

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Relazione per la prova finale
«Impatti iperveloci su pannelli trasparenti:
classificazione dei frammenti generati»***

Tutor universitario: Prof. Alessandro Francesconi

Co-Tutor universitario: Ing. Lorenzo Olivieri

Laureando: *Pietro Gianmaria Danieli*

Padova, 18/11/2022

I DETRITI SPAZIALI

DEFINIZIONE: Tutti gli oggetti di origine antropica in orbita terrestre o in fase di rientro in atmosfera non funzionanti.

Dall'inizio dell'era spaziale:

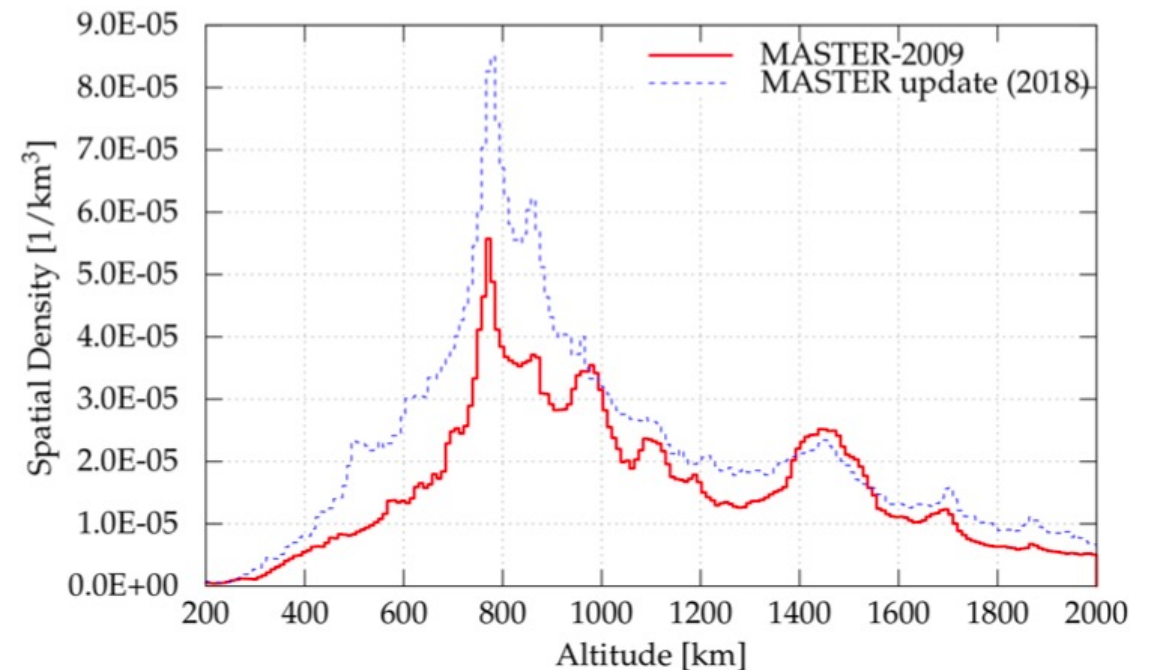
- 6250 lanci
- 13630 satelliti portati in orbita
- 10100 tonnellate di oggetti in orbita
- Oltre 630 eventi risultanti in frammentazione

Popolazione detritica:

- 32280 detriti catalogati
- Oltre 130 000 000 detriti non catalogati

Orbite più interessate:

- Orbite sun sincrone
- Orbite LEO tra 800 e 1000 km, vicino a 1400 km
- Orbita GEO



Densità spaziale di detriti in funzione dell'altitudine per oggetti di dimensioni $d > 1\text{mm}$

IMPATTI IPERVELOCI

DEFINIZIONE: collisione a velocità superiore a quella del suono nel mezzo, per cui la resistenza dei materiali all'impatto è molto inferiore alle forze inerziali.

- Grave danneggiamento dello spacecraft in caso di impatti iperveloci con detriti spaziali
- Impatti iperveloci in orbita accrescono la popolazione detritica
- Probabilità di collisione non trascurabili, in particolare per grandi costellazioni

