

SESSIONE POSTER

Stefania Melley

Liceo Bertolucci – Parma

Gabriele Tassinari

ISIT Bassi-Burgatti – Cento, FE

Carlo Bertoni, Silvia Focardi,

Elisa Targa

Liceo Copernico – Bologna

Gisella Greggi

Liceo Ferrari – Cesenatico, FC

Maria Alboni, Mariagrazia Fabbri,

Marina Maiani

Liceo Galvani – Bologna

Benedetta Amicizia

Liceo Laurana – Urbino

Mauro Baiamonte

Liceo Marconi – Pesaro

Maurizio Casali

Liceo Righi – Bologna

Alessandro Foschi

Liceo Scientifico Fulcieri Paulucci di Calboli – Forlì

Peter Helgesson

Liceo Torricelli-Ballardini – Faenza

Barbara Poli

AIF sez. Bologna

MICRO_MACRO A.S. 2014-2015

Il cielo, come osservarlo e studiarlo nei suoi molteplici aspetti

Il progetto

Partendo dalle Indicazioni Nazionali che invitano all'approfondimento di tematiche di fisica moderna, la sezione AIF di Bologna, in collaborazione con la Fondazione Giuseppe Occhialini di Pesaro, ha organizzato un corso di aggiornamento dedicato all'Astrofisica rivolto agli insegnanti di matematica e fisica provenienti dalle scuole secondarie di secondo grado dell'Emilia Romagna e delle Marche. Il progetto si è sviluppato in tre fasi.

Nella prima fase a Bologna, i docenti hanno seguito alcune lezioni teoriche sui seguenti argomenti:

- la storia dei raggi cosmici dalla loro scoperta ai nostri giorni (Vincenzo Vagnoni – INFN, Fondazione Giuseppe Occhialini)
- alcuni aspetti “meno conosciuti” degli effetti prodotti dai raggi cosmici nel cosmo e più in particolare nel nostro ambiente (Stefano Cecchini – INFN)
- lo sviluppo di nuove tecniche sperimentali e di rivelatori usati in fisica delle particelle per studiare l'Universo (Maurizio Spurio – Università di Bologna, INFN)

La fase intermedia prevedeva, invece, approfondimenti in un centro di ricerca internazionale. Durante il soggiorno presso l'osservatorio di Roque de Los Muchachos nell'isola di La Palma (Isole Canarie), i corsisti hanno visitato l'esperimento MAGIC e il Telescopio Nazionale Ga-



Figura 1. Panorama all'alba del sito astronomico di Roque de Los Muchachos (La Palma, Canarie).



Figura 2. Foto ricordo all'esterno delle aule del centro astronomico. Insieme al gruppo di insegnanti, il Prof. De Angelis e il Prof. Saggion.

lileo (TNG). MAGIC è un sistema di 2 telescopi Cherenkov che catturano la debole luce prodotta dall'interazione dei fotoni gamma con l'atmosfera terrestre; il TNG è il più importante strumento ottico della comunità astronomica italiana. In entrambi i casi si è



potuto osservare la strumentazione, si è potuto capirne il funzionamento e conoscerne alcune caratteristiche tecniche. La visita notturna di MAGIC ha inoltre permesso di assistere alla procedura di puntamento delle parabole. Due seminari specifici su MAGIC hanno concluso l'aggiornamento all'osservatorio internazionale. Il primo seminario dal titolo "L'astrofisica ad altissime energie con l'esperimento MAGIC" (Alessandro De Angelis – Università di Udine e di Lisbona e INFN) si proponeva di far capire come la sofisticata ottica di MAGIC consenta di scoprire sorgenti extragalattiche e nuove classi di sorgenti di cui prima non si sospettava l'esistenza; il secondo seminario "La fisica di

Figura 3. Un paraboloide dell'esperimento MAGIC riflette l'immagine del secondo paraboloide.



Figura 4. Il Telescopio Nazionale Galileo.

MAGIC nel programma di V liceo” (Antonio Saggion – Università di Padova, INFN) presentava, con una connotazione più didattica, alcuni argomenti collegati alla luce per ricordare, tra l’altro, il 2015 proclamato dall’ONU Anno Internazionale della Luce. Si è parlato ad es. di spettro elettromagnetico e di radiazione gamma in particolare; di radiazione Cherenkov: che cos’è, come è rivelata in MAGIC e quali informazioni fornisce; di proprietà ottiche degli specchi di MAGIC e dell’ottica geometrica.

L’ultima parte del progetto MICRO_MACRO richiedeva infine l’elaborazione di un’unità didattica da proporre agli studenti all’interno dello stesso anno scolastico.

Il cielo, come osservarlo e studiarlo nei suoi molteplici aspetti, è stato curato da Barbara Poli, responsabile della sezione AIF di Bologna, da Alessandro De Angelis, presidente del Collaboration Board di MAGIC e da Antonio Saggion, ideatore con Rossella Farraldo del progetto MAGIC-D, progetto didattico del Piano Lauree Scientifiche di Padova collegato all’esperimento MAGIC, e ha costituito la seconda parte (Macro) di un più ampio progetto iniziato due anni fa con un aggiornamento sulla fisica delle particelle elementari (Micro) svoltosi presso i laboratori del CERN.

Il percorso didattico

Per quanto riguarda la sperimentazione didattica, i docenti hanno predisposto unità didattiche differenziate a seconda degli indirizzi di studio e delle ore, curriculari e non, a disposizione.

È stato possibile individuare alcuni nuclei comuni ai percorsi, quali:

- la storia della scoperta dei raggi cosmici;
- il funzionamento degli apparati di rivelazione, con particolare riferimento ai telescopi MAGIC del sito di Roque de Los Muchachos;
- le proprietà dei raggi cosmici e delle sorgenti.

L’articolo presenta inoltre alcune tematiche specifiche svolte solo in alcune scuole:

- il contributo di Beppo Occhialini allo studio dei raggi cosmici;
- un laboratorio virtuale di misure sui raggi cosmici;
- effetti biologici delle radiazioni;
- il telescopio TNG.

1. Raggi cosmici: capire la fisica attraverso la storia

Tra i differenti approcci utilizzati per introdurre la scoperta dei raggi cosmici, c'è chi ha optato per un taglio per così dire "biografico".

È quanto avvenuto in alcune classi quinte di due Licei Scientifici nelle quali, per rendere la presentazione più coinvolgente, si è scelto di legare il tema ad una figura chiave della Fisica dei raggi cosmici, e in generale dell'intero panorama scientifico marchigiano, quale quella di Giuseppe "Beppo" Occhialini.

Le fasi di lavoro sono state le seguenti:

- a) Attività introduttive di preparazione
- b) Attività didattica in aula
- c) Attività operativa e conclusioni

a) Attività introduttive di preparazione

Gli studenti sono stati avviati allo studio dell'Astrofisica sia con il loro coinvolgimento in contesti accademici presenti sul territorio, che con l'aiuto di personale esperto esterno alla scuola. A questo proposito, per poter padroneggiare almeno i concetti base necessari della fisica dei raggi cosmici, si è proposto alle classi di prendere parte ad alcune lezioni/conferenze incentrate su temi di carattere cosmologico:

- *Matematica e Fisica. I modelli matematici che guidano le osservazioni sperimentali* – Filippo Martelli, Università di Urbino – I incontro del ciclo di conferenze "Matematica e.." 2014/15 organizzato dalla Scuola di Economia dell'Università "Carlo Bo" di Urbino.
- *Un nuovo sguardo all'universo: sorgenti e rivelatori* – Gianluca Guidi, Università di Urbino –seminario organizzato in occasione della "Settimana della Scienza" dal Liceo Laurana di Urbino (in collegamento streaming col Liceo Marconi di Pesaro).

