

**Scienza Giovane – 9 Nov. 2013**

**Parte 2 = Cosa si può fare con i Raggi Cosmici?**

**Slide 1 – Lettera dall’Australia**

Una delle domande che vengono spesso rivolte alle persone che lavorano nel campo della Della ricerca di base è: a cosa servono i RC?

Questa è una lettera che ho ricevuto nel 1979 dall’Australia....

La fantasia non ha limiti.....

**Slide 2 – Stanze nascoste nelle piramidi**

Già nel 1970 il premio Nobel Luis W. Alvarez aveva avuto l’idea di sfruttare la capacità delle particelle secondarie (i muoni) create dalle interazione dei RC con le molecole dell’alta atmosfera di attraversare grandi spessori di materiale (roccia, metalli etc.) per scoprire se nella piramide di Chephren (Egitto) vi fossero delle stanze nascoste (non ancora scoperte dagli archeologi). Con i moderni calcolatori si può ricostruire facilmente la struttura tridimensionale come nel caso illustrato della piramide del Sole (Messico). Allo stesso modo si possono scoprire delle masse disomogenee vicino o sovrastanti delle grotte naturali

**Slide 3 – Sorveglianza dei vulcani**

Ricercatori Giapponesi hanno proposto un analogo principio che utilizza il flusso di muoni quasi-orizzontali per sorvegliare il livello di magma all’interno di un vulcano

**Slide 4 – Prospezione geologica su Marte**

Sullo stesso principio della tomografia dei vulcani si è pensato di sviluppare dei piccoli rivelatori di muoni da mettere a bordo dei rover che saranno spediti su Marte per condurre la prospezione geologica a distanza delle montagne e scoprire eventuali caverne che possano essere abitabili. La sfida è quella di realizzare rivelatori piccoli, capaci di operare a basse temperature e che abbiano bisogno di poca potenza di alimentazione. Inoltre le zone geologicamente interessanti potrebbero richiedere di fare atterrare i rover in zone particolari ed accidentate per cui sia richiesta una certa precisione nel punto di atterraggio. Questa operazione è però notoriamente ardua.

La densità dell’atmosfera è tale da impedire l’impiego di razzi per la decelerazione, poiché il volo a velocità supersonica è instabile. Contemporaneamente, l’atmosfera è troppo rarefatta per l’impiego efficace di un paracadute e sistemi di aerofrenaggio. In missioni passate sono stati impiegati airbag per attutire l’impatto delle sonde robot sulla superficie di Marte, ma un laboratorio scientifico più complesso sarebbe troppo pesante per utilizzare lo stesso sistema.

Il rover Curiosity, che nel 2012 è atterrato sulla superficie marziana, ha utilizzato un nuovo sistema di alta precisione per l’entrata in atmosfera, la discesa e l’atterraggio (Entry, Descent, Landing System - EDL) che con successo lo ha posizionato all’interno di un cerchio di 20 km centrato sul punto previsto, più preciso dell’ellisse di 150 km per 20 km del sistema di atterraggio impiegato dal precedente Mars Exploration Rover

L’Agenzia Spaziale Indiana sarà la 4a nel mondo dopo US, Russia ed EU a inviare una missione su Marte.

La sonda (1350 kg), lanciata con successo il 5 Novembre 2013, ha a bordo 5 strumenti scientifici: un sensore per riconoscere metano, una macchina fotografica a colori, uno spettrometro termico per mappare la superficie e la ricchezza di minerali del pianeta, uno strumento per analizzare l’atmosfera. Il costo della missione è di 75Milioni di \$.

Gli indiani pensano così di battere i cinesi nella corsa a Marte soprattutto dopo che i Russi hanno fallito nel 2011 il lancio del primo satellite cinese su Marte. Nel 1998 i Giapponesi avevano a loro volta fallito.

Dal 1960 circa 40 missioni sono state lanciate per Marte e circa la metà non è andata a buon fine.

