

ITALIAN JOURNAL OF AEROSPACE MEDICINE



N. 8 - JANUARY 2013



AIMAS - ASSOCIAZIONE ITALIANA DI MEDICINA AERONAUTICA E SPAZIALE



COSMIC RADIATION AND HUMAN FLIGHT

LE RADIAZIONI COSMICHE ED IL VOLO UMANO

■ ANTONELLO FURIA MD

Ente Nazionale per l'Aviazione Civile
Direzione Centrale Standardizzazione della Sicurezza
Ufficio Medicina Aeronautica - Roma

CORRESPONDING AUTHOR/CONTATTI

Dr Antonello FURIA

ENAC
Direzione Centrale Standardizzazione della Sicurezza
Ufficio Medicina Aeronautica
Via del Castro Pretorio, 118 - 00185 Roma
Tel. +39 06 4459 6597
a.furia@enac.gov.it

► **Short title**

Cosmic radiation and flight

► **Keywords**

Cosmic radiation, Encode, flight crew, solar radiation

The phenomenon of cosmic radiation has been known for exactly a century and its discovery in 1912, thanks to Victor Hesse, coincided with the birth of aviation. Until then, it was only known in general terms that radiations were present in the atmosphere. Through the use of a balloon pushed up at a height of 5,000 m, Hesse realized that, after the 2,500 m, the level of radiation increased significantly with altitude. He first attributed this phenomenon to the fact that the atmosphere was able to protect the Earth from radiations coming necessarily from outer space. He then discovered the "cosmic radiation" and for this discovery he was awarded the Nobel Prize in 1936.

In 1933, Sir Arthur Compton discovered another phenomenon whereby radiation increases as you get closer to the Earth's magnetic poles, but only in 1982 Sekido and Elliot first studied the composition of cosmic radiation discovering that it is made up of "ionized atomic nuclei (protons) that hit the atmosphere" and travels at nearly the speed of light.

These concepts, applied to aerospace, show us, in a very intuitive way, that the closest is the flight path to the Earth's poles and the higher the altitude, the greater is the amount of radiation that affect the aircraft (or space module) and its occupants.

The term "cosmic radiation" refers generally to galactic cosmic radiation consisting of a "constant component" coming from deep space and caused by the explosion of supernovae projecting through space mainly protons

► **Titolo breve**

Radiazioni cosmiche e volo

► **Parole chiave**

Radiazioni cosmiche, Encode, equipaggi di volo, radiazioni solari.

Il fenomeno delle radiazioni cosmiche è conosciuto esattamente da un secolo e la loro scoperta, nel 1912 per merito di Victor Hesse, è in pratica coincisa con la nascita dell'aviazione. Fino ad allora era solamente nota la generica presenza di radiazioni nell'atmosfera.

Attraverso l'utilizzo di un pallone aerostatico portato all'altezza di 5.000 m, Hesse si rese conto che, dopo i 2.500 m, il livello di radiazioni aumentava progressivamente con la quota. Egli per primo attribuì questo fenomeno al fatto che l'atmosfera era in grado di proteggere la terra da radiazioni che provenivano necessariamente dall'esterno. Aveva scoperto le "radiazioni cosmiche" che gli valsero poi il premio Nobel nell'anno 1936.

Nel 1933 Sir Arthur Compton scoprì un altro fenomeno in base al quale le radiazioni aumentano man mano che ci si avvicina ai poli magnetici terrestri, e solo nel 1982 Sekido ed Elliot scoprirono per primi la composizione delle radiazioni cosmiche che risultarono costituite da "nuclei atomici (protoni) ionizzati che colpiscono l'atmosfera" che viaggiano a una velocità prossima a quella della luce.

Tali concetti ricondotti alla realtà aeronautica e spaziale ci indicano, in modo estremamente intuitivo, che più prossima ai poli terrestri è la rotta di volo e maggiore è la quota, maggiore è la quantità di radiazioni che colpiscono il vettore (aeromobile o modulo spaziale che sia) e i relativi occupanti.