Il taglio delle lezioni/conferenze è stato preventivamente concordato dai docenti delle classi con i rispettivi relatori, per assicurarsi che gli argomenti trattati fossero calibrati sul livello di conoscenze e competenze degli studenti.

b) Attività didattica in aula

Quattro lezioni su argomenti specifici, tenute dagli insegnanti della classe in orario curricolare, sono state proposte secondo il seguente ordine:

- *Prima lezione: approccio storico- biografico*
Un viaggio per scoprire la vita del fisico marchigiano Giuseppe Occhialini, uomo e ricercatore intimamente legato al suo tempo: un itinerario per ripercorrere il novecento, i suoi avvenimenti, le sue guerre e le conseguenze, e gli intrecci tra politica e scienza.
- *Seconda lezione: il progresso delle conoscenze scientifiche*
Un cammino per comprendere il percorso della Scienza dei raggi cosmici dagli inizi del Novecento ai giorni nostri: dalla scoperta delle prime particelle sub-nucleari ai quesiti ancora aperti dell'astronomia gamma.
- *Terza lezione: rivelazione di particelle e sua evoluzione*
Un'esplorazione delle tecniche di rivelazione delle particelle: dall'elettroscopio alle immagini del cielo in raggi gamma, attraverso i contatori Geiger, la camera a nebbia e le lastre di emulsioni nucleari. Beppo Occhialini e il "trigger".
- *Quarta lezione: lo studio della luce con la fisica di MAGIC*
L'esperimento MAGIC: dalle proprietà ottiche degli specchi all'osservazione di sorgenti galattiche ed extragalattiche nella parte dello spettro elettromagnetico di altissima energia (raggi gamma).

c) Attività operativa e conclusioni

A conclusione del percorso gli studenti sono stati coinvolti nella realizzazione di alcuni poster che ripercorressero il lavoro svolto riassumendone i principali risultati raggiunti.

POSTER – Raggi cosmici: capire la fisica attraverso la storia

I RAGGI COSMICI: CAPIRE LA FISICA ATTRAVERSO LA STORIA E BIOGRAFIE ECCEZIONALI

LA STORIA

"Quest'argomento è unico nella fisica moderna per la piccola scala dei fenomeni, la delicatezza delle osservazioni, le avventurose escursioni degli osservatori, la sottigliezza dell'analisi e la grande portata delle inferenze."

1909: il gesuita **Theodor Wulf** inventa un nuovo tipo di **elettroscopio** trasportabile: ovunque fosse posto perdeva la carica anche senza sorgenti radioattive evidenti. Si ipotizza una radioattività proveniente dal suolo e ci si attende una riduzione esponenziale con l'altezza.

1910: padre **Wulf** trascina le apparecchiature sulla cima della **Torre Eiffel** a 300 m di altezza. L'elettroscopio continua a scarificarsi, quasi come a terra... doveva essere un'altra sorgente di **emissioni radioattive nelle parti superiori dell'atmosfera**.

1912: il 7 agosto del 1912 **Victor Hess** effettua un esperimento a bordo di una mongolfiera raggiungendo 15.000 m di altezza. Nota che maggiore è la distanza dalla superficie terrestre, maggiore è il fenomeno di ionizzazione spontanea. Ipotizza allora che questa radiazione provenga dallo spazio e, osservando lo stesso fenomeno nei voli notturni, fu chiaro che non poteva provenire dal sole, ma dallo **spazio esterno** e che l'atmosfera terrestre fungeva come un filtro riducendone l'intensità.

Risultati analoghi erano stati raggiunti da **Domenico Pacini** nel giugno 1911 confrontando la radioattività sulla superficie del mare con quella misurata sott'acqua. L'anno seguente scrive che esiste "una sensibile causa ionizzante, con radiazioni penetranti, indipendente dall'azione diretta delle sostanze radioattive del terreno".

1929: a Berlino **Walter Bothe** e **Werner Kohlerster** usarono due contatori Geiger uno sopra l'altro e contarono il numero di volte in cui rivelavano il segnale nello stesso strato, attribuendo le coincidenze a particelle.

IL CONTRIBUTO DI BEPPO OCCHIALINI

"Brindo non a Beppo, ma a tutti noi: se abbiamo la fortuna di lavorare con lui, siamo sicuri di vincere un premio Nobel"

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".

Prevista dal teorico giapponese **Yukawa** una decina di anni prima, questa è la prima scoperta di particelle "portatrici" della forza forte che tiene uniti protoni e neutroni nei nuclei degli atomi.

Questa scoperta fu ottenuta utilizzando come rivelatori emulsioni fotografiche esposte in alta montagna ai raggi cosmici, e da lì via alle successive scoperte di un numerosissimo zoo di particelle elementari (1947 il kaone, 1951 il lambda...). Anche **Powell** fu insignito con il premio Nobel, premio che inaspettabilmente non fu mai assegnato a **Giuseppe Occhialini**.

1938-1944: sull'onda della discussione in corso sul mesotrone, particella rilevata nei raggi cosmici, e identificata con la particella mediatrice delle interazioni forti prevista da **Yukawa**, **Conversi**, **Pancini** e **Piccioni**, appartenenti a una nuova generazione di fisici abili con i **geiger**, le **valvole elettroniche** e i **trigger** assemblarono contatori Geiger e strati di metallo in una varietà di disposizioni, e, subito prima della liberazione di Roma da parte degli alleati nel dicembre del 1944, riuscirono a dimostrare che i **mesotroni** avevano una vita media di circa **2.2 milionesimi di secondo**.

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** un'importante innovazione, il comando (**trigger**) elettronico (oggi alla base di ogni esperimento di fisica nucleare e subnucleare). La camera nebulosa era circondata da contatori Geiger e solo quando si presentava nei Geiger una coincidenza (e quindi una configurazione interessante) scattava l'autoscatto. Questa innovazione rese lo strumento molto più potente.

LA COLLABORAZIONE G-STACK

Dagli anni '50 i governi stanziavano ingenti finanziamenti per la ricerca e i centri diventavano sempre più grandi, in primo luogo quelli legati alle macchine acceleratrici.

La ricerca sui raggi cosmici segue però un'altra via, meno costosa ma altrettanto significativa. **Occhialini**, trasferitosi a Milano nel 1952, promuove una larga collaborazione internazionale, l'**Esperimento G-Stack**, che portando a bordo di un pallone stratosferico un grande volume di emulsioni, rappresenta l'estremo tentativo di competere con le grandi macchine acceleratrici d'oltre Atlantico.

Il progetto si concretizzò in tre lanci i cui risultati furono presentati nel 1955 e contribuiscono a fare chiarezza su quelle che furono definite "particelle strane".

IL GRUPPO SPAZIO

La ricerca sulle particelle ormai è divisa e lo stesso avviene per il gruppo di Milano: da una parte la fisica con gli acceleratori, dall'altra si prosegue nello studio dei raggi cosmici. Quelli che, attorno a **Occhialini**, si dedicheranno agli aspetti astrofisici dei raggi cosmici, daranno informalmente vita a quello che verrà chiamato il **Gruppo Spazio**.

