

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

Relazione per la prova finale
«Aspetti strutturali e tecniche di studio degli
impatti iperveloci»

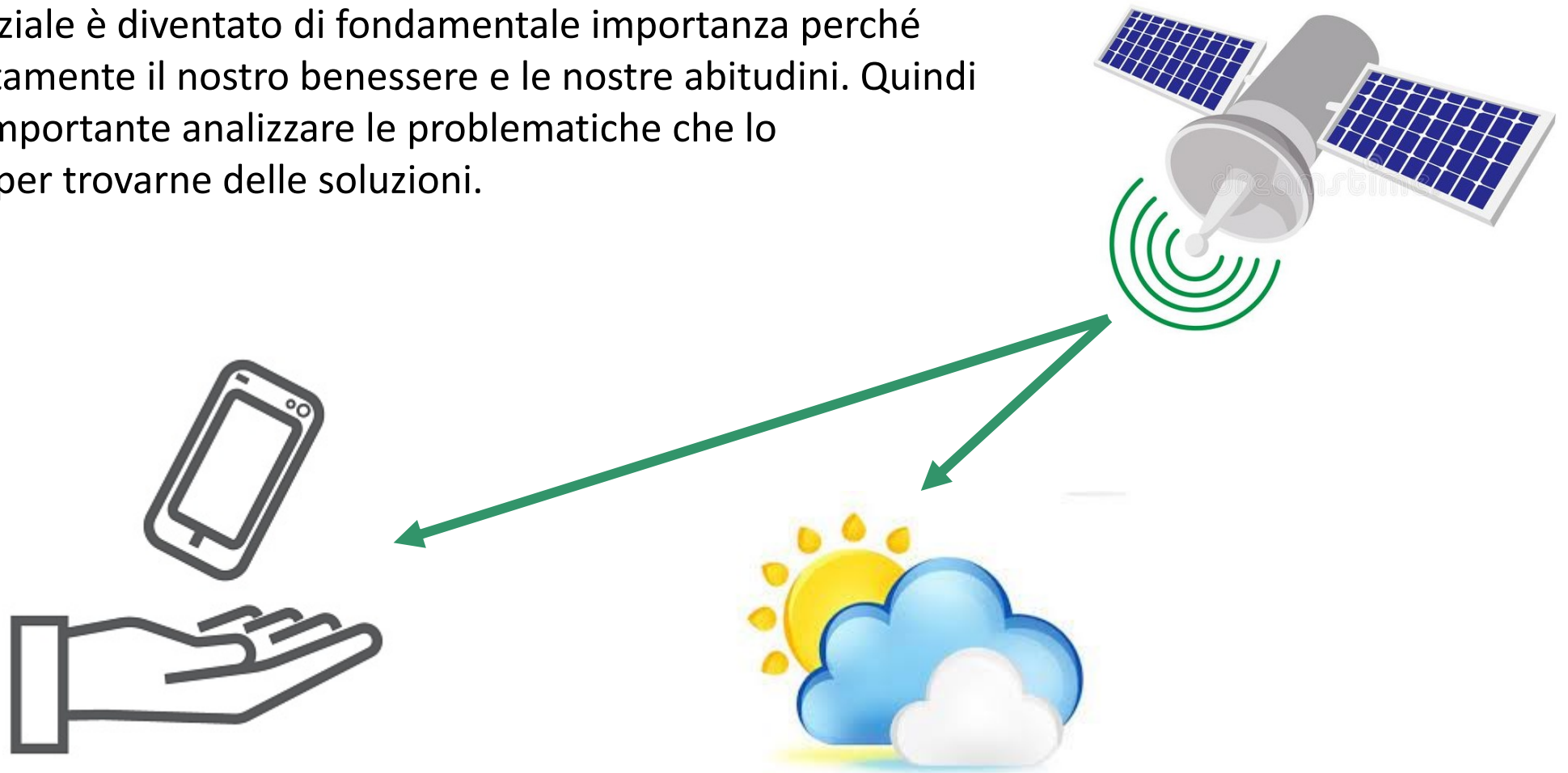
Tutor universitario: Prof. Ugo Galvanetto

