

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

***Relazione per la prova finale
«Scudi spaziali usati come sistema
protettivo per gli spacecraft»***

Tutor universitario: Prof.ssa Roberta Bertani

Laureando: Mattia Laner

1162487

Padova, 20/09/2022

Negli ultimi anni il numero di missioni spaziali è aumentato, e con esso anche il numero di detriti spaziali. Essi raffigurano una minaccia alla sicurezza dell'equipaggio e alla sopravvivenza degli spacecraft.



Detriti spaziali terrestri - 1963



Detriti spaziali terrestri - 1993



Detriti spaziali terrestri - 2013

Le strategie che vengono utilizzate per tentare di limitare il numero di collisioni sono:

- **Rilevazione e tracciamento dei detriti**
- **Ridurre/evitare la produzione di nuovi detriti**
- Esecuzione delle **manovre evasive**
- **Rimozione attiva dei detriti**

Queste strategie però non garantiscono una completa sicurezza delle missioni spaziali, pertanto vengono utilizzate delle **schermature passive** in grado di evitare che i detriti perforino la parete e danneggino l'interno.

Le principali cause della formazione dei detriti spaziali sono:

• **Rocket Bodies**

Sono gli stadi dei veicoli spaziali che permettono la messa in orbita degli spacecraft.

Di norma è solamente l'ultimo stadio a diventare un detrito spaziale

• **Detriti di frammentazione**

Si formano durante gli impatti come, **esplosioni interne, collisioni non pianificate e collisioni intenzionali**, o dal **deterioramento degli oggetti**.

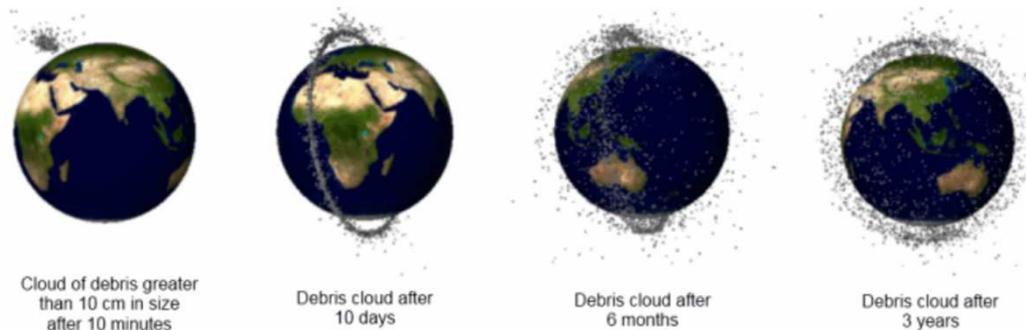
Un esempio è il deterioramento delle superfici per via dei fattori ambientali quali:

- **l'ossigeno atomico**
- **radiazioni**
- **cicli termici**

• **Detriti legati alla missione**

Possono essere rilasciati per via del **funzionamento, dell'attivazione e dello spiegamento dello spacecraft**, come:

- **parti di bulloni esplosivi**
- **meccanismi di rilascio a molla** (che vengono espulsi durante il processo di separazione degli stadi)
- **combustibile** per i motori a propellente solido



Detriti di frammentazione - esplosione del *Fengyun-1C*

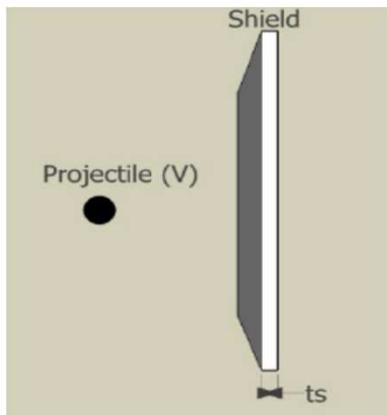
Gli oggetti in orbita terrestre possono essere suddivisi in base alla loro dimensione in tre categorie:

- **Large debris (diametro > 10 cm)**
 - ~ 20'000 detriti
 - massa > 200g
 - esiste una popolazione catalogata
 - possono causare la **distruzione dello spacecraft**
 - vengono usate **manovre evasive**
- **Medium debris (1 mm > diametro > 10 cm)**
 - più di 600'000 detriti
 - massa > 1,5g
 - non sono tracciabili
 - possono causare il **fallimento della missione**
 - vengono usate **schermature passive**
- **Small debris (Diametro < 1 mm)**
 - massa > 1,5 mg
 - più di 300'000'000 detriti
 - non sono tracciabili
 - possono **danneggiare componenti e sottosistemi**
 - vengono usate **schermature passive**

