



L'ambiente spaziale e gli impatti sul design



Quando si progetta una missione nello spazio, bisogna tenere in considerazione l'ambiente in cui gli strumenti ed il satellite che li trasporta andranno ad operare.

Circa il 25% delle anomalie di funzionamento sono infatti dovute all'ambiente spaziale che influisce sui sistemi di controllo e di gestione dello spacecraft e dello strumento.

Gli impatti sul design sono dovuti a:

- Gli effetti del “vuoto”
- L'ambiente inerte
- Il plasma
- Le radiazioni
- I micrometeoriti e i debris

1. Lavorare nel “vuoto”

Lo spazio grazie alla sua bassa densità (pochi atomi di idrogeno per metro cubo, 10^{-11} atm a 400 Km) è un laboratorio privilegiato per le misurazioni scientifiche ma causa anche una serie di problemi dovuti a :

- a. Heat transfer
- b. Solar ultraviolet degradation
- c. Self-contamination
- d. Cold welding

a. Heat transfer

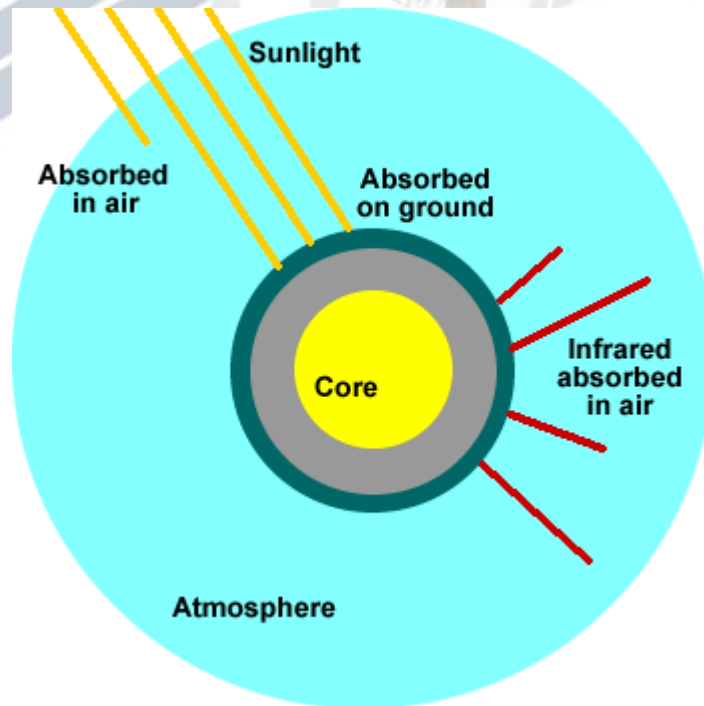
Il satellite è sottoposto ad una serie di cicli termici dovuti alle eclissi di sole e alla temperatura interna che tende ad aumentare a causa dell'elettronica accesa.

L'unico modo di trasferire calore nello spazio è l'irraggiamento

>>> è fondamentale il rapporto tra i coefficienti di emissività ed assorbimento dei materiali.

Nel vuoto: heat transfer

Il payload è sottoposto a cicli termici continui, è surriscaldato all'interno dall'elettronica e può trasferire calore solo per irraggiamento



b. Solar ultraviolet degradation

In assenza di atmosfera la protezione dai raggi UV è molto ridotta. L'esposizione ai raggi solari può determinare mutamenti strutturali o delle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali :

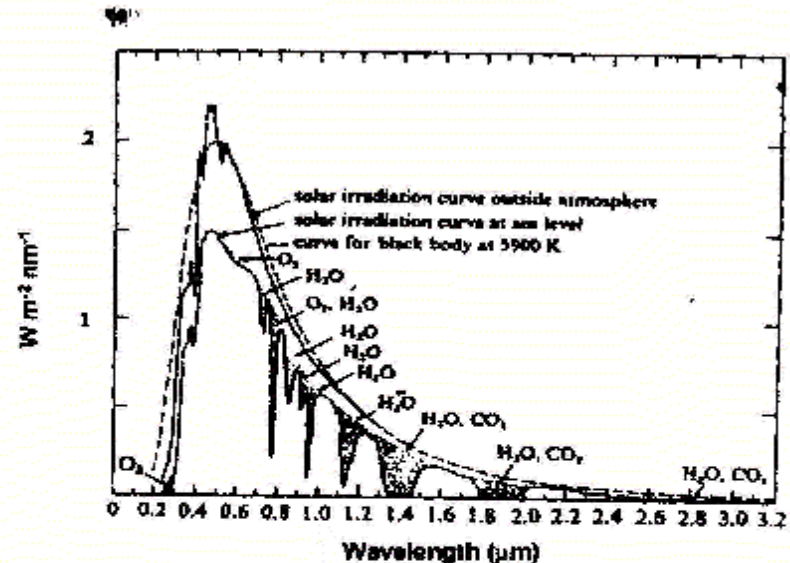
>>> degradazione delle superfici esterne

>>> scelta di materiali stabili rispetto all'esposizione UV

Vacuum Environment: Solar UV Degradation

- Reduced protection against solar ultraviolet rays (UV) when compared to the surface of the Earth

