

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Aerospaziale

***Target trasparenti: raccolta,
classificazione e analisi di frammenti
generati da impatti iperveloci***

Tutor: Prof. Alessandro Francesconi

Laureando: Raoul Peroni

Co-Tutor: Dott. Lorenzo Olivieri

Matricola 1232449

➤ *Definizione:* si tratta di oggetti artificiali in orbita attorno alla Terra o in rientro in atmosfera, non più operativi

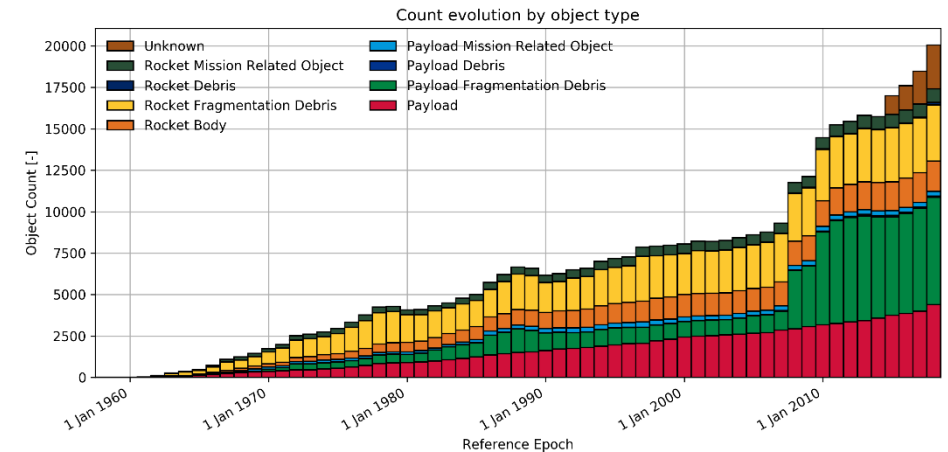
➤ *Storia nel tempo:*

- ❖ Primo lancio (Sputnik-1, 1957)
- ❖ Prima esplosione nello spazio (1961)
- ❖ Primo test anti-satellite (Cosmos-248 e Cosmos-249, 1968)
- ❖ Modello a cascata collisionale (Kessler, 1992)
- ❖ Prima collisione accidentale tra satelliti (Iridium-33 e Cosmos-2251, 2009)
- ❖ Più recente: test anti-satellite russo (Cosmos-1408, 2021)



➤ *Numeri attuali dell'ambiente spaziale:*

- ❖ 6400 lanci nello spazio, 8400 satelliti funzionanti, più di 640 tra esplosioni e collisioni, massa totale di 10900 tonnellate



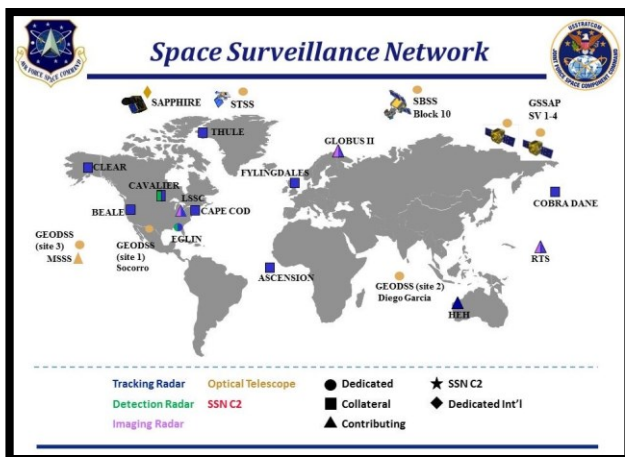
Aumento nel tempo dei frammenti in orbita

➤ *Classificazione a livello dimensionale:*

- ❖ 36'000 frammenti maggiori di 10 cm (tracciabili)
- ❖ 1'000'000 frammenti compresi tra 1 e 10 cm (non tracciabili)
- ❖ 130 milioni frammenti compresi tra 1 mm e 1 cm (non tracciabili)