Victor Hesse

and heavy ions. To this adds a "variable component" consisting of the "solar radiation"; the less predictable portion of radiation comes from the star at the center of our planetary system. The intensity that can double nearby the Earth's poles between the minimum and the maximum of the solar cycle depends in fact, not only on the phase of the cycle itself, which has a duration of 11 years, but also, and above all, on episodic activity and solar storms, whose timing and magnitude cannot be foreseen [1]. In some of these episodes, fortunately infrequent, the variable component can also increase by 1,000 folds.

"Primary" radiations are those who, traveling close to the speed of light, impact the atmosphere. They are made of 90% hydrogen, 9% helium and 1% of all other natural elements of the periodic table. The highest number of nuclei has low energy; it has an initial energy greater than 100 MeV, far beyond the range found in the ordinary protection from radiation. One curiosity is the "mysterious" Ultra High Energy Radiation that, although present in smaller amounts, comes from all parts of the cosmos, therefore from very distant galaxies from ours. The mystery consists in the fact that it is currently not known any cosmic object able to accelerate particles to an energy so high, and therefore it is not currently possible to explain how these are formed. We will now describe the effects of lower energy radiation on the atmosphere.

Following the collision of primary radiation with the atmospheric gases a cascading effect is generated that is attenuated in intensity when it gets closer to the lower

Con il termine "radiazioni cosmiche" s'intendono in genere le radiazioni cosmiche galattiche costituite da una "componente costante" proveniente dallo spazio profondo che è causata dall'esplosione di supernovae le quali, come detto, proiettano nello spazio soprattutto protoni e ioni pesanti. A questa si aggiunge una "componente variabile" costituita dalle "radiazioni solari"; è proprio dalla stella al centro del nostro sistema planetario che giunge la porzione di radiazioni meno prevedibile. L'intensità che può raddoppiare ai poli terrestri fra il minimo e il massimo del ciclo solare, infatti, dipende non solo dalla fase del ciclo stesso che ha una durata di 11 anni, ma anche e soprattutto da attività episodiche, le tempeste solari, che non possono essere previste né in termini temporali né in termini di magnitudo [1]. In alcuni di questi episodi, per fortuna poco frequenti, la componente variabile può aumentare anche di 1000 volte.

Le Radiazioni cosiddette "primarie" sono quelle che, viaggiando a una velocità prossima a quella della luce, impattano l'atmosfera. Esse sono composte dal 90% da Idrogeno, dal 9% di Elio e dall'1% da tutti i restanti elementi naturali della tavola periodica. Il maggior numero dei nuclei è a bassa energia rispetto a quelli ad alta energia che, è da notare, ha un'energia iniziale persino superiore ai 100 MeV, molto oltre il range riscontrato nella protezione ordinaria da radiazioni.

Una curiosità riguarda le "misteriose" radiazioni Ultra High Energy che, anche se presenti in quantità minori, giungono da tutte le parti del cosmo quindi da galassie molto lontane rispetto alla nostra. Il mistero consiste nel fatto che al momento non è conosciuto alcun oggetto cosmico in grado di accelerare le particelle a un'energia così alta e quindi non è possibile al momento spiegare come esse si formino; ma passiamo ora a descrivere gli effetti delle radiazioni a più bassa energia sull'atmosfera.

A seguito della collisione delle radiazioni primarie con i gas atmosferici si genera un effetto a cascata che si attenua d'intensità man mano che ci si avvicina agli strati inferiori dell'atmosfera e che genera uno spray di particelle secondarie di energia minore composte soprattutto da neutroni, muoni e neutrini oltre che da radiazioni elettromagnetiche non corpuscolate (soprattutto raggi γ).





Le conseguenze dei grandi eventi solari sull'atmosfera terrestre, prevedibili con l'anticipo di soli 8 minuti ovvero il tempo impiegato dalla luce del sole per giungere sulla terra, sono di estrema rilevanza per la dose assorbita dagli equipaggi operanti in voli ad alta quota e a latitudini elevate. La struttura leggera di un aeromobile costituisce una barriera troppo sottile perché riesca ad attenuare le radiazioni cosmiche soprattutto quelle ad alta energia mentre, come si è detto, esistono fondamentalmente due fattori che proteggono la popolazione sulla superficie terrestre dai raggi co-

smici: lo schermo dell'atmosfera e quello delle fasce di Van Allen formate dal campo magnetico terrestre e che si estendono diverse migliaia di chilometri nello spazio.