- Can degrade surfaces
 - Good example: betacloth liners in Shuttle payload bay



- May significantly alter α/ϵ ratios, depending on the tolerance of the material to UV radiation, resulting in significant temperature changes

$$\Delta T \cong \frac{T \Delta(\alpha / \epsilon)}{4 (\alpha / \epsilon)}$$

c. Self-contamination

Nel vuoto aumenta la generazione di molecole spurie (outgassing) che possono agire da contaminante e/o degradante soprattutto per le superfici esterne (controllo termico), i pannelli solari, gli apparati ottici

>>> venting e scarichi lontani dalle superfici sensibili,
bakeout delle superfici sensibili

Per minimizzare la degradazione dovuta al vuoto:

- Selezione dei materiali stabili rispetto all'esposizione UV e che generano una contaminazione minima
- Determinazione dei margini ammessi nelle performance di materiali e strumenti
- Configurazione >>> protezione fisica superfici sensibili
- Pre-trattamento dei materiali
- Flight and ground operation>>> bakeout, film di protezione

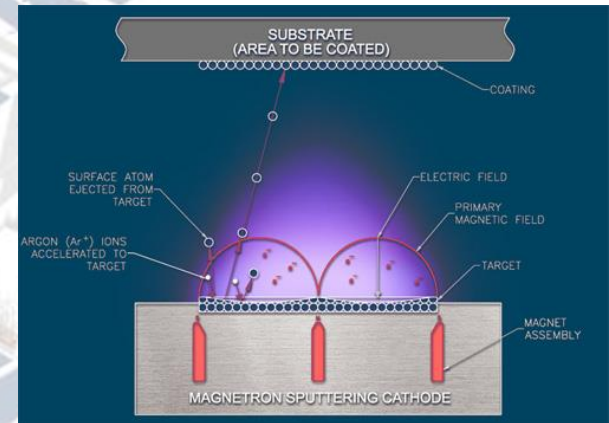
2. L'ambiente inerte

L'ambiente in cui satellite e payload operano presenta inoltre una serie di effetti passivi di disturbo:

- a. Sputtering
- b. O atomico
- c. "Glow" dello spacecraft
- d. Drag atmosferico

a. Sputtering

Lo **sputtering** è un processo per il quale si ha emissione di atomi, ioni o frammenti molecolari da un materiale solido bombardato con un fascio di particelle energetiche (generalmente ioni).



Le molecole neutre presenti urtano la superficie e si depositano su di essa, l'effetto aumenta quando la superficie è carica ma è un effetto significativo solo su missioni a lungo termine (>30 anni)

b. O atomico

L'ossigeno atomico è una forma di ossigeno altamente reattiva, che attacca i materiali nello spazio causandone la disintegrazione. E' la componente predominante dell'atmosfera tra 200 e 600 Km>>>corrode le superfici e danneggia i pannelli solari

$$dm = \rho RE \phi dA dt$$

RE coefficiente di reazione,
 ϕ flusso di ossigeno atomico

c. "Glow" dello spacecraft

E' un effetto ancora da studiare, la luminosità del satellite stesso limita i sensori ottici:

$$\log B = 7 - 0.0129 H \quad \text{con } B \text{ in Rayleighs, } H \text{ in Km}$$

Per molti anni, è stato osservato che le superfici dello spacecraft nell'orbita bassa della terra esibiscono una luminescenza visibile. In più, gli esperimenti a terra in laboratorio hanno riprodotto l'incandescenza visibile usando i flussi ad alta velocità e rarefied.

Malgrado la relativa apparenza, la produzione di incandescenza davanti una superficie non è un'indicazione di danni o di usura del materiale di superficie. L'esistenza di incandescenza è ancora importante poiché può interferire facilmente con le misure prese dagli strumenti a bordo .

La stima della produzione di incandescenza richiede una conoscenza di composizione e circostanze atmosferiche ambientali di chimica (aerothermochemistry) e di superficie rarefied non-equilibrium:

- la previsione esatta delle intensità di incandescenza richiederà molte correzioni iterative ai modelli di calcolo correnti
- i dati attuali del fenomeno di incandescenza servono da mezzi di convalida dei miglioramenti a questi modelli.

d. Drag aerodinamico

E' un effetto causato dall'atmosfera terrestre e dalla velocità del satellite (circa 8 km/s).

Si tratta dell' attrito provocato dalla atmosfera, esso presenta effetti molto rilevanti alle basse quote in particolare sotto i 1000Km .

Il drag determina una riduzione della velocità, se non compensato, altera l' asse maggiore dell'orbita che quindi viene a richiudersi sulla atmosfera provocando a lungo termine la distruzione del satellite, è necessario pertanto prevedere un sistema propulsivo di bordo che esegua tale compensazione.

Si tratta quindi di un effetto di dissipazione che si esprime:

$$F_{drag} = \frac{1}{2} v^2 C_d A_n \rho$$

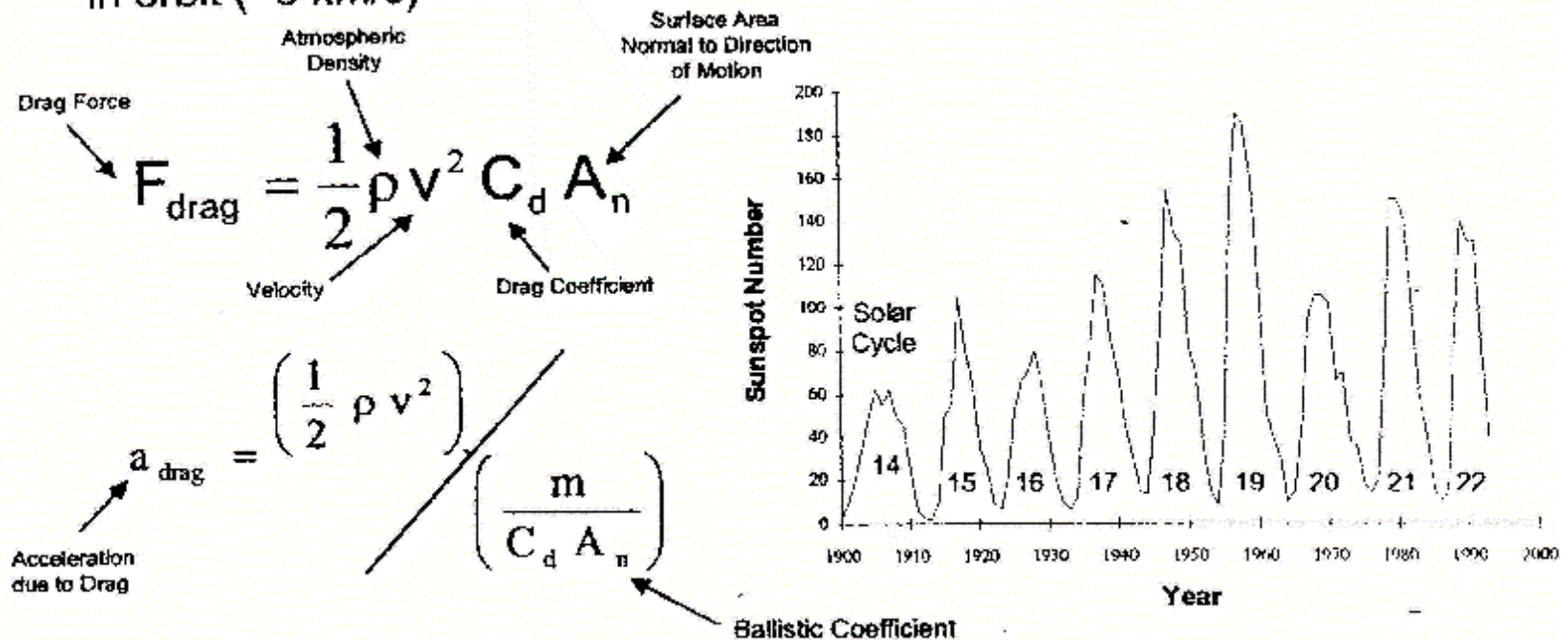
ρ = densità atmosferica, dipende dall'attività solare ed è molto difficile da modellizzare, varia tra 10 (min. di attività solare) e 30 (max di attività solare)

C_d = coefficiente di Drag

A_n = superficie normale alla direzione di moto

Atmospheric Neutral Environment: Aerodynamic Drag

- Caused by the Earth's atmosphere and the high velocity of spacecraft in orbit (~ 8 km/s)



- Density, ρ , is highly dependent on solar activity and very difficult to model and predict (changes by a factor of 10 to 30 from solar minimum to solar maximum at altitudes from 400 km to 700 km)

3. Il plasma

Il **plasma** (detto anche *gas ionizzato*) è uno stato della materia in cui alcuni o tutti gli elettroni dell'orbita più esterna sono separati dall'atomo o molecola.

Il risultato è una collezione di ioni ed elettroni che non sono più legati gli uni agli altri, in densità tali che le interazioni binarie (a corto raggio) sono trascurabili rispetto alla forza di Coulomb (a lungo raggio) che le particelle esercitano, esibendo così un comportamento collettivo.

Questo stato della materia fu identificato per primo da William Crookes nel 1879, e chiamato "plasma" da Irvin Langmuir.

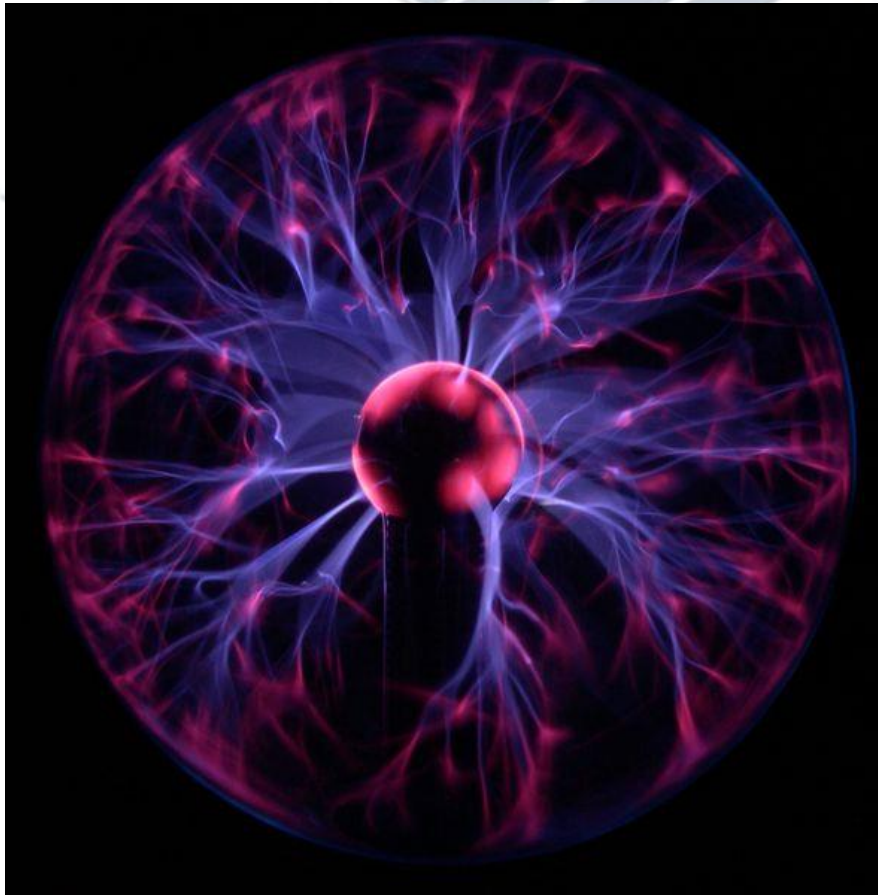
- Un **plasma** è un **gas ionizzato**, costituito da una collezione di elettroni e ioni, ma che globalmente è neutro (cioè la carica elettrica totale è nulla).
- Essendo però costituito di particelle cariche, i moti complessivi delle particelle del plasma sono in gran parte dovuti alle forze a lungo raggio che si vengono continuamente a creare, e che tendono a mantenere il plasma neutro; questo fatto stabilisce una differenza importante rispetto ai gas ordinari, nei quali i moti delle particelle sono dovuti a forze che si estendono al massimo per qualche primo vicino.
- Il plasma è considerato come il quarto stato della materia, che si distingue quindi dal solido, il liquido e il gas. "Ionizzato" in questo caso significa che gli elettroni sono stati strappati dai loro stati legati in una frazione significativamente grande.