Laureando: Francesco Cavegion

Padova, 11/03/2022

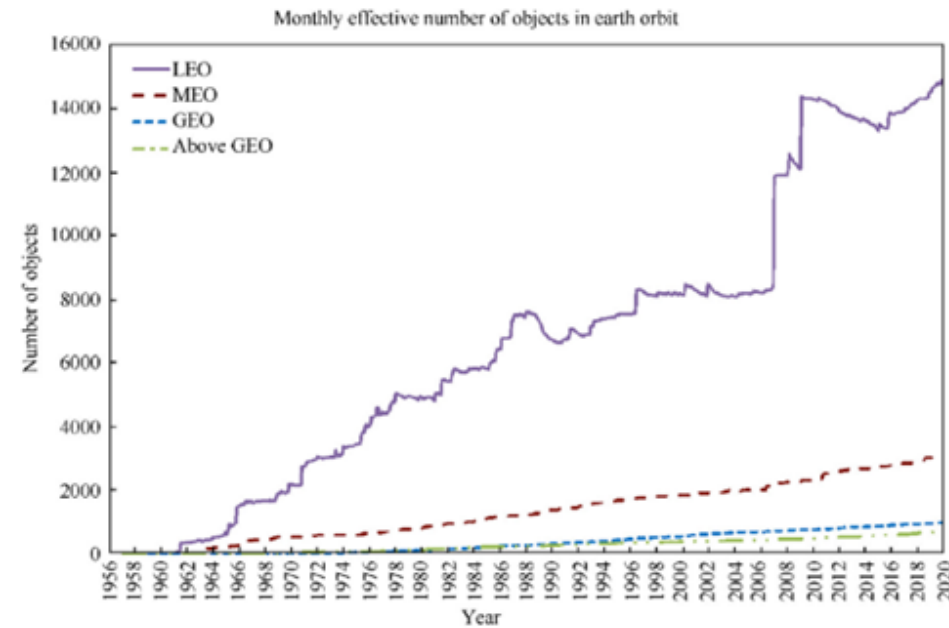
Matricola: 1193610

L'ambiente spaziale è diventato di fondamentale importanza perché influenza direttamente il nostro benessere e le nostre abitudini. Quindi è sempre più importante analizzare le problematiche che lo caratterizzano per trovarne delle soluzioni.



L'ambiente spaziale è molto peculiare, come lo sono anche le problematiche legato ad esso. Negli ultimi anni i detriti spaziali sono diventati una preoccupazione per il futuro.

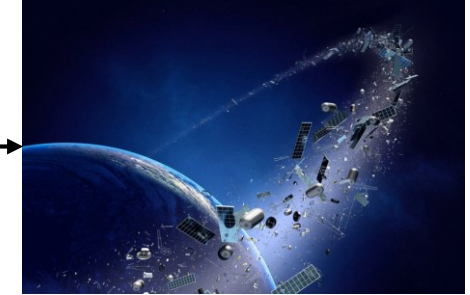
- metodologie di studio a Terra
- possibili conseguenze di un impatto
- Interazione con uno spacecraft



Solitamente sono considerati detriti spaziali tutti quei componenti hand-made che non sono più funzionanti e si trovano in orbita terrestre o in fase di rientro. In base alla tipologia di orbita possono raggiungere diverse velocità dai 2Km/s in GEO ai 16Km/s in LEO. Ne esistono moltissime tipologie e per questo vengono solitamente divisi in tre categorie.

Grandi dimensioni circa 20'000 detriti >5-10 cm e massa > 200g.

- Tracciamento tramite SSN
- manovre evasive



Medie dimensioni 600'000 detriti >1 cm e massa >1,5g.

- Modelli ambientali



Piccole dimensioni 300'000'000 detriti >1mm e massa > 1.5 mg.

- Previsione tramite modelli ambientali
- Scudi passivi come tecnica di mitigazione del rischio.

