

= Noi e... i Raggi Cosmici

**Slide 1 – I trogloditi sapevano già.....**

[Il troglodita (=uomo delle caverne) non era un troglodita: rispecchiava il livello della civiltà dell'epoca – S.J. Lec]

~ 30 particelle dei RC attraversano il corpo umano ogni secondo  
a causa della radioattività naturale 2000 particelle/sec vengono prodotti nelle disintegrazioni degli elementi radioattivi presenti nella crosta terrestre e nel nostro corpo

Dose = [Sievert] quantità di energia dovuta alla radiazione (ionizzante) assorbita (per unità di volume/massa di quel volume) pesata per i danni che ciascun tipo di radiazione può arrecare ai tessuti umani

**Slide 2 - l'impatto biologico e l'evoluzione della vita sulla Terra**

In condizioni normali c'è sempre una minima quantità di danno biologico dovuto al passaggio di particelle ionizzanti (e quindi dei RC e radioattività naturale) nei tessuti umani, ma la vita ha previsto un meccanismo che provvede a riparare il danno. Se la dose di radiazione cresce, tale meccanismo può risultare inadeguato e come conseguenza si possono verificare delle mutazioni pericolose che portano a malattie (tra queste il cancro). Tutto questo ha un senso se pensiamo all' "evoluzione" sulla Terra in quanto la vita non avrebbe potuto esistere in presenza di una radiazione di fondo che provocasse un tasso di mutazione troppo alto.

Questo non esclude che nel passato si possano essere verificati rari eventi che abbiano influenzato l'ambiente terrestre. Ad esempio nell'esplosione di una SuperNova (morte di una stella) vicina si ha la generazione di grandi quantità di particelle di alta energia che arrivando ad investire la Terra possono avere dato inizio a processi di mutazione su vasta scala.

Nell'eone Archeano (~3.8-2.5Gya = miliardi di anni) quando si pensa che sia comparsa la vita sulla Terra il flusso dei RC doveva essere ridotto di molto in conseguenza del periodo di rotazione del Sole molto più corto, di un campo magnetico generato dal Sole con una struttura a spirale di Parker molto più stretta e ad una diversa distribuzione delle zone più attive del Sole.

Alla sommità dell'atmosfera arrivano 1000 particelle/m<sup>2</sup>/sec  
Circa un fattore 200 volte più abbondanti che al suolo

**Slide 3 – Paura per i piloti?**

l'impatto biologico dei RC è stato studiato soprattutto in relazione agli effetti su personale "professionalmente" esposto tipo piloti d'aereo (i jet odierni volano ad altezze vicino agli 11 km) e astronauti (ad es. quelli su ISS che rimangono per molto tempo lontano dall'azione protettrice del campo geomagnetico e dell'atmosfera terrestre). In alcuni casi le reazioni prodotte nei materiali dei veicoli spaziali possono essere più dannose dei RC stessi. Infatti i danni maggiori ai tessuti sono provocati dagli ioni pesanti o dai frammenti generati dalle loro collisioni con la navicella spaziale.

Si fissano livelli massimi di esposizione a radiazione, e quindi di ore di volo per piloti, hostesses ed astronauti.

**Slide 4 – Nel fumetto *I Fantastici 4*, una cosa impossibile ma....**

Nell'originale gli scienziati si lanciano nello spazio senza sapere quale effetto possono avere i RC sull'uomo (cartoon-1)

Uscendo dall'atmosfera e dalle fasce di Van Allen (cartoon-2) essi vanno incontro ad una tempesta (storm), ma la navicella spaziale non è "sufficientemente" schermata" e il disastro avviene "quei terribili raggi cosmici" (cartoon 3) li trasformeranno