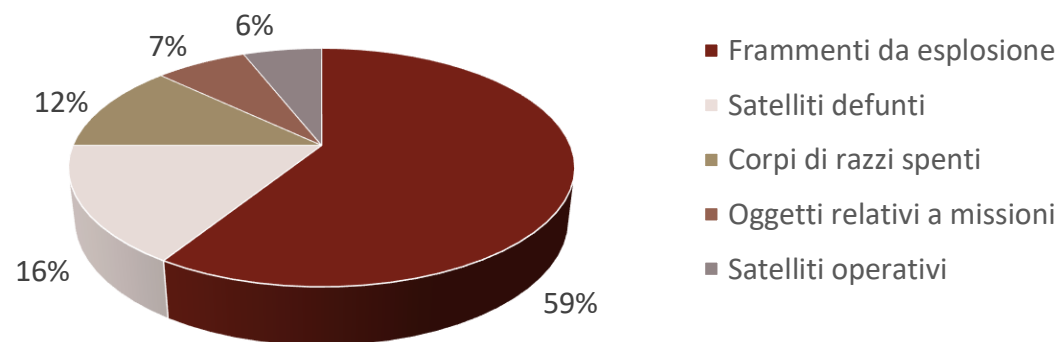


Rischi	Soluzioni
Disintegrazione catastrofica	Manovre evasive
Fallimento missione	Schermatura passiva (inefficace)
Fallimento componenti e/o sottosistemi	Schermatura passiva e ridondanza componenti



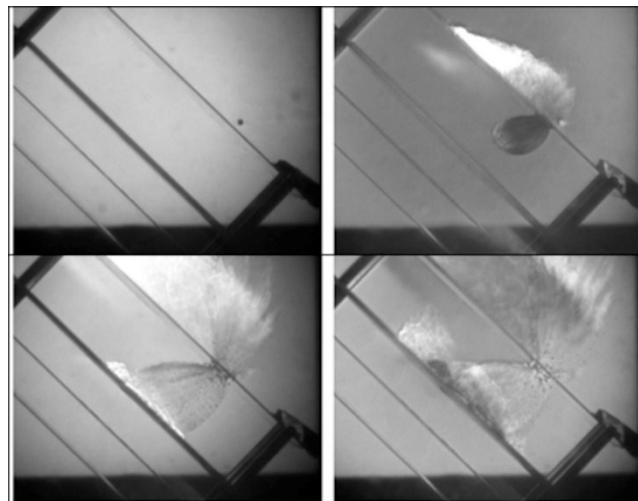
Rete US-SSN

Popolazione catalogata US-SSN



➤ *Impatti iperveloci (HVI):*

- ❖ Velocità d'impatto tra satellite e detrito > velocità del suono nel mezzo
- ❖ Evento dinamico, localizzato e molto breve
- ❖ Formazione di un cratere nel punto d'impatto
- ❖ Generazione dello spall distaccato e della nube di detriti



Impatto con inclinazione di 45°

Impatto a 10 km/s su blocco di alluminio

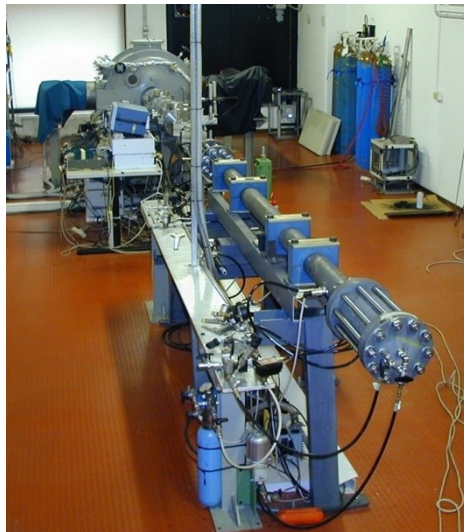


➤ *Altri effetti possibili conseguenti alla collisione:*

- ❖ Foratura di oggetti pressurizzati
- ❖ Disturbi d'assetto
- ❖ Creazione di cortocircuiti

