



Macchine e Dispositivi per la Produzione

La produzione aerospaziale: Mechanical Ground Support Equipment

Ing. Pietro Ladisa

*Presidente Commissione meccanica industriale
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma*

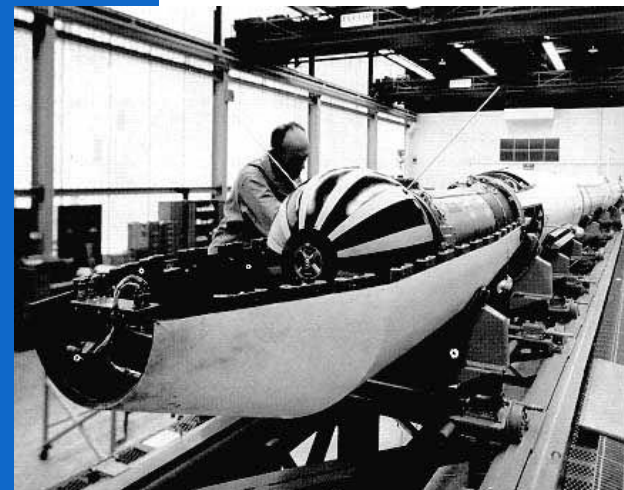
Roma, 17 giugno 2025



C'era una volta... i pionieri dell'aviazione e dello spazio, essi erano coinvolti nello sviluppo e poi nella produzione di veicoli di volo mai visti prima. Uomini visionari, scienziati e abili ingegneri che hanno dedicato tutta la loro vita alla produzione di veicoli per la conquista dei cieli.

Questa è la storia di **Howard Hughes**, dei **fratelli Wright**, **Umberto Nobile** e **Giovanni B. Caproni** per il volo aereo, e successivamente di **Sergei P. Korolev** e **Werner Von Braun** per la conquista dello spazio.

Questo è anche il destino dei tre uomini dell'Apollo 1, di Amelia Earhart e tanti altri uomini e donne che hanno pagato con la vita il prezzo di questo progresso.



MONTAGGIO



Ing. Pietro Ladisa

Ing. Pietro Ladisa



+advanced
ingegnere
esperto
in meccanica



RMB-4883-IT21



- Esperto di **attrezzature e macchine di supporto alla produzione e test di sistemi settore aerospaziale.**
- **37 anni di esperienza**, nella ricerca, sviluppo e, in gran parte, nella produzione di satelliti.

Principali progetti realizzati:

- 1989 – 1995: Test di sviluppo sistemi controllo termico per **moduli Stazione spaziale Internazionale**
- 1996-1997: Isole di assemblaggio e prove per costellazione **Globalstar 1a gen.**
- 2004-2006: Isole di assemblaggio e prove per costellazione di navigazione **ESA Galileo 1a gen.**
- 2009: Sistema di assemblaggio e posizionamento **Payload Amos-4.**
- Dal 2008 ad oggi: Attrezzature per assemblaggio, trasporto e prove satelliti costellazioni di telerilevamento **ESA Copernicus** (programmi Sentinel 1 e 3, CIMR, ROSE_L)

Pubblicazioni e Studi:

- Antonacci M., Ladisa P., Parodi P., Bruno G.: **"MPLM ECLS S/S Cabin air ventilation and fire suppression test"**, SAE Int.l doi: 10.4271/951529
- Ladisa, P. and Santonico, G.: **"Non Linear Finite Element Verification Approach for Marman Fitting in Space AIT Operations"**, SAE Int. Journal of Aerospace 7(2):2014, doi:10.4271/2014-01-2268.
- **Studi prestazionali di tavola vibrante triassiale** per sistemi satellite, analisi accoppiate e "Virtual Shaker Testing", improvement e problem solving.