#### **Slide 5 – Il Sole e i cicli di attività**

Nel film I Fantastici 4 vengono investiti da una massa di RC prodotti dal Sole. Un evento non previsto. In effetti il Sole emette costantemente energia in forma di radiazione, particelle e plasma in cui è contenuto campo magnetico- quest'ultimo è chiamato vento solare in quanto si allontana con grande velocità (400-1200 km/s) radialmente dal Sole. Questa emissione però è soggetta a variazioni cicliche (di cui il ciclo di 11 anni delle macchie solari è il fenomeno più evidente e conosciuto) e ad esplosioni – con emissione di grandi masse di particelle – che tendono ad accadere più frequentemente e con maggiore intensità durante i periodi di massimo di attività solare tracciata dal numero di macchie  $R_z$  (vedi anche slide 7). Durante i periodi di maggiore attività il plasma è più turbolento e impedisce ai RC, originati dalle sorgenti Galattiche e che si muovono verso il Sole, di arrivare in prossimità della Terra. Questo effetto è particolarmente efficace per i RC di più bassa energia (vedi Slide 6) e questa diminuzione è ben vista dai contatori dei RC al suolo.

#### **Slide 6 – La distribuzione in energia dei RC modulati dal sole e degli eventi solari**

L'effetto dell'influenza dell'attività solare (tra massimo e minimo del ciclo di 11 anni) sui RC di più bassa energia che giungono alla sommità dell'atmosfera terrestre. A confronto è mostrato il flusso di protoni generato dal sole in occasione di diverse tempeste/emissioni di particelle.

#### **Slide 7 – Ciclo delle macchie e frequenza ed intensità degli eventi solari**

Si può notare come la frequenza e quantità di radiazione (protoni) emessa in ogni evento (=altezza della barra verticale) siano maggiori durante i periodi di massimo di attività solare come rappresentato dalle macchie ( $R_z$ )

#### **Slide 8 – Avversario dei Fantastici 4/il Fantasma Rosso e le sue SuperScimmie**

L'avversario dei Fantastici 4 vuole attraversare con un'astronave priva di schermi per particelle le fasce (belt) dei RC e dice di "sentirli" (feel).

La radiazione nelle fasce di Van Allen, dovuta ad alte concentrazioni di protoni ed elettroni intrappolati nella struttura dipolare del campo magnetico terrestre è molto più alta che nello spazio circostante

#### **Slide 9 – Le fasce di Van Allen**

Le fasce furono scoperte dai primi satelliti Explorer I e III (1958). Altissima densità di particelle (p,e) che rappresentano un grande pericolo per l'uomo ed i satelliti soprattutto quando sono compresse dall'azione dei CME (Coronal Mass Ejection = Espulsione di Massa Coronale). Sono in continuo movimento, mutando forma ed accelerando particelle.

Le particelle cariche sono distribuite in maniera tale che la fascia interna consiste principalmente di protoni, mentre quella esterna consiste principalmente di elettroni. Tale suddivisione è giustificata dalla velocità maggiore degli elettroni che quindi si stabiliscono su un'orbita più alta.

La fascia di Van Allen esterna si estende ad un'altitudine di circa 10.000–65.000 km ed è particolarmente intensa tra i 14.500 km e i 19.000 km

I pannelli fotovoltaici, i circuiti integrati e i sensori possono rimanere danneggiati da intensi livelli di radiazione. Protoni  $4 \cdot 10^5 /(\text{cm}^2 \text{ s})$ ; elettroni  $= 5 \cdot 10^6 /(\text{cm}^2 \text{ s})$

Recentemente si è scoperta (Van Allen Probe = Sonda Van Allen) una 3a fascia che non era stata osservata prima

### **Slide 10 - esperimento SiEye**

Gli astronauti possono “vedere” più che “sentire” – come diceva il nemico dei Fantastici 4 - i RC.

Infatti alcuni avevano riportato, che quando erano in volo sulla ISS (International Space Station) e chiudevano gli occhi per dormire, potevano vedere dei lampi nei loro occhi. Una possibile spiegazione era che le particelle dei RC nell'attraversare il corpo (umore) vitreo si muovessero in esso con una velocità ( $v$ ) superiore alla velocità della luce nel corpo gelatinoso dell'occhio (= velocità della luce nel vuoto / indice di rifrazione della luce nel mezzo =  $c/n$ ).