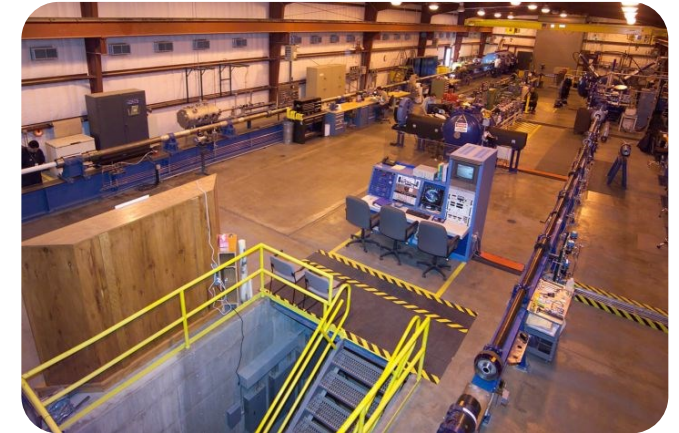
➤ *Alcuni acceleratori più importanti in tutto il mondo:*

- ❖ In Europa: Ernst-Mach Institut (Germania), CISAS (Italia) e University of Kent (Regno Unito)
- ❖ In America: White Sands Test Facility (New Mexico)
- ❖ In Asia: Agenzia Spaziale di Kakuda (Giappone) e CARDC (Cina)



Acceleratore a due stadi al CISAS

NASA - Acceleratori a due stadi in New Mexico



➤ *Acceleratore a gas leggero a due stadi al CISAS:*

- ❖ Proiettili di diametro tra 0.4 e 3 mm, con velocità fino a 5.5 km/s
- ❖ Frequenza di sparo di almeno 10 colpi al giorno

➤ *Materiali trasparenti per applicazioni spaziali:*

- ❖ Silice fusa
- ❖ Acrilico
- ❖ Magnesio trasparente alluminato ($MgAl_2O_4$)
- ❖ Ossinitruro di alluminio (AlON)

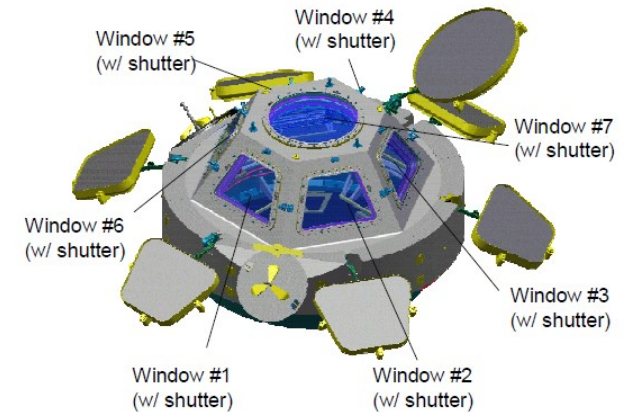
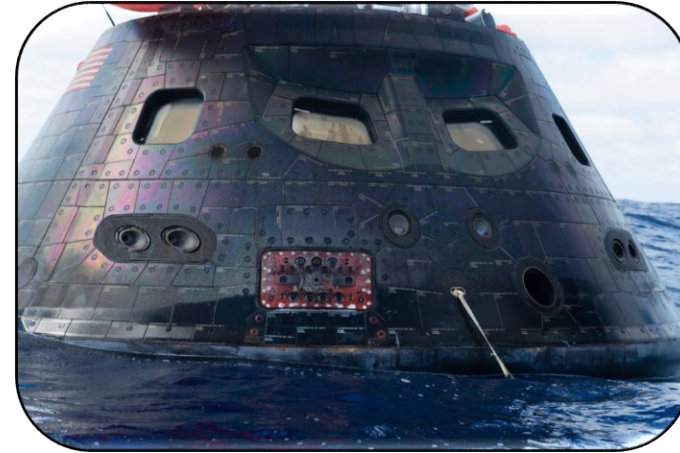
Modulo di osservazione «Cupola»



➤ *Requisiti per le finestre spaziali:*

- ❖ Mantenimento della pressione dell'abitacolo
- ❖ Resistenza a impatti iperveloci e a shock termico
- ❖ Osservazione scientifica
- ❖ Fornire visibilità per manovre di aggancio

Navicella spaziale Orion e finestre



Finestre trasparenti «Cupola»