Ing. Pietro Ladisa



Boeing's 737 assembly plant in Renton
(Mike Siegel / The Seattle Times)

La produzione aerospaziale è caratterizzata da

- prodotti altamente personalizzati
- massimo livello di tecnologie e capacità del personale
- Bassi, talvolta bassissimi numeri di lotti di produzione



I satelliti del programma europeo Copernicus



Sentinel 1

Lancio primo satellite: 2014
Missione osservativa: Monitoraggio dei ghiacci artici, del livello dei laghi e fiumi e dell'ambiente terrestre
Tecnologia: Radar ad apertura sintetica (SAR)
Satelliti in orbita: 1A - 1B



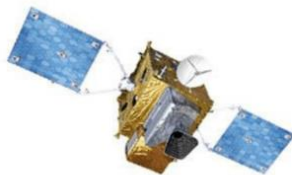
Sentinel 2

Lancio primo satellite: 2015
Missione osservativa: Forniscono immagini relative a vegetazione, copertura idrica e del suolo, vie navigabili interne e aree costiere
Tecnologia: Fotocamere ottiche
Satelliti in orbita: 2A - 2B



Sentinel 3

Lancio primo satellite: 2016
Missione osservativa: Monitoraggio dei livelli e della temperatura dei mari e dei livelli dei ghiacciai.
Tecnologia: dati ottici, radar e altimetrici
Satelliti in orbita: 1A - 1B



Sentinel 4

Lancio primo satellite: Lancio a bordo del MTG-s1 previsto per il 2024
Missione osservativa: Monitoraggio della composizione atmosferica
Tecnologia: passive imaging spectrometer
Satelliti in orbita: nessuno



Sentinel 5

Lancio primo satellite: Lancio a bordo del Metop-SG previsto per il 2025
Missione osservativa: Monitoraggio della composizione atmosferica
Tecnologia: passive imaging spectrometer
Satelliti in orbita: nessuno



Sentinel 5P

Lancio primo satellite: 2017 (missione provvisoria in attesa del Sentinel 5)
Missione osservativa: rilevazione dei dati sulla qualità dell'aria
Tecnologia: pTROPOMI (TROPOspheric Monitoring Instrument)
Satelliti in orbita: 5P



Sentinel 6

Lancio primo satellite: 2020
Missione osservativa: rilevazione di dati altimetrici per la misurazione globale dell'altezza della superficie del mare, per l'oceanografia operativa e per studi sul clima.
Tecnologia: radiometria
Satelliti in orbita: 6A ; 6B previsto



Un prodotto aerospaziale è un sistema, un sottosistema, un assieme o un componente di un intero prodotto aerospaziale completo.

In quanto sistema autonomo completo, può essere definito come un programma aerospaziale costituito da:

- il veicolo di volo,
- le sue strutture di decollo, controllo di volo e atterraggio,
- il sistema del veicolo come l'assemblaggio dei suoi sottosistemi, componenti e dispositivi.

A partire dalla Prima Guerra Mondiale, il mondo aerospaziale ha vissuto una crescita quasi costante nel tempo. Durante la Grande Guerra, l'aereo è passato da una tipologia di costruzione artigianale a una vera produzione industriale.



L'ingegneria della produzione

Il concetto di linea di assemblaggio, integrazione e test (AIT) è definito come l'insieme completo delle aree fisiche (isole), delle relative apparecchiature e delle strutture in cui vengono eseguite le relative operazioni di produzione. La linea AIT di un prodotto di riferimento (come il sistema, il sottosistema o il componente) riceve i componenti e i materiali del prodotto: potrebbero essere strutture, scatole elettroniche, pezzi di connessione, viti e parti di raccordo, componenti, cablaggio, ecc.