I primi lavori del gruppo Spazio di Milano si servono ancora di rilevatori posti su palloni e nel 1963 si ottiene la conferma definitiva dell'esistenza di elettroni nei raggi cosmici primari.

Occhialini lavora su due fronti: da un lato punta allo sviluppo di strumenti di ricerca avanzati, dall'altro insieme ad **Eduardo Amaldi** e **Luigi Brogli** a far nascere il **Piano Spaziale Nazionale**, da cui deriverà l'**Agenzia Spaziale Italiana** (ASI).

Sul piano europeo, **Occhialini** partecipa alla nascita dell'**ESRO** da cui deriverà l'**Agenzia Spaziale Europea** (ESA).

NUOVI RIVELATORI

Dagli anni '60 sono stati introdotti diversi tipi di rivelatori di radiazione, molto più sensibili, efficienti, e con risposte rapide. Fra questi ci sono i **contatori a scintillazione**. Sono costituiti da materiali plastici organici fatti di molecole con cicli benemici. Queste molecole eccitate dalla radiazione carica emettono luce ultravioletta. Con l'aggiunta di particolari sostanze, la luce viene spostata nel visibile e rivelata da fotomoltiplicatori (fotocelle) che nel tempo di un milionesimo di secondo la trasformano in segnale elettronico da immettere in circuiti elettronici digitali per elaborare le informazioni.

NUOVE LUCI NEL CIELO

Montare su un unico satellite un gran numero di esperimenti produceva risultati scientificamente poco significativi, a causa dell'interferenza fra i diversi strumenti. **Occhialini** si convince pertanto dell'opportunità di realizzare satelliti dedicati a un unico obiettivo scientifico: nasce **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.

BEPPO SAX

Nel 1965 il satellite militare **Vela** rileva lampi di radiazione gamma che hanno luogo circa una volta al giorno e che non possono essere ricondotti a esposizioni nucleari: vengono chiamati **Gamma Ray Burst**.

L'annuncio della scoperta verrà dato solo nel 1973, sotto il segreto militare.

Un contributo fondamentale al loro studio è venuto dal satellite **Beppe-SAX** che ha permesso di determinarne con precisione la posizione, grazie all'emissione di radiazione nella banda X che li accompagna sempre.

Beppe-SAX deve il suo nome proprio a **Occhialini** che è stato tra i più attivi sostenitori del progetto.

NUOVI ESPERIMENTI

L'osservatorio **Pierre Auger** (**Pierre Auger Observatory**) è un osservatorio internazionale di raggi cosmici, progettato per rivelare raggi cosmici di altissima energia. Si trova nella provincia di Mendoza, nell'Argentina dell'ovest, vicino alla città di **Malguelue** dove è situato il centro di controllo.

L'osservatorio ha iniziato a prendere dati stabilmente nel 2004.

Pierre Auger Project

3000 km² coperti

Malguelue
Mendoza
Argentina

MORTO A PARIGI NEL 1993, **Occhialini** non vedeva il lancio del satellite, messo in orbita il 30 Aprile 1996.

Giuseppe Paolo Stanislas Occhialini
(Beppo per gli amici)

Premio Wolf
per la Fisica nel 1979

Figura 5. Poster realizzato dagli studenti sulla storia della scoperta dei raggi cosmici.

Nello specifico un team si è occupato della parte inerente lo studio dei raggi cosmici attraverso l'analisi di aspetti prevalentemente storico-biografici, incentrandosi sul contributo di Giuseppe Occhialini.

2. Studio della luce con il telescopio TNG con metodologia CLIL

Successivamente allo svolgimento del percorso storico descritto nel paragrafo precedente sono state svolte alcune lezioni sul funzionamento del Telescopio Nazionale Galileo (TNG), approfondendone le caratteristiche tecniche, la strumentazione e i risultati di rilievo.

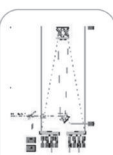
Si è evidenziata l'attuale dotazione strumentale del TNG:

- **HARPS-N** ("High Accuracy Radial velocity Planet Searcher"), uno spettrografo echelle 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.


Sono stati presentati in un modulo CLIL i più rilevanti risultati recenti, tra cui:

- 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
- A conclusione un gruppo di studenti ha realizzato un poster riassuntivo.

POSTER – Studio della luce con il telescopio TNG



OTTICA ATTIVA
L'ottica attiva è una tecnologia relativamente recente che lavora aggustando "attivamente" la forma degli specchi dei telescopi. Gli specchi primari dei moderni telescopi riflettori, che hanno diametri dal 3 agli 8 metri o più, non sono in grado di reggere il proprio peso senza deformarsi. Tuttavia, un sistema di attuatori a controllo computerizzato posti sotto lo specchio può mantenerlo costantemente nella forma ideale, compensando quindi gli effetti della gravità e del vento. Ciò assicura sempre una qualità ottimale delle immagini astronomiche.



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 **ottica attiva**, che esegue correzioni in tempo reale delle componenti ottiche compensando, in particolare, le deformazioni dello specchio primario. Tuttavia, a differenza dell'NTT, il TNG è stato a lungo dotato anche di un sistema di **ottica adattiva** che permetteva al telescopio di lavorare al limite di **diffrazione** nelle notti in cui la turbolenza atmosferica era più contenuta.



L'interfaccia tra la montatura del telescopio ed i rivelatori è fornita da due adattatori (derotatori), uno per fuoco Nasmyth. La loro funzione è quella di compensare la rotazione di campo attraverso una contro rotazione meccanica. La migliore qualità del TNG e che tutti i rivelatori sono permanentemente montati al telescopio. Ciò garantisce una notevole flessibilità di osservazione, visto che è possibile cambiare strumento durante la notte con una perdita di tempo limitata a pochi minuti.

La scienza basata su dati osservativi ottenuti al TNG è molto varia.
Si va da studi di pianeti e corpi minori del sistema solare a ricerche di interesse cosmologico (struttura e grande scala dell'Universo, sistemi di galassie).

Attualmente il TNG è equipaggiato con 4 strumenti:

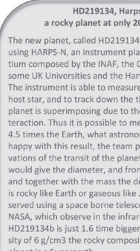
- **HARPS-N** ("High Accuracy Radial velocity Planet Searcher"), uno spettrografo echelle dedicato alla ricerca di pianeti extrasolari;
- **DOLoRes** ("Device Optimized for the Low Resolution"), fotocamera CCD e spettrografo a bassa risoluzione per osservazioni nel visibile;
- **NICS** ("Near Infrared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

OTTICA ADATTIVA
Le **ottiche adattive** sono, assieme allo **speckle imaging**, una delle moderne tecniche utilizzate per contrastare l'effetto della turbolenza atmosferica, che degrada le immagini, limitando il potere risolutivo del telescopio rispetto a quello ottenibile dalla semplice diffrazione e data dall'apertura del telescopio stesso. La conoscenza della forma effettiva del fronte d'onda permette, tramite un sistema di uno o più specchi a deformazione controllabile (specchi deformabili), di recuperare una forma più simile a quella piana, procedente all'ingresso in atmosfera, migliorando la qualità dell'immagine. Una correzione perfetta corrisponde ad un fronte d'onda piano che una volta focalizzato restituisce immagini di diffrazione del telescopio.