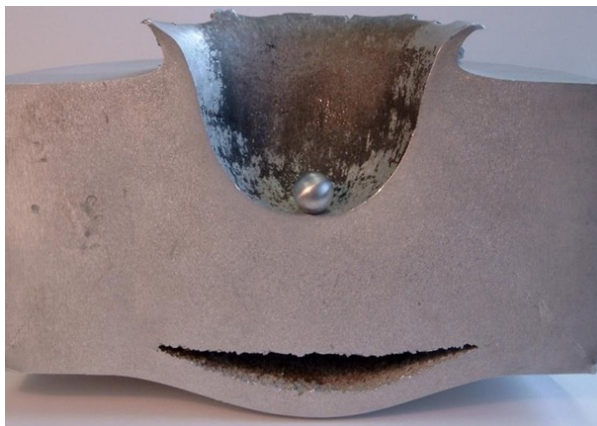
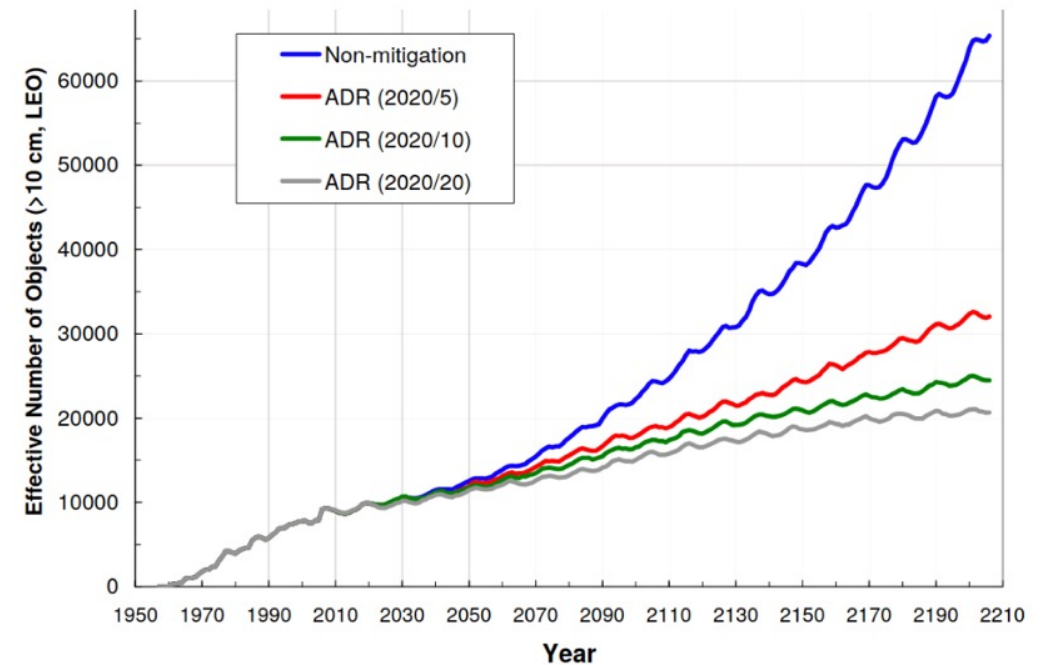


Foto degli effetti di un impatto iperveloce con formazione di spall



- **2020/5:** Five objects removed annually beginning in 2020
- **2020/10:** Ten objects removed annually beginning in 2020
- **2020/20:** Twenty objects removed annually beginning in 2020

Proiezione dell'evoluzione futura della popolazione detritica

MODELLI PREVISIONALI

- I modelli previsionali permettono di simulare gli effetti delle collisioni sullo sviluppo dell'ambiente detritico spaziale.
- I modelli ad oggi più utilizzati sono di natura empirica o semi-empirica, limitati dall'impossibilità di descrivere accuratamente la complessità dei vari scenari di impatto.

SIMULAZIONE NUMERICA

VANTAGGI

- Flessibilità
- Fedeltà
- Ampio campo di applicazione
- Possibilità di modellare scenari complessi

SVANTAGGI

- Utilizzo di modelli complessi ed impegnativi da preparare
- Tempo richiesto
- Potenza computazionale richiesta

OBIETTIVI DEL LAVORO SVOLTO

- Catalogazione di frammenti generati da impatti iperveloci su pannelli trasparenti
- Scansione ed analisi software dei frammenti generati
- Produzione di grafici di distribuzione cumulativa di massa

UTILIZZO DEI DATI RACCOLTI

- Notare l'influenza delle caratteristiche dell'impatto sulla generazione di frammenti
- Evidenziare le differenze tra silice fusa ed acrilico a seguito di impatti iperveloci
- Sviluppo di modelli di simulazione numerica per predire sopravvivenza e frammentazione dei pannelli considerati

NOTA SULL'ATTIVITÀ SVOLTA

L'attività laboratoriale è stata svolta in collaborazione con un altro studente per la pesa e classificazione dei frammenti raccolti da 7 colpi effettuati su pannelli di silice fusa ed acrilico.