#### **Slide 5 – Datazione <sup>14</sup>C**

La datazione con <sup>14</sup>C è utilizzata comunemente per determinare l'età di materiale organico che risale fino a 60000 anni fa. Questo radioisotopo del <sup>12</sup>C decade con un tempo di dimezzamento di 5730 anni ed è continuamente prodotto dai neutroni dei RC che interagiscono con N (azoto) dell'atmosfera terrestre. Attraverso la fotosintesi, nutrimento e respirazione il <sup>14</sup>C si diffonde lungo la catena alimentare e si mantiene in equilibrio nella biosfera, ma quando un organismo muore – o quando capelli, denti, o altri tessuti permanenti si formano – la frazione isotopica del <sup>14</sup>C resta bloccata e comincia a decadere. Questa tecnica è molto usata per stabilire l'età di reperti archeologici ed è stata anche impiegata su un piccolo campione della Sindone di Torino.

A partire dagli inizi del 1950 il grandissimo numero di neutroni liberato nei test di bombe termonucleari ha indotto una crescita enorme di <sup>14</sup>C in atmosfera. Al picco circa una decina di anni dopo, la concentrazione era raddoppiata; dopodiché ha cominciato a diminuire costantemente dovuto allo scambio del Carbonio atmosferico con la biosfera e l'oceano.

E' stato dimostrato recentemente, usando campioni di cui si conosceva l'età, che questa curva può essere usata per determinare l'età di denti, zanne, corna, capelli ed altri tessuti sintetizzati negli ultimi 60 anni mediante la Spettroscopia di Massa con Acceleratore.

Un trattato internazionale del 1989 (ed altre leggi) bandisce il commercio di avorio, con alcune eccezioni per l'avorio più antico. Ad esempio in USA è legale lo scambio tra stati di avorio importato prima del 1989. Nonostante questo il bracconaggio e uccisione illegale di elefanti ha raggiunto il massimo nel 2002 (da un rapporto del 2012).

La tecnica della datazione con <sup>14</sup>C può essere quindi usata per combattere il commercio illegale di parti di animali

#### **Slide 6 - Antiterrorismo**

Uno degli obiettivi principali della sicurezza internazionale è contrastare il trasporto illegale di materiale radioattivo e nucleare all'interno di container (su camion o navi). L'attuale sistema di controllo basato sui raggi-X (simile a quello usato negli aeroporti per controllare i bagagli) non offre garanzie sufficienti quando questo materiale è schermato o si trova in containers di materiale schermante, e quindi può essere inadatto.

Attualmente il commercio globale avviene via nave (circa il 95% dei cargo mondiali cioè circa 200 milioni di containers per anno). Spesso solo per l'1% di tutti i container che transitano in porti italiani (dati del 2005) si verifica che le merci trasportate siano effettivamente quelle dichiarate.

E' stato quindi proposto un sistema, la "tomografia a muoni", per ispezionare in modo abbastanza veloce e sicuro il contenuto dei containers, utilizzando dei rivelatori di "muoni". Queste particelle (simili a elettroni pesanti) vengono prodotti nelle interazioni dei RC con gli strati più alti dell'atmosfera terrestre.

Al livello del mare se ne contano 1 su una superficie orizzontale di 1 cm<sup>2</sup> in ogni minuto. Essi possiedono una energia media ( ~2 GeV) sufficiente a penetrare alcuni metri di roccia e quindi utili per fare la "tomografia" di diversi oggetti. Si tratta di ricostruire l'immagine di oggetti con rivelatori di alta risoluzione spaziale (<1mm) che ricostruiscono la traiettoria delle particelle che li attraversano. Infatti le deviazioni subite da questi muoni per attraversare 10 cm di acqua (equivalenti allo spessore delle pareti di un container) è di circa 3mrad e cresce a più di 20 mrad per attraversare piombo e materiali più pesanti (ad esempio

Uranio). Un altro aspetto importante è il breve tempo (pochi minuti per un container) richiesto per questa operazione.

Questa tecnica è stata usata anche per esaminare il contenuto del reattore di Fukushima (Giappone) dopo l'incidente del 11 Marzo 2011.

### **Slide 7 – Premio creatività all'idea di usare i RC per misurare la quantità di acqua nel terreno**

L'acqua contenuta nel suolo esercita un controllo di notevole importanza sul tempo meteorologico, il clima, l'ecosistema e il ciclo dell'acqua. E quindi è cruciale per numerosi campi della scienza dell'atmosfera e delle discipline correlate.