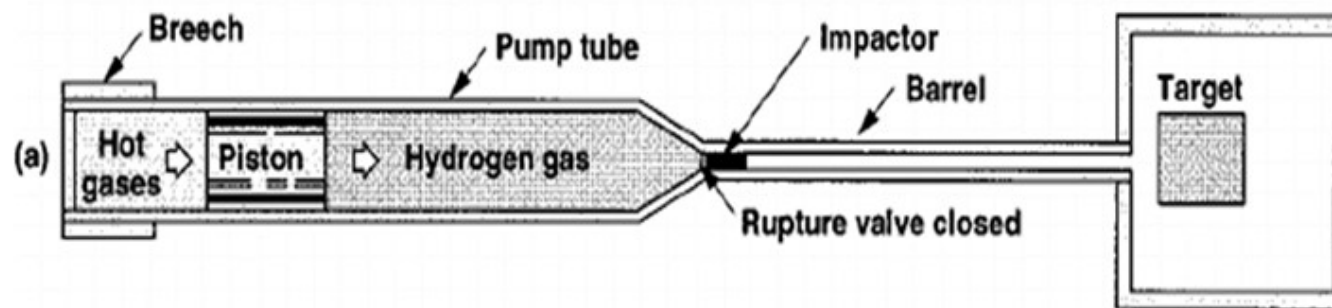


Negli impatti iperveloci le metodologie di studio e test sono molto importanti. Per ricreare tali eventi si utilizzano dei cannoni a gas leggero basati su uno o più stadi. Le caratteristiche di un comune LGG sono le seguenti:

- Primo stadio caricato con polvere detonante
- Secondo stadio caricato con un gas leggero elio o idrogeno
- Tra i diversi stadi sono posizionate delle valvole a rottura

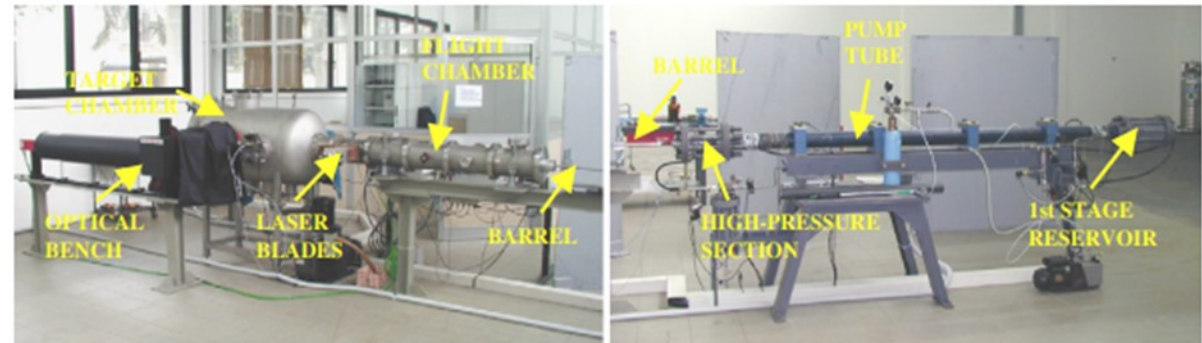
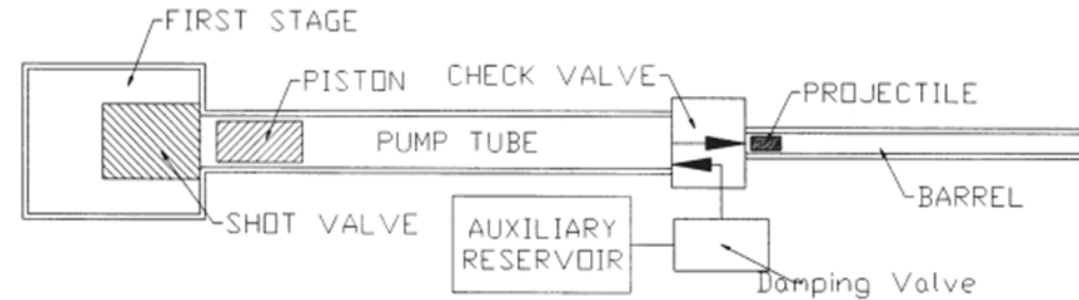
Svantaggi:

- Ripetibilità giornaliera dei test molto bassa (2-3) al giorno
- Pericoli legati alla polvere detonante
- Sostituzione delle valvole
- Manutenzione molto frequente
- Costi elevati



Nel centro studi e attività per lo Spazio-CISAS "G. Colombo" con sede a Padova è stato sviluppato un LGG con l'obiettivo di risolvere le problematiche dei sistemi più comuni. Le caratteristiche che lo contraddistinguono sono:

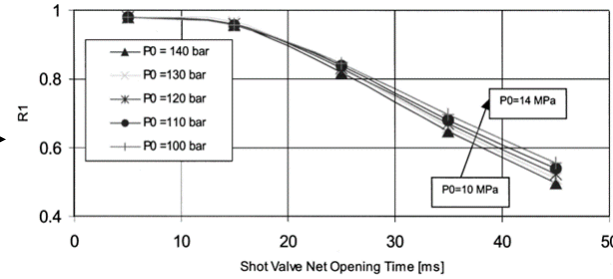
- Non sono presenti membrane di rottura ma sono sostituite da delle valvole
- Il LGG non utilizza polvere da sparo o altri combustibili
- Il LGG richiede delle procedure di manutenzione periodica ogni 30 colpi circa
- Con questa configurazione il sistema accelera massa di 100 mg a circa 3.5 Km/s



Nella configurazione vista precedentemente furono evidenziate alcune problematiche: molti dei componenti presentano un'usura elevata (dopo pochi cicli) e supportano pressioni massime inferiori rispetto a quelle disponibili.

Shot valve:

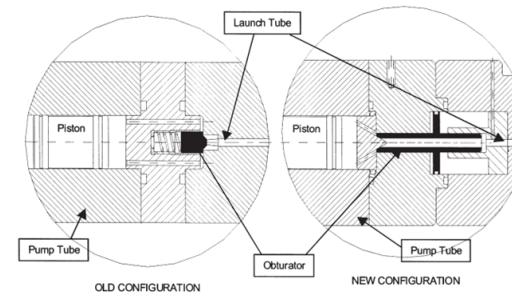
- Usura delle guarnizioni
- Tempo di apertura



Il Sistema di smorzamento è stato migliorato con la customizzazione di alcuni elementi

Check valve:

- Apertura a diversi livelli di pressione
- Limitare il flusso di gas
- Erosione dei materiali a causa del flusso di gas



Vecchia configurazione

First stage maximum pressure	7 MPa
Maximum Projectile release pressure	7 MPa
Maximum Check valve closing pressure	4 MPa
Working gas	He
Maximum second stage pressure	150 MPa

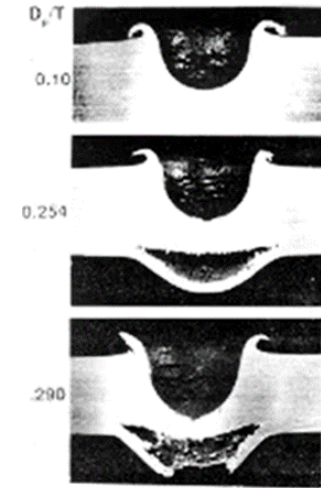
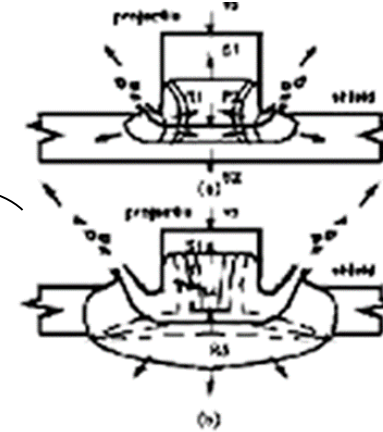
Nuova configurazione

First stage maximum pressure	20 MPa
Maximum Projectile release pressure	150 MPa
Maximum Check valve closing pressure	50 MPa
Working gas	H ₂
Maximum second stage pressure	600Mpa

Possiamo dire che un impatto è definito iperveloce quando la velocità del detrito supera la velocità di propagazione del suono nel mezzo.