La grande maggioranza del traffico aereo, soprattutto quello a medio e lungo raggio, si svolge a quote oltre i 10 km, e le rotte trans-oceaniche, trans-siberiane e polari sono sempre più utilizzate dalle compagnie aeree civili. A latitudini vicine al polo magnetico, nella fascia oltre i 50°N in Canada e 70°N in Siberia, esiste un "plateau" oltre il quale l'intensità rimane costante e non si registra alcun ulteriore aumento in funzione dell'incremento di latitudine. Si consideri che la quantità di radiazioni a 9.000 m è circa 90 volte quella a livello del mare, poi aumenta tra 9.000 e 12.000 m raddoppiando e quindi raddoppia ancora tra 12.000 e 20.000 m. Ne deriva che verso il polo e ad alta quota, in coincidenza di una tempesta solare la dose di radiazioni assorbita diviene significativa [1,2]

Sebbene oggi la fisica delle radiazioni cosmiche sia meglio conosciuta rispetto agli anni '60, epoca in cui si sviluppò il trasporto aereo supersonico, le conoscenze strata of the atmosphere, and that forms a spray of secondary particles composed mainly of lower energy neutrons, muons and neutrinos as well as non corpuscular electromagnetic radiation (especially γ -rays).

The consequences of major solar events on the global atmosphere, predictable 8 minutes in advance, or the time it takes sunlight to reach the earth, are of major importance for the dose of radiation absorbed by crews operating in high-altitude and high latitudes flights. The lightweight design of an aircraft constitutes a barrier too thin to mitigate the cosmic radiation, especially high energy one, while there are basically two factors that protect the population on the Earth's surface from cosmic rays: the screen of the atmosphere and the Van Allen belts formed by the Earth's magnetic field, which extends thousands of kilometers into space.

The vast majority of air traffic, especially in the medium and long range, takes place at altitudes of over 10 km, and the trans-oceanic, trans-Siberian and polar routes are increasingly used by civil aviation. At latitudes close to the magnetic pole, in the range above 50° N in Canada and 70° N in Siberia, there is a "plateau" beyond which there is no further increase of radiation as a function of the increase in latitude. It should be noted that the intensity of radiation at 9,000 m is about 90 times that at sea level, it doubles between 9,000 and 12,000 m and then it doubles again between 12,000 and 20,000 m. Consequently towards the pole and at high altitudes, in the event of a solar storm, the radiation dose becomes significant [1,2].

Although today the physics of cosmic radiation is better known than during the '60s, a time when the supersonic air transport developed, the knowledge of neutrons, the particles that have the most significant biological effects at flight altitudes, is still at the theoretic-

smici: lo schermo dell'atmosfera e quello delle fasce di Van Allen formate dal campo magnetico terrestre e che si estendono diverse migliaia di chilometri nello spazio.

La grande maggioranza del traffico aereo, soprattutto quello a medio e lungo raggio, si svolge a quote oltre i 10 km, e le rotte trans-oceaniche, trans-siberiane e polari sono sempre più utilizzate dalle compagnie aeree civili. A latitudini vicine al polo magnetico, nella fascia oltre i 50°N in Canada e 70°N in Siberia, esiste un "plateau" oltre il quale l'intensità rimane costante e non si registra alcun ulteriore aumento in funzione dell'incremento di latitudine. Si consideri che la quantità di radiazioni a 9.000 m è circa 90 volte quella a livello del mare, poi aumenta tra 9.000 e 12.000 m raddoppiando e quindi raddoppia ancora tra 12.000 e 20.000 m. Ne deriva che verso il polo e ad alta quota, in coincidenza di una tempesta solare la dose di radiazioni assorbita diviene significativa [1,2]

Sebbene oggi la fisica delle radiazioni cosmiche sia meglio conosciuta rispetto agli anni '60, epoca in cui si sviluppò il trasporto aereo supersonico, le conoscenze





cal levels. The need to further deepen the knowledge on the particles forming galactic cosmic radiation and even more importantly, the biological effects resulting from exposure, is widely shared by the international scientific community [3].