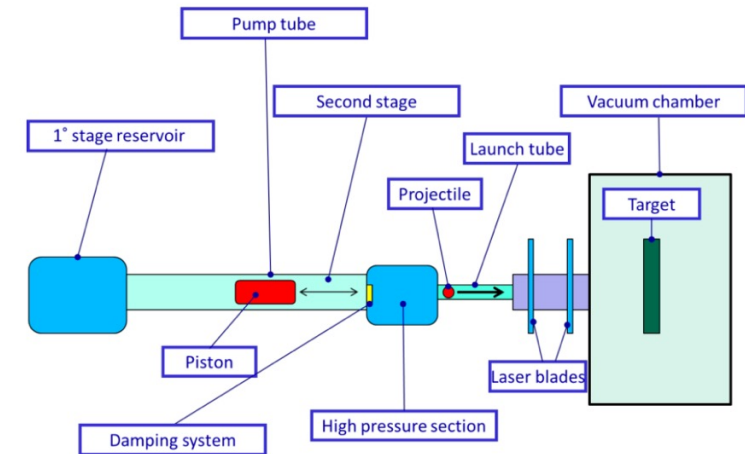
L'analisi dimensionale è stata effettuata sui soli 4 colpi aventi target in materiale acrilico.

IL CANNONE BI-STADIO A GAS LEGGERO

- Strumento utilizzato per simulare condizioni di ipervelocità in laboratorio
- Può accelerare un proiettile fino a velocità di 7,5 km/s (5,5 km/s nel caso del cannone presso i laboratori del CISAS)



Vista del cannone bi-stadio a gas leggero presente nei laboratori di ipervelocità del CISAS



Rappresentazione schematica del cannone bi-stadio a gas leggero presente nei laboratori di ipervelocità del CISAS

- Due stadi offrono maggior velocità rispetto ad un singolo stadio
- Il primo stadio può essere a polvere da sparo o a gas compresso
- Il primo stadio accelera un pistone che comprime il gas leggero contenuto in un tubo, il secondo utilizza il gas compresso per accelerare il proiettile

MATERIALI TRASPARENTI PER USO SPAZIALE

REQUISITI: Caratteristiche meccaniche, termiche e chimiche che permettano di resistere a grandi gradienti termici, differenza di pressione tra interno ed esterno, effetti di radiazioni ed ossigeno atomico ed impatti iperveloci con detriti e micrometeoriti

SILICE FUSA

- Materiale utilizzato storicamente

Vantaggi:

- Ottima affidabilità
- Ottime proprietà termiche ed ottiche

Svantaggi

- Scarsa resistenza a frattura
- Peso elevato

ACRILICO

- Materiale in fase di studio per sopperire agli svantaggi della silice fusa

Vantaggi:

- Buona resistenza meccanica ai carichi
- Peso ridotto
- Costo ridotto

Svantaggi:

- Sono necessari studi approfonditi prima che possa essere impiegato in campo spaziale
- Proprietà termiche ed ottiche peggiori rispetto alla silice fusa

PARAMETRI DEI COLPI STUDIATI

<i>Codice Colpo</i>	Diametro Proiettile (mm)	Velocità di impatto (km/s)	Angolo di Incidenza (°)	Spessore Target (cm)	Materiale Target
9185	2,3	3,728	0	0,635	Acrilico
9195	2,9	4,917	45	0,952	Acrilico
9197	2,9	4,950	0	0,635	Acrilico
9199	2,9	4,884	0	0,635	Acrilico
9206	2,9	4,698	0	0,3175	Silice Fusa
9207	2,9	3,317	0	0,3175	Silice Fusa
9212	3,2	4,852	0	0,3175	Silice Fusa

