

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

***Relazione per la prova finale
«Materiali compositi in Ingegneria Aerospaziale:
applicazioni ai sistemi di protezione spaziale»***

Tutor universitario: Prof. Ugo GALVANETTO

Laureanda: *Giocolano Alessia 2003184*

Padova, 16/07/2024

Nel contesto dell'esplorazione spaziale la sicurezza e la protezione degli equipaggi e delle strutture sono priorità fondamentali.

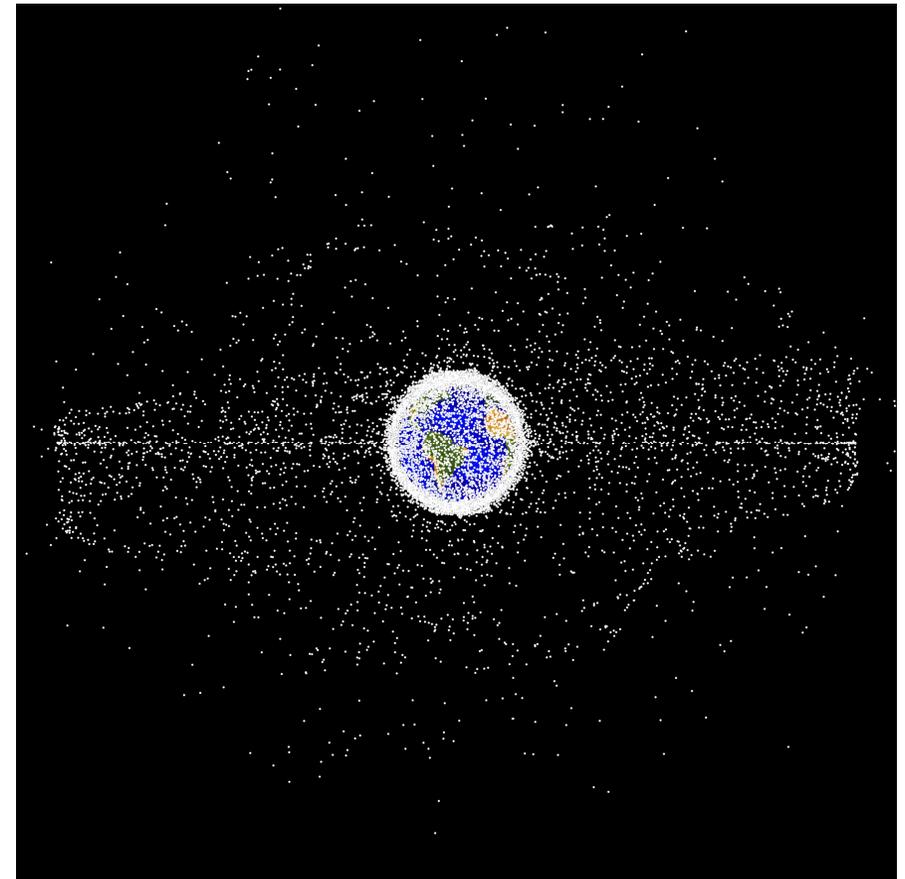
Natura estrema dell'ambiente spaziale



Utilizzo degli scudi di protezione



Comprensione avanzata dei materiali impiegati



1. Fornire la definizione di materiale composito e una descrizione delle varie tipologie di compositi;
2. Spiegare l'importanza degli scudi di protezione nell'ambiente spaziale;
3. Elencare le varie tipologie di scudi di protezione, evidenziando le caratteristiche di ognuno di essi;
4. Fornire una descrizione dettagliata dei materiali impiegati.

I materiali compositi sono costituiti da una fase fibrosa, continua o discontinua, disposta all'interno di una fase denominata matrice.