Un serio problema nelle osservazioni/misure dell'umidità del suolo è la non concordanza tra le misure condotte in un limitato numero di punti di campionamento sul terreno e le stime ottenute dal telerilevamento per grandi aree (100-2500 km<sup>2</sup>) prive di spessa vegetazione. Lo scopo del progetto COSMOS è quello di ridurre questa discrepanza.

### **Slide 8 – Progetto COSMOS**

Il principio si basa sulla misura contemporanea e nello stesso posto dei neutroni secondari "veloci" e "termici" dei RC.

I neutroni prodotti in atmosfera dai RC possono essere divisi in 3 categorie:

- 1 - neutroni HE (High Energy = Alta Energia) [ $E > 1$  GeV] generati dai protoni primari e dagli atomi più pesanti che frantumano i nuclei dell'atmosfera in tante particelle tra cui neutroni
- 2 - neutroni "veloci" [ $E \sim 1$  MeV] generati da neutroni di alta energia
- 3 - neutroni LE (Low Energy = Bassa Energia) "termici" [ $E \sim 0.025$  eV] e "epitermici" [ $E > 0.5$  eV] prodotti dal rallentamento ("moderazione") dei neutroni veloci dalle collisioni con i nuclei atomici

Il processo di rallentamento (e/o arresto) dipende da 3 fattori:

- a) la sezione d'urto (o probabilità) d'interazione – l'interazione con l'idrogeno (H) ha un'alta sezione d'urto
- b) l'efficienza di ciascuna collisione, ovvero di quanto diminuisce ad ogni urto l'energia del neutrone – con l'H è il più efficiente
- c) il numero di atomi dell'elemento per unità di massa del materiale – l'H costituisce un'alta frazione di tutti gli atomi della maggior parte di terreni

Quindi i neutroni veloci vengono facilmente "rallentati" dagli atomi di H presenti nel materiale attraverso cui si propagano.

I neutroni veloci che sono prodotti in aria e nel terreno si muovono in tutte le direzioni dentro e tra l'aria ed il terreno e in questo modo si stabilisce un equilibrio tra le concentrazioni di neutroni. Questo equilibrio varia in risposta ai cambiamenti del contenuto di H nei due mezzi, ovvero ai cambiamenti nella quantità di acqua sul o nel terreno. Aggiungere acqua (H<sub>2</sub>O) al terreno significa rendere più efficiente la moderazione dei neutroni da parte del terreno con conseguente diminuzione dell'intensità dei neutroni veloci al di sopra della superficie del terreno. La rimozione dell'acqua dal terreno provoca l'effetto opposto.

Le misure ottenute devono essere corrette per le variazioni temporali dell'intensità dei RC indotte dall'attività solare e dalle variazioni della pressione atmosferica

I neutroni veloci sono prodotti e moderati anche in atmosfera. Poiché la composizione chimica dell'aria rimane praticamente costante, il loro tasso di produzione rimane costante. Tuttavia piccole variazioni del contenuto di vapore d'acqua aumentano la sezione d'urto (macroscopica) dell'aria e di conseguenza l'intensità dei neutroni veloci. Serve quindi una correzione per le variazioni di umidità dell'aria

## **Slide 9 – Avvio alla ricerca nei Licei ed Università scientifiche– Uno Sciame Estesero Atmosferico su Bologna**

Numerosi progetti di diverso tipo:

- apparati costituiti da centinaia di rivelatori sparsi su aree di migliaia di km<sup>2</sup>
- piccoli complessi di pochi rivelatori che coprono una area di alcune centinaia di m<sup>2</sup> posti in licei come siti per mantenere in funzione e seguire rivelatori

sono stati sviluppati in diversi paesi

In generale questi sistemi sono collegati via Internet e sincronizzati via GPS

I puntini rappresentano i muoni della cascata atmosferica creata da una particella dei RC di E  $\sim 10^{17}$  eV proiettati sulla mappa di Bologna.