Questo fenomeno, noto come effetto Cherenkov, dà luogo all'emissioni di fotoni di luce lungo la traiettoria della particella che venivano percepiti dagli astronauti ad occhi chiusi (al buio).

Per confermare tale ipotesi si è costruito un rivelatore particolare fatto a casco che veniva indossato dagli astronauti. All'osservazione del lampo di luce il pilota premeva un bottone che registrava se una particella aveva effettivamente attraversato in quel momento il rivelatore che ricopriva il casco.

### **Slide 11 – Cosa protegge il “sistema” Terra ? [filmato]**

Quello che protegge il nostro sistema solare è la nostra stella.

Il sole fornisce uno schermo che si estende oltre l'orbita dell'ultimo pianeta (del sistema)

E' un campo di forza (magnetico) che devia questi raggi cosmici.

Ma questo vento solare può essere esso stesso pericoloso specialmente durante quegli eventi improvvisi di attività (esplosioni) chiamati CME.

Per comprendere/immaginare quello che può succedere di male alla Terra possiamo vedere quello che provoca un evento simile al nostro pianeta gemello Venere.

Il vento strappa via gli elementi più leggeri che formano la sua alta atmosfera: H, O e le molecole che questi formano H<sub>2</sub>O (acqua), quello che rimane di sostanze chimiche nocive, un insieme di sostanze pericolose e spiacevoli, incluso spesse nubi di zolfo.

Come ha fatto la Terra ad evitare la cattiva sorte di Venere?

Possiamo capirlo osservando la tempesta solare che si avvicina alla Terra.

Il nostro pianeta ha un proprio schermo protettivo costituito dal campo magnetico generato nel nocciolo più interno della Terra. In effetti questa è la nostra prima linea di difesa.

Gran parte della energia che il Sole riesce ad arrivare alla Terra è rimandata nello spazio dalle nubi, ghiaccio e neve.

L'energia finale che la Terra assorbe è giusto sufficiente a generare e mettere in moto il rimarchevole motore planetario: il clima.

Un inarrestabile moto di diffusione del calore solare creato dalla disomogenea distribuzione del calore solare dovuta in parte al ciclo giorno-notte e alle stagioni che fanno sì che i venti caldi tropicali spirino verso i poli e l'aria fredda dei poli si muova verso l'equatore.

Le correnti d'aria mettono in moto le correnti marine.

Questa simulazione al computer mostra la corrente del Golfo che si muove lungo il suo percorso attorno alle coste del Nord-America.

Questo grande fiume oceanico trasporta tanta energia in forma di calore da potere alimentare le industrie del nostro mondo più di 100 volte.

Si divide in tanti enormi vortici che spargono le calde acque tropicali nei mari del nord.

### **Slide 12 – Viaggio su Marte - necessità di un GPS “cosmico”**

Un punto critico per mandare una sonda spaziale su un pianeta da un altro pianeta risiede

nel calcolo di una traiettoria che parta dal primo pianeta ad una certa epoca ed arrivi al pianeta di destinazione ad un'altra epoca. Siccome i pianeti orbitano attorno al Sole, vi sono traiettorie che sono preferibili ad altre in termini di consumo di carburante e di durata del volo. Per determinare le orbite di trasferimento più convenienti si deve risolvere un problema formulato in questi termini: *date una posizione iniziale e finale, assieme al tempo di volo (desiderato) tra queste due posizioni, determinare l'orbita che li connette.*

La soluzione è denominata "Arco di Lambert" (nella figura è tracciata la traiettoria che porta una sonda vicino a Marte (senza entrare nell'atmosfera del pianeta a circa 200 km dalla superficie) e ritorna a Terra nel più breve tempo possibile

La Terra e Marte sono in una posizione ideale nel sistema solare durante certi anni ed è quindi assolutamente necessario programmare la missione ben in anticipo perché tutti i requisiti (date di lancio e arrivo, e calcolo del carburante) siano rispettati con certezza.