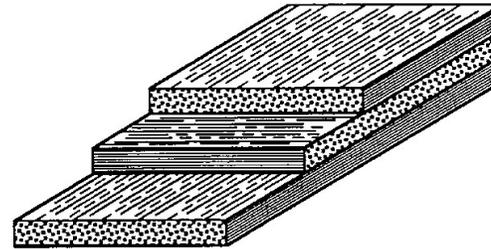
Tipologie di fibre:

- Fibre di vetro
- Fibre di carbonio/grafite
- Fibre aramidiche
- Fibre di boro
- Fibre di allumina
- Fibre di carburo di silicio

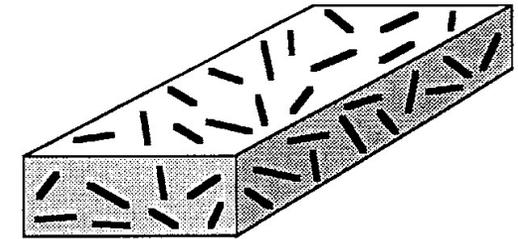
Tipologie di matrice:

- Matrici plastiche o polimeriche
- Matrici metalliche
- Matrici ceramiche

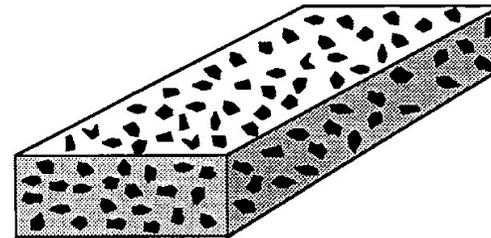
Continuous Fibers



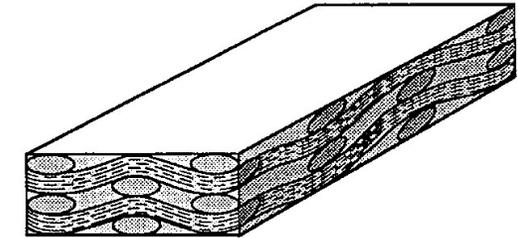
Discontinuous Fibers, Whiskers



Particles



Fabric, Braid, Etc.



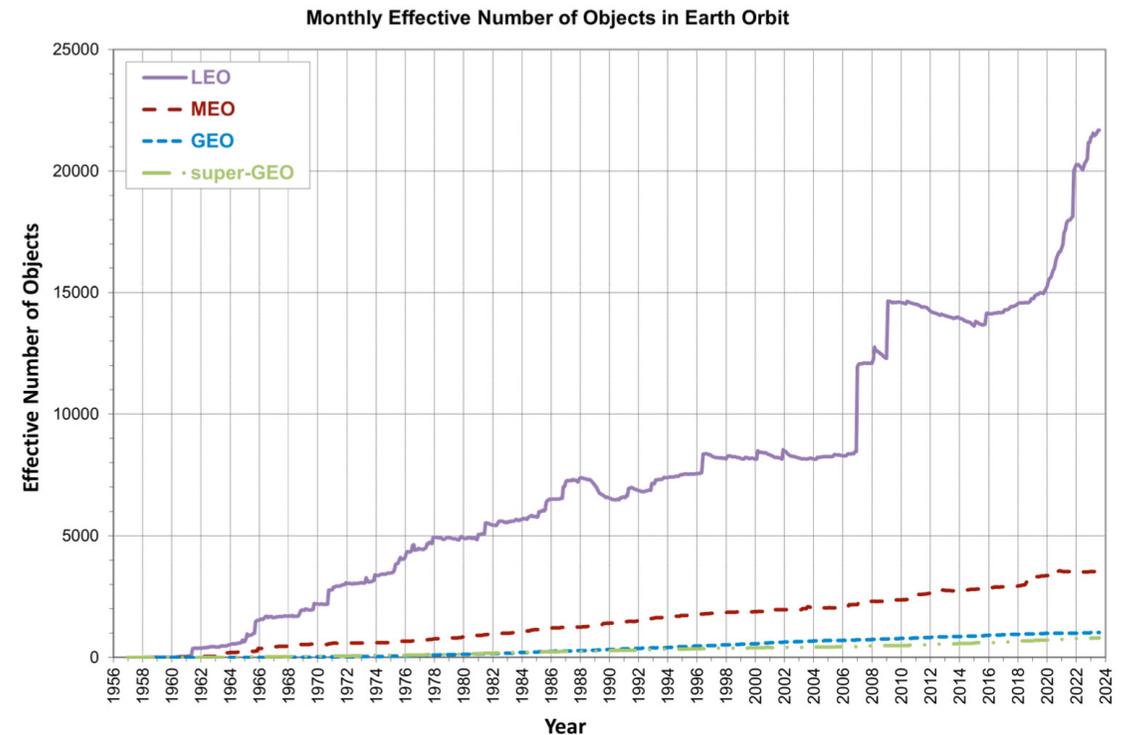
I detriti spaziali costituiscono una minaccia significativa per le operazioni satellitari, poiché possono causare collisioni dannose o addirittura catastrofiche.