HD219134, Harps-N discovers a rocky planet at only 20 light years from us

The new planet, called HD219134b, has been just discovered using HARPS-N, an instrument placed at the TNG by a consortium composed by the INAF, the Observatoire de Genève, some UK Universities and the Harvard Smithsonian CfA (USA). The instrument is able to measure the radial velocity of the host star, and to track down the tiny wobbles the orbiting planet is superimposing due to their mutual gravitational interaction. Thus it is possible to measure the mass, in this case 4.5 times the Earth, what astronomers call SuperEarth. Not happy with this result, the team proposed and obtained observations of the transit of the planet in front of its star: this would give the diameter, and from diameter we get volumes, and together with the mass the density, verifying if the planet is rocky like Earth or gaseous like Jupiter. The transit was observed using a space borne telescope: Spitzer, operated by NASA, which observe in the Infrared light. The result was that HD219134b is just 1.6 time bigger than Earth, and with a density of 6 g/cm³ the rocky composition was confirmed: the new planet is a SuperEarth.





Kepler-101: a reversed planetary system observed with HARPS-N

Thanks to forty precise radial velocities obtained with the HARPS-N spectrograph at Telescopio Nazionale Galileo (TNG) together with the Kepler photometry, and in the context of the GTO program, astronomers were able to characterize an anomalous planetary system: Kepler-101. They found that this system consists of a hot super-Neptune, named Kepler-101b at a distance of 0.047 AU from the host star (a slightly evolved and metal-rich G-type star), and an outer Earth-sized planet, named Kepler-101c, with semi-major axis of 0.068 AU and mass less than four Earth masses.



OTTICA ADATTIVA
Le **ottiche adattive** sono, assieme allo **speckle imaging**, una delle moderne tecniche utilizzate per contrastare l'effetto della turbolenza atmosferica, che degrada le immagini, limitando il potere risolutivo del telescopio rispetto a quello ottenibile dalla semplice diffrazione e data dall'apertura del telescopio stesso. La conoscenza della forma effettiva del fronte d'onda permette, tramite un sistema di uno o più specchi a deformazione controllabile (specchi deformabili), di recuperare una forma più simile a quella piana, procedente all'ingresso in atmosfera, migliorando la qualità dell'immagine. Una correzione perfetta corrisponde ad un fronte d'onda piano che una volta focalizzato restituisce immagini di diffrazione del telescopio.

RISULTATI RECENTI
parte svolta come modulo CLIL

New TNG data show evidence of a variable amount of water ice on the surface of Ceres

The dwarf planet Ceres, the largest body in the asteroid main belt and current target of the NASA Dawn mission, has been the object of a surprising discovery based on measurements made at the Telescopio Nazionale Galileo (TNG). The TNG observations were temporally encompassed by the detections of localized and transient sources of water vapor over this dwarf planet (Zuppers et al. 2014, *Nature*, 505, 525), and led the authors to guess that water ice is indeed present on the surface of Ceres and that its abundance could be variable and concentrated in particular (colder) regions.

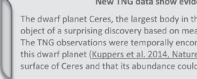


Figura 6. Poster realizzato dagli studenti sul telescopio TNG.

3. Laboratorio virtuale “alla ricerca dei raggi cosmici”

Un diverso percorso sulla scoperta dei raggi cosmici è stato svolto in un liceo di Parma per un periodo di circa due settimane. Il percorso è stato suddiviso in due parti:

- nella prima parte si è proposto un laboratorio virtuale per cercare di capire cosa sono i raggi cosmici, da dove e con quale velocità arrivano e come è possibile costruire uno strumento in grado di rilevarne il maggior numero possibile
- nella seconda parte, dopo un excursus storico sulla scoperta dei raggi cosmici e un’analisi delle proprietà delle particelle che li compongono, si sono presentati alcuni degli attuali esperimenti distribuiti nelle varie parti del mondo che studiano i raggi cosmici. Fra questi particolare risalto è stato dato all’esperimento MAGIC.



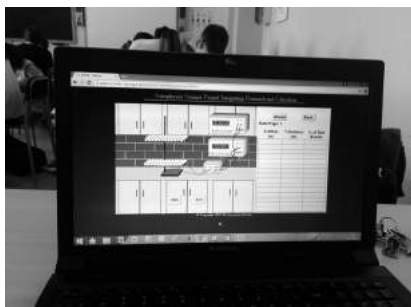
Per capire cosa sono i raggi cosmici e come gli scienziati li studiano, si sono utilizzate alcune attività laboratoriali disponibili al link <http://aspire.cosmic-ray.org/> dell’Università dell’Utah.

La classe è stata suddivisa in sei gruppi di quattro alunni e ogni gruppo ha utilizzato i computer della scuola per svolgere le attività di simulazione previste.

Le attività, tradotte dalla lingua inglese, sono cinque. Ciascuna è corredata da due schede: la prima contiene le istruzioni, la seconda le domande per riflettere sull’esperienza e cercare di interpretare in modo corretto i risultati ottenuti. Di seguito sono descritte le cinque attività.



1) Nella prima attività, che simula il viaggio in mongolfiera dello scienziato Hess, si conta il numero di particelle al variare dell’altitudine per rispondere al quesito ‘Da dove arrivano i raggi cosmici?’ facendo uso di un contatore Geiger virtuale. In tale attività gli alunni registrano il flusso di particelle al variare dell’altitudine e costruiscono il corrispondente grafico. L’utilizzo del contatore Geiger, seppur simulato, aiuta a capire il funzionamento di questo strumento. Prima dell’attività si consiglia di sottoporre agli studenti alcune domande sulla radioattività e di avviare una discussione; nel caso poi la scuola possenga un contatore Geiger, è istruttivo far vedere cosa succede avvicinando una sorgente radioattiva.



2) Nella seconda attività, gli alunni determinano la direzione delle particelle sulla base dei dati raccolti con un rilevatore circolare formato da tubi scintillatori e da due oscilloscopi che registrano l’istante di tempo in cui le particelle colpiscono i tubi scintillatori. Questa attività ha lo scopo di mostrare che i raggi cosmici sono particelle in

Figura 7. Attività di gruppo per il laboratorio virtuale “Alla scoperta dei raggi cosmici”.

movimento che provengono dallo spazio. Anche in questo caso, l'utilizzo della strumentazione virtuale risulta particolarmente utile alla comprensione.

- 3) Nella terza attività, utilizzando due file disposte una sopra l'altra di tubi scintillatori, gli alunni determinano gli angoli di arrivo dei raggi cosmici dalla costruzione dell'istogramma dello spostamento orizzontale fra il tubo scintillatore colpito nella fila inferiore rispetto a quello colpito nella riga superiore. In questa attività è importante far scoprire agli studenti che almeno due file di tubi scintillatori sono necessarie per determinare la direzione del moto delle particelle. Alcune domande con successiva discussione, sono inoltre fondamentali per far comprendere che i raggi cosmici provengono dallo spazio da tutte le direzioni in modo uniforme, ma arrivano al suolo prevalentemente da quella perpendicolare: è l'atmosfera terrestre che filtra le particelle meno energetiche provenienti in diagonale. I conteggi mostrano che, rispetto al numero totale, il numero di raggi cosmici con energie elevate è molto piccola.
- 4) Nella quarta attività gli alunni determinano la velocità media dei raggi cosmici dal calcolo della distanza percorsa e il tempo impiegato a percorrerla utilizzando due file di contatori Geiger disposti alla distanza di 1 m, e un goniometro. I risultati ottenuti per la velocità (a volte superiori al valore di c) permettono di ribadire che gli strumenti misurano un valore che è affetto da incertezza.
- 5) Nella quinta attività, la più impegnativa, gli alunni devono cercare di configurare un rivelatore che massimizzi il numero di conteggi di raggi cosmici. Si cercherà di spingere gli studenti a ragionare sul fatto che un conteggio è possibile solo se il rivelatore è costituito da due file di contatori e che è conveniente studiare come variano i conteggi all'aumentare della distanza verticale e orizzontale tra i piani.