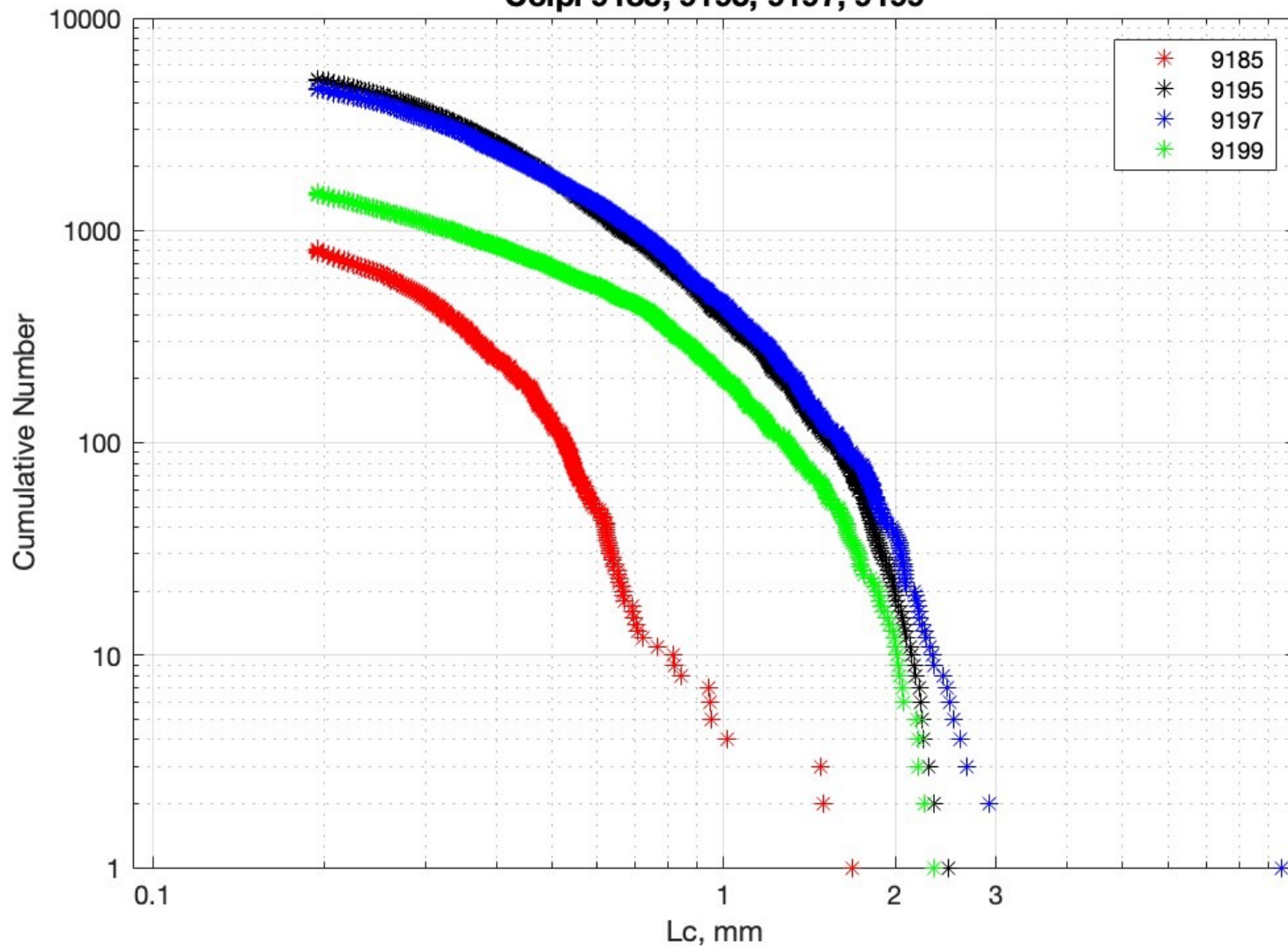
CLASSIFICAZIONE DEI FRAMMENTI

<i>Codice Colpo</i>	Peso <0,5mm (g)	Peso >0,5 mm (g)	Peso >1 mm (g)	Peso >2 mm (g)	Peso >3 mm (g)
9185	0,019	0,048	0,055	0,026	0,054
9195	0,130	0,190	0,272	0,275	0,399
9197	0,095	0,205	0,317	0,374	0,902
9199	0,034	0,109	0,151	0,060	0,053
9206	0,892	0,475	0,615	0,754	36,294
9207	0,474	0,296	0,335	0,211	0,089
9212	1,272	0,991	1,119	1,1089	63,054

- In verde i colpi effettuati su pannelli in acrilico
- In blu i colpi effettuati su pannelli in silice fusa

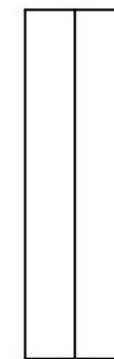
GRAFICO RELATIVO AI COLPI ANALIZZATI

Colpi 9185, 9195, 9197, 9199



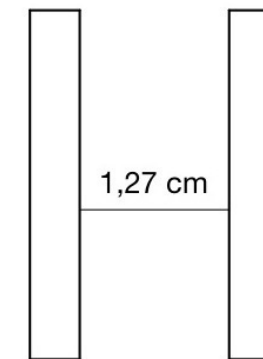
<i>Codice Colpo</i>	Diametro Proiettile (mm)	Velocità di impatto (km/s)	Angolo di Incidenza (°)	Spessore Target (cm)
9185	2,3	3,728	0	0,635
9195	2,9	4,917	45	0,952
9197	2,9	4,950	0	0,635
9199	2,9	4,884	0	0,635

9197



0,635 0,635

9199



0,635

0,635

A PARITÀ DI CONDIZIONI DI IMPATTO:

- Silice Fusa produce più frammenti di Acrilico
- L'area danneggiata è più contenuta nel caso di pannello in acrilico
- Il numero di frammenti prodotti diminuisce rapidamente con l'aumentare della dimensione degli stessi

EFFETTI DELLE VARIABILI SPERIMENTALI SULLA FRAMMENTAZIONE:

- Un aumento della velocità o della massa del proiettile causa un aumento della frammentazione
- Un aumento dello spessore del pannello riduce il numero di frammenti
- In configurazione di scudo whipple, a parità di spessore dei pannelli utilizzati, una maggiore distanza di standoff produce un numero inferiore di frammenti