➤ *Caratteristiche principali della prova:*

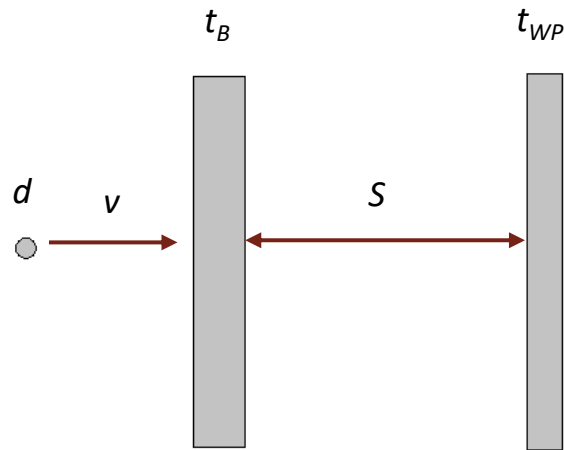
- ❖ Materiale: Acrilico
- ❖ Configurazione Target: scudo Whipple trasparente con pannelli 30x30 cm²
- ❖ Obiettivi:
 - ❖ Valutare frammentazione a seguito dell'impatto
 - ❖ Evitare collisioni pericolose e peggioramento ambiente detritico
- ❖ Parametri utilizzati per lo svolgimento dei test:

Raccolta frammenti test 9180

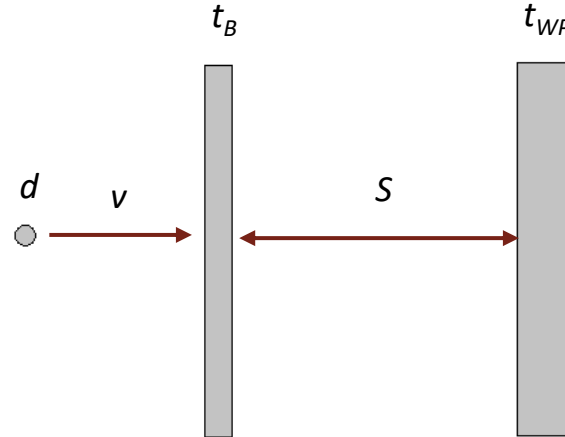


Test	Angolo [°]	d [cm]	v [km/s]	t _B [cm]	S [cm]	t _{WP} [cm]	t _B /d
9180	0	0.29	4.805	1.27	6.7	0.952	4.38
9188	0	0.29	4.759	0.635	6.7	1.27	2.19
9196	45	0.19	4.983	0.635	6.7	1.27	3.34