## **Slide 10 – Distribuzione geografica grandi apparati**

Nelle Slides 21-32 alcuni esempi

## **Slide 11 – EEE**

Progetto italiano per i licei concepito dal Centro “E. Fermi” di Roma

## **Slide 12 – Altre idee per studenti**

Nelle Slides 33-36 esempi di singoli rivelatori di muoni

Uno di questi (KACST) è stato promosso da un’istituzione che ha lo stesso nome e che è equivalente alla “Città della Scienza” dell’Arabia Saudita.

## **Slide 13 - CORAM**

Sistema “educazionale” sviluppato dai colleghi dell’INFN di Lecce

## **Slide 14 – CORAM in giro**

Misure nella zona del Gran Sasso: a bordo funivia, a Campo Imperatore e in galleria. In pratica si ripetono le misure “classiche” dei RC in diversi ambienti e latitudini

## **Slide 15 – La Doccia cosmica**

L’ INFN ha realizzato in occasione della Mostra “Estremo” un box fatto di rivelatori che rendono visibili le tracce delle particelle al visitatore che si trovava al suo interno

## **Slide 16 – L’ utilità dell’inutile**

Questa foto è in fondo un ritorno all’inizio (vedi la prima slide della presentazione “I raggi cosmici....e noi”). Il bimbo sta aspettando dentro al box di vedere le luci che segnalano il passaggio di una particella che lo ha attraversato. La mia speranza è che quello che vede stimoli la sua curiosità e che la sua prima domanda sia perché succede e non a cosa serve.

Tutto quello che avviene, si sperimenta e si studia nei laboratori non trova sempre un’applicazione pratica immediata, né questa deve essere, alla fine, la giustificazione della ricerca scientifica. La cosiddetta ricerca di “base” sembra non suscitare più l’interesse della gente, soprattutto dei politici. Eppure è l’accumulazione dei saperi prodotti dalla scienza di base che permette di affrontare poi con uno spirito scientifico critico anche i problemi pratici.

Al giorno d’oggi il ragionare in termini di puro ed esclusivo interesse economico sembra prendere il sopravvento sull’utilità dei saperi inutili. In questo modo vengono progressivamente trascurate la nostra storia, le discipline umanistiche, l’istruzione, la libera ricerca, la creatività, l’arte e alla fine la conseguenza di tutto ciò sarà la soppressione del pensiero critico.

Ecco 2 citazioni a confronto:

Con la cultura non si mangia. Di cultura non si vive, vado alla buvette a farmi un panino alla cultura e comincio dalla "Divina Commedia" (G. Tremonti, Ministro dell'Economia, 14 Ott 2010)

I governanti che hanno solo il senso dell'utilità vanno in rovina. (G Bataille, filosofo francese 1897-1962)

**Slide 17 - SPARES**

**Slide 18 – Flusso muoni vs profondità e per diverse inclinazioni rispetto alla verticale**

**Slide 19 – Mappa USA con siti sonde COSMOS**

**Slide 20 – Mappa mondiale dei siti con sensori COSMOS**

**Slide 21 – Lista dei grandi apparati x EAS nelle High Schools**

**Slide 22 – CHICOS**

**Slide 23 - NALTA**

**Slide 24 – ALTA**

**Slide 25 – Mappa dei siti di ALTA**

**Slide 26 - CROP**

**Slide 27 – SALTA**

**Slide 28 - WALTA**

**Slide 29 – SCROD**

**Slide 30 – SEASA**

**Slide 31 – SKALTA**

**Slide 32- SkyView**

**Slide 33 - Rivelatori singoli per muoni - QuarkNet**

**Slide 34 - Rivelatori singoli per muoni - KACST**

**Slide 35 – Rivelatore singoli per muoni – CosMO**

**Slide 36 - Rivelatori singoli per muoni - CRITE**

**Slide 37 – La Porta Cosmica**

Al Museo Archeologico di Taiwan è stata collocata una "porta cosmica", ovvero rivelatori di particelle assemblati attorno al varco dei visitatori che segnalano con luci il contemporaneo passaggio dei RC

**Slide 38 – La Metropolitana di Napoli**

L'INFN ha in progetto di collocare un rivelatore di muoni cosmici nella stazione "Toledo" della Metropolitana di Napoli