Il tempo minimo per il viaggio è di circa 1.5 anni. Questo dato, insieme alla cadenza dei minimi di attività solare, determina le date possibili.

Un secondo punto critico è la distanza.

L'equipaggio è isolato e ha a disposizione solo il materiale (carburante, cibo altro necessario alla sopravvivenza) che si è portato dietro. Un segnale radio che viaggia dalla Terra a Marte impiega circa da 10 a 20 minuti, a seconda della relativa posizione dei due pianeti nelle loro orbite. Un tempo simile impiega la risposta da Marte alla Terra. Perciò, in caso di una emergenza, le comunicazioni con la Terra saranno ritardate e per un salvataggio ci vorrà come minimo alcuni mesi.

I viaggi nello spazio più profondo richiedono una navigazione estremamente precisa. E' necessario individuare una sonda spaziale a 100 milioni di km dalla Terra entro 1 km.

I giroscopi ed gli accelerometri vengono usati correntemente sui satelliti che girano attorno alla Terra o orbitanti nel punto L1 (come il satellite Planck) ma le informazioni che vengono fornite da questi strumenti diventano meno accurate con il tempo.

Per questo si pensa di utilizzare in futuro osservazioni di quasars e/o pulsars.

I quasars sono sorgenti molto luminose e a distanze cosmologiche e possono essere utilizzate come sistema di riferimento per la navigazione spaziale.

I segnali radio provenienti da una navicella spaziale vengono ricevuti da 2 stazioni a terra diverse e lontane tra di loro e i tempi di arrivo sono misurati con grande precisione.

La differenza dei due tempi permette di tracciare il moto della sonda poiché dipende solo dalle posizioni delle due stazioni riceventi e della navicella. Tuttavia questa quantità è affetta da alcuni errori dovuti al passaggio dei segnali radio attraverso l'atmosfera terrestre. La correzione può essere fatta se si confronta tale misura con quella simultanea di un Quasar che sia circa nella stessa direzione (in realtà basta che si trovi entro 10°) e dal confronto si possono fare le dovute correzioni si può migliorare la direzione della sonda fino ad un milionesimo di grado. Le coordinate di un Quasar sono conosciute con grande precisione e il catalogo della SDSS ne contiene circa 200 000, per cui è facile che la condizione di piccola distanza angolare tra sonda e Quasar si verifichi. Aggiungendo le informazioni delle misure Doppler dei segnali, che forniscono la velocità della sonda lungo la linea di vista, si può arrivare a localizzare un satellite che dista anche 100 milioni di km entro poche centinaia di metri.

Un altro "sistema di riferimento" può essere costituito dalle pulsars.

Piccoli rivelatori di raggi-X posti a bordo del veicolo spaziale possono guardare agli impulsi emessi dalle pulsars (ad es. ogni 7 giorni per 1 ora) con regolarità (veri orologi precisissimi dovuti alla loro rotazione veloce) e permettere un calcolo accurato della loro posizione nello spazio (entro 20 km) e della loro velocità (entro 10cm/s).

### **Slide 13 – Missioni NASA su Marte nel decennio**

Sopra la superficie di Marte vi è un'atmosfera, sebbene non così spessa come quella della

Terra, si formano nubi, vi sono venti e si può formare un clima

La sonda *Curiosity* ha trovato acqua e composti organici ma anche perclorato che è dannoso per l'uomo che vada a contatto/lavori al suolo. Inoltre: Deuterio ( $D$  o  $^2H$ ),  $CO_2$ , ossigeno e composti di zolfo (scaldando il campione a  $835\text{ }^\circ C$ ).

Marte non possiede un campo magnetico intenso come quello della Terra.