Le fasi che caratterizzano un impatto iperveloce sono:

1. Compressione elevata nella zona d'impatto
2. Produzione delle onde d'urto
3. Aumento della T , comportamento idrodinamico
4. La riflessione dell'onda d'urto introduce uno stato tensionale di trazione che può provocare uno spall
5. Spall distaccato o perforazione del materiale

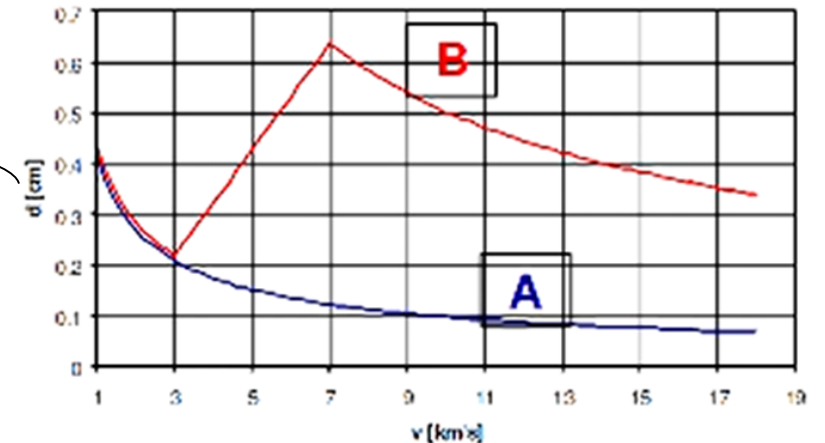


METODOLOGIE DI STUDIO

- vasta tipologie di impatti
- diverse condizioni al contorno.

Equazioni di danno

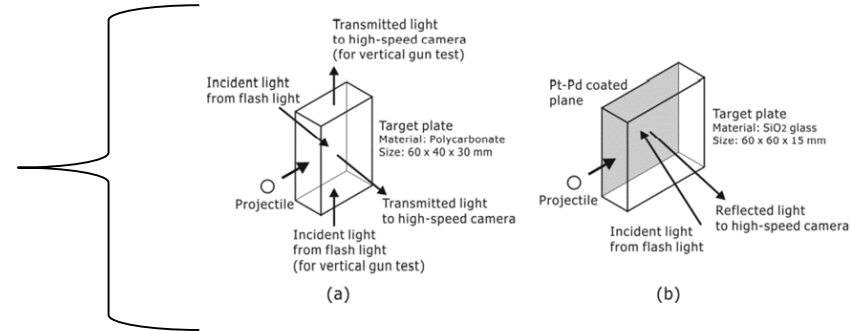
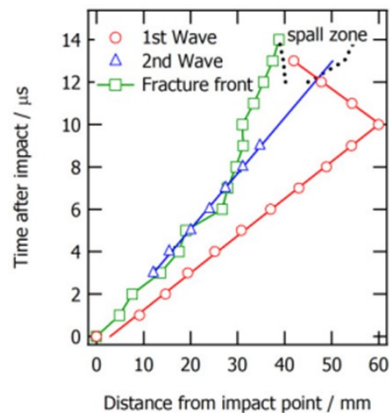
Equazione di limite balistico: definisce il valore del più piccolo detrito che a una certa velocità provoca il fallimento incipiente



Sono stati analizzati vetro SiO₂ e policarbonato, la metodologia adottata è stata del tipo Edge-on Impact.