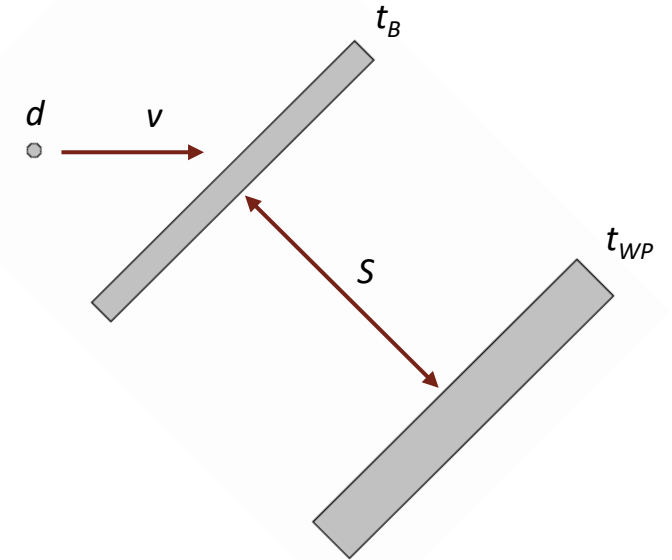
Test 9180



Test 9188



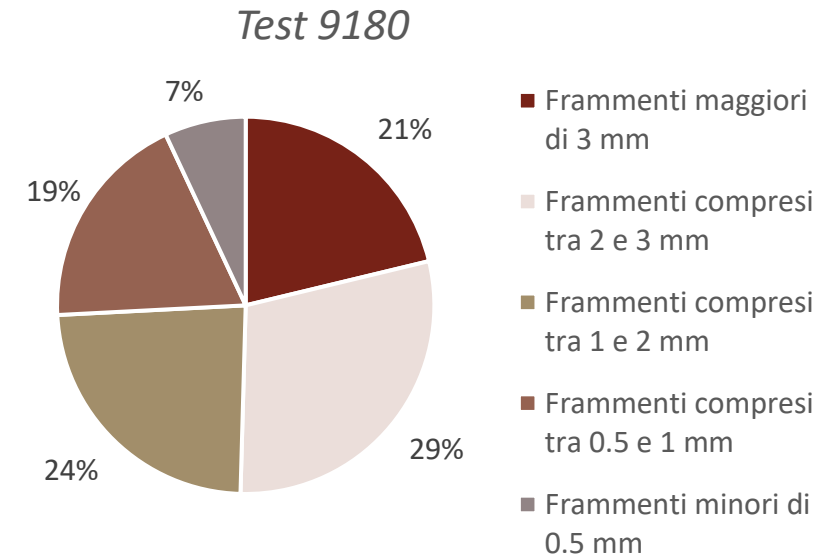
Test 9196



Test	Angolo [°]	d [cm]	v [km/s]	t _B [cm]	S [cm]	t _{WP} [cm]	t _B /d
9180	0	0.29	4.805	1.27	6.7	0.952	4.38
9188	0	0.29	4.759	0.635	6.7	1.27	2.19
9196	45	0.19	4.983	0.635	6.7	1.27	3.34

➤ *Operazioni per lo svolgimento delle prove:*

- ❖ Pesatura per ogni categoria detritica
- ❖ Suddivisione frammenti in diverse classi dimensionali tramite setacci
- ❖ Pesatura delle classi di frammenti appena ottenute
- ❖ Scansione dei frammenti per dimensione
- ❖ Raccolta frammenti in buste
- ❖ Elaborazione attraverso software per la produzione dei risultati



Test	< 0.5 mm [g]	0.5-1 mm [g]	1-2 mm [g]	2-3 mm [g]	> 3 mm [g]	Totale [g]
9180	0.111	0.300	0.378	0.465	0.338	1.592
9188	0.000	0.075	0.125	0.051	0.230	0.481
9196	0.012	0.098	0.106	0.066	0.030	0.312

➤ *Analisi dei dati e delle immagini mediante software:*

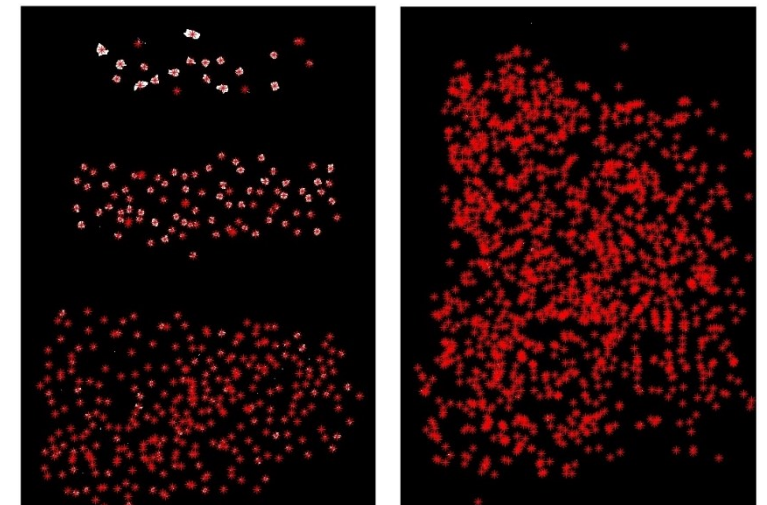
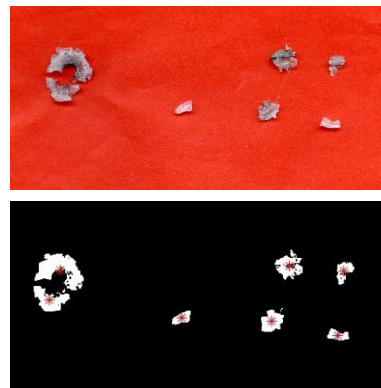
- ❖ Pulizia immagini attraverso applicazioni/funzioni
- ❖ Processo di «Image processing» per alcuni parametri:
 - ❖ Numero di frammenti
 - ❖ Dimensioni semiassi
 - ❖ Area dei frammenti