Per il momento (in questo primo decennio) la NASA sembra essere interessata a missioni che definiscano l'habitat di Marte prima di una missione umana sul pianeta. L'agenzia punta quindi su imprese "private" (sponsorizzate da miliardari dell'informatica tipo Elon Musk, cofondatore di Paypal e eBay, e fondatore di SpaceX-Space Exploration Technologies Corporation) per realizzare un volo "umano" su Marte entro il 2022. Non è chiaro se quegli astronauti saranno anche in grado di ripartire e tornare una volta arrivati sul suolo di Marte, ma sembra che le prenotazioni non manchino.

#### Confronto caratteristiche Terra-Marte

TERRA		MARTE
	ATMOSFERA [%]	
77	Azoto	2,7
21	Ossigeno	0,13
1	Argon	1,6
0,038	Anidride Carbonica	95,32
	TEMPERATURA [ $^\circ C$ ]	
56	Massima	20
-89	Minima	-140
	GIORNO [h, min]	
24	Durata	24,37
	ANNO [gg]	
365	Durata	687
	FORZA DI GRAVITA'	
1		0,375 quella della Terra
	PRESSIONE ATM.	
1030	$[g/cm^2]$	5
	VELOCITA' DI FUGA	
11.1	$[km/s]$	5

#### Slide 14 - Missione "doppio sprint"

Un'idea per realizzare un volo umano su Marte è quella di spedire una sonda-cargo verso Marte prima degli astronauti così questi possono incontrarsi nell'orbita vicino a Marte o trovarlo pronta che aspetta sulla superficie marziana, prima del loro arrivo.

### **Slide 15 – Cosa succede se andiamo nello spazio profondo dove non c'è la magnetosfera- Misure di radiazione fatta da *Curiosity* nel suo viaggio a Marte**

La sonda *Curiosity* ci ha fornito le prime osservazioni dirette dei livelli di radiazione che si possono incontrare in un viaggio su Marte. I valori eccedono di molte volte i limiti di sicurezza fissati dalle autorità sanitarie.

Il rischio viene soprattutto dalle particelle HZE (High Z and E) cioè ioni che hanno alta carica [Z] e grande energia. Infatti gli studi sugli animali (sulla terra) hanno mostrato che in generale questi nuclei hanno una maggiore probabilità di provocare l'insorgere di un cancro rispetto alle radiazioni che ionizzano in maniera casuale.

Uno dei problemi è rappresentato dalla latenza dell'insorgere del tumore.

Quindi, per il momento, l'incertezza sul rischio d'insorgenza di tumori da radiazione nello spazio rimane ancora alta poiché la qualità di questa radiazione è molto differente da quella sulla Terra.

### **Slide 16 - Grafico rischio di morte da esposizione a radiazione – NASA**

La NASA ha calcolato i limiti di esposizione accettabili per il rischio di morte indotto dall'assorbimento di radiazione, dovuta ai RC galattici (GCR) e agli eventi di emissione solare (SEP) per un volo umano della durata di 500 giorni su Marte.

La relazione tra la esposizione a radiazione e il rischio dipende dall'età e dal genere (maschio/femmina) in base agli effetti di latenza, differenze nei tipi di tessuti e sensibilità, e differenze nell'età delle persone.

I limiti di rischio per insorgenza di un cancro

L'esposizione (professionale) alla radiazione non deve superare il 3% del REID (Risk Exposure Induced Death) per un cancro mortale. Il grafico mostra diverse curve (linee continue) che rappresentano i limiti in funzione delle diverse età per un uomo che non ha mai fumato. I colori si riferiscono a diversi spessori (3.7, 7.7 e 11 cm) di materiale schermante (alluminio).

Le curve tratteggiate mostrano con quale livello di confidenza (95%) questo limite di rischio (tenuto conto delle incertezze nel calcolo puramente statistico del rischio) fissa la dose totale effettiva che un astronauta può ricevere.