Alla fine dell'intero percorso gli alunni sono stati in grado di capire alcune caratteristiche dei raggi cosmici ma anche le difficoltà che gli scienziati generalmente incontrano nel realizzare esperimenti che devono produrre il maggior numero di informazioni utili alla comprensione di ciò che si sta analizzando.

Le esperienze hanno inoltre fornito l'occasione di seguire l'evoluzione storica degli studi sui raggi cosmici.

Nonostante il supporto di schede e istruzioni, si è osservato che i ragazzi hanno a volte incontrato problemi nella messa a punto degli strumenti e nella raccolta dei dati.

Molto importanti sono stati i momenti di discussione al termine di ogni attività.

Durante la seconda parte del percorso, si sono potuti consolidare ed approfondire gli argomenti, attraverso una visita guidata alla mostra permanente 'Microcosmo' dell'Università di Parma. Alla mostra gli alunni hanno visto il funzionamento degli scintillatori e della camera a nebbia. Per ultimo si è posta l'attenzione sul funzionamento dell'esperimento MAGIC, uno dei più recenti esperimenti che studiano le particelle gamma che accompagnano i raggi cosmici primari.

4. I telescopi *magic* – major atmospheric gamma-ray imaging cherenkov telescope

Tutti i percorsi didattici hanno previsto alcune ore di spiegazione sul funzionamento dei telescopi MAGIC visti e studiati dai docenti nel sito astronomico di La Palma.

Ci si è soffermati sul funzionamento, sugli apparati costitutivi, sulla tecnica dell'Imaging e sull'importanza delle simulazioni al computer per la selezione degli eventi.

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. Con i precedenti telescopi a terra si riuscivano a studiare solo raggi gamma di energie superiori a 300 GeV.

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 e quindi permettono di risalire alla posizione della sorgente.

La rivelazione, però, è indiretta e avviene attraverso il riconoscimento dell'immagine prodotta da luce Cherenkov nei fotorivelatori.

Infatti quando un raggio gamma primario interagisce con l'atmosfera produce una cascata di particelle cariche (principalmente elettroni e positroni) le quali, muovendosi a una velocità maggiore rispetto a quella della luce nel mezzo, producono luce Cherenkov.

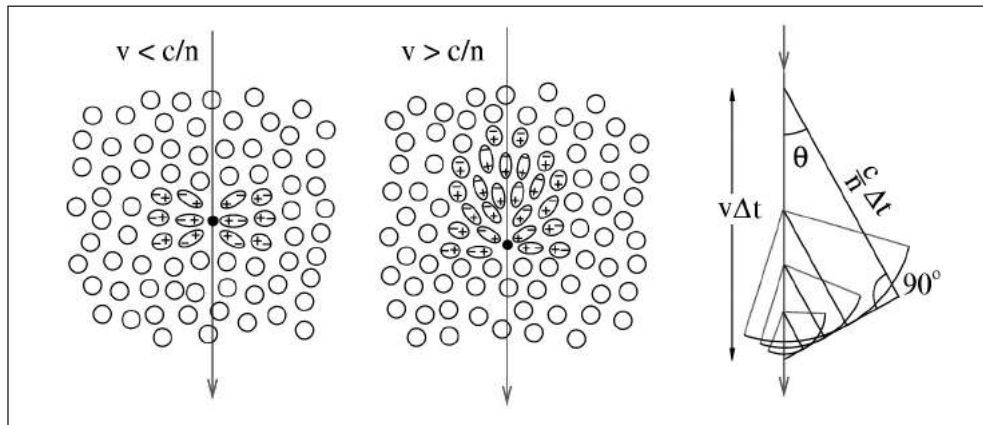


Figura 8. Luce Cherenkov di una particella dello sciame prodotto dall'interazione di un raggio gamma primario con l'atmosfera.

Agli studenti si è mostrata l'analogia con l'effetto del bang supersonico.

Il problema principale dell'astronomia gamma è quello di eliminare il rumore di fondo. Anche gli sciami adronici, interagendo con l'atmosfera, producono, infatti, cascate di particelle secondarie che possono dare origine a luce Cherenkov.

Gli strumenti, come MAGIC che sfruttano la tecnica dello IACT (Imaging Atmospheric Cherenkov Technique), distinguono gli sciami di raggi gamma primari dagli sciami di particelle di raggi cosmici, che formano il fondo, attraverso l'analisi della morfologia dell'immagine prodotta dai fotoni di luce Cherenkov sul piano focale, creando poi una relazione tra la direzione di arrivo e la distanza dal centro della camera.

Ciò è possibile attraverso il confronto con immagini ottenute da simulazioni al computer. Infatti, non potendo testare sul telescopio solo raggi gamma primari, è necessario riprodurre virtualmente il sistema (raggi cosmici, atmosfera, interazione tra le particelle e apparato del telescopio) per poter avere campioni di interazioni e di immagini prodotte dai relativi fotoni.

L'analisi dell'apertura della cascata aiuta la selezione: quella di un raggio gamma primario è minore e produce un'immagine compatta, ellittica, diversa dalla topologia dell'immagine prodotta da una cascata adronica che risulta a "macchia di leopardo".

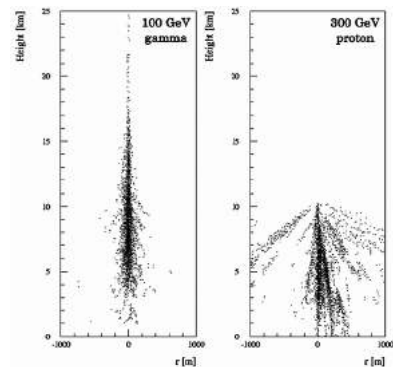


Figura 9. Simulazioni di interazioni: un raggio gamma e un protone.

Il tutto è complicato dal fatto che gli sciame di raggi gamma primari sono molto più rari di quelli adronici.

Una volta selezionata l'immagine, è possibile poi ricavare molte informazioni: 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 reiezione del background.