Popolazione attuale di detriti:

- Detriti tracciabili: 34.000 oggetti di dimensioni superiori ai 10 cm;
- Detriti non tracciabili: 900.000 oggetti di dimensioni comprese tra 1 e 10 cm;
- Detriti non tracciabili: 150 milioni oggetti di dimensioni inferiori al centimetro.

Metodologie di mitigazione del rischio:

- Dimensioni superiori ai 10 cm: manovre di evasione per evitare la collisione;
- Dimensioni comprese tra 1 e 10 cm: non si può fare molto, poiché sono troppo piccoli per essere osservati e troppo grandi per essere schermati;
- Dimensioni inferiori al centimetro: scudi di protezione.



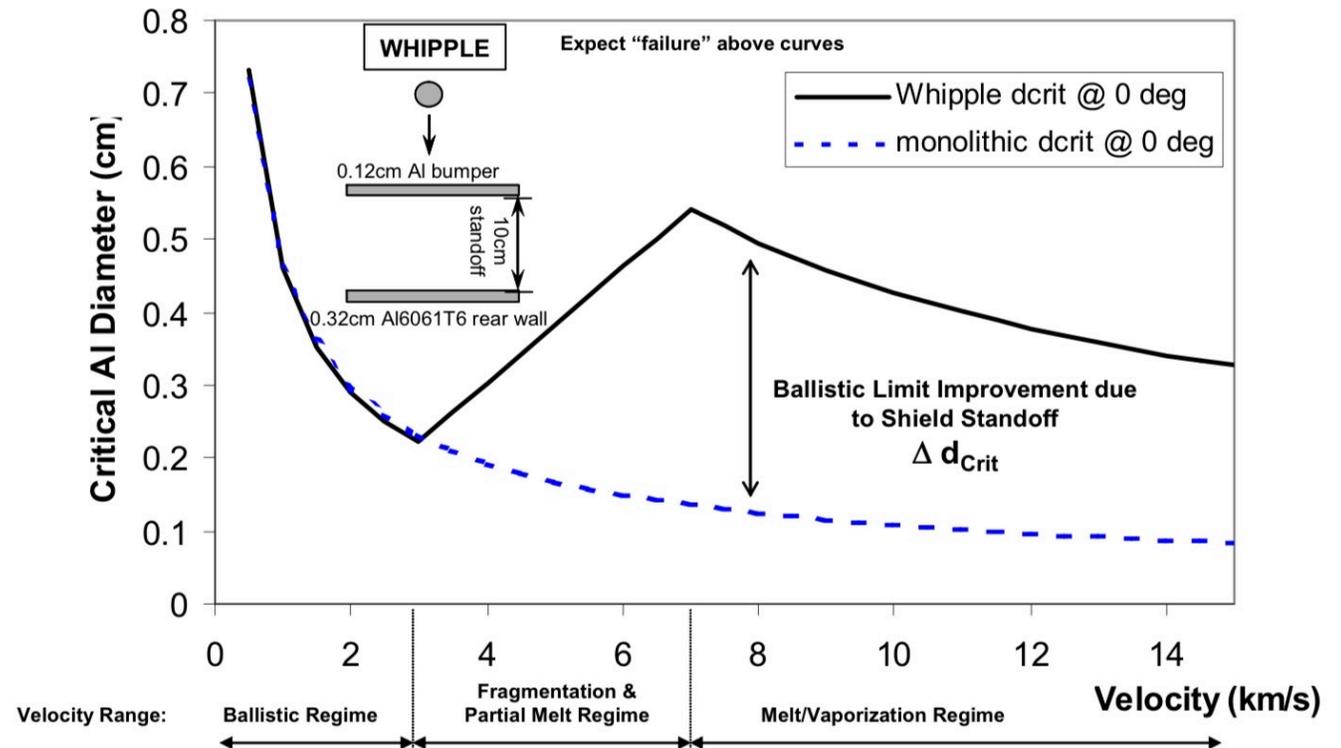
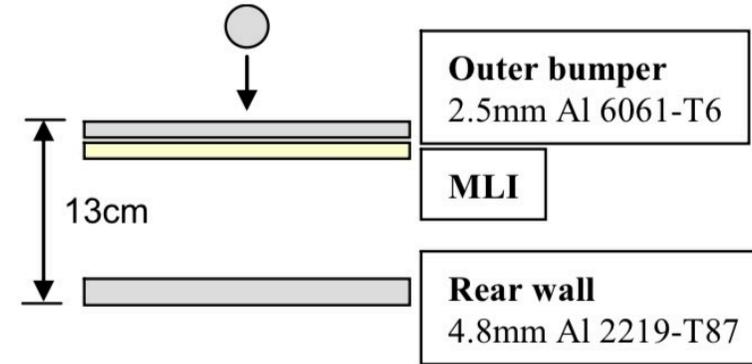
Scudo Whipple

