosi presso i laboratori del CERN. Per quanto riguarda la sperimentazione didattica, il poster presenta alcune tematiche comuni ed alcune specifiche attività predisposte dai docenti nelle diverse unità didattiche presentate agli studenti.



## Raggi cosmici: capire la fisica attraverso la storia

Vengono illustrate le principali tappe storiche dello studio dei raggi cosmici, con particolare riferimento agli studi di Beppo Occhialini.



**1912:** Victor Hess effettua un esperimento a bordo di una mongolfiera raggiungendo i 5.000 m di altezza. Nota che maggiore è la distanza dalla superficie terrestre, maggiore è il fenomeno di ionizzazione spontanea. Ipotesizza allora che questa radiazione provenga dallo spazio.

**1929:** a Berlino Walter Bothe e Werner Kolhörster usarono due contatori Geiger uno sopra l'altro e contarono il numero di volte in cui rivelavano il segnale nello stesso istante, attribuendo le coincidenze rivelate ad elettroni colpiti da raggi gamma (neutri).

**1930:** Compton suddivide il mondo in 9 regioni inviando una diversa spedizione in ognuna di esse. Nel 1932 annuncia che l'intensità dei raggi cosmici varia considerevolmente dall'equatore al Polo Nord: "Ovviamente, se il polo nord magnetico ha un effetto sui raggi, questi devono avere una natura elettrica e non ondulatoria, come sostiene il dottor Millikan".

**1931:** Robert Millikan insieme a Carl David Anderson, con una camera a nebbia in un campo magnetico, studiando i raggi cosmici trova una traccia uguale a quella lasciata dagli elettroni ma con una curvatura opposta.

Questa innovazione rese lo strumento molto più potente (fu determinante per il premio Nobel a Wilson) e portò Blacket e Occhialini a raggiungere immediatamente risultati scientifici fondamentali (conferma dell'esistenza del positrone e rivelazione della produzione di coppie elettrone-positrone).

### FISICA AD ALTA QUOTA

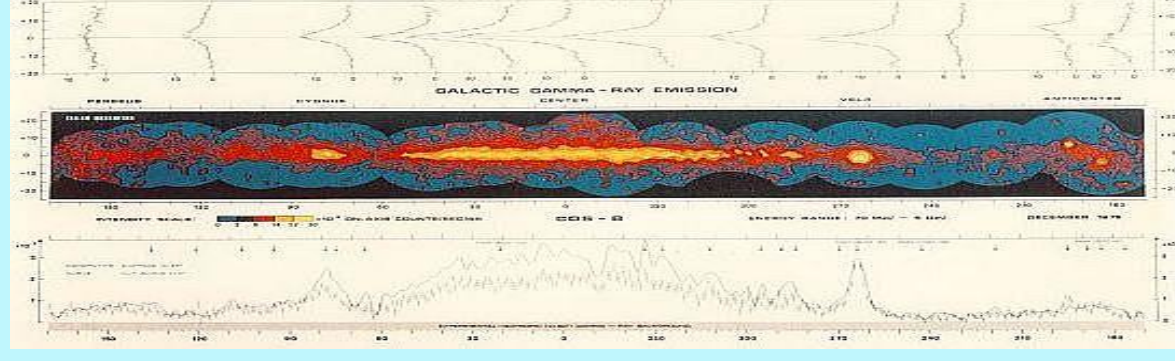
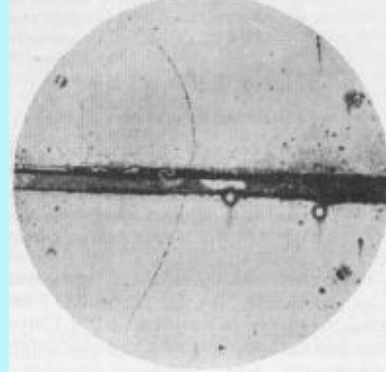
Ancora una volta il contributo dell'intuito e delle raffinate capacità sperimentali di Beppo Occhialini rende possibile la scoperta, nel 1947, al Wills Laboratory di Bristol, con Cecil Frank Powell e G.M.C. Lattes del "pione".