It is important to know that, up to date, no measuring device, active or passive, is able to provide a satisfactory assessment of the exposure to the various components of cosmic radiation, and all methods of calculation, such as computerized CARI-6 made available by the FAA Civil Aerospace Medical Institute's [4], are based on models of theoretical prediction and are not fully supported by experimental verification. Instead, one of the facts absolutely certain, derived from studies of physics, is that particles with high linear energy transfer high-LET (LET is the index that measures the ability of particles to transfer energy when crossing biological tissues) represent 68% of the total radiation faced by the airline personnel. In the nuclear industry workers, on the contrary, 93% of the exposure to radiation is due to low linear energy transfer (low-LET) therefore with less capacity to cause molecular damage (ionization and free radicals); in fact, the higher the linear energy transfer is, the greater is the "stress" on tissues and in particular on cellular DNA.

The evolution of international law has taken into account these factors. In fact, prior to 1991 when the Publication 60 of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) radically changed the approach to the subject, the dose limit accepted for the crews was the same as for the general population. The flight crews were not, until then, considered professionally exposed to radiation and therefore the rules adopted for the workers in this category were not applied.

The picture has changed with the introduction of the EU Directive EURATOM 96/29 [5], implemented in the Member States, which regulates the protection of workers and the public population against the hazards arising from ionizing radiation and considering flight crew occupationally exposed, establishing a 20 mSv annual limit on the maximum dose absorbed.



sui neutroni, particelle che hanno il maggior rilievo sugli effetti biologici alle quote di volo, restano ancora a livelli teorici. La necessità di approfondire ulteriormente la conoscenza sulle particelle costituenti radiazioni cosmiche galattiche e ancor di più, sugli effetti biologici derivanti dall'esposizione, è ampiamente condivisa dalla comunità scientifica internazionale [3].

È importante sapere che, a tutt'oggi, nessun dispositivo di misurazione, attivo o passivo, è in grado di fornire una valutazione soddisfacente dell'esposizione alle diverse componenti di radiazioni cosmiche e tutti i metodi di calcolo, anche quelli computerizzati come il CARI-6 messo a disposizione dalla Civil Aerospace Medical Institute della FAA [4] si basano su modelli di previsione teorica non completamente supportata da verifiche sperimentali. Invece uno dei dati di fatto assolutamente certo, derivato dagli studi della fisica, è che le particelle a elevato trasferimento lineare di energia high-LET, (il LET è l'indice che misura la capacità delle particelle di cedere energia nell'attraversare i tessuti biologici), sono il 68% delle radiazioni totali cui è esposto il personale di volo. Nei lavoratori del settore nucleare, al contrario, il 93% dell'esposizione è dovuto a radiazioni a basso trasferimento lineare di energia (low-LET) quindi con minore capacità di provocare danni molecolari (ionizzazione e radicali liberi), infatti, quanto più è elevato il trasferimento lineare di energia, tanto maggiore è lo "stress" sui tessuti e in particolare sul DNA cellulare.

L'evoluzione della normativa internazionale ha tenuto in debito conto tali fattori. Infatti, prima del 1991 quando è stata diffusa la Pubblicazione 60 dell'International Commission on Radiological Protection (ICRP) che ha cambiato radicalmente l'approccio alla materia, la dose limite accettata per gli equipaggi era la stessa di quella prevista per la popolazione generale. Gli equipaggi di volo non erano quindi, fino a quel momento, considerati professionalmente radio esposti e di conseguenza non veniva applicava la normativa adottata per i lavoratori appartenenti a tale categoria.

Il quadro è cambiato nell'Unione Europea con l'introduzione della direttiva EURATOM 96/29 [5], recepita nei vari Stati membri, che regola la radioprotezione dei lavoratori e della popolazione pubblica dai pericoli derivanti dalle radiazioni ionizzanti e che considera il personale di volo professionalmente esposto stabilendo in 20 mSv il limite annuale massimo di dose assorbibile.

In Italia la Direttiva 96/29/EURATOM è stata recepita con Decreto Legislativo n°241 del 26 maggio 2000 che porta il titolo "Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti" [4]. Secondo le disposizioni di legge la popolazione dei lavoratori è suddivisa in due classi. Alla "classe A" appartengono tutti i lavoratori esposti a una dose effettiva maggiore di 6 e fino a 20 mSv/anno, mentre alla "classe B" appartengono tutti i lavoratori con esposizione fino a 6 mSv/anno.