Le cariche elettriche libere (ioni ed elettroni con 5-50 eV) fanno sì che il plasma sia un buon conduttore di elettricità, e che risponda fortemente ai campi elettromagnetici.

Mentre sulla terra la presenza del plasma è relativamente rara (fanno eccezione i fulmini, le aurore boreali e le fiamme), nell'universo costituisce più del 99% della materia conosciuta: di plasma sono fatti il Sole, le stelle e le nebulose.

L'alta velocità di movimento del satellite nel plasma carica la superficie del satellite causando scariche, interferenze elettromagnetiche, sbalzi di corrente, ma anche aumentando lo "ion drag", lo "ion sputtering" e la contaminazione.

Immagine lampada al plasma



>>>> E' molto importante prevedere nel design:

- a. Superfici con conduttività uniforme
- b. Rivestimenti isolanti
- c. Balancing attivi e automatici delle correnti
- d. Massa
- e. Protezioni fisiche alle elettroniche più delicate (filtri, diodi, ecc.)

4. Le radiazioni

Il termine radiazione viene generalmente utilizzato per indicare un insieme di fenomeni caratterizzato dal trasporto di energia nello spazio.

Le radiazioni possono essere costituite da particelle cariche (elettroni e protoni), particelle neutre (neutroni), oppure fotoni.

Le radiazioni elettromagnetiche interagiscono con la materia in modo assai vario in funzione della loro lunghezza d'onda e della loro intensità. In funzione della loro frequenza sono comunemente distinte in raggi γ , X, ultravioletti, luce visibile, infrarossi, microonde, onde radio ed onde a frequenze estremamente basse (ELF).

Le radiazioni nello spazio provengono da:

- fasce di Van Allen
- SPEs (solar particle events), in particolare in concomitanza con i max di attività solare
- GRCs (galactic cosmic rays), composti soprattutto da ioni di idrogeno ed elio

Le Fasce di Van Allen sono una componente importante della magnetosfera terrestre, quella regione dello spazio in cui il moto delle particelle cariche del vento solare e della radiazione cosmica non troppo energetica viene condizionato dal campo magnetico terrestre.

Le fasce sono formate da particelle cariche, per lo più di origine cosmica e solare intrappolate nel campo magnetico: sono state scoperte all'inizio dell'era spaziale, nel 1958, con i rivelatori di particelle posti a bordo dei satelliti "Explorer 1 " ed "Explorer 2" da James Van Allen, da cui hanno preso il nome.

La scoperta delle fasce di radiazione

Prima del 1958 gli scienziati sapevano che ioni ed elettroni potevano esser intrappolati dal campo magnetico terrestre, ma non che questo "intrappolamento" esistesse sempre.

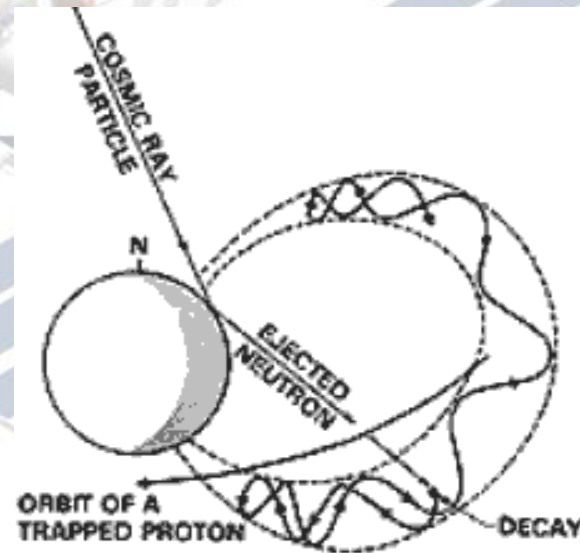
Durante l'Anno Geofisico Internazionale (che durò in realtà due anni, 1957 e 1958) fu lanciato un satellite, l'Explorer 1, molto rudimentale, con a bordo un contatore geiger, costruito da Van Allen. L'apparecchio doveva servire a fare misure sui raggi cosmici ed ottenne buoni risultati ad altezze inferiori, mentre ad altezze maggiori non misurò alcuna particella. Successivamente si verificò che l'assenza di conteggi era dovuta all'enorme numero di particelle e che le fasce sono sempre presenti.