Esistono diverse varianti di scudi spaziali:

- **Single wall (o monolithic shield):**

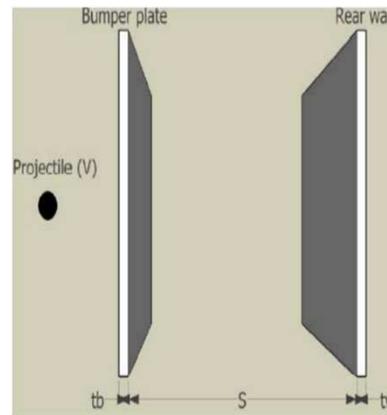
Lo scudo spaziale più **rudimentale**, consiste nel rivestimento più esterno dello spacecraft e normalmente viene realizzato in **alluminio**



Single wall

- **Whipple shield:**

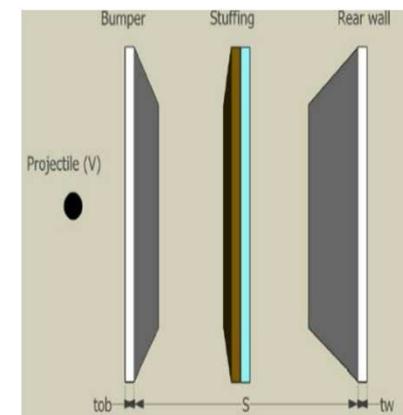
Composto da **due piastre**, solitamente in **alluminio**, le quali sono distanziate tra loro di alcuni cm, affinché il detrito possa frantumarsi sulla prima piastra



Whipple shield

- **Stuffed Whipple shield:**

Tra il paraurti esterno in alluminio e la parete interna vengono inseriti dei **pannelli aggiuntivi** di due materiali: tessuto ceramico **nextel** e tessuto ad alta resistenza in **kevlar**

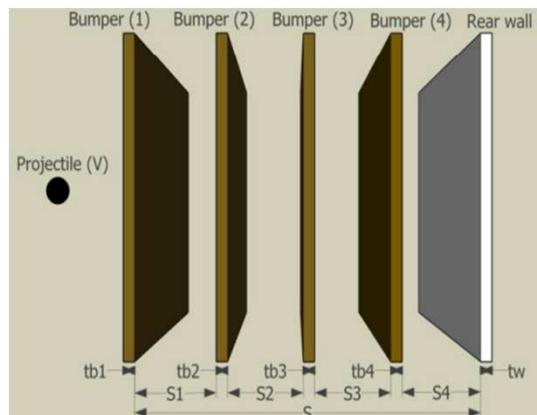


Stuffed Whipple shield

- **Multi shock shield:**

Composto da **strati di nextel** disposti a **distanze definite**.

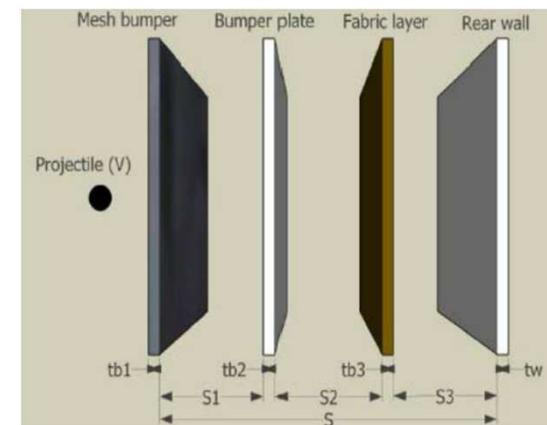
Il proiettile colpisce ripetutamente gli strati di nextel fino al punto in cui i frammenti restanti non risultino in grado di violare la parete posteriore