Immagini test 9180

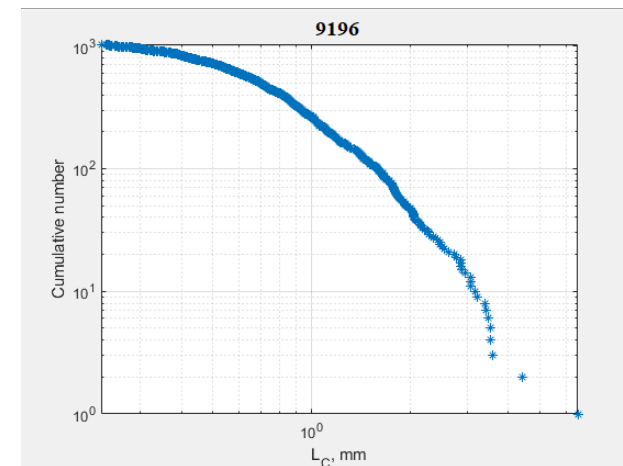
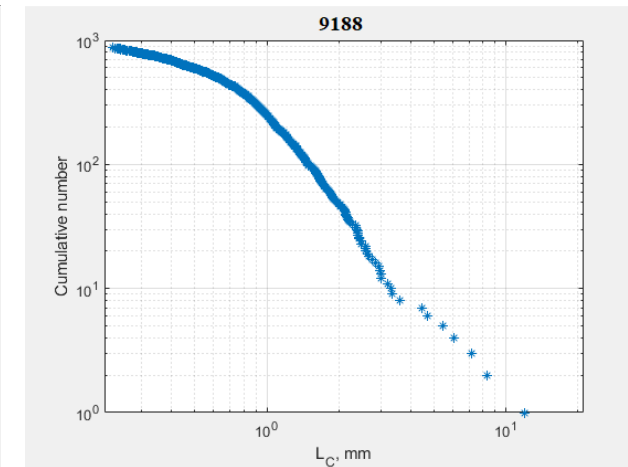
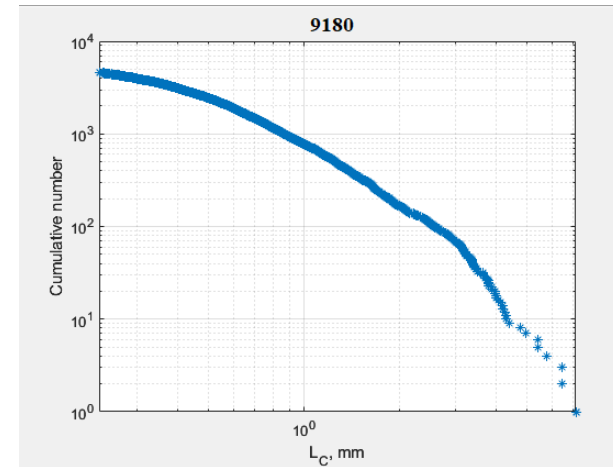
- ❖ Modificata soglia dimensionale di alcuni frammenti per ottenere una stima migliore:

- ❖ Frammenti > 3 mm per test 9188
(presenza crateri circa intatto)
- ❖ Frammenti > 1 mm per test 9196



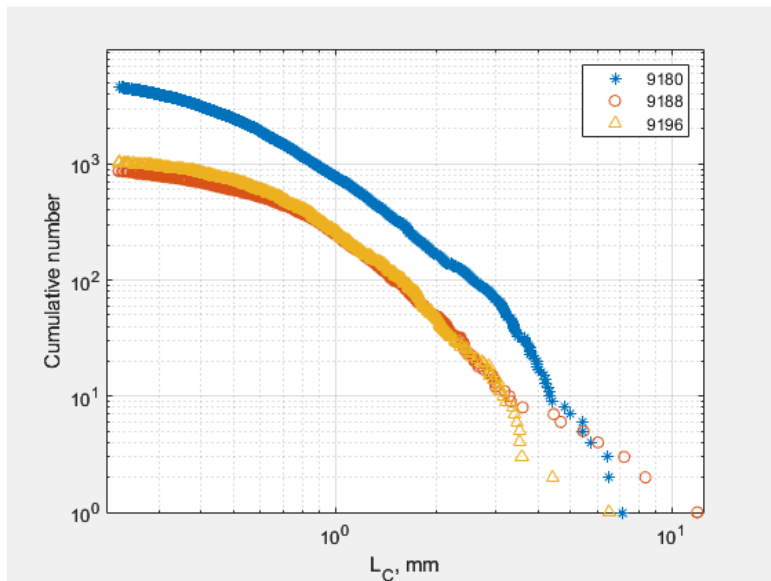
➤ *Grafici logaritmici di distribuzione dimensionale per ogni test:*