In Italy the Directive 96/29/EURATOM is implemented by Legislative Decree No. 241 of 26 May 2000 which carries the title "Implementation of Directive 96/29/EURATOM for the protection of the general public and workers against the risks arising from ionizing radiation" [4]. According to this law workers are divided into two classes. "Class A" comprises all employees exposed to an effective dose greater than 6 and up to 20 mSv/year, while the "Class B" comprises all workers with exposure up to 6 mSv/year.

The dose limits imposed are established to eliminate as much as possible the deterministic effects (directly related to the dose absorbed) and minimize as much as possible the risk of stochastic effects (based on probabilistic criteria and therefore not dose-dependent) arising from to cosmic radiation exposure.

The adjustment of the aviation specific legislation at the end of the 90s was timely when the ECAC (European Civil Aviation Conference), through the JAA (Joint Aviation Authority), immediately put in place a series of initiatives in order to update regulations, introducing the principles of the Directive EURATOM 96/29.

Currently the European Union, through the EU Regulation n.8/2008 of 11 December 2007 [6], establishes specific requirements for aircraft operators under which it is compulsory to assess air crew cosmic radiation exposition and, where this exceeds 1 mSv / year, a series of actions must be put in place, including exposure metering, reduction of exposure as much as possible, and staff information about the possible risks resulting from exposure. Rules also require to limit the exposure of crew during pregnancy, and the further obligation for the operator to keep the exposure record for each crew member and to communicate it to the person at least annually and upon termination of employment. Such data must be kept by the operator only for 12 months after termination of the employment relationship.

Flights of more than 49,000 ft (15,000 m) are prohibited unless a suitable apparatus for measuring radiation is installed on board. Finally, the pilot shall begin to descend to a lower flight level as soon as possible, if the dose rate specified in the Operation Manual is exceeded.

Epidemiological studies on flight crews present specific problems that make them difficult to carry out due, for example, to the relatively low cumulative dose, in the order of 100 mSv over the entire career of flight, and also to the difficulty of finding a valid reference population since crew members have characteristics and lifestyles significantly different from the general population. Moreover, we must not neglect that exposure factors other than cosmic radiation (mild hypoxia, low humidity, alteration of circadian rhythms, electromagnetic radiation, etc.), which could also have an important role in the development of some pathologies, are simultaneously present. A further factor, very important, is the difficulty to accurately reconstruct the absorbed dose throughout the entire career because of the lack of complete records



I limiti di dose imposti hanno lo scopo di eliminare quanto più possibile gli effetti deterministici (direttamente dipendenti dalla dose assorbita) e minimizzare quanto più possibile il rischio di effetti stocastici (basato su criteri probabilistici e quindi non dose-dipendenti) derivanti dall'esposizione a radiazioni cosmiche.

L'adeguamento della normativa aeronautica specifica alla fine degli anni novanta è stato tempestivo quando l'ECAC (Conferenza Europea dell'Aviazione Civile), tramite la JAA (Joint Aviation Authority), pose immediatamente in essere una serie di iniziative volte all'aggiornamento dei regolamenti, introducendo i principi della direttiva EURATOM 96/29.

Oggi l'Unione Europea attraverso il Regolamento U.E. n. 8/2008 dell'11 dicembre 2007 [6] ha stabilito requisiti specifici per gli operatori aerei in base ai quali è stato stabilito l'obbligo di valutazione dell'esposizione alle radiazioni cosmiche del personale navigante e, qualora questa superi 1 mSv/anno, devono essere messe in atto una serie di azioni fra cui la misurazione dell'esposizione, la riduzione quanto più possibile dell'esposizione stessa, l'informazione al personale sui possibili rischi conseguenti all'esposizione. Vigè inoltre l'obbligo di limitare l'esposizione nei membri di equipaggio in stato di gravidanza, e l'ulteriore obbligo per l'operatore di mantenere per ognuno la registrazione dell'esposizione e di comunicarla all'interessato su base almeno annuale e al momento della risoluzione del rapporto di lavoro. Tali dati devono essere custoditi dall'operatore solamente per 12 mesi dopo la risoluzione del rapporto di lavoro.