### NUOVE LUCI NEL CIELO

Occhialini nel 1952 promuove una larga collaborazione internazionale, l'esperimento G-Stack, che portando a bordo di un pallone stratosferico un grande volume di emulsioni. Sul piano europeo, Occhialini partecipa alla nascita dell'ESRO da cui deriverà l'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Occhialini si convince pertanto dell'opportunità di realizzare satelliti dedicati a un unico obiettivo scientifico: nasce così COS-B, primo satellite scientifico dell'ESA, lanciato il 9 agosto 1975, che, vincendo la competizione con il concorrente americano SAS-B, ha fornito la mappa del cielo nei raggi gamma e ha prodotto una dettagliata mappa della galassia.

### GLI ESPERIMENTI DI CAMBRIDGE

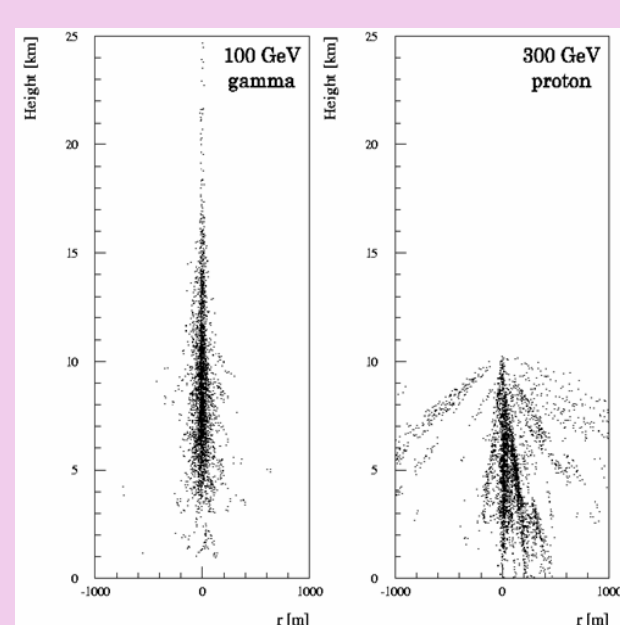
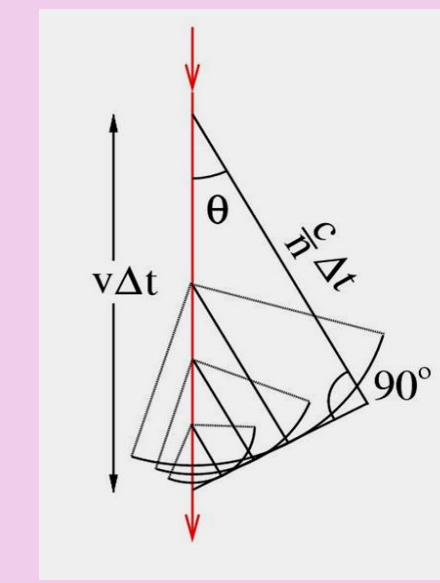
La foto dell'"elettrone positivo" è una sfida per i fisici di Cambridge. Nel 1932 al Cavendish Laboratory Occhialini, al fianco di Patrick Blackett, applicò alla camera di Wilson una importante innovazione, il comando (trigger) elettronico (oggi alla base di ogni esperimento di fisica nucleare e subnucleare). La camera nebbia era circondata da contatori Geiger e solo quando si presentava nel Geiger una coincidenza (e quindi una configurazione interessante) scattava l'autoscatto.