Lo scudo Whipple è composto da:

- Paraurti sacrificale (bumper): frammenta il proiettile in una nuvola di materiale contenente detriti sia del proiettile che del paraurti;
- Parete posteriore (rear wall): deve resistere al carico dell'esplosione della nuvola di detriti.

Sono definite tre fasce di penetrazione per uno scudo Whipple:

- Regime di deformazione del proiettile;
- Regime di frammentazione/fusione del proiettile;
- Regime di fusione/vaporizzazione del proiettile.

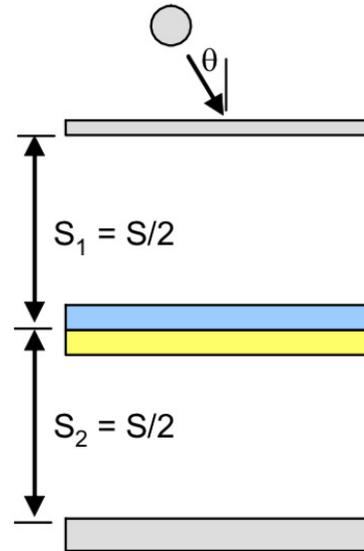


Scudo Whipple imbottito

È costituito da un paraurti esterno supportato da uno o più strati di materiale che assorbono l'energia cinetica dell'impatto.

Vantaggi:

- Risparmio di peso e spazio;
- Produzione di una nuvola di detriti meno dannosa;
- Minore sensibilità alla forma del proiettile;
- Efficiente conversione dell'energia cinetica del proiettile in energia termica;
- Danneggiamenti ridotti alla parete posteriore.