Sono vietati i voli oltre i 49.000 ft (15.000 m) salvo che non sia installata a bordo un'ideale apparecchiatura per la misurazione delle radiazioni. Infine, al pilota in volo è fatto obbligo di iniziare appena possibile la discesa qualora sia superato il rateo di dose indicato nel manuale di operativo di compagnia (Operation Manual).



related to personal flight history. These uncertainty factors affect the results of the studies. The most significant study showed some correlation in the increased incidence of hormone-related cancers, such as breast cancer, in flight attendants, and prostate cancer and testicular cancer in military pilots only. It was found instead that, for many types of cancer, the incidence among crew members did not differ from the general population. However, the increased incidence of tumors, such as malignant melanoma and other skin cancers, detected among pilots in some studies, would be due, according to different authors, to lifestyle related factors rather than to working conditions.

It is estimated that the exposure to cosmic radiation for a crew member flying 900 hours per year for 30 years between North America and Europe, compared with the general population exposed to cigarette smoke, chemicals, radiation and other natural factors known or unknown, can increase the risk of death from cancer, which is normally 20%, by a further 1%. This means that the risk (general) can rise from 20% to 21%. [7,8]. In the presence of the many elements of uncertainty mentioned above, we must await that the results of further studies can shed more light on the physics of cosmic rays and their long-term effects on biological tissue. Meanwhile, the careful data recording for each crew member, and perhaps the introduction of more stringent regulatory requirements in order to record actual individual exposure "story" throughout the working life, could lead to obtain more reliable data for future scientific studies.

In the meantime, molecular biology has taken a big step forward. Just a few weeks ago, the important discovery within the project Encode [9], the result of an

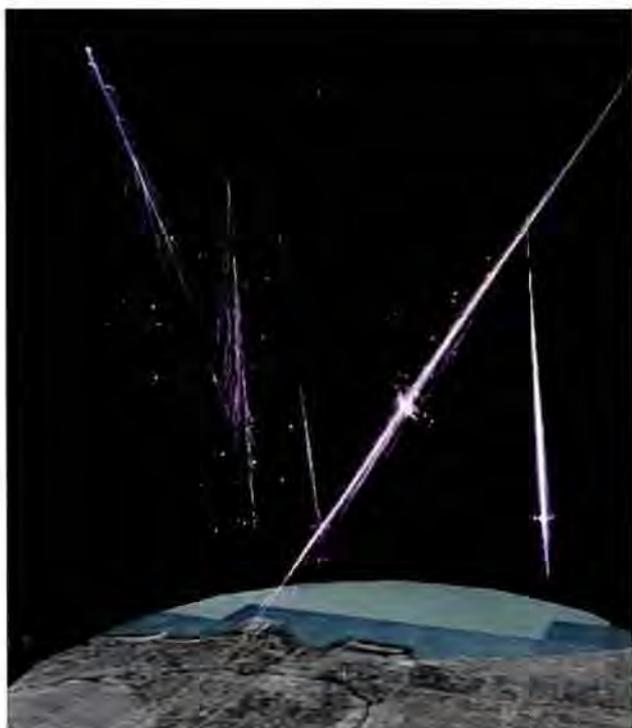
Va detto che gli studi epidemiologici sugli equipaggi di volo presentano problematiche specifiche che ne rendono difficile l'effettuazione a causa ad esempio, della relativamente bassa dose cumulativa, dell'ordine di 100 mSv nell'arco dell'intera carriera di volo, ed anche per la difficoltà di individuare una popolazione di riferimento valida poiché i membri di equipaggio hanno caratteristiche e stili di vita notevolmente differenti dalla popolazione generale. Non bisogna trascurare poi che sono contemporaneamente presenti fattori di esposizione diversi dalle radiazioni cosmiche (lieve ipossia, bassa umidità dell'aria, alterazione dei ritmi circadiani, radiazioni elettromagnetiche, etc.), che potrebbero avere anch'essi un ruolo importante nello sviluppo di alcune patologie. Un ulteriore fattore, assai rilevante, è la difficoltà nel ricostruire con esattezza la dose assorbita durante l'intera carriera a causa della mancanza di registrazioni complete della storia personale di volo. Tali fattori d'incertezza condizionano i risultati degli studi. Quelli più significativi del settore hanno evidenziato una certa concordanza riguardo all'incremento dell'incidenza dei tumori ormono-correlati quali ad esempio quelli della mammella nelle assistenti di volo, il cancro della prostata e tumore al testicolo nei soli piloti militari. È stato rilevato invece che, per molti tipi di tumore, l'incidenza fra i membri di equipaggio non si discosta da quella della popolazione generale.