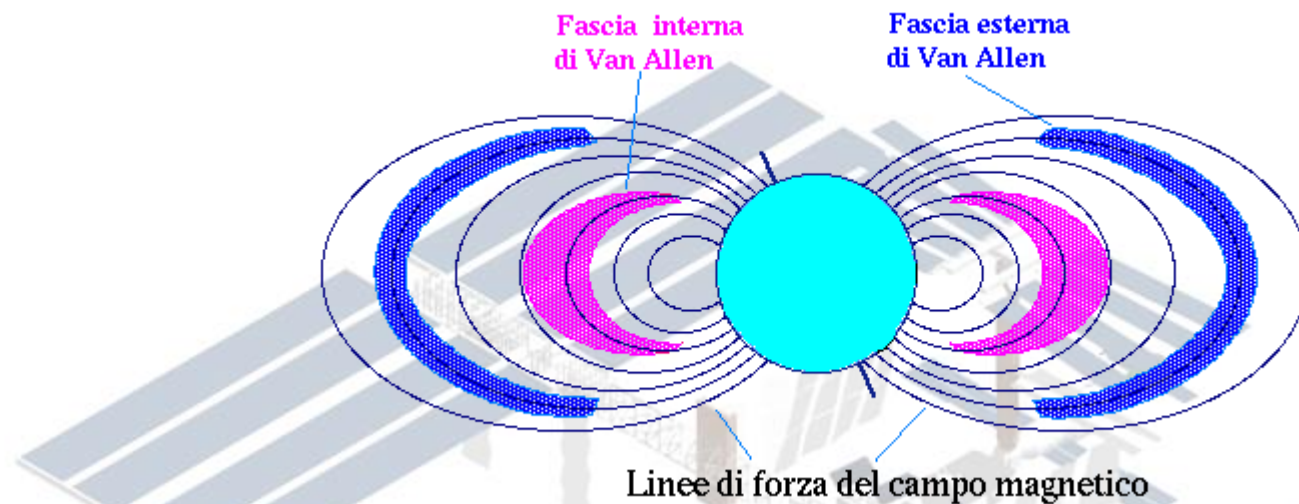
La cintura magnetica interna, scoperta dagli Explorer 1 e 2, deve la sua esistenza alla straordinaria stabilità delle orbite attorno alla Terra. Essa è un prodotto della radiazione cosmica che da sola ha un'intensità piuttosto bassa: l'ammontare dell'energia ricevuta dalla Terra dai raggi cosmici è comparabile a quella che riceve dalla luce stellare. Solo l'accumularsi delle particelle nel corso degli anni rende la fascia magnetica interna tanto intensa.

La vita media delle particelle nella fascia interna è di circa 10 anni, le particelle vengono poi perse per cattura atmosferica. Nella fascia esterna invece, soggetta a forti perturbazioni a causa dei brillamenti solari, la vita media non ha un valore ben definito.

I raggi cosmici sono composti da veloci cariche positive, che bombardano la Terra da ogni direzione. Sebbene il loro numero sia piccolo, l'energia di ogni particella è alta, cosicché quando questi ioni urtano i nuclei dei gas dell'atmosfera, i frammenti vanno rimbalzando verso differenti direzioni. Molti frammenti vengono assorbiti dall'atmosfera o dal suolo, ma alcuni vengono espulsi nuovamente nello spazio.

Se sono elettricamente carichi, ad esempio elettroni o ioni, essi vengono quasi sempre catturati dal campo magnetico terrestre