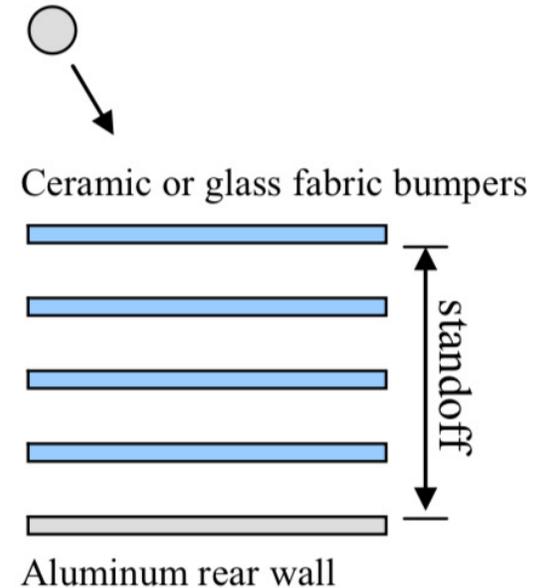


Scudo multi-shock

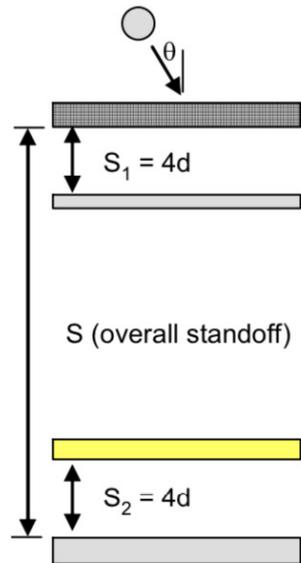
È costituito da quattro strati di paraurti in tessuto ceramico seguiti da una parete posteriore in alluminio o Kevlar.

L'utilizzo di tessuto ceramico offre alcuni vantaggi:

- Pressioni d'urto più elevate sul proiettile;
- Elevata resistenza ai danni;
- Limitata eiezione secondaria.



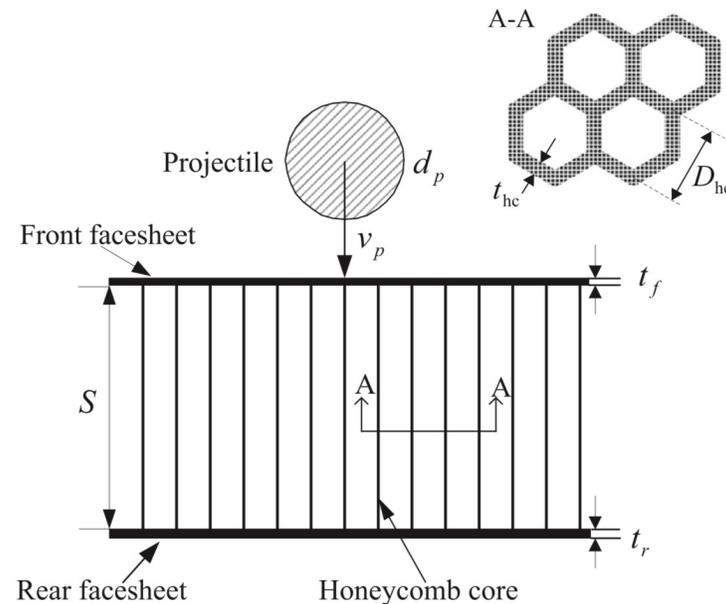
Scudo Mesh Double-Bumper



È costituito da:

- Paraurti a rete;
- Paraurti continuo;
- Strato intermedio di tessuto ad alta resistenza;
- Parete posteriore.