Per quanto riguarda invece l'aumento dell'incidenza di tumori quali il melanoma maligno e gli altri tumori della pelle, rilevati da alcuni studi fra i piloti, sarebbe da imputarsi secondo diversi autori a fattori correlati allo stile di vita piuttosto che alle condizioni di lavoro.

È stimato che l'esposizione alle radiazioni cosmiche per un membro di equipaggio che vola 900 ore all'anno per 30 anni fra il Nord America e l'Europa, rispetto alla popolazione generale esposta a: fumo di sigarette, sostanze chimiche, radiazioni naturali e ad altri fattori conosciuti o sconosciuti, può incrementare di un ulteriore 1% il rischio di morte da patologia tumorale che normalmente è del 20%. Ciò significa che il rischio (generale) può salire dal 20% al 21%. [7,8]

In presenza dei numerosi elementi d'incertezza descritti, bisognerà aspettare i risultati di ulteriori studi in grado di fare maggiore chiarezza sulla fisica delle particelle cosmiche e sui loro effetti a lungo termine sui tessuti biologici. Nel frattempo l'attenta registrazione dei dati di ogni singolo membro di equipaggio, e magari l'introduzione di requisiti regolamentari più stringenti rispetto a quelli attuali che portino a ottenere l'effettiva "storia" individuale di esposizione lungo l'intero arco della vita lavorativa, potranno mettere a disposizione dati più affidabili per gli studi scientifici futuri.

Intanto, proprio in questi giorni, nella biologia molecolare si è compiuto un grande passo in avanti. È solo di poche settimane fa l'importantissima scoperta nell'ambito del progetto Encode [9], frutto di un enorme sforzo scientifico compiuto da 440 scienziati provenienti da 32 laboratori internazionali che ha dimostrato come l'80%





enormous scientific effort undertaken by 440 scientists from 32 laboratories located throughout the world, has shown that 80% of the DNA, until now wrongly called "junk DNA", is indeed rather active, working and absolutely necessary for the cellular mechanisms: another proof that in nature nothing happens by chance and nothing is useless. This non-coding DNA contains an intricate system of "circuit breakers" that can control if, how and when to activate genes, including those that control cell life and therefore the mechanisms of cancer development.

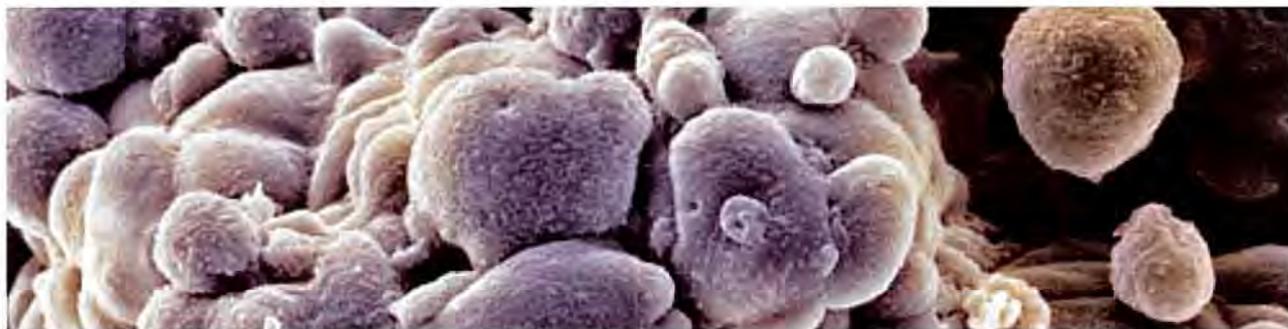
Most of the mutations, observed in pathological cells in thousands of scientific studies and caused by mutagenic agents, including ionizing radiation, do not affect the genes coding only but also the intricate system of switches present in the DNA.