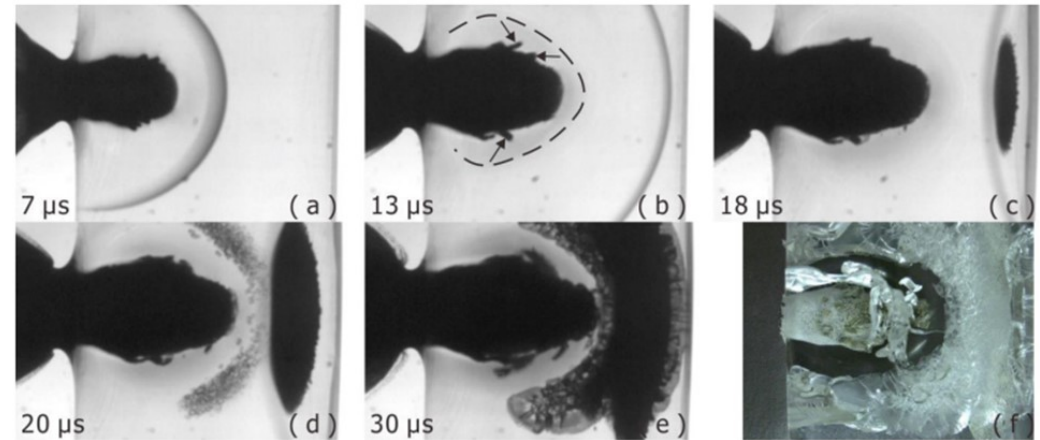
Vetro SiO₂:

- Proiettile in Al di $\varnothing = 3.2\text{mm}$ e $V=3.01\text{Km/s}$.



Policarbonato:

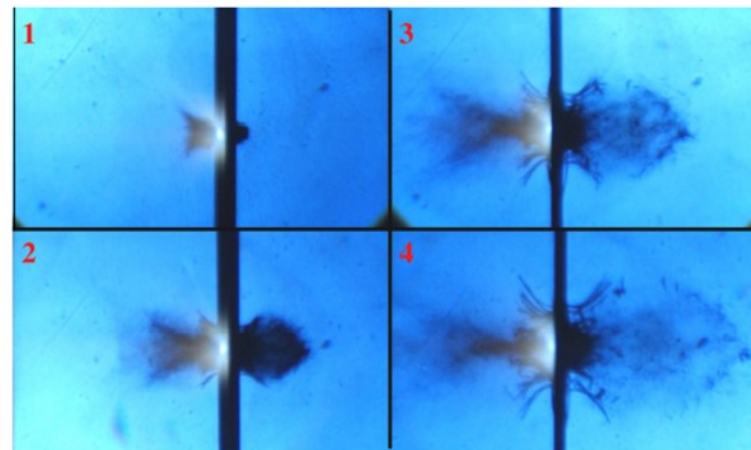
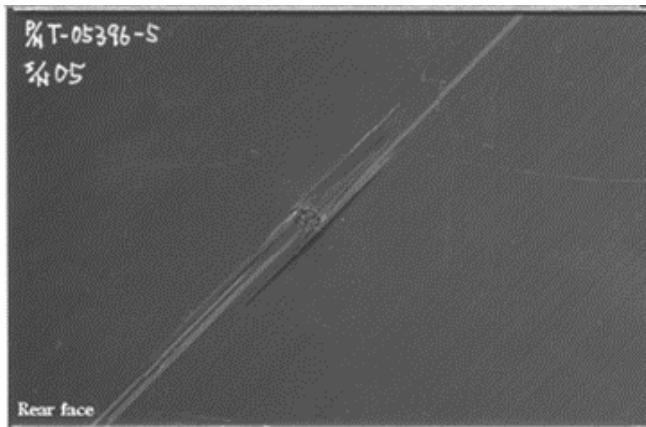
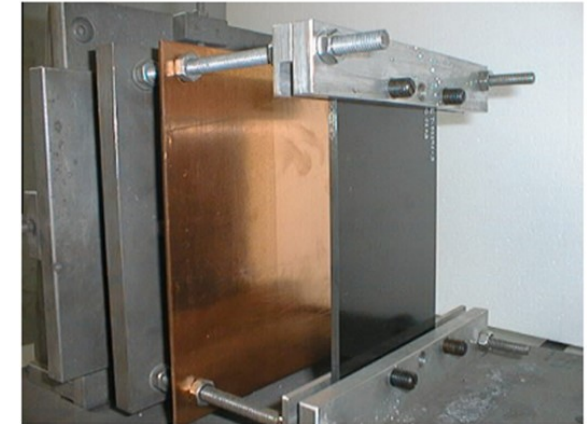
- Proiettile in acciaio inossidabile di $\varnothing=3.2\text{mm}$ e $V=4.06\text{Km/s}$.