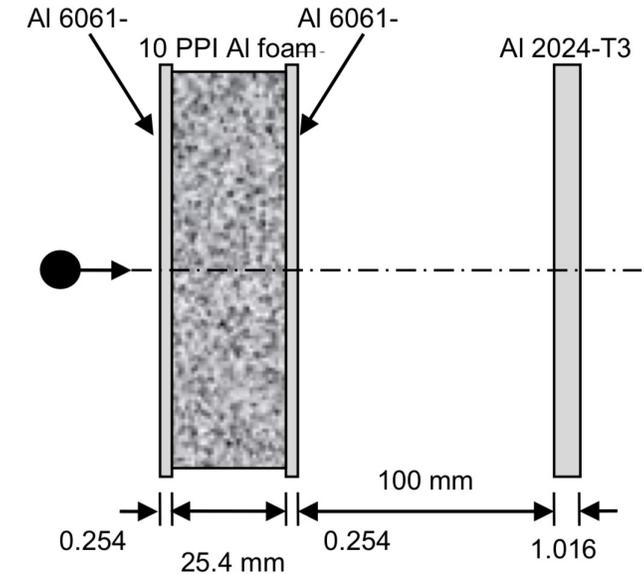
Pannelli Honeycomb



Trovano ampio impiego nell'ingegneria aerospaziale come elemento strutturale.

Se usato come scudi di protezione non risultano particolarmente efficienti.

Pannelli Sandwich in schiuma metallica

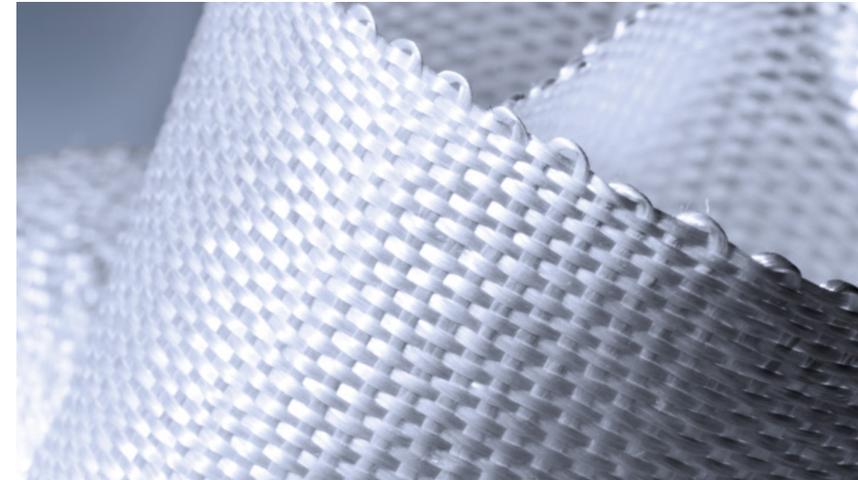


Offrono un supporto strutturale analogo a quello dei pannelli a nido d'ape, ma vantano una capacità superiore di protezione contro i detriti spaziali ad alta velocità.

Sono fibre ceramiche principalmente costituite da allumina (Al_2O_3) e silice (SiO_2). Una delle aziende che produce fibre ceramiche con questa composizione è la 3M. Tra i tipi di fibre ceramiche disponibili sul mercato da 3M ci sono: Nextel 312, 440, 610 e 720.

Proprietà principali dei tessuti Nextel:

- Isolamento termico;
- Proprietà meccaniche termiche;
- Proprietà elettriche;
- Bassa contrazione;
- Non igroscopicità.



Il tessuto ceramico Nextel viene usato negli scudi di protezione per alcune proprietà favorevoli:

- Caratteristiche di frammentazione simili all'alluminio;
- Bassa potenzialità di danneggiamento dai frammenti di Nextel;
- Il tessuto è flessibile.

Proprietà	Nextel 312	Nextel 440	Nextel 610	Nextel 720
Temperatura operativa (°C)	1204	1371	1204	1204
Diametro (μm)	10-12	10-12	10-12	10-12
Composizione chimica (peso%)	62 Al_2O_3 24 SiO_2 14 B_2O_3	70 Al_2O_3 28 SiO_2 2 B_2O_3	> 99 Al_2O_3	85 Al_2O_3 15 SiO_2
Densità (g/cm^3)	2,70	3,05	3.88	3,40
Resistenza a trazione (MPa)	1700	2000	2930	2100
Modulo di elasticità (GPa)	150	190	373	260

Il Kevlar è una fibra organica appartenente alla famiglia delle poliammidi aromatiche.