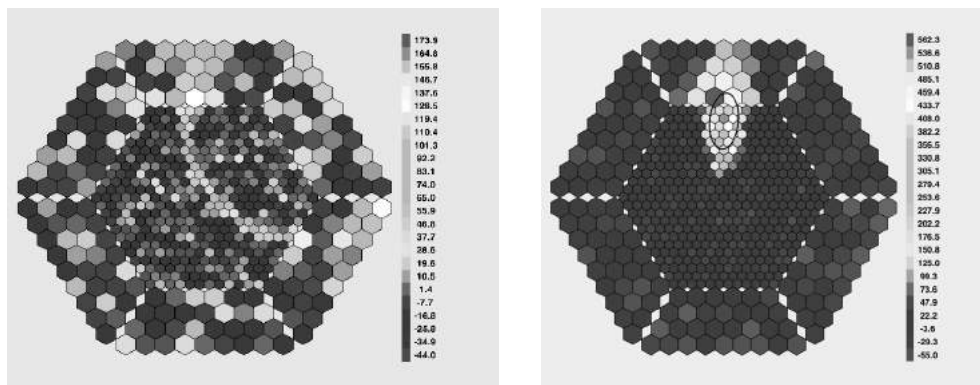


Figura 10. Immagini di fotoni prodotti da un raggio gamma, a sinistra e da un muone, a destra.

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

I paraboloidi sono composti da numerosi specchi di alluminio, molati con polvere di diamante, altamente riflettenti per una superficie totale di 240 m^2 . Sono installati su una struttura in fibra di carbonio che ne permette il rapido posizionamento.

Bisogna controllare il raggio di curvatura di ogni specchio in modo che il raggio riflesso da ciascuno sia focalizzato al massimo su un solo pixel della camera dei telescopi, controllare la focalizzazione per ottenere immagini precise (Point Spread Function) e monitorare il degrado causato dalle condizioni atmosferiche.

Con gli studenti ci si è soffermati in particolare sul funzionamento dei fotomoltiplicatori della camera focale, apparati che si basano sull'effetto fotoelettrico e in grado quindi di rivelare i fotoni incidenti attraverso segnali elettrici.

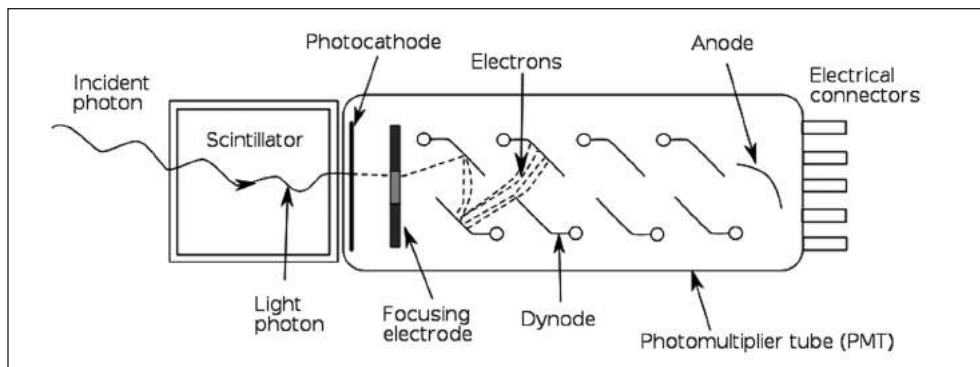


Figura 11. Struttura di un fotomoltiplicatore (PMT).

Infine si è sottolineata l'importanza del sistema di TRIGGER di MAGIC, mediante il quale vengono selezionate le immagini che rappresentano un evento significativo tra le molteplici raccolte. Sono presenti tre livelli di trigger: al primo livello si selezionano le immagini i cui pixel presentano un livello di energia superiore a un'intensità minima, al secondo livello si selezionano immagini con una specifica topologia delle celle illuminate e per ultimo si controlla la coincidenza dei due telescopi.

5. Lo spettro energetico dei RC (raggi cosmici)

Diversi percorsi didattici di questo progetto hanno compreso lezioni teoriche sullo studio dei raggi cosmici e del loro spettro energetico, sulle sorgenti galattiche e extragalattiche, sulla necessità di realizzare apparati rivelatori diversi a seconda della banda di energia esaminata.

Lo spettro energetico dei Raggi Cosmici Primari consente di evidenziare la relazione tra l'energia associata a un Raggio Cosmico e la frequenza con cui questo è osservabile. Il flusso rappresentato in Figura 1 esprime il numero di Raggi Cosmici che arrivano sulla Terra per unità di tempo, superficie e angolo solido. Lo spettro energetico, che si estende per 13 ordini di grandezza e copre 32 ordini di grandezza in flusso, è stata un'ottima occasione per introdurre in classe la scala logaritmica e lavorare con essa.

Si è osservato che il flusso dei RC diminuisce assai rapidamente all'aumentare dell'energia, con un grafico che appare rettilineo a tratti (in scala logaritmica) e che corrisponde ad una legge di potenza $\Phi = kE^{-\gamma}$ con due cambi di pendenza (cioè del valore di γ) in corrispondenza delle regioni convenzionalmente indicate come "ginocchio" e "caviglia". Si è cercato poi di mettere in evidenza come la variazione di pendenza corrisponda probabilmente a diversi meccanismi fisici di accelerazione dei Raggi Cosmici e come lo studio di tali meccanismi sia un campo di ricerca ancora aperto.

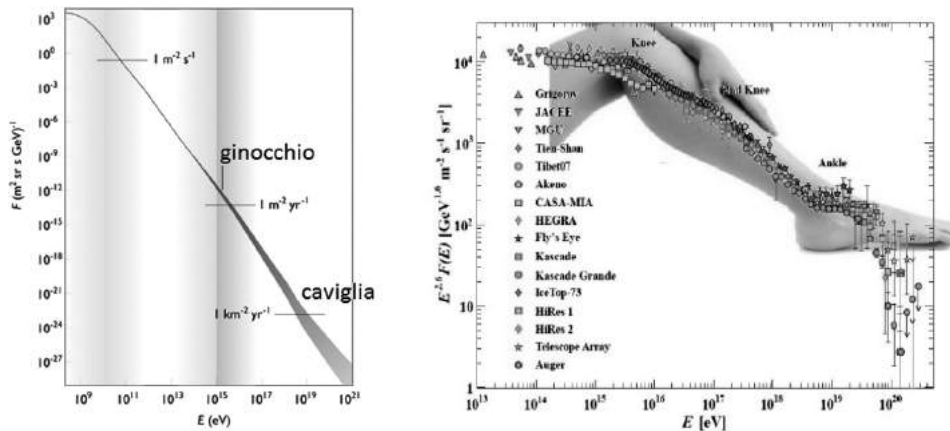


Figura 12. Flusso dei raggi cosmici in funzione della loro energia. A sinistra, la parte su sfondo giallo è ritenuta essere di origine solare, la parte su sfondo azzurro di origine galattica (probabilmente le particelle sono accelerate da esplosioni di Supernove), quella sopra al ginocchio da oggetti 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 indice della legge. Nella figura a destra, il flusso è stato moltiplicato per $E^{2.6}$ in modo che il "ginocchio" e la "caviglia" risultano più evidenti.

In effetti le ricerche più recenti sembrano assegnare origine diversa ai RC a seconda della loro energia:

Per energie 10^9 - 10^{10} eV: origine solare

Per energie 10^{10} - 10^{15} eV: origine galattica (esplosione di supernove)

Per energie 10^{15} - 10^{19} eV: origine galattica, ma meccanismo di accelerazione ignoto
 Per energie $> 10^{19}$ eV: origine ignota, probabilmente extragalattica, perché non esistono nella nostra galassia fenomeni in grado di fornire tale energia.