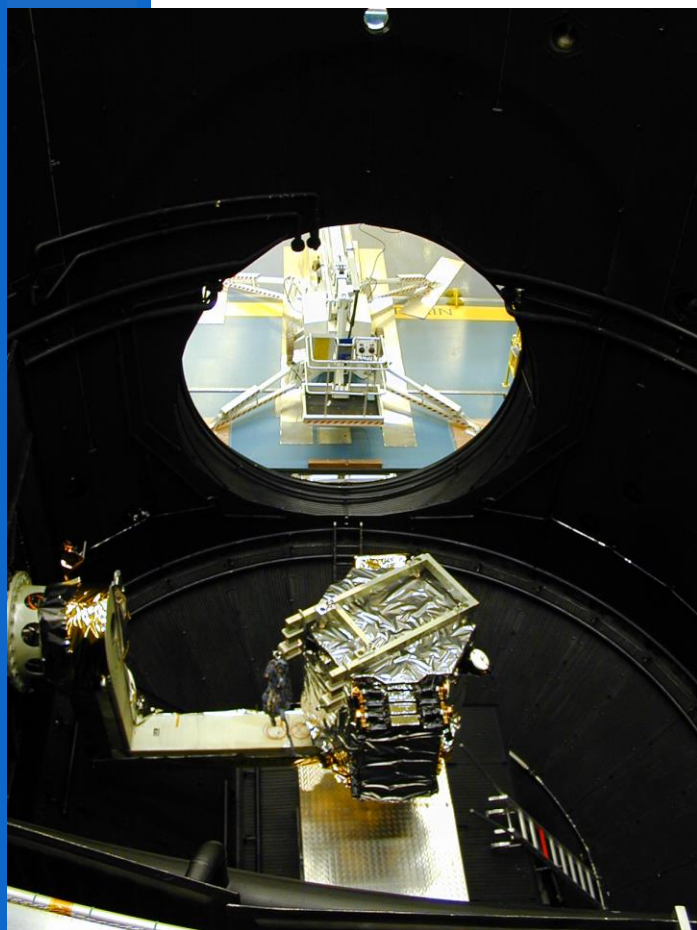


Le prove funzionali e di esposizione agli ambienti estremi

Ad una certa fase di assemblaggio del prodotto, in particolare quando è in grado di essere “acceso”, è pronto per la verifica delle sue prestazioni e resistenza all'esposizione ambientale.

Esistono due tipi di test di verifica:

1. Test di sviluppo: verifica il processo di progettazione
2. Collaudo di accettazione: verifica della fabbricazione del prodotto stesso



Modulo Payload per il rilevamento di umidità del suolo e salinità oceanica (SMOS)
- Modello strutturale/termico (STM) sul suo supporto nel Large Space Simulator (LSS) ESA – ESTEC





Qualità ed affidabilità del processo produttivo aerospaziale

Sviluppata dall'International Aerospace Quality Group (IAQG), la **AS/EN9100** garantisce lo standard di gestione della qualità riconosciuta a livello mondiale per il settore aerospaziale (aviazione, spazio e difesa).

All'interno di queste industrie, la sicurezza è essenziale per l'intera catena di fornitura. Anche il più piccolo difetto del prodotto o del servizio potrebbe avere esiti fatali.

La serie consiste in tre standard: **AS/EN9100, AS/EN9110 e AS/EN9120**. Tutti e tre gli standard sono basati sulla norma **ISO 9001** sui sistemi di gestione della qualità, ma aggiungono requisiti per affrontare sfide specifiche dell'industria.



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E



<https://www.nasa.gov>

Le attrezzature di supporto a terra (GSE) sono fondamentali per la costruzione dei veicoli spaziali.

Le attrezzature possono essere piuttosto grandi, inclusi dispositivi di rotazione, gru, componenti utilizzati in sollevamenti e spostamenti specializzati, casse di spedizione, trabattelli e scale di grandi dimensioni.

Questo tipo di GSE è complesso ed estremamente ingombrante. Le GSE includono anche cavi elettrici, utensili, tubi del vuoto, computer, telefoni, tavoli, panche, sedie e qualsiasi altra attrezzatura non di volo utilizzata per supportare le attività di