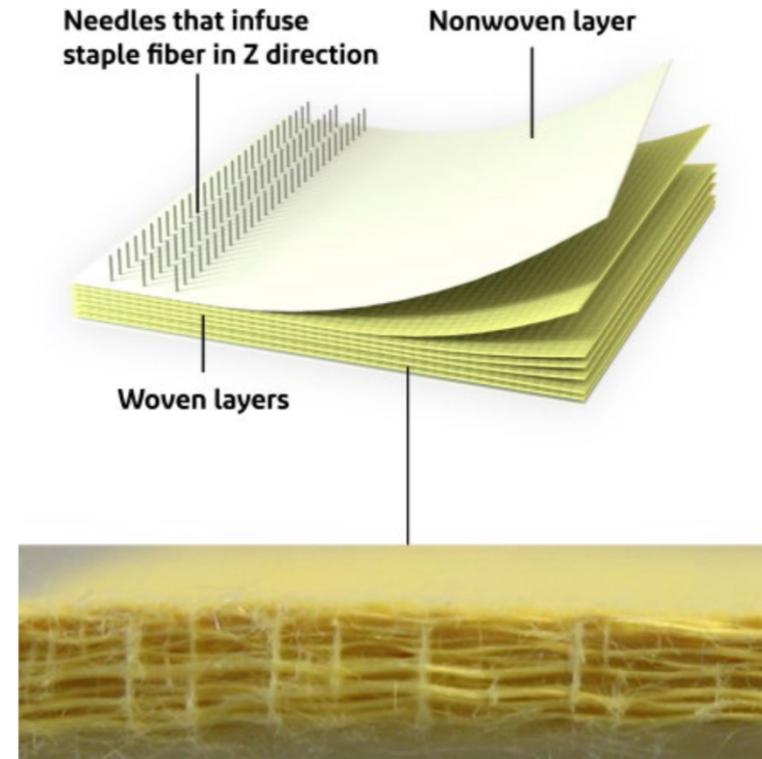
Le caratteristiche principali delle fibre di Kevlar sono:

- Stabilità idrolitica e del pH;
- Ripresa dell'umidità;
- Temperatura di decomposizione elevata;
- L'aumento di temperatura riduce il modulo, la resistenza a trazione e l'allungamento a rottura;
- Il calore specifico è influenzato dalla temperatura;
- È intrinsecamente resistente alla fiamma ma può essere infiammato;
- L'effetto delle radiazioni di elettroni su Kevlar è generalmente non dannoso;
- È sensibile alla luce ultravioletta.

Kevlar/resina epossidica

I compositi Kevlar/resina epossidica sono particolarmente apprezzati per le proprietà di resistenza agli urti, alla trazione e alla compressione.

Tale composito viene spesso impiegato come imbottitura nello scudo Whipple.



I progressi nella produzione di polietilene hanno portato allo sviluppo di polietilene ad altissimo peso molecolare (UHMWPE).

La fibra di UHMWPE si distingue per la sua elevata cristallinità (>99%) e orientamento molecolare (>95%)

Alcune delle proprietà principali di queste fibre sono:

- Peso molecolare di $5,3 \cdot 10^6$;
- Densità pari a $0,927 \div 0,941 \text{ g/cm}^3$;
- Modulo elastico di 600 MPa;
- Assorbimento d'acqua minore dello 0,01%.

Studi recenti hanno evidenziato che il polietilene ad altissimo peso molecolare offre prestazioni balistiche superiori e una minore tendenza all'outgassing rispetto al Kevlar tradizionalmente usato negli scudi Whipple.