- ❖ Lunghezza caratteristica in funzione del numero cumulativo di frammenti
- ❖ Il numero di frammenti cresce con la velocità e con il diametro del proiettile
- ❖ All'aumentare dello spessore del bumper, aumenta esponenzialmente il numero di frammenti generati (a parità di diametro del proiettile)
- ❖ Frammentazione inclinata più efficiente comporta danni di entità inferiore

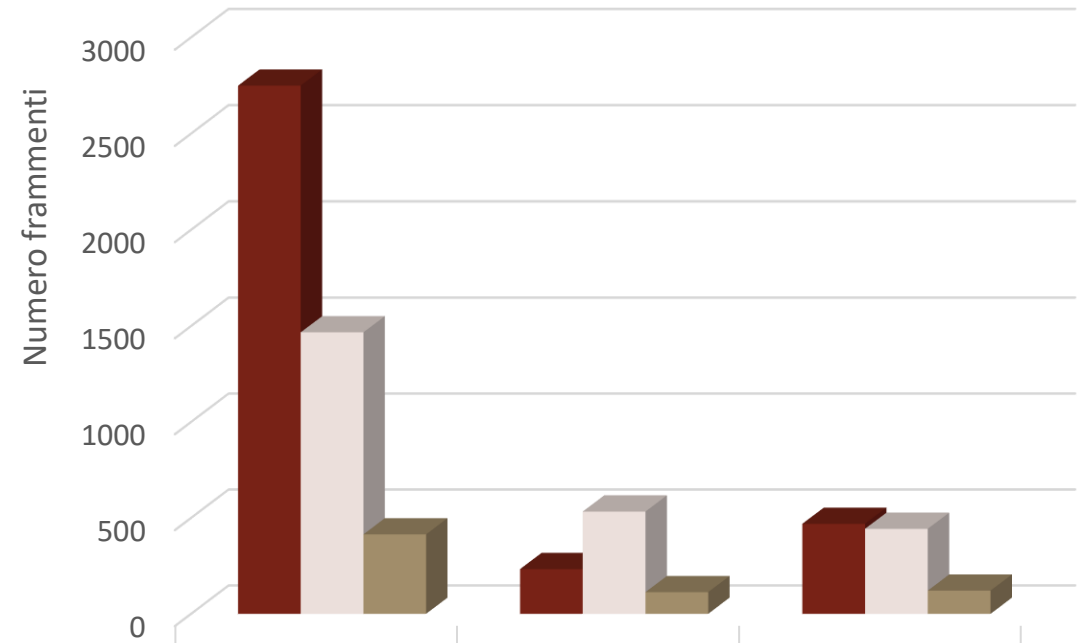


➤ *Confronto delle diverse curve di distribuzione:*

- ❖ Test 9188: presenza di frammenti di dimensioni molto maggiori a 3 mm
- ❖ Piccoli frammenti (< 1 mm) prevalenti rispetto a quelli più grandi (circa 85-90%) per ogni test