I materiali compositi sono molto promettenti per le applicazioni spaziali. Nel centro del CISAS sono stati testati 45 sistemi composti da una piastra di CFRP e una di Cu. Le caratteristiche rilevate dai test d'impatto su questo materiale sono:

- Cratere frastagliato
- Un distaccamento delle fibre superficiali
- Una delaminazione della piastra
- Nuvola detritica frontale conica
- Nuvola detritica posteriore divisa in due zone

Target Designation	No. of plies	Size		
		a (mm)	b (mm)	t (mm)
CFRP-3	32	152.4	101.6	4.3
CFRP-5	24	152.4	101.6	3.5
CFRP-7	16	152.4	101.6	2.3



Come detto precedentemente, ci sono tre tipologie di detriti e la loro densità spaziale varia molto in base alla tipologia di orbita. Dati i problemi legati a un impatto è necessario sviluppare delle tecniche di mitigazione del rischio

Tecniche attive basate su radar, telescopi e manovre evasive.



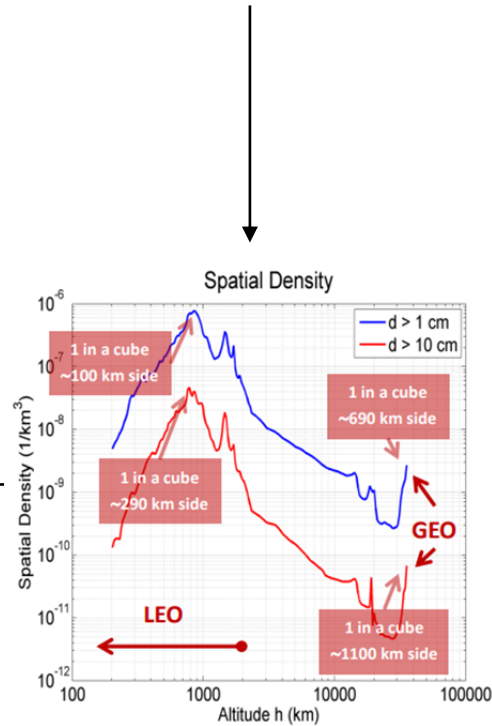
GEODSS (US)
detection limit:
≈ 15 cm at 36000 km

SSN telescopes (3x3);
1 m aperture;

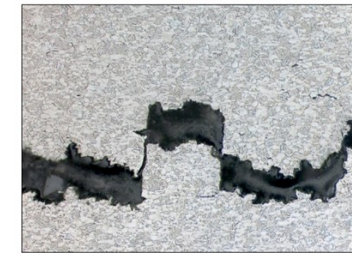
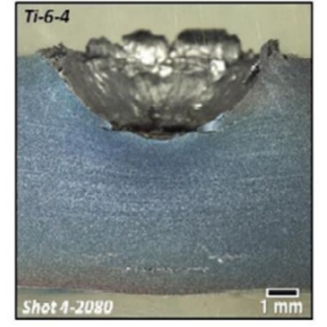