Nella nostra galassia, le esplosioni di Supernove sono gli oggetti astrofisici candidati con maggiore probabilità a essere acceleratori di RC di elevatissima energia, oltre a Pulsar e a Microquasar. I Nuclei Galattici Attivi (AGN) e i Gamma Ray Burst sono invece candidati extragalattici.

Il confinamento dei Raggi Cosmici all'interno delle Galassie ha fornito una buona occasione per parlare del moto di particelle cariche all'interno di un campo magnetico e per introdurre i metodi di Montecarlo per la simulazione delle traiettorie delle particelle cariche nei campi magnetici galattici.

Durante le lezioni si è cercato di approfondire lo studio dei meccanismi di accelerazione relativi ad alcune regioni dello spettro dei RC.

La maggior parte dei RC è originata dalle esplosioni di supernovae nella nostra Galassia (che avvengono con una frequenza di circa due per secolo). Durante le fasi successive all'esplosione, le particelle sono accelerate fino a circa 10^{15} eV per un tempo caratteristico di circa 1000 anni, e poi rilasciate nella Galassia, dove rimangono intrappolate per molto tempo (decine di milioni di anni). Alcune giungono sulla terra, e costituiscono i RC prima del ginocchio. I modelli teorici sembrano spiegare molto bene tutte le caratteristiche osservate (quantità di energia, spettro energetico, presenza di tutti gli elementi chimici). I modelli descrivono l'accelerazione dei RC come risultato stocastico di urti ripetuti delle particelle con un'onda di shock emessa dall'esplosione di una SN. Questo meccanismo, che venne utilizzato per la prima volta per i RC da E. Fermi (1949), richiede conoscenze di matematica e fisica decisamente troppo avanzate per uno studente del liceo, e quindi è stato proposto in classe solo in forma qualitativa.

Soffermarsi sui RC di origine extragalattica è risultato particolarmente stimolante, soprattutto perché non si è ancora certi della loro origine: quali oggetti nell'universo hanno la capacità di fornire così tanta energia alle particelle? Interessanti sono anche i limiti teorici sul flusso dei RC ad energie estreme. Tali limiti dovrebbero derivare dalla perdita di energia che i RC con $E > 10^{20}$ eV subiscono nell'interazione con la radiazione cosmica di fondo.

Trattare questa parte ha permesso

- di introdurre la Radiazione Cosmica di Fondo come un ulteriore esempio di spettro di corpo nero e di evidenziare la natura corpuscolare della radiazione;
- di far capire agli studenti che la Fisica è in continua evoluzione e ci sono ancora molti campi di ricerca aperti.

L'accelerazione dei raggi cosmici è accompagnata da emissione di luce nella zona di elevata energia dello spettro. Osservare questa luce ci dà informazione su chi ha prodotto questi RC così energetici. Lo studio delle sorgenti dei raggi cosmici è stato rivoluzionato dallo sviluppo di nuovi telescopi (come *Fermi*, *Agile*, *MAGIC*, *Hess*) in grado di osservare raggi gamma, cioè fotoni di alta e altissima energia.

A questo proposito sarebbe stato molto interessante approfondire le differenze fra lo studio della radiazione elettromagnetica in Astronomia classica e lo studio della radiazione elettromagnetica prodotta dai raggi cosmici. In Astronomia classica si studia lo spettro termico della radiazione (sarebbe possibile fare collegamenti con lo spettro di corpo nero studiato nel corso del quinto anno); con la componente elettromagnetica dei RC si studia l'emissione di radiazione da parte di cariche elettriche accelerate, l'effetto Compton e l'effetto Compton inverso (anche in questo caso sarebbero possibili collegamenti con fenomeni studiati nel corso del quinto anno). Purtroppo il tempo a disposizione non ha permesso di sviluppare questa ultima parte.

6. Effetti biologici delle radiazioni

Nell'ambito del progetto ci è sembrato interessante parlare dell'impatto biologico provocato sui tessuti del nostro organismo dai raggi cosmici. Parlare di RC è servito da spunto per introdurre grandezze dosimetriche, per fare collegamenti interdisciplinari con la biologia, per sviluppare abilità quali ad es. commentare e leggere articoli scientifici sugli argomenti trattati.

Il percorso è stato strutturato in 3 fasi.

In una prima fase, che possiamo chiamare "che cosa sai", gli studenti, sollecitati da immagini, hanno raccontato e analizzato quanto sapevano sull'argomento rendendo espliciti alcuni eventuali preconcetti.

Nella seconda fase, "che cosa devi sapere", sono state presentate quali sono le fonti di radiazioni nelle quali siamo quotidianamente immersi, facendo distinzione fra quelle di origine artificiale e quelle di origine naturale. Fra quelle naturali, la radiazione cosmica, contribuisce circa per il 14%.

Sono stati analizzati i modi in cui le radiazioni interagiscono con la materia. Dopo aver considerato la composizione dei raggi cosmici si sono presi in esame i diversi meccanismi di interazione con il tessuto biologico.

La radiazione ionizzante può interagire con il DNA o attraverso un'azione diretta, o attraverso ad un'azione indiretta tramite la formazione di radicali liberi. Dal punto di vista biologico gli effetti prodotti dalle radiazioni ionizzanti si distinguono in genetici e somatici che a loro volta si distinguono in deterministici e stocastici.

Ai ragazzi sono state introdotte le unità di misura fondamentali proprie della dosimetria e della radioprotezione. Partendo dal rilascio dell'energia nei tessuti, quindi dalla definizione di dose e di gray, si è arrivati alla definizione della grandezza radioprotezionistica di dose equivalente e di sievert.

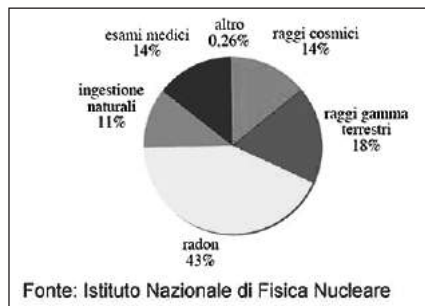


Figura 13. Importanza relativa delle varie fonti di esposizione. La voce "altro" si riferisce alla somma delle esposizioni dovute alla produzione di energia nucleare, ai test nucleari in atmosfera e all'incidente di Chernobyl.

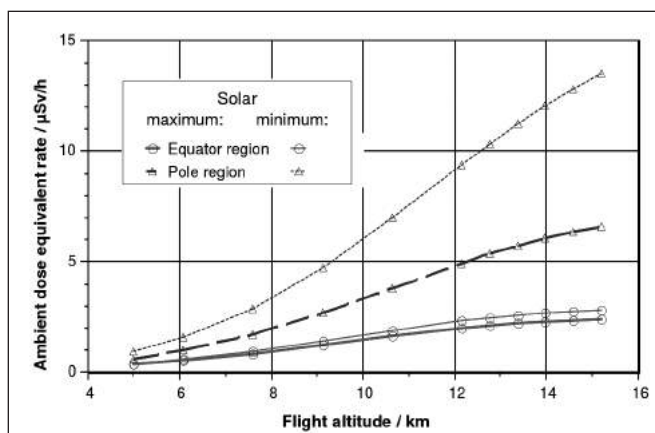


Figura 14. Andamento del rateo di dose equivalente di dose ambientale in funzione della altitudine, latitudine e fase solare.