Istogramma per la distribuzione dimensionale dei frammenti



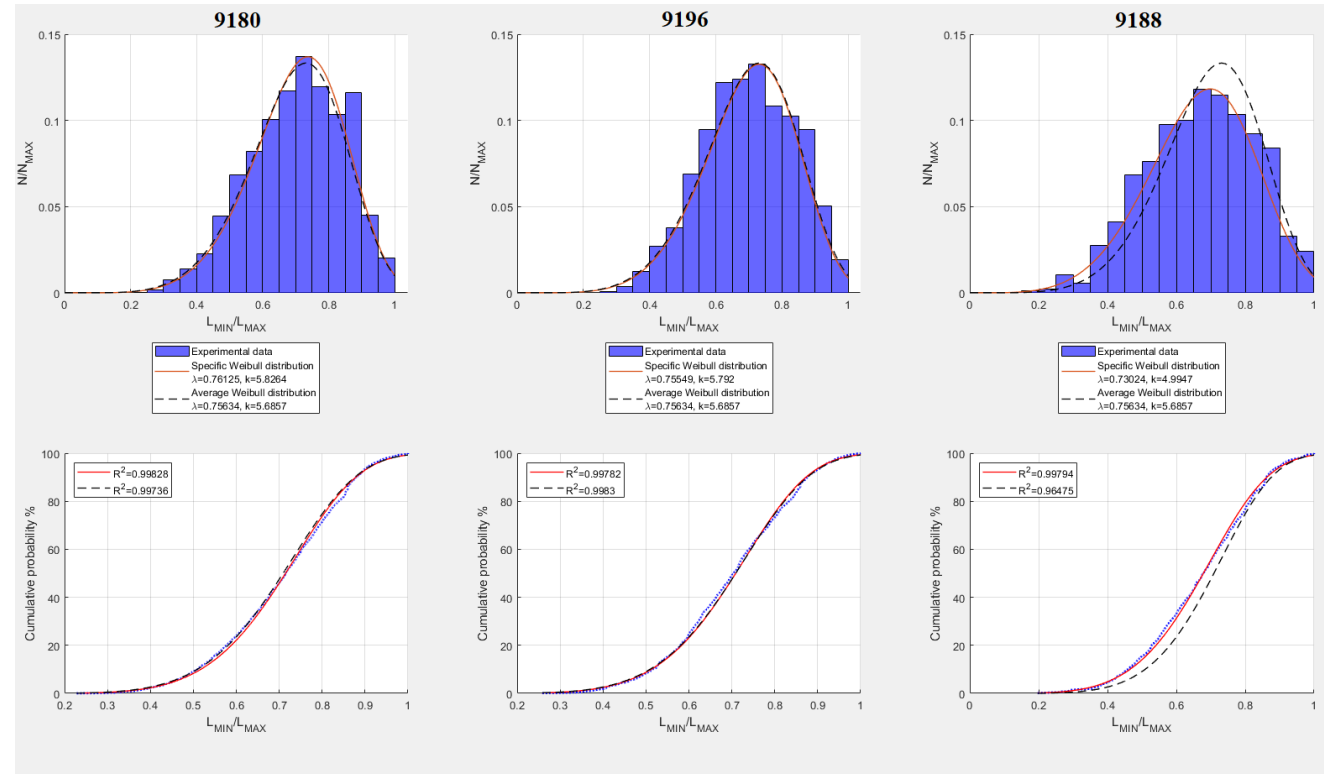
	Test 9180	Test 9188	Test 9196
■ Detriti < 0.5 mm	2749	233	469
■ Detriti tra 0.5 e 1 mm	1467	533	443
■ Detriti > 1 mm	414	113	121

Frammenti per ogni classe dimensionale di ciascun test

➤ *Metodo per l'analisi della forma dei frammenti:*

- ❖ In alto: distribuzione specifica e media Weibull, con rapporto tra semiassi in funzione del numero di frammenti corrispondente rispetto al totale
- ❖ In basso: distribuzione di probabilità cumulativa del rapporto tra semiassi
- ❖ Rapporti di forma tra 0.6 e 0.9 rappresentano forme ellittiche o rettangolari, con picco a circa 0.7

Istogrammi sperimentali, distribuzione specifica e media Weibull



Distribuzione di probabilità cumulativa

- *Ambiente spaziale soggetto al rischio di impatti iperveloci, che possono provocare:*
 - ❖ Aumento del numero di frammenti
 - ❖ Peggioramento dell'ambiente detritico

- *Test di perforazione svolti per ottenere:*
 - ❖ Comportamento diverso del materiale in relazione a vari parametri
 - ❖ Forme principalmente ellittiche o rettangolari
 - ❖ Modelli di distribuzione dimensionale e di probabilità cumulativa

- *In futuro:*
 - ❖ Possibilità di utilizzo e confronto dei dati ottenuti con quelli di altri materiali
 - ❖ Scegliere il più adatto evidenziando vantaggi e svantaggi

***Vi ringrazio per
l'attenzione!***