## I telescopi MAGIC Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope

### FUNZIONAMENTO

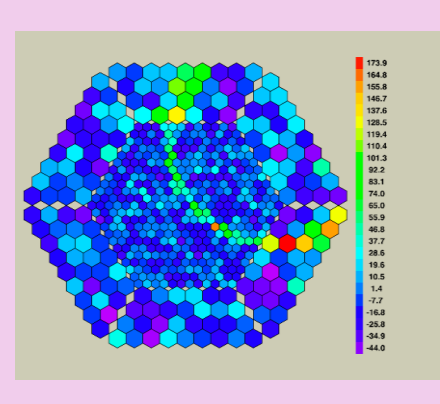
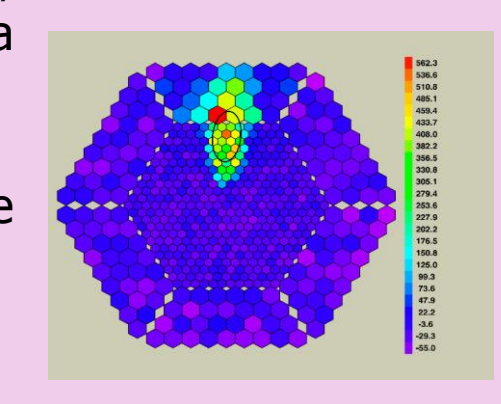
Il Major Atmospheric Gamma-ray Imaging Cherenkov Telescope è il più grande telescopio gamma al mondo. Con due grandi specchi paraboloidi di 17 metri di diametro è stato ottimizzato per rivelare raggi cosmici gamma a basse energie (raggiungendo una soglia di 25 GeV) e per riposizionare gli specchi in meno di 30 s. Viene utilizzato per rivelare raggi gamma primari provenienti da sorgenti galattiche (resti di supernova, pulsar) o extragalattiche (G-ray burst, nuclei galattici attivi...) di interesse astrofisico. Questi raggi sono di particolare interesse in quanto non sono deviati dai campi magnetici interstellari. La rivelazione è indiretta e avviene attraverso il riconoscimento dell'immagine prodotta da luce Cherenkov nei fotorelettori. Infatti quando un raggio gamma primario interagisce con l'atmosfera produce uno sciame di particelle cariche (principalmente elettroni e positroni) le quali, muovendosi a una velocità maggiore rispetto a quella della luce nel mezzo, producono luce Cherenkov.



**IMAGING:** L'analisi della forma dell'immagine prodotta dai fotoni permette di distinguere sciami di raggi gamma primari da sciami di particelle di raggi cosmici, che formano il fondo. Già è possibile attraverso il confronto con le immagini ottenute da simulazioni al computer. Quindi, in particolare: dall'intensità della luce si risale all'energia dello sciame, dall'orientazione si individua la direzione dello sciame e dalla forma si effettua una buona selezione del background.

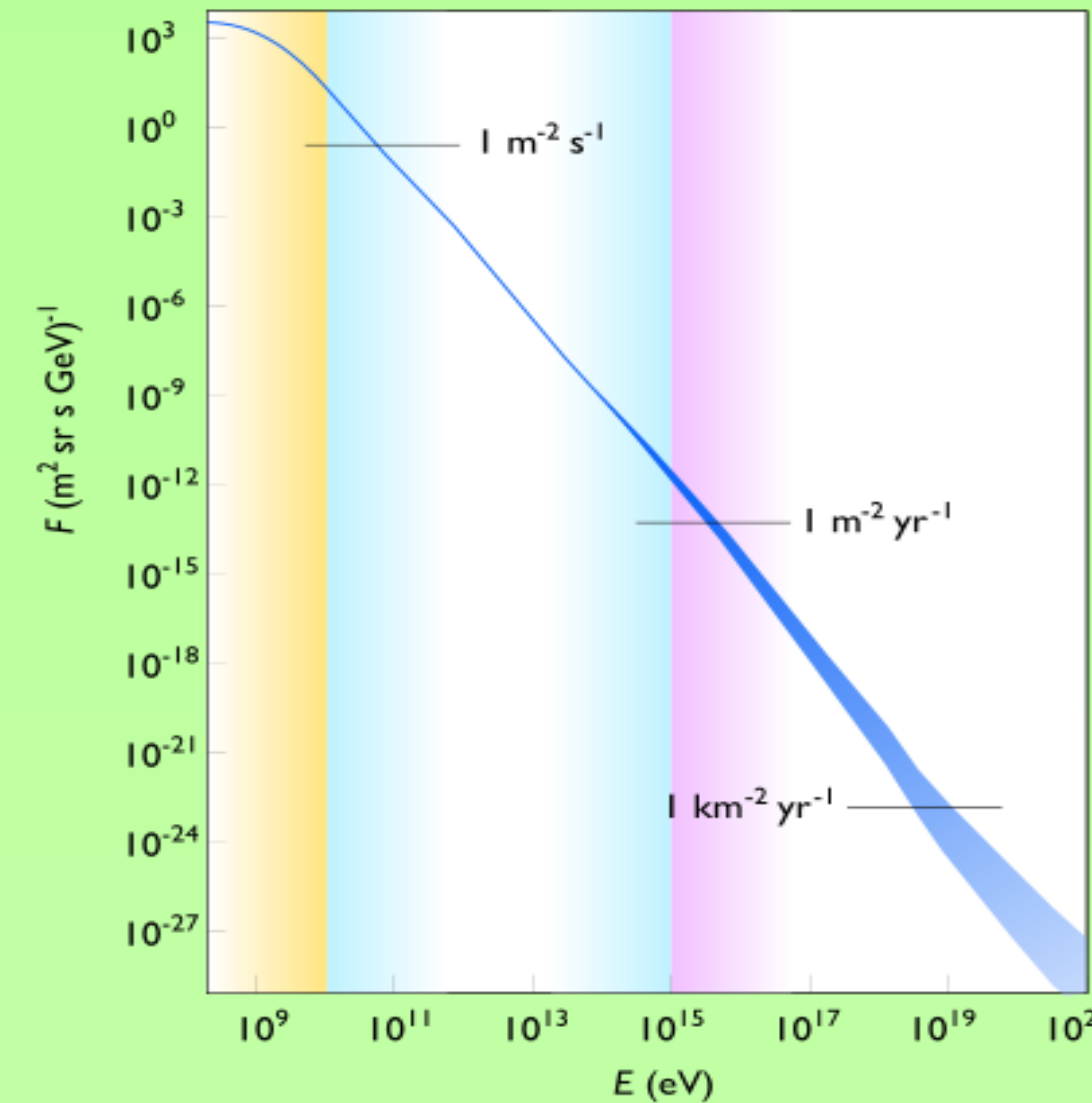
Con gli studenti ci si è soffermati ad analizzare il funzionamento e le problematiche di tre apparati costitutivi fondamentali:

- Gli specchi
- I fotomoltiplicatori (PMT)
- Il trigger (sono presenti tre livelli di trigger che selezionano un evento da considerare tenendo conto dell'intensità minima, della topologia delle celle illuminate e della coincidenza dei due telescopi)



## Spettro energetico dei RC

Lo studio dello spettro dei Raggi Cosmici



Flusso dei raggi cosmici in funzione della loro energia. A sinistra, la parte su sfondo giallo è ritenuta essere di origine solare, la parte su sfondo azzurro di origine galattica (probabilmente le particelle sono accelerate da esplosioni di Supernove), quella nera su sfondo rosso da oggetti quali le pulsar o microquasars galattici e la parte di più alta energia di origine extragalattica. Ad ogni transizione di colore, corrisponde un cambio di potenza della legge:  $\Phi = k \cdot E^{-\gamma}$ .

- è stata una buona occasione per vedere contestualizzata una legge di tipo esponenziale e per introdurre la scala logaritmica
- ha permesso d'introdurre le diverse tecniche di rivelazione a seconda del flusso dei RC (misure dirette con palloni o satelliti, misure indirette con rivelatori EAS a terra o sotterranei)
- ha permesso di parlare dei diversi meccanismi di accelerazione galattica ed extragalattica dei RC (esplosioni di Supernove, Pulsar, Microquasar, Nuclei Galattici Attivi, Gamma Ray Burst).

## Quando i raggi cosmici incontrano l'uomo

La scelta di approfondire l'impatto biologico che i raggi cosmici hanno sull'uomo nasce dal voler fornire validi strumenti per interpretare correttamente le notizie che ci vengono veicolate dai mass media, dagli articoli di giornale e dalle pubblicazioni divulgative, inoltre, questo percorso ha permesso di evidenziare aspetti interdisciplinari proprie della trasversalità dell'argomento trattato.

L'intervento si è sviluppato nei seguenti punti:

**Che cosa sai:** Gli studenti sono stati sollecitati da alcune immagini per dare spazio all'analisi e alla esplicitazione del loro sapere sull'argomento e quali eventuali pre-concezioni erano presenti

**Che cosa devi sapere:**

- Analisi delle radiazioni in cui siamo immersi sia di origine artificiale che naturale e di cui raggi cosmici occupano una quota pari al 14% soffermandosi sulla presenza delle radiazioni in ambiente e di come siamo immersi in un campo di radiazioni naturali.

- Introduzione alle grandezze proprie della dosimetria e della radioprotezione partendo dal rilascio dell'energia nei tessuti arrivando alle grandezze proprie della radioprotezione analizzando i processi che legano gli aspetti biologici e fisici.

- I meccanismi a livello biologico che le radiazioni inducono nei tessuti.

- Le dose dovute ai raggi cosmici: andamento del rateo di equivalente di dose ambientale in funzione della altitudine, latitudine e fase solare. Infine quali sono categorie interessate all'esposizione ai raggi cosmici.

- Usi pratici dei raggi cosmici: sorveglianza dei vulcani, prospezione geologica, datazione C<sup>14</sup>.