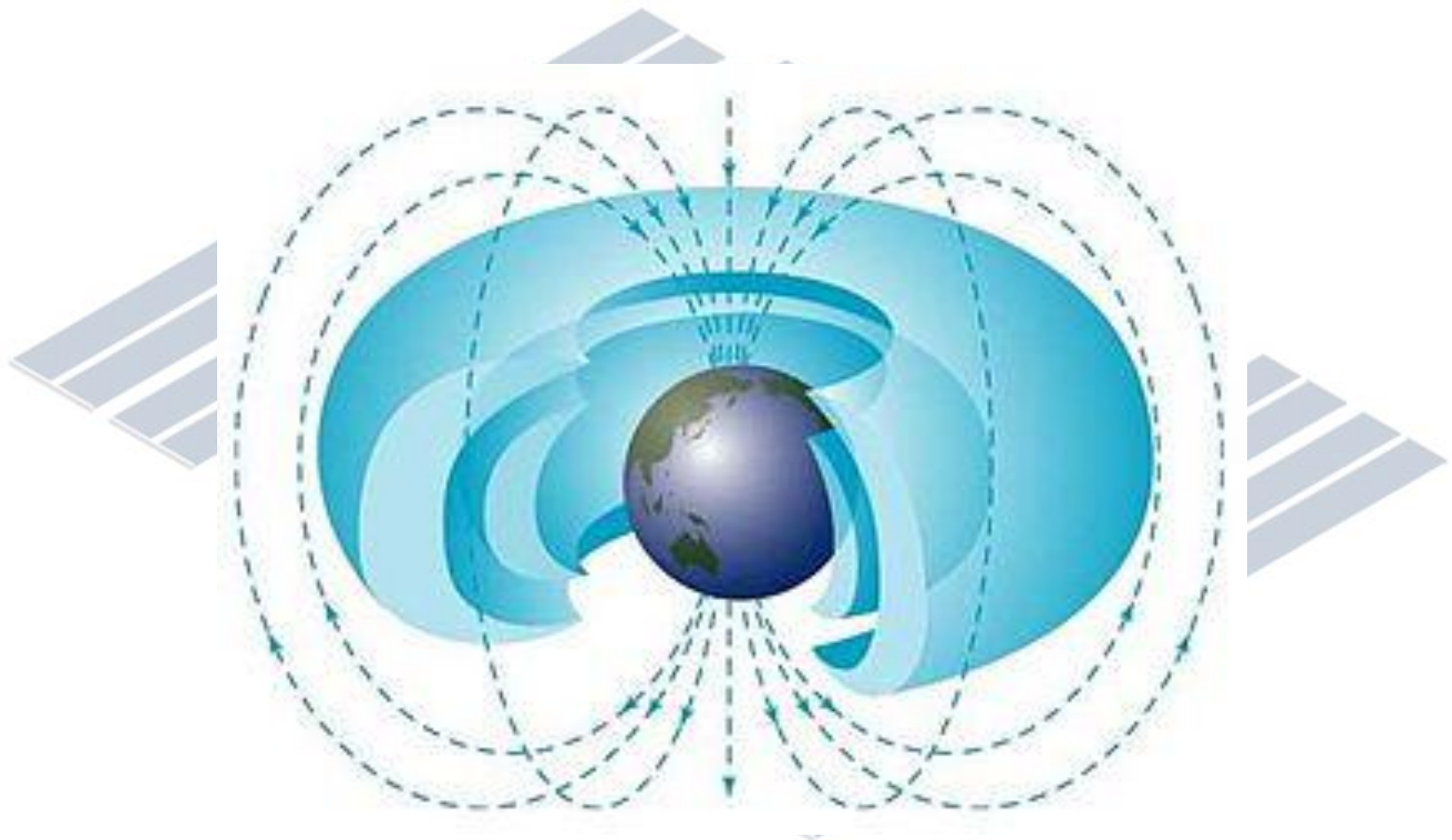


La Terra possiede due fasce di radiazione: una **fascia interna**, relativamente compatta, situata ad un'altezza di circa 3000 *km* e composta da protoni di alta energia (10-100 MeV), prodotti dagli urti tra i raggi cosmici e gli atomi dell'atmosfera..

Esiste poi una **fascia esterna**, una vasta regione costituita da protoni ed elettroni di energia molto inferiore. A differenza di quanto accade nella fascia interna, la popolazione fluttua notevolmente (il numero delle particelle non è costante nel tempo) in funzione dell'attività solare e della stagione. Quando le tempeste magnetiche trasferiscono dalla magnetosfera alla fascia forti flussi di particelle, il loro numero cresce per poi diminuire all'estinguersi della tempesta.

— L'energia degli ioni (protoni) e degli elettroni individuali, che spesso si muovono ad una velocità non trascurabile rispetto alla velocità della luce, è tanto maggiore quanto maggiore è la loro velocità.

Energie come questa sono misurate in **elettronvolt (eV)**: gli elettroni nelle aurore boreali hanno un'energia di 1000 - 15000 eV (o 1- 15 KeV); i protoni della fascia interna di circa 50 milioni di eV (50 MeV). Per confronto, l'energia delle molecole di aria nell'atmosfera è soltanto di 0.03 eV.



Solar particle event (SPE), or "proton storm," occurs when particles (mostly protons) emitted by the Sun become accelerated to very high energies either close to the Sun during a solar flare or in interplanetary space by the shocks associated with coronal mass ejections.

Besides protons, the events can include other nuclei like helium ions and HZE ions

Energetic solar protons are also a significant radiation hazard to spacecraft and especially astronauts, who can receive large amounts of absorbed dose from the ionizing radiation.