### **Slide 17 – Schermo magnetico astronave**

Una possibilità per mitigare gli effetti della radiazione che colpirebbe la navicella spaziale si può ricorrere ad uno schermo magnetico. Si tratta di creare un campo magnetico di forma opportuna attorno all'astronave. Le traiettorie delle particelle cariche dei RC sono alterate e quindi diminuisce la probabilità che un RC riesca a colpire e/o penetrare le pareti dell'astronave.

L'INFN di Bologna ha pensato ad un sistema modulare (multi-coil design).

Una struttura a più bobine rende la barriera più affidabile (in caso di guasto di una bobina, gli astronauti non perderebbero completamente l'effetto schermante) e permetterebbe il lancio di piccoli elementi che possono essere implementati/ assemblati nello spazio.

La forma della bobina (toroidale o cilindrica) e metodo di distribuzione devono essere analizzati e confrontati, al fine di ottimizzare le prestazioni del magnete e la meccanica della struttura ottimizzando il rapporto schermatura / peso.

### **Slide 18 – L'origine della vita nello spazio**

$H_3^+$  è uno ione che gioca un ruolo importante in campi diversi, dalla chimica all'astronomia

È stato scoperto recentemente nelle nubi molecolari e nel mezzo interstellare, e fornisce uno strumento per caratterizzare l'atmosfera di Giove da lontano.

In laboratorio lo ione è prodotto nei tubi al plasma

Lo ione consiste di 3 protoni legati a 2 elettroni e può essere pensato come una molecola di idrogeno ( $H_2$ ) con un extra-protone attaccato ( $H^+$ )

Nello spazio interplanetario questo ione forma la base per una estesa ramificazione di reazioni ione-molecole che sono responsabili della creazione della maggior parte delle molecole osservate nello spazio interstellare. Le osservazioni di questo ione possono essere combinate con quelle di altre importanti molecole quali  $H_2$  e CO che caratterizzano le condizioni fisiche e chimiche delle nubi interstellari

Diagramma mostra i prodotti che possono avere avuto origine da  $H_3^+$

Nubi molecolari di  $H_2$  interagiscono con i RC dando origine ad  $H_3^+$ .

La colonna verticale indica la possibile catena chimica con la semplice aggiunta di atomi di H e C, entrambi abbondanti nello spazio.

I rami della colonna indicano le possibili reazioni chimiche che possono avere luogo con reagenti più complessi. Composti quali alcoli o cianidi possono venire creati in questa rete, molto probabilmente essi compongono la parte integrante dell'ambiente chimico dal quale la Terra pre-biologica si è formata.

Recentemente è stato scoperto del Polipropilene  $[CH_3]_n$  su Titano, luna di Saturno.

### **Slide 19 – Stessi cicli di 62 Myr nei generi e nei RC**

Recentemente è stata scoperta una periodicità di 62 Myr (milioni di anni) nella diversità degli animali marini sulla Terra. Tale segnale è stato determinato con notevole confidenza anche se

datare la prima apparizione e la scomparsa di decine di migliaia di generi dipende fortemente dalla stima dell'età dello livello stratigrafico nel quale è stato trovato il fossile.

È stato anche proposto meccanismo per spiegare questa variazione nella biodiversità che sarebbe dovuto a variazioni di flusso dei RC.

La distanza verticale del sistema solare dal piano mediano del disco della Via Lattea oscilla con una ampiezza di 230 anniluce ed un periodo paragonabile a 62 Myr.

Dovuto al moto della nostra Galassia verso l'ammasso di galassie Virgo crea una cavità asimmetrica. L'onda d'urto stazionaria che si viene a creare potrebbe accelerare RC ed costituire la parte dominante delle particelle che arrivano alla Terra dal di fuori della Via Lattea. Il sistema solare potrebbe incontrare il massimo flusso di RC – con possibili conseguenze biologiche - quando si viene a trovare dalla parte più a Nord. Al momento noi siamo solo 30 anniluce a Nord del piano mediano e ci muoviamo verso Nord.