**Cosa mi serve questo sapere:** Agli studenti sono stati forniti alcuni articoli di giornali e pubblicazioni divulgative che sono stati commentati insieme come verifica della capacità di comprensione del percorso.

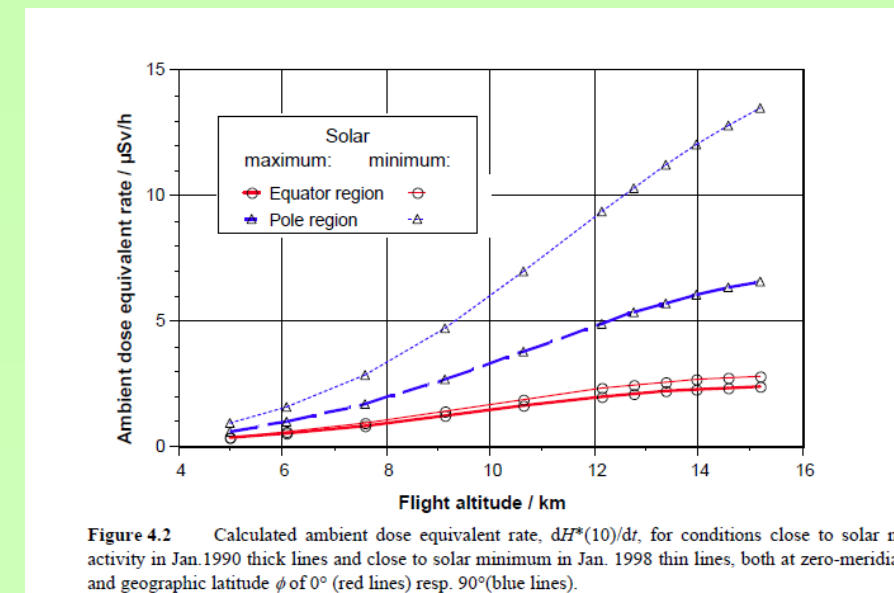
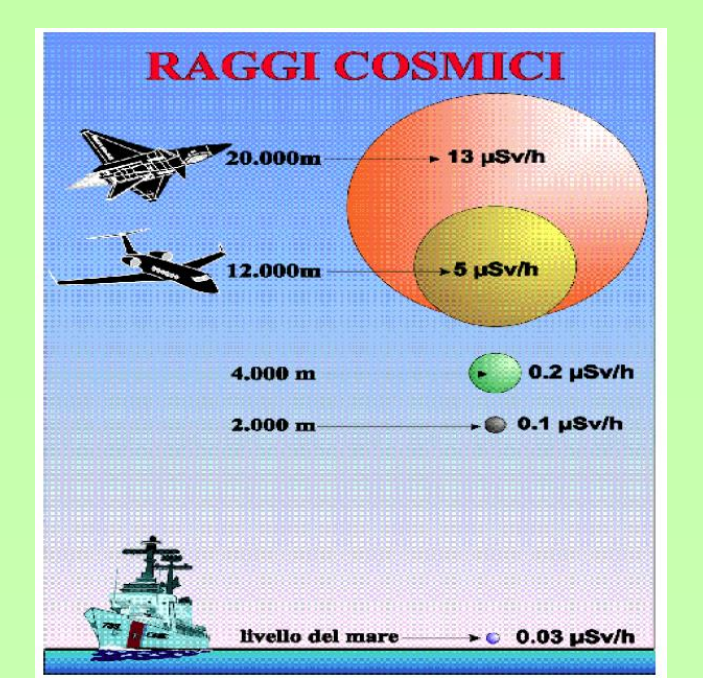


Figure 4.2 - Calculated neutron dose equivalent rate. (2015)16. The neutron dose is only a small portion of the total dose from cosmic rays, but it is the most biologically significant.

## Studio della luce con il telescopio TNG

### FUNZIONAMENTO

Il TNG è un telescopio riflettore, dotato di una montatura altazimutale, con una configurazione ottica Ritchey-Chrétien. Lo specchio primario ha un diametro di 3,58 metri ed una lunghezza focale di 38,5 metri (f/11), il secondario ha un diametro di 0,875 metri. Vi è poi uno specchio terziario piano che ha lo scopo di dirigere il fascio luminoso verso uno dei due fuochi Nasmyth.