Multi shock shield

- **Mesh double bumper shield:**

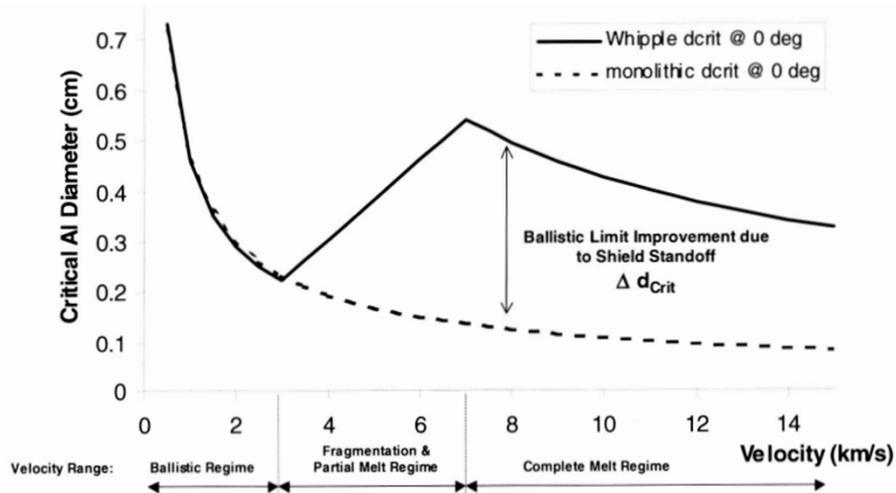
Costituito da un **paraurti in rete (mesh)**, un **secondo paraurti continuo**, uno **strato intermedio in tessuto ad alta resistenza** e una **parete posteriore**. Nello strato intermedio vengono utilizzati i tessuti ad alta resistenza in kevlar o spectra



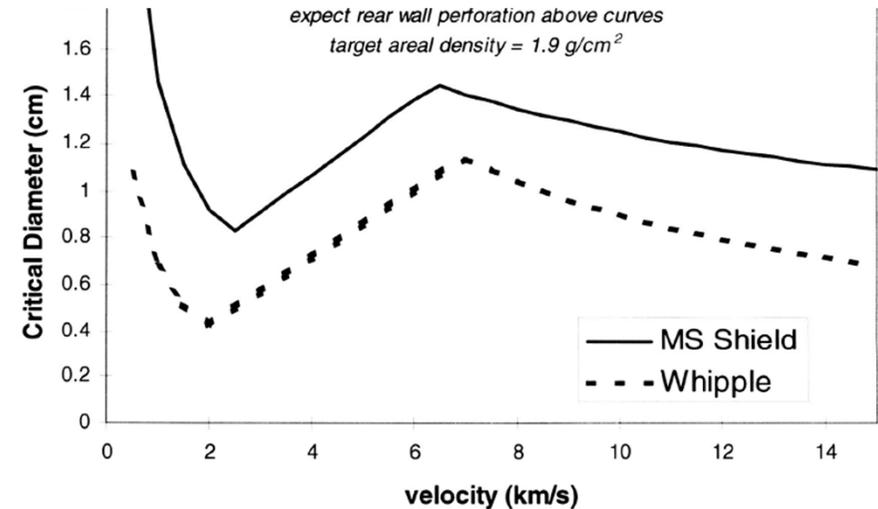
Mesh double bumper shield

Per classificare le varie tipologie di scudi, è necessario ricorrere ad equazioni che descrivano in base alle condizioni di impatto se un corpo ha possibilità di perforare o meno la parete interna (*rear wall*), provocando così un guasto a componenti o sottocomponenti dei veicoli spaziali.

Se si confrontano lo scudo Whipple e quello monolitico emerge che lo scudo più prestazionale è lo scudo Whipple, al contrario confrontando lo scudo Whipple con lo scudo multi-shock lo scudo Whipple è il meno prestazionale dei due.



Confronto tra monolithic shield – Whipple shield



Confronto tra scudo Whipple shield - multi shock shield

I materiali maggiormente utilizzati nella realizzazione degli scudi spaziali sono l'alluminio ed alcune fibre ad alta resistenza, come ad esempio kevlar, nextel e spectra. Tali fibre vengono posizionate negli strati intermedi dello scudo con la finalità di fermare i detriti impattanti.

Fibre tessili:

Le fibre tessili sono dei materiali filamentosi caratterizzati dalla capacità di essere filati e in seguito tessuti.