Analizzando il grafico che riporta l'andamento del rateo di dose equivalente di dose ambientale in funzione della altitudine, latitudine e fase solare, è stato possibile constatare

come la concentrazione dei raggi cosmici aumenti con l'altezza e dipenda dalla latitudine. Nei dati del grafico sono state tenute in considerazione anche variazioni dovute alle fasi solari distinguendo fra i casi di massima attività e di minima attività.

Dopo aver parlato di quali possono essere le categorie di persone più esposte ai pericoli dei raggi cosmici, si è anche accennato al possibile utilizzo pratico dei raggi cosmici, come ad es. nella sorveglianza dei vulcani, nelle prospezioni geologiche e nella datazione di reperti con il C^{14} .

La terza fase, "cosa mi serve questo sapere", è servita da verifica. Attraverso la lettura e il commento di alcuni articoli di giornali e di alcune pubblicazioni divulgative si è valutata la comprensione del percorso.

8. Esempi di verifiche, risultati e test di gradimento

Al termine di ogni unità didattica, agli studenti è stata proposta un'attività di verifica, diversificata a seconda degli approfondimenti svolti e della durata del corso.

Alla fine di ogni lezione, sono stati talvolta forniti alcuni semplici quesiti orali seguiti da un breve dibattito, test a risposta multipla o quesiti a risposta aperta seguendo la tipologia utilizzata nella terza prova dell'Esame di Stato. Si riporta di seguito qualche esempio.

1° quesito:

L'immagine mostrata 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 doveva provenire dall'alto, cioè essere di origine extraterrestre.

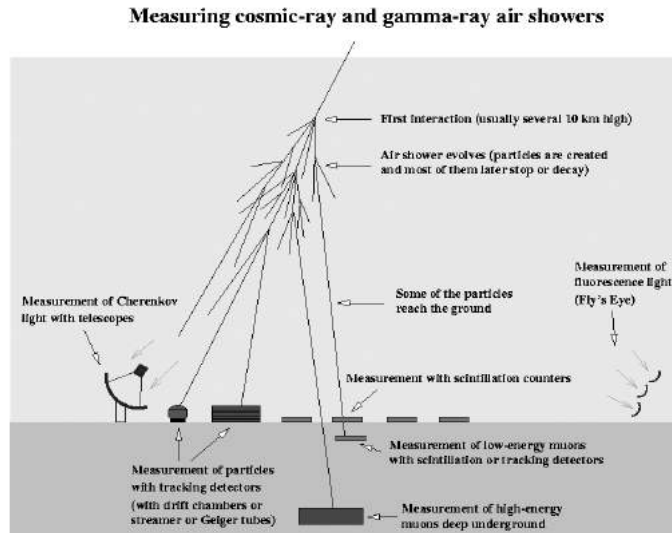


2° quesito:

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. Illustra l'effetto e il principio di funzionamento dei telescopi Cherenkov impiegati nell'esperimento MAGIC.

3° quesito:

Commenta brevemente le tecniche di rivelazione dei raggi cosmici illustrate nell'immagine seguente:



L'immagine mostrata 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 doveva provenire dall'alto, cioè essere di origine extraterrestre.

Esempi di Test sui RC

- Cosa sono i Raggi Cosmici?
 - Particelle cariche
 - fotoni
 - raggi X
 - raggi gamma
- Quali particelle sono più presenti nei RC?
 - Protoni
 - particelle α
 - particelle β
 - nuclei di C
 - fotoni gamma
- I raggi cosmici più energetici vengono prodotti
 - dal Sole
 - dal terreno
 - dal cosmo
 - dall'esplosione di una SN nella nostra Galassia
 - dalle pulsar
 - da altre galassie
- Dai RC localizziamo la sorgente?

Giustifica la tua risposta

- I raggi gamma sciamano in
 - e^+ , e^-
 - p^+ , p^-
 - m^+ , m^-
- Ordina gli strumenti da cui ha avuto inizio la storia 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
 - misure in pallone

- Chi ci protegge dai raggi cosmici?
 - Il CM terrestre
 - il vento solare
 - il vento galattico
 - le creme anti UV

A Cesenatico e Forlì è stata svolta una prova strutturata, mentre a Faenza alcuni alunni hanno realizzato una ricerca di approfondimento individuale (facoltativa) e la prova strutturata è stata usata come gara di squadra durante due lezioni. Il risultato della verifica è riassunto nella tabella seguente.

Voto	Forlì	Cesenatico	Totale
	5H	5A	
9 – ≤ 10	15%	14%	14%
8 – ≤ 9	35%	42%	39%
7 – ≤ 8	28%	24%	25%
6 – ≤ 7	13%	10%	12%
5 – ≤ 6	4%	5%	5%
v < 5	5%	5%	5%

Come illustrato dalla tabella 90% degli alunni hanno avuto un voto sufficiente e circa 60% un voto tra 7 e 9.

A queste classi è stato inoltre proposto un test di gradimento dal quale emerge che la maggior parte degli alunni ha trovato il percorso complessivamente utile e interessante, ma anche difficile. L'attività laboratoriale è stata valutata particolarmente interessante. Dal test si ricava poi che la maggior parte degli alunni desidererebbe approfondire l'argomento e tutti gli alunni suggeriscono di riproporre l'attività nelle classi future.

Il bilancio finale del progetto si è rivelato estremamente positivo per tutti i percorsi: al grande sforzo e alle difficoltà incontrate dai docenti nelle fasi di ideazione e soprattutto nella trasposizione dell'enorme mole di materiale a disposizione ad un livello adatto agli studenti di quinta superiore, è corrisposta una relativa semplicità nello svolgimento in aula delle lezioni vere e proprie.

Gli studenti sono apparsi molto interessati, e più spesso affascinati. Hanno dimostrato di aver quantomeno intuito, ma per lo più compreso, anche i concetti meno semplici.

In alcuni casi l'approccio storico ha facilitato la presentazione di questi argomenti e sicuramente le attività laboratoriali, così come la realizzazione del poster finale, hanno reso il percorso motivante e coinvolgente, anche per gli aspetti estremamente collaborativi che inevitabilmente l'accompagnavano.

Alcuni studenti hanno tratto spunto da questa attività per cogliere connessioni tra le varie discipline per la tesina dell'Esame di Stato.

Bibliografia

Strumenti utilizzati: testi di fisica e storia della fisica, materiale reperito presso i siti ufficiali dell'IAC, degli esperimenti Magic e TNG e del Museo del Balì di Saltara (PU).

Bibliografia e sitografia

Particelle e interazioni fondamentali – Sylvie Braibant, Giorgio Giacomelli, Maurizio Spurio – Springer

Particles and Astrophysics – Maurizio Spurio – Springer

Asimmetrie – rivista trimestrale dell'Istituto Nazionale Fisica Nucleare – numero 6 “Gli acceleratori”; numero 10 “I raggi cosmici”

Fisica Moderna – Halliday – Resnik – Walker ed. Zanichelli

Sempre più veloci – Amaldi – Chiavi di lettura Zanichelli

L'enigma dei Raggi Cosmici – De Angelis Alessandro – Springer

https://www.lngs.infn.it/lngs_infn/index.htm?mainRecord=https://www.lngs.infn.it/lngs_infn/contents/lngs_it/public/educational/physics/cosmic_rays/

http://www.pa.iasf.cnr.it/IASF/outreach/varie/Maccarone_RaggiCosmici.pdf