Passengers of air and space carriers have not been mentioned in this article but all the considerations made so far about the flight crew are absolutely applicable to another category of exposed persons: the "frequent flyers" that should be given the necessary attention.

del DNA, che era definito in maniera impropria "DNA spazzatura", è invece attivo, funzionante e del tutto necessario per i meccanismi cellulari: un'altra prova che in natura nulla è casuale e nulla è inutile. Questo DNA non codificante contiene un intricato sistema di "interruttori" in grado di controllare se, come e quando devono essere attivati i geni, anche quelli che controllano la vita cellulare e quindi i meccanismi di sviluppo delle malattie tumorali.

La maggior parte delle mutazioni, osservate nelle cellule patologiche in migliaia di studi scientifici e causate da agenti mutageni, radiazioni ionizzanti comprese, non colpisce quindi esclusivamente i geni codificanti ma anche l'intricato sistema d'interruttori presenti nel DNA.

Non sono stati citati in questo articolo i passeggeri dei vettori aerei e spaziali ma tutte le considerazioni fatte fino ad ora per il personale di volo sono assolutamente applicabili a un'altra categoria di persone esposte: i "frequent flyers" cui pure, andrebbe rivolta la necessaria attenzione.



► REFERENCES / BIBLIOGRAFIA

- 1) Kendall G.M. *Factors affecting cosmic-ray doses at aircraft altitudes*. Health Physics.5: 560-562; 2000.
- 2) Friedberg W. *A Computer Program for Calculating Flight Radiation Dose*. Available on website <http://jag.cami.jccbi.gov/cariprofile.asp>; 1999.
- 3) European Commission. Radiation protection. *Exposure of air crew to cosmic radiation*. A report of EURADOS working group 11. The radiation exposure and monitoring of air crew. Eurados report 1996-01. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 1996.
- 4) Decreto Legislativo n° 241 del 26 maggio 2000: *Attuazione della direttiva 96/29/EURATOM in materia di protezione sanitaria della popolazione e dei lavoratori contro i rischi derivanti dalle radiazioni ionizzanti*. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 203 del 31 agosto 2000 - Supplemento Ordinario n. 140.
- 5) Commission of the European Communities. Council Directive 96/29/Euratom of 13 May 1996. *Laying down basic safety standards for the protection of health of workers and the general public against the danger from ionizing radiation*. Luxembourg: Office for Official publications of the European Communities L 159:39. 1996.
- 6) Regolamento (CE) n. 8/2008 della Commissione, dell'11 dicembre 2007, recante *modifica del regolamento (CEE) n. 3922/91 per quanto riguarda i requisiti tecnici comuni e le procedure amministrative applicabili al trasporto commerciale mediante aeromobili*. <http://eur-lex.europa.eu>
- 7) Boice J.D.Jr.; M.Blettner; A. Auvinen. *Epidemiologic studies of pilots and aircrew*. Health Physics.5: 576-584; 2000.
- 8) Rafnsson V.; J.Hrafnkelsson; H.Tulinus. *Incidence of cancer among commercial airline pilots*. Occupational Environmental Medicine. 57:175-179; 2000;
- 9) The ENCODE Project Consortium. *An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome* Nature, Vol. 489:57-74 (September 6, 2012).

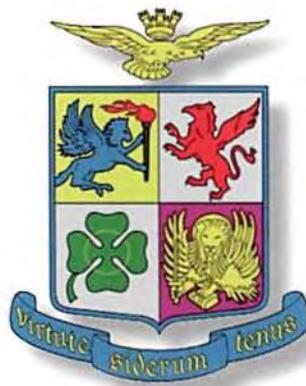
IN THE SPIRIT OF DISCOVERY



RATIO ET VOLUNTAS INVENIENDI



AIMAS
Italian Association
of Aviation and Space
Medicine
XXVI National Meeting



ELGRA
European Low Gravity Research
Association
International Biennial Symposium
& General Assembly

Joint in Vatican City
11-14 September 2013