Si suddividono in tre categorie:

- **fibre naturali**
- **fibre artificiali**
- **fibre sintetiche**

(in ambito spaziale vengono preferite quelle sintetiche per via della loro resistenza).

Le fibre sintetiche si suddividono a loro volta in:

- fibre **sintetiche organiche** (aramidiche, polietilene)
- fibre **sintetiche inorganiche** (ceramiche, metalliche)

L'alluminio è un metallo con molteplici proprietà, tra le più rilevanti ci sono:

- bassa densità [2700 kg/m³]
- buona conducibilità elettrica e termica
- elevato grado di deformabilità
- elevata tenacità alle basse temperature

Le proprietà meccaniche dell'alluminio puro non sono così eccellenti, per questo motivo in ambito spaziale si preferisce utilizzare leghe di **alluminio-rame** e **alluminio-zinco-magnesio**.

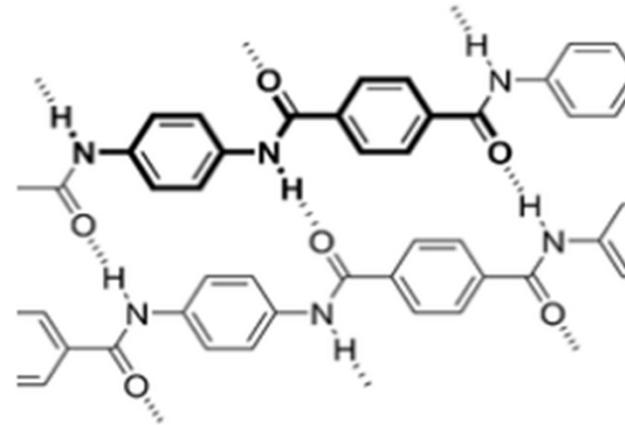
Proprietà	Carico unitario di rottura [Mpa]	Durezza [HB]	Modulo di Young [Mpa]	Allungamento percentuale a rottura
Al puro (almeno 99 %)	60 - 100	15 - 25	70'000	Superiore 40%
Al-Cu	400 - 500	110 - 120	70'000	8% - 10%
Al-Zn-Mg	450 - 570	120 - 150	70'000	5% - 10%

Principali proprietà meccaniche di alcune leghe di alluminio

Il kevlar è una fibra sintetica prodotta per policondensazione di 1,4-fenilendiammina e di cloruro di tereftaloile con rilascio di acido cloridrico.

Le ragioni principali per cui il kevlar viene utilizzato come materiale intermedio con il fine di assorbire gli impatti negli scudi spaziali sono le sue proprietà, ovvero:

- Buona resistenza meccanica a trazione
- Elevata resistenza agli impatti e abrasione
- Non infiammabile (le fibre aramidiche sono polimeri che non fondono e possono essere utilizzate per tempi molto lunghi a temperature fino a 260°C, oltre questa temperatura però inizieranno a degradarsi)
- Basso peso specifico, esempio:
 - Kevlar 29: 1,44 g/cm³
 - Kevlar 49: 1,48 g/cm³
 - Kevlar 129: 1,45 g/cm³



Struttura del kevlar a livello molecolare

La fibra di polietilene ad altissimo peso molecolare (*UHMWPE*) ha molte proprietà eccellenti, come:

- un'elevata resistenza alla trazione
- una bassa densità specifica
- un'elevata resistenza agli urti
- un'eccellente resistenza chimica

Queste fibre vengono utilizzate per realizzare proiettili, materiale biomedico, materiale per la pesca, materiale aerospaziale, ecc. Lo spectra appartiene agli UHMWPE, e grazie alla sue proprietà è uno dei materiali più utilizzati negli scudi spaziali (usato come materiale intermedio col fine di rallentare l'espansione della nuvola di detriti verso la *rear wall*).

La fibra UHMWPE ha un grado estremamente elevato di cristallinità (>99%) e orientamento macromolecolare (>95%) che si traduce in alto modulo e tenacità della fibra UHMWPE.

Proprietà	Densità [kg/m ³]	Modulo di Young E [Gpa]	Resistenza a trazione [Gpa]	Allungamento a rottura [%]
Spectra 900	970	117	2580	3
Kevlar 29	1440	62	2,76	3-4
Kevlar 49	1480	131	2,8/3,79	2,2/2,8

Confronto principali proprietà spectra 900 - kevlar 29 – kelvar 49

Le fibre ceramiche hanno una buona **resistenza all'abrasione**, un'ottima **resistenza alla temperatura** (possono essere utilizzate a temperature superiori di 1000 °C) ed elevate **proprietà meccaniche (tenacità e modulo)**.