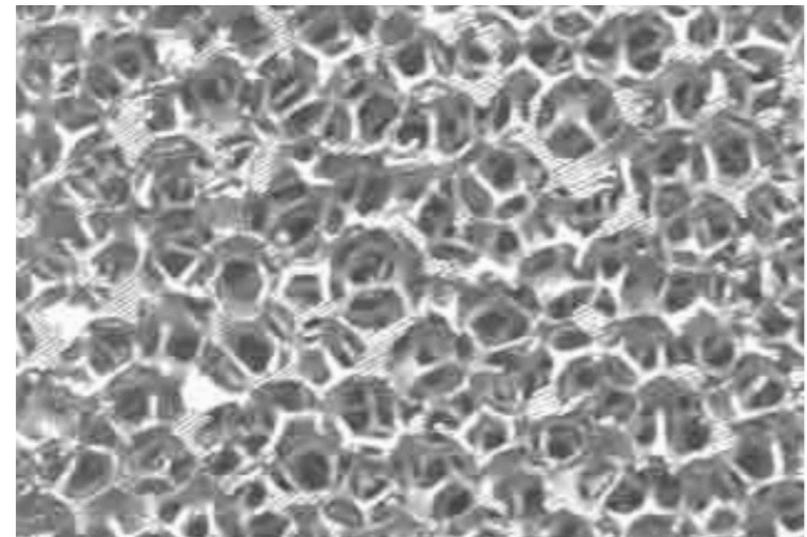
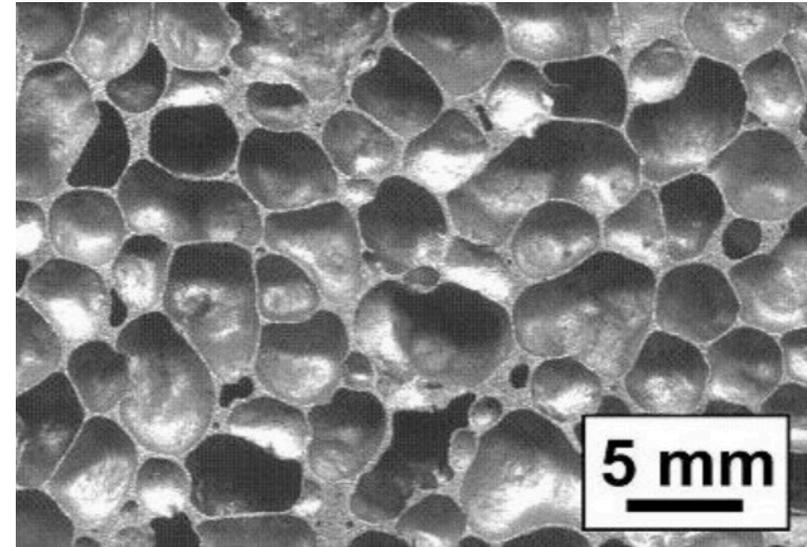


La schiuma metallica è una sostanza o una struttura costituita da un metallo solido (spesso alluminio) con pori che occupano un volume significativo riempiti di gas.

Ci sono due tipi fondamentali di schiuma metallica:

- Struttura a cellule chiuse;
- Struttura a cellule aperte.

Da un punto di vista fisico, questi pannelli agiscono come uno scudo multi-shock, frammentando e vaporizzando il proiettile a seconda delle sue caratteristiche e della sua velocità.



Attraverso l'utilizzo di materiali avanzati l'industria aerospaziale ha compiuto passi significativi nel migliorare la protezione degli equipaggi e delle strutture aerospaziali.

Una delle sfide principali è rappresentata dalla crescente congestione dello spazio e dalla proliferazione dei detriti spaziali, che aumentano il rischio di collisioni, danni al veicolo o alle attrezzature, e in alcuni casi la perdita della missione.

Per affrontare queste sfide future è necessario continuare a investire nella ricerca e nello sviluppo di nuovi materiali compositi e tecnologie di progettazione.