Cobra Dane (USA)
detection limit:
≈ 5 cm at 1000 km

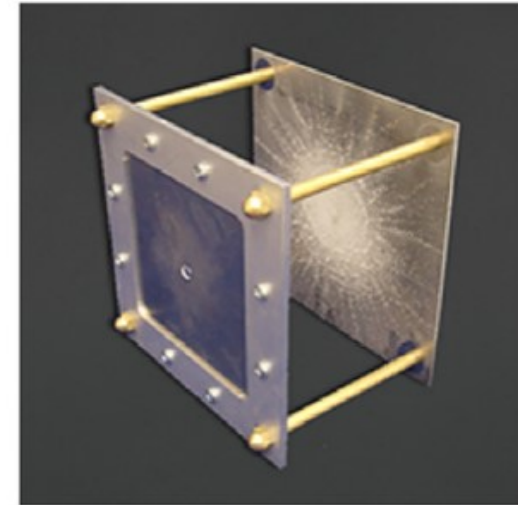
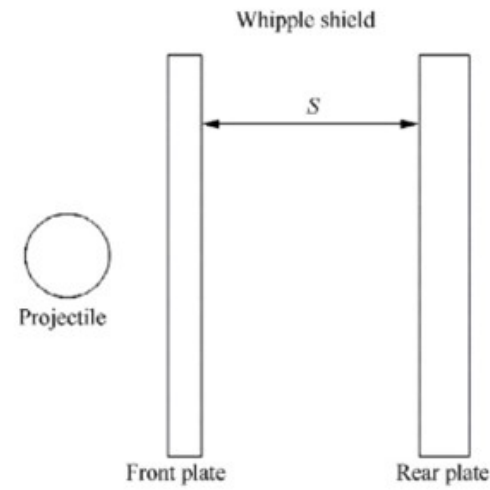
US SSN network;
29 m antenna;



Tecniche passive basate su scudi monolitici o a più strati.



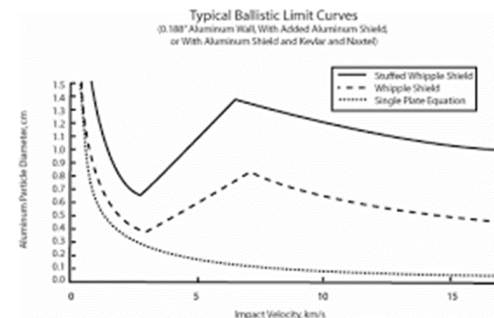
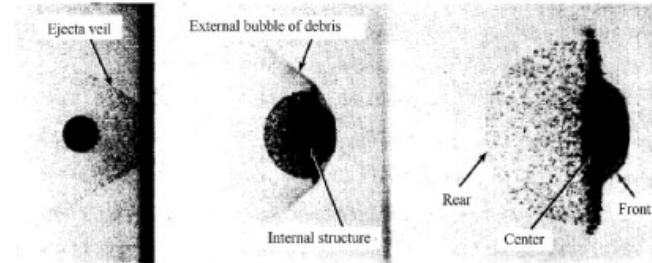
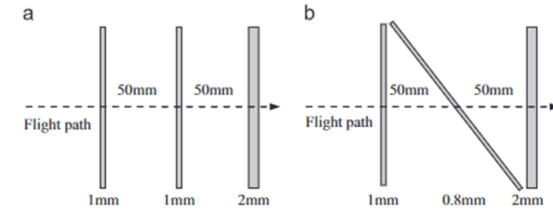
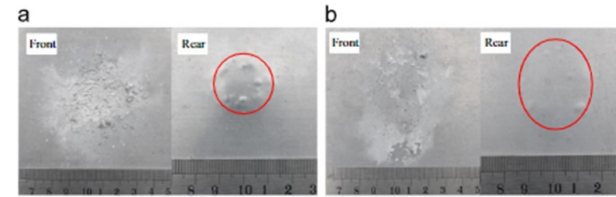
Una delle metodologie più efficienti per prevenire la perdita della missione spaziale è utilizzare uno scudo whipple. La struttura più semplice è basata su due piastre poste a una certa distanza.



1) Interazione tra proiettile e bumper:
 > Propagazione delle onde d'urto e forma del proiettile
 > Frammentazione del materiale
 > Transizione di fase, plasma e onde elettromagnetiche

2) Spostamento della nuvola detritica:
 > variabilità in base alla forma del proiettile
 > struttura sferica a più parti

3) Impatto della nuvola detritica con la piastra posteriore:
 > I danni vengono valutati tramite l'ELB e la CLB



In generale lo studio degli impatti e dei detriti spaziali risulta essere molto ampio e sempre più importante per diminuire i rischi di perdere una missione e aumentare la sostenibilità spaziale futura.

Grazie per l'attenzione