Solar Particle Events

"A New Paradigm" - Reames

2 Types of Events

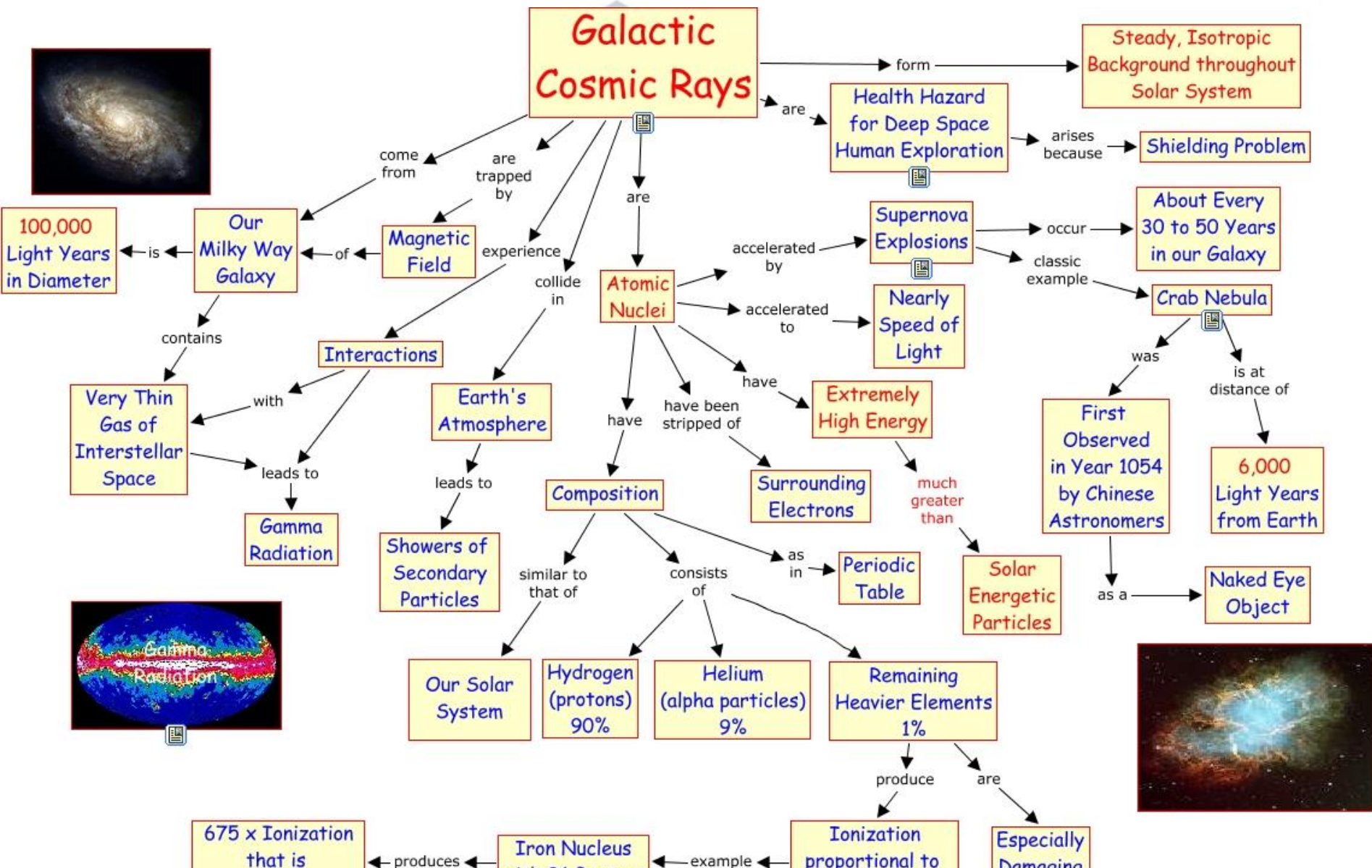
- ◆ Gradual ~ 10 per Year
 - » Coronal Mass Ejection Driven Shocks
 - » Same Elemental Abundances & Ionization States as Coronal & Solar Wind Plasma
- ◆ Impulsive ~ 1000 per Year
 - » Flare Accelerated
 - » Abundances Characteristic of Interactions in the Flare Plasma

J. Barth/IEEE-NSREC Short Course 1997

Galactic cosmic rays (GCRs) come from outside the solar system but generally from within our Milky Way galaxy.

GCRs are atomic nuclei from which all of the surrounding electrons have been stripped away during their high-speed passage through the galaxy.

They have probably been accelerated within the last few million years, and have traveled many times across the galaxy, trapped by the galactic magnetic field.



Le radiazioni possono danneggiare il satellite causando danni di varia entità che vanno dalla degradazione delle celle solari e dell'elettronica alla perdita di tutta la missione (con transienti che generano upset, latchup, burnout).

Per minimizzare gli effetti si prevedono:

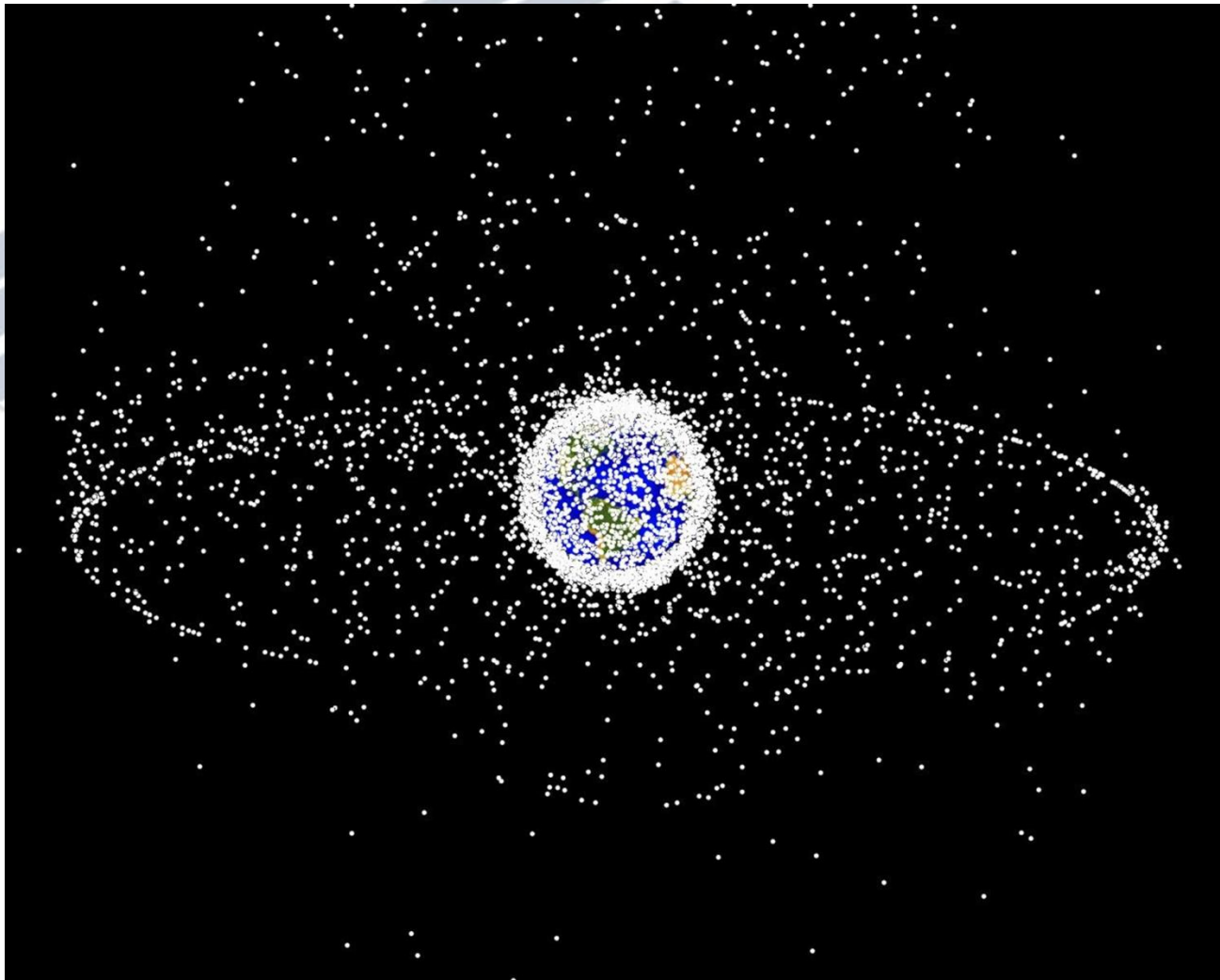
- schermature opportune (soprattutto in presenza di equipaggio)
- un h/w ed un s/w in grado di controllare di switch
- un sovradimensionamento dei pannelli solari
- una serie di ridondanze sulle elettroniche

5. I micrometeoriti e i debris

Si tratta di piccoli oggetti, di origine naturale o detriti di altri satelliti, che viaggiano ad una velocità relativa rispetto al satellite che va da 9/10 km/s in LEO a 100/500 m/s in GEO.

Gli oggetti più grandi (diametro > 10 cm in LEO ed > 1 m in GEO) sono costantemente monitorati.

Tra la Terra e 2000Km viaggiano circa 2000t di detriti spaziali.



La Sindrome di Kessler

è uno scenario, proposto nel 1991 dal consulente NASA Donald J. Kessler, nel quale il volume di detriti spaziali che si trovano in orbita bassa intorno alla Terra diventa così elevato che gli oggetti in orbita vengono spesso in collisione, creando così una reazione a catena con incremento esponenziale del volume dei detriti stessi e quindi del rischio di ulteriori impatti.

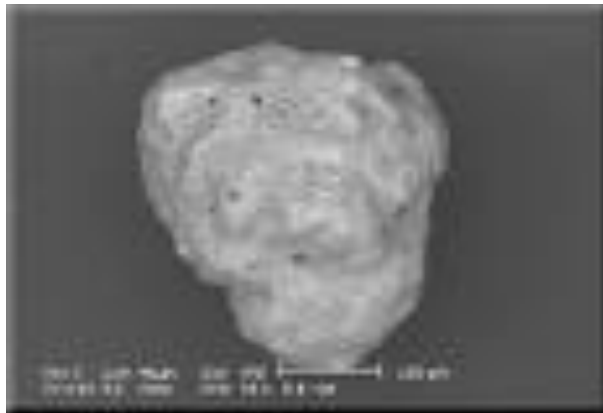
La conseguenza diretta del realizzarsi di tale scenario consiste nel fatto che il crescente numero di rifiuti in orbita renderebbe l'esplorazione spaziale, e anche l'uso dei satelliti artificiali, impossibile per molte generazioni.

Per proteggere il satellite si può:

- individuare/scegliere un'orbita in cui il debris è minimo
- attrezzare un opportuno shielding
- configurare il satellite in modo da minimizzare la superficie d'urto
- prevedere piccoli spostamenti sull'orbita (ISS)

ma soprattutto si deve:

- evitare boosters ad un solo stadio
- prevedere un piano di rientro a fine missione "safe" (evitare esplosioni, spostare il satellite su orbite non utilizzate, ecc.)



L'influenza sulle orbite

		LEO eq.	LEO polare	GEO	Interplanetary
Vuoto	Solar UV			<i>indipendente dall'orbita</i>	
	Contaminazione			<i>indipendente dall'orbita</i>	
Amb. Inerte	Drag	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
	Sputtering	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
	O ₂ Erosion	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
	Sat. Glow	<i>si</i>	<i>si</i>	<i>N/A</i>	<i>N/A</i>
Plasma	S/C Charging	<i>bassa</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>
Radiation	Van Allen Belts	<i>bassa</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>N/A</i>
	SPEs	<i>bassa</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>
	GCRs	<i>bassa</i>	<i>media</i>	<i>alta</i>	<i>alta</i>
Micrometeoriti & Debris	Impatti	<i>il rischio diminuisce con l'aumento dell'altezza</i> <i>il rischio diminuisce nelle orbite meno popolate</i>			