Esse vengono realizzate mediante la fusione di sostanze chimiche, come **silice** ed **allumina**, che vengono poi filate per creare dei tessuti.

Un esempio di fibra sintetica ceramica è il nextel, i prodotti tipici che vengono realizzati con questo materiale sono: tessuti, nastri, rivestimenti, nastri trasportatori e cavi isolanti.

In ambito spaziale è presente negli scudi spaziali, dove viene utilizzato come materiale intermedio per impedire eventuali perforazioni della parete intera.

	Alluminio [%]	Silicio [%]	Boro [%]	Diametro [micron]	Densità [g/cm ³]	Tenacità [MPa]	Modulo [Gpa]	Allungamento [%]	Temperatura d'uso [°C]	Temperatura di fusione [°C]
Nextel 312	62	24	14	10-12	2,724	1725	138	1,2	1200	1800
Nextel 440	70	28	2	10-12	3,045	2070	186	1,1	1370	1800

Principali caratteristiche e proprietà del nextel 312 e 440

Al giorno d'oggi l'esplorazione spaziale rappresenta una delle sfide più rilevanti e importanti per l'umanità. Purtroppo, continuando in questa maniera, risulterà impossibile accedere allo spazio in un futuro non troppo remoto.

A causa del peso e del costo elevato, attualmente l'uso degli scudi spaziali viene comunque limitato. Per questa ragione si ricercano nuovi materiali sintetici che possano ridurre il peso migliorando le prestazioni in termine di protezione.

Con la continua ricerca di nuovi materiali da utilizzare nel settore spaziale, si potrà tentare di sviluppare nuove schermature in grado di fermare proiettili più massicci e pericolosi che, combinati con l'uso consapevole dello spazio, potranno portare alla riduzione di rischi per l'uomo e per le generazioni future.

- [1] F. Alessandro. (2020/2021). *Slide del corso Impianti e sistemi aerospaziali*. Università degli studi di Padova
- [2] C. Cosimo. (2020). Tesi di laurea magistrale. *Analisi di sistemi propulsivi e di un algoritmo di guida per missioni di rimozioni dei detriti spaziali*. Politecnico di Torino
- [3] S. Ryan, C. L. Eric. (2010). *Micrometeoroid and Orbital Debris (MMOD) Shield Ballistic Limit Analysis Program*. Houston, Texas
- [4] C. L. Eric. (2003). *METEOROIDIDEBSHRIIESL DING*. Houston, Texas
- [5] C. Andrea, B. Marco V. (2013). *L'alluminio e le sue leghe*. Dipartimenti di Meccanica, Politecnico di Milano
- [6] P. Nicola. (2016/2017). Tesi di laurea magistrale. *CARATTERIZZAZIONE DEL COMPORTAMENTO A FATICA DI CORDINI IN KEVLAR NELLA PRATICA DELL'ARRAMPICATA SPORTIVA: ANALISI DEI PARAMETRI DI INFLUENZA*. Università degli studi di Padova
- [7] P. Francesco. (2017/2018). Tesi di Laurea magistrale. *Modellazione, produzione e testing di materiali compositi a fibra lunga realizzati mediante additive manufacturing*. Politecnico di Torino
- [8] L. Han, H. Cai, X. Chen, C. Zheng, W. Guo. (2020). *Study of UHMWPE Fiber Surface Modification and the Properties of UHMWPE/Epoxy Composite*. East China University of Science and Technology, Shanghai
- [9] <https://www.treccani.it/vocabolario/fibra/>. Ultimo accesso (04/09/22)
- [10] https://www.esa.int/Enabling_Support/Operations/Ground_Systems_Engineering/ESA_Space_Debris_Office. Ultimo accesso (04/09/22)
- [11] <https://hvit.jsc.nasa.gov/shield-development/>. Ultimo accesso (04/09/22)
- [12] <http://www.technica.net/NF/NF2/fibreinorganiche.htm>. Ultimo accesso (04/09/22)