Da stime fatte considerando la diffusione delle particelle nella cavità, l'ampiezza del contributo dei RC ExtraGalattici (EG) al flusso che raggiunge la Terra sarebbe solo del 5% ed è difficile immaginare che un così piccolo contributo abbia un effetto così grande sulla biodiversità.

Ma assumendo un processo di diffusione non lineare la simulazione prevede un aumento dei RC EG di un fattore 5 passando dall'estremità Sud a quella a Nord.

È stato calcolato che c'è solo la probabilità di  $1/10^7$  (1 volta su 10 milioni) che la correlazione osservata sia dovuta a una fluttuazione statistica (caso).

Vi sono stati anche altri episodi di grandi estinzioni della vita sulla Terra ma questi hanno diversa origine. La grande estinzione alla fine del periodo Cretacico 65 Myr fa è stata sicuramente conseguenza dell'impatto di un enorme bolide. E anche l'estinzione, ancora più grande, del Permiano 250 Myr fa è attribuibile essenzialmente all'insorgere del vulcanismo.

### **Slide 20 – Interazione ambiente sole-terra**

I RC e l'energia emessa sotto forma di radiazione dal Sole influenzano l'ambiente terrestre e le attività dell'uomo. Le variazioni principali si verificano nella TSI (total solar irradiance  $1,367 \text{ kW/m}^2$ ), emissione UV, emissione di particelle durante eventi solari (SEPs) e modulazione RC galattici (GCRs).

Nello schema dei meccanismi attraverso i quali le variazioni dell'emissione ed attività solare possono influenzare il clima, i colori individuano i diversi domini della Terra che risentono dell'influenza dei due fattori (Sole ed RC) e delle concatenazioni (frecce) che trasportano l'effetto all'ambiente umano. Bisogna ricordare che l'energia che arriva alla terra sotto forma di TSI è  $\sim 10^8$  Energia trasportata dai RC.

in blu: magnetosfera e ionosfera

in verde: media atmosfera

in nero: troposfera e ambiente Terrestre

Non si ha ancora una chiara comprensione dei meccanismi fisici che legano le variazioni della TSI alle variazioni del clima (e del riscaldamento). Vi sono importanti differenze tra le misure dei diversi radiometri che devono essere risolte prima che si possa stimare accuratamente l'influenza del sole sul clima.

Inoltre non si sa quando grande sia la variazione della TSI su scale più lunghe del ciclo solare. Comunque aumenta l'evidenza che i cambiamenti della TSI hanno conseguenze sulla media e bassa atmosfera terrestre.

### **Slide 21 – Esperimento CLOUD al CERN**

Recentemente alcuni ricercatori hanno sostenuto che esistesse una correlazione tra le variazioni dell'intensità dei RC che colpiscono l'atmosfera terrestre e la formazione di nubi, che partecipano alla regolazione del clima della Terra. Questa teoria è stata confutata da altri e per dirimere la questione è stato costruito un esperimento (CLOUD = Nube) al CERN in cui fasci di particelle cariche attraversano del gas, con una composizione simile a quella dell'atmosfera terrestre, all'interno di un contenitore sigillato al fine di studiare i meccanismi di formazione degli aerosol (grappoli di particelle) che costituiscono i nuclei di aggregazione all'origine delle nubi.

I risultati recenti hanno dimostrato che

- la radiazione ionizzante, tipo RC, ha scarsa influenza nel formare questi aerosol
- un ruolo importante è invece attribuibile alle ammine (composti organici che contengono azoto). Le ammine sono vapori atmosferici strettamente correlati all'ammoniaca, e sono emesse sia dall'attività umana o nell'allevamento del bestiame, e da sorgenti naturali. Le ammine sono responsabili degli odori che sono emanati da materiale organico, contenente proteine, in decomposizione.

Questi risultati suggeriscono che i gas naturali da sorgenti naturali o antropiche possono influenzare la formazione delle nubi e quindi il clima