

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Degradazione delle superfici
metalliche in ambiente spaziale»***

Tutor universitario: Prof. Bertani Roberta

Laureando: *Bincoletto Filippo*

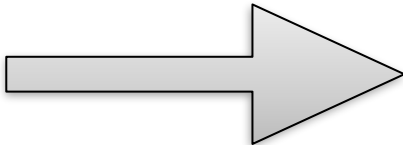
Padova, 26/09/2023

Strutture metalliche:

- Scheletro spacecraft.
- Protezione dalle variazioni ΔT .
- Specchi riflessione nei telescopi ottici.

Proprietà:

- Resistenza meccanica.
- Leggerezza.
- Conducibilità termica.
- Schermatura parziale delle radiazioni.
- Relativa facilità di fabbricazione e lavorazione.

SCELTA DEL METALLO  SITUAZIONE AMBIENTALE

L'ambiente spaziale si riferisce ad un certo numero di caratteristiche distinte e categorizzate in base alla loro natura.

QUESTE CATEGORIE SONO:

1. Ambiente delle radiazioni (*radiation environment*)
2. Ambienti dei plasmi (*plasma environment*)
3. Ambiente neutro (*neutral environment*)
4. Ambiente particellare (*particulate environment*)

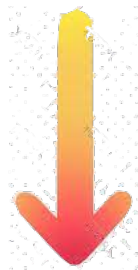
Classificazione in base all'energia:

Particelle	Energia
Vento solare	$1 < E < 1000 \text{ eV}$
Solar Flares	$1 < E < 100 \text{ MeV}$
Raggi cosmici	$> \text{GeV}$

DANNI NON CRITICI → radiazioni **non** IONIZZANTI

DANNI GRAVI LOCALI → radiazioni IONIZZANTI

Conseguenze:



- Single event upset (SEU).
- Single event latch-up (SELU).
- Single event burn-out (SEBO).

Possibili soluzioni: **shielding**, **controlli e correzioni** software e **ridondanza** componenti critici.

Plasma: stato della materia in cui coesistono specie

- gassose
- neutre
- ionizzate

Plasma **ambientale**: $\rho_{max} \sim 300$ Km, energie < 100 keV.

Plasma **artificiale**: fenomeni dovuti all'interazione ambiente-satellite:

- ➔ *Plasmi da scarico di propulsori.*
- ➔ *Plasmi generati da impatti iper-veloci.*

Conseguenze:

- Carica elettrostatica delle superfici del satellite.
- Contaminazione delle superfici.

Particelle naturali:

- Atomic Oxygen (**ATOX**):
 - abbondante nelle orbite basse.
 - estremamente reattivo.
 - formato a seguito di foto-dissociazione dell'ossigeno atmosferico.
 - contribuisce alla formazione di **ossidi**.

Particelle artificiali contaminanti:

- Polveri, grasso e sporcizia.
- Ossidi.
- Materiale eiettato dai motori: propellenti
- Materiale eiettato da impatto iper-veloce.
- **OUTGASSING**:

“Sublimazione di specie volatili che erano state assorbite in qualche materiale superficiale”.

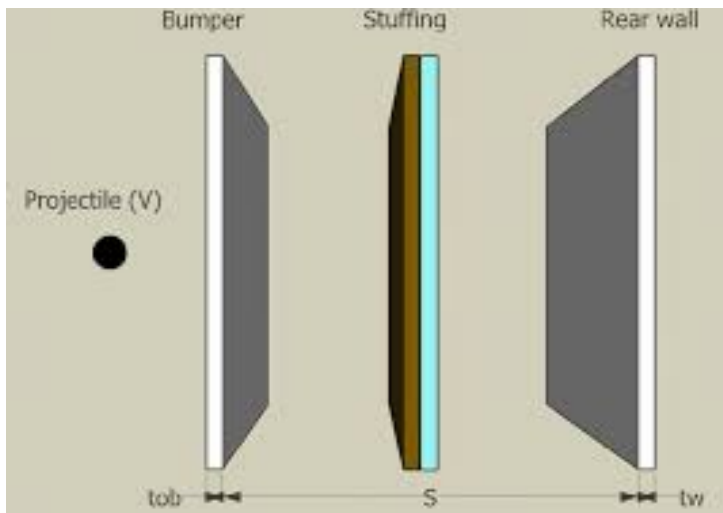
Ambiente particellare:

→ Naturali: micro-meteoriti.

→ Artificiali: detriti spaziali.



Fonti di mitigazione del rischio:



- Manovre evasive.
- Scudi passivi.
- Ridondanza componenti critici.