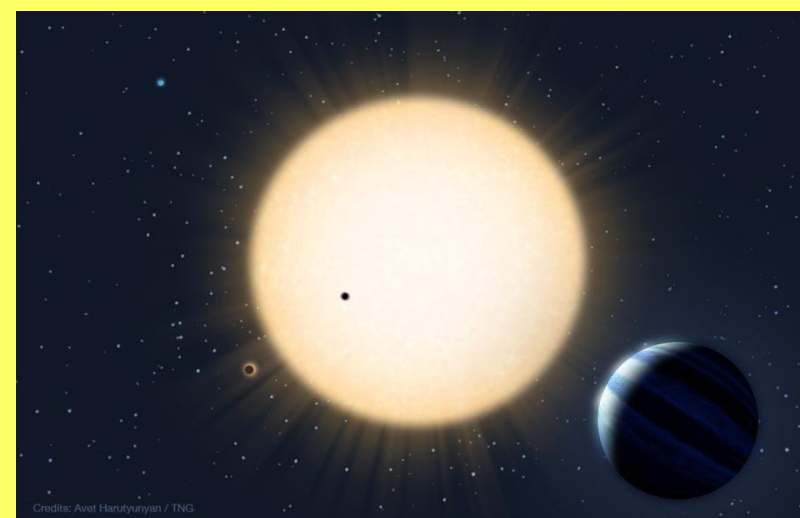
Esso è basato sullo stesso progetto del New Technology Telescope (NTT) dell'ESO (situato in La Silla, Cile). Pertanto, la qualità ottica del telescopio è assicurata da un sistema di ottiche attive, che esegue correzioni in tempo reale delle componenti ottiche compensando, in particolare, le deformazioni dello specchio primario.

Attualmente il TNG è equipaggiato con 4 strumenti:

- **HARPS-N** ("High Accuracy Radial velocity Planet Searcher"), uno spettrografo eccelle dedicato alla ricerca di pianeti extrasolari;
- **DOLORES** ("Device Optimized for the Low Resolution"), fotocamera CCD e spettrografo a bassa risoluzione per osservazioni nel visibile;
- **NICS** ("Near Infrared Camera Spectrometer"), fotocamera e spettrografo per osservazioni nel vicino infrarosso.
- **GIANO**, spettrografo ad alta risoluzione per osservazioni nel vicino infrarosso.



**I risultati recenti sono stati trattati come modulo CLIL:**



- HD219134, Harps-N discovers a rocky planet at only 20 light years from us
- Kepler-101: a reversed planetary system observed with HARPS-N
- New TNG data show evidence of a variable amount of water ice on the surface of Ceres

## Laboratorio virtuale "Alla ricerca dei raggi cosmici" simulazioni dal sito <http://aspire.cosmic-ray.org/> dell'Università dell'Utah

E' stato svolto un laboratorio virtuale per cercare di capire cosa sono i raggi cosmici, da dove arrivano, con quale velocità e se è possibile costruire uno strumento in grado di rilevare il maggior numero possibile di raggi cosmici.

La classe è stata suddivisa in sei gruppi da quattro alunni ognuno dei quali ha utilizzato i Mac della scuola per svolgere le attività di simulazione previste. La attività, tradotte dalla lingua inglese, sono cinque. Ognuna è corredata da due schede: nella prima sono presenti istruzioni per svolgerla e nella seconda sono presenti domande per riflettere e cercare di interpretare in modo corretto i risultati ottenuti. Di seguito vengono descritte le cinque attività proposte:

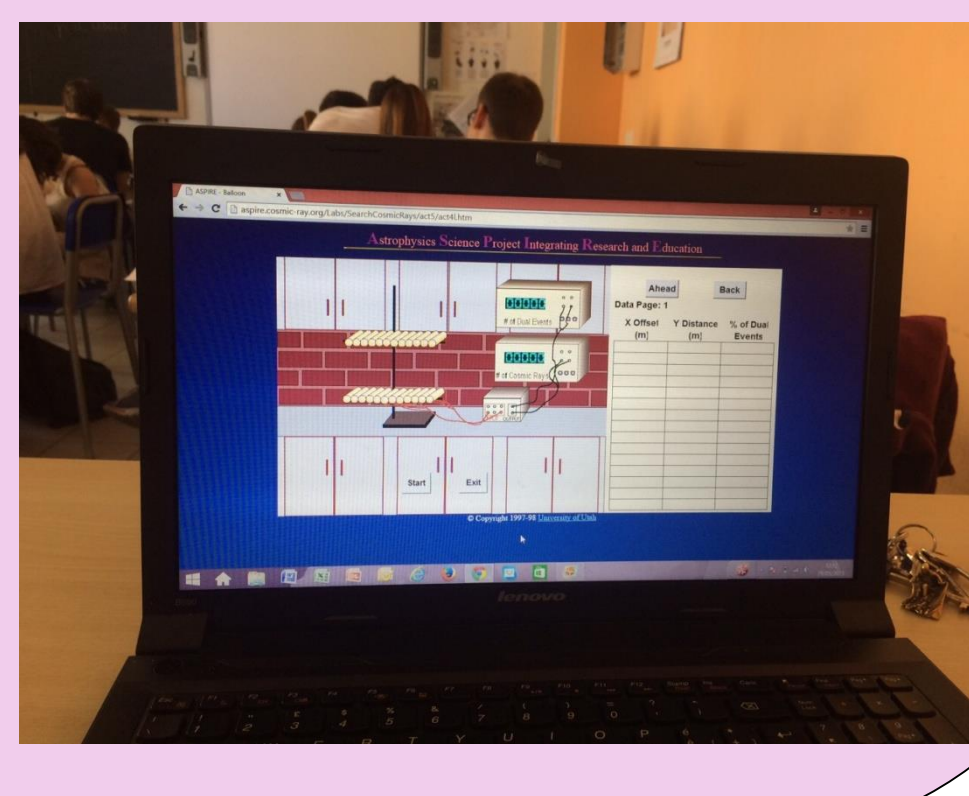
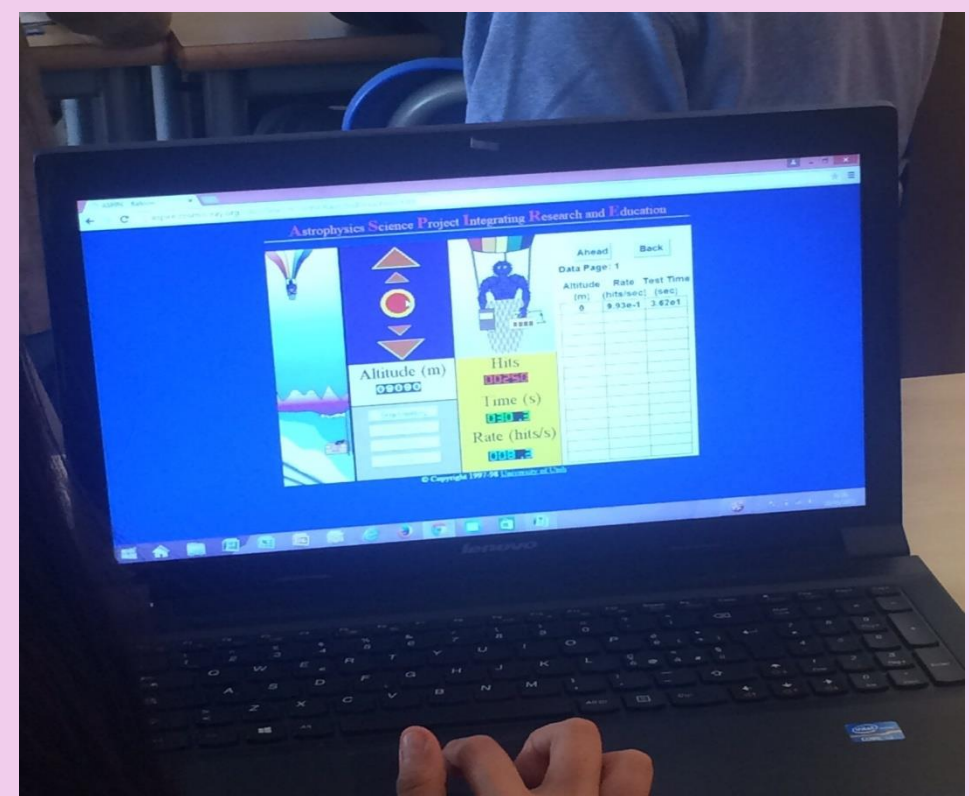
**PRIMA ATTIVITÀ:** simulando il viaggio in mongolfiera dello scienziato Hess, vengono contate il numero di particelle al variare dell'altitudine con un contatore Geiger per rispondere al quesito "Da dove arrivano i raggi cosmici?". In tale attività gli alunni registrando il flusso di particelle al variare dell'altitudine costruiscono un grafico che mette in relazione il numero delle particelle registrate con l'altitudine. Inoltre, utilizzando un contatore Geiger, riescono a capirne il funzionamento anche se lo strumento è solo virtuale. Prima dell'attività, se la scuola possiede un contatore Geiger, si può far vedere agli alunni cosa succede avvicinandosi ad una sorgente radioattiva oppure allontanandosi altrimenti in assenza di contatore Geiger porre loro alcune domande sulla radioattività e avviare una discussione.

**SECONDA ATTIVITÀ:** usando un rivelatore di particelle formato da tubi scintillatori e due oscilloscopi per registrare il tempo in cui le particelle colpiscono i tubi scintillatori, gli alunni determinano sulla base dei dati raccolti, la loro direzione. Anche in questo caso, utilizzando i tubi scintillatori, riescono a capirne il funzionamento anche se lo strumento è virtuale. Questa attività è svolta per capire che i raggi cosmici sono particelle in movimento che provengono dallo spazio.

**TERZA ATTIVITÀ:** utilizzando due file di tubi scintillatori posizionati una sopra l'altra, gli alunni determinano gli angoli di arrivo dei raggi cosmici costruendo un istogramma relativo allo spostamento orizzontale, per poi cercare di discutere anche l'ordine di grandezza dell'energia posseduta dai raggi cosmici. In questa attività è importante aiutare gli studenti a scoprire che essi devono avere almeno due file di tubi scintillatori per determinare la direzione del moto delle particelle, provenendo da ogni direzione.

**QUARTA ATTIVITÀ:** utilizzando sempre due file di tubi scintillatori uno sopra l'altro e un goniometro, calcolando la distanza percorsa e il tempo impiegato, gli alunni determinano la velocità media percorsa dai raggi cosmici ovviamente ragionando sul fatto che gli strumenti utilizzati sono affetti da incertezza.

**QUINTA ATTIVITÀ:** utilizzando sempre due file di tubi scintillatori uno sopra l'altro e due contatori, gli alunni cercano di configurare tale strumento per ottenere il massimo numeri dei raggi cosmici rilevati.



## Esempi di verifiche

1° quesito: L'immagine di seguito riportata si riferisce allo storico volo in mongolfiera di Hess del 1912. Descrivere in che modo Hess conclude che la radiazione misurata con gli elettrometri portati a bordo avrebbe dovuto provenire dall'alto, cioè essere di origine extraterrestre.

2° quesito: La tecnica che si è dimostrata vincente per l'astronomia gamma alle alte energie è la tecnica Cherenkov che sfrutta l'emissione di luce da parte delle particelle cariche di uno sciame di raggi cosmici. Illustrare l'effetto e il principio di funzionamento dei telescopi Cherenkov impiegati nell'esperimento MAGIC (vedi foto).

3° quesito: Commento brevemente le tecniche di rivelazione dei raggi cosmici illustrate nell'immagine seguente:

- Cosa sono i RC?
  - Particelle cariche
  - Fotoni
  - Raggi X
  - Raggi gamma
- Quali particelle sono più presenti nei RC?
  - Protoni
  - Particelle  $\alpha$
  - Particelle  $\beta$
  - Nuclei di C
  - Fotoni gamma
- I RC più energetici vengono prodotti
  - Dal sole
  - dal terreno
  - Dal cosmo
  - Dall'esplosione di una SN della nostra galassia
  - Dalle pulsar
  - Da altre galassie
- Dai raggi gamma localizziamo la sorgente
  - $v = c$
  - $F =$
  - perché \_\_\_\_\_
- I raggi gamma sciamano in
  - $e^+ e^-$
  - $p^+$ ,  $p^-$
  - $\mu^+$ ,  $\mu^-$
- Ordina gli strumenti da cui ha avuto inizio la scoperta dei RC
  - Contatore Geiger
  - Elettroscopio
  - Emulsioni fotografiche
  - Camera a nebbia
  - Associa ai seguenti esperimenti un pioniere
    - Misura in cima alla torre Eiffel
    - Misura sul livello del mare e sott'acqua
    - Misura in pallone
    - Chi ci protegge dai RC?
      - Il CM terrestre
      - Il vento solare
      - Il vento galattico
      - La creva anti UV