Figura 1: rappresentazione grafica dell'evoluzione dello scudo Whipple: lo scudo Columbus.

I principali meccanismi di degradazione delle superfici metalliche sono:

CORROSIONE GALVANICA

OSSIDAZIONE

RICOMBINAZIONE DEI PROTONI IN ATOMI DI IDROGENO NEUTRI

ASSORBIMENTO DI RADIAZIONI

Processo a **UMIDO** e si innesca quando:

2 MATERIALI (\neq valore di nobiltà) \rightarrow posti a diretto **CONTATTO**
 \neq cond. ambientali

+ nobili \rightarrow + resistenti alla corrosione e all'ossidazione. (Es. Nichel e Titanio).
Potenziale maggiore, polo positivo, **CATODO**.

- nobili \rightarrow + facilità a cedere elettroni. (Es. Alluminio e Magnesio).
Potenziale minore, polo negativo, **ANODO**.

PRINCIPIO: movimento cariche elettriche (ioni) \rightarrow es. **CELLA GALVANICA** cortocircuito.
(2 elettrodi e 1 elettrolita)

semi-reazione di **RIDUZIONE**

semi-reazione di **OSSIDAZIONE**

Perdita di elettroni \rightarrow aumento n.° ossidazione \longrightarrow OSSIDI e ANIDRIDI



caratteristiche meccaniche \neq dai metalli

\longrightarrow alterazioni micro-strutturali

\longrightarrow fessurazioni nell'ossido \rightarrow **CRICCHE**

La perdita di metallo viene considerata con crescita parabolica: $x^2 = K_p * t$

X: spessore metallo perso a seguito dell'ossidazione (mm)

K_p: costante dipendente dalla temperatura (mm²/h)

t: tempo (h)

\rightarrow DIOSSIDO DI ZOLFO SO_2 \rightarrow estremamente abrasivo.

ATOX

\rightarrow OSSIDO DI ARGENTO Ag_2O \rightarrow "thinning".

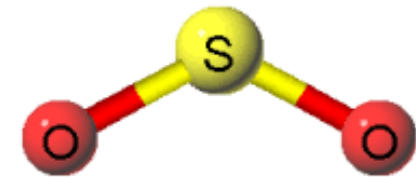
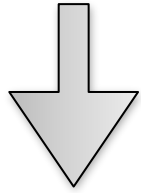
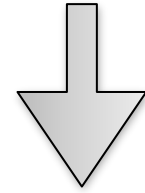


Figura 2: molecola di diossido di zolfo.

LAMINE METALLICHE con cui vengono rivestiti i satelliti sono **sensibili** alla RADIAZIONE IONICA



ELETTRONI LIBERI



PROTONI DEL VENTO SOLARE



BOLLE DI H_2

(+ densità superficiale H_2 → - capacità di riflessione)

Flusso di protoni → $I_E = \sum_{E_{min}}^{E_c} I(E)$ dove E_c è l'energia critica, E_{min} è l'energia più bassa registrata dal sistema

Under space conditions: → presenza min. di protoni, temperatura

$$T^4 = \frac{A_a \alpha_S H_{SUN}}{A_e \epsilon_t \sigma}$$

Capacità di riflessione di una lamina metallica ricoperta di bolle H_2 :

Il momento di quantità di moto trasferito da un fotone su una superficie riflettente è:

$$\Delta q = 2q \cos \theta$$

- $t = 0 \rightarrow$ la lamina non è stata esposta alle radiazioni $\rightarrow R = 1$ (**specchio perfetto**).
- $t \neq 0 \rightarrow$ la lamina è stata irradiata dal flusso di protoni $\rightarrow H_2 \rightarrow R$ si riduce.

Calcolo degradazione:

Riflessività singola cella $\rightarrow \frac{\Delta q}{\Delta q_{max}}$

Tenendo conto di tutte le celle $\rightarrow \Delta R = \frac{\sum_i^{N_{cell}} \Delta q_i}{\sum_i^{N_{cell}} \Delta q_{max,i}} = \frac{\sum_i^{N_{cell}} 2q \cos \theta_i}{N_{cell} \times 2q} = \frac{\sum_i^{N_{cell}} \cos \theta_i}{N_{cell}}$

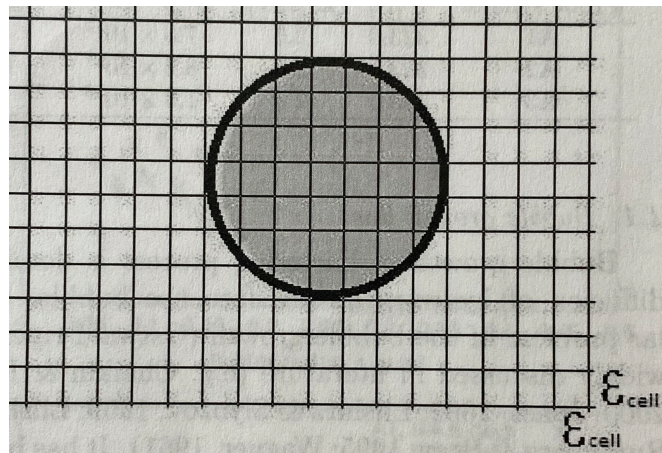


Figura 3: lamina coperta da una griglia di celle, tutte della stessa dimensione ($\epsilon_c \times \epsilon_d$).

“La radiazione è l’emissione o la trasmissione di energia tramite onde o particelle, sia nello spazio che nei materiali”.

- **Particelle:** elettroni, positroni, protoni, neutroni, ioni.
- **Onde:** raggi x e raggi γ .

SORGENTI PRIMARIE: Sole e raggi cosmici.

SORGENTI SECONDARIE: produzione atmosferica o interazioni varie.

- **Vento solare:** 95% protoni, 4% particelle α , 1% altre particelle.
- **Coronal mass ejection**
- **Solar Flares:** legati a fenomeni magnetici e correlati alla presenza di macchie solari.

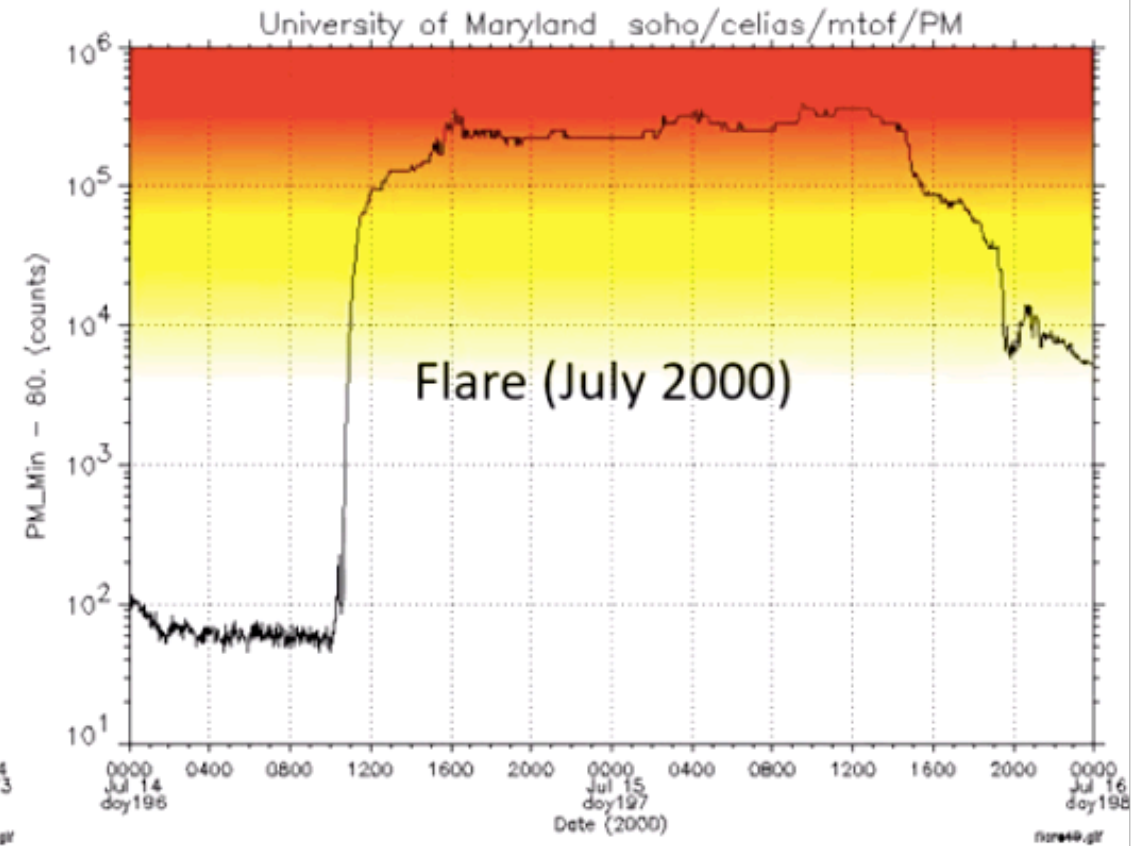
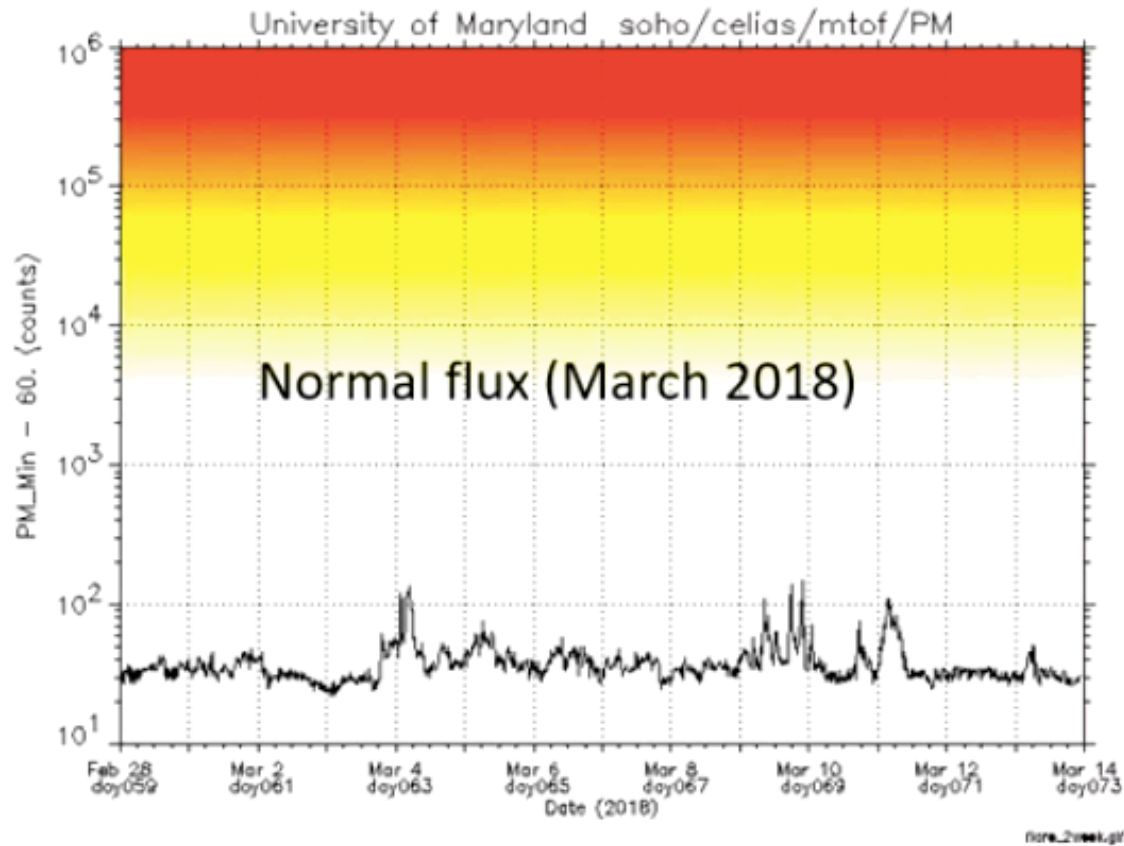


Immagine 4 e 5: *rispettivamente Normal flux (marzo 2018) e presenza di Flares (luglio 2000).*

Interazioni con i materiali:

Legge di **assorbimento**: $\phi(x) = \phi_0 e^{-\lambda x} = \phi_0 e^{-(\frac{\mu}{\rho})\rho x}$

Dove: x è lo spessore, λ è il coefficiente di attenuazione, $\frac{\mu}{\rho}$ è il coefficiente di attenuazione di massa.

$$\phi_{trasmesso} = \frac{\phi(x)}{\phi_0}$$

$$\phi_{assorbito} = 100 - \phi_{trasmesso}$$

Componente	Total Ionising Dose (rad/year)
Componente su Marte	<10
Componente all'interno della ISS	10
Componente dentro una sonda per Marte	1000
Componente in orbita GEO	2000
Componente all'esterno della ISS	20 000 - 200 000
Componente nella magnetosfera di Giove	1E+07

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

M. Sznajder, U. Geppert, M. Dudek, *Degradation of metallic surfaces under space conditions, with particulate emphasis on hydrogen recombination*, June, 2015.

Corso di Impianti e sistemi aerospaziali, Unipd, 2023.

E. Garibaldi, *Valutazione degli effetti dell'ossidazione sulle caratteristiche a creep di acciai*, settembre, 2004.

L. Olivieri, *Radiations: sources and effects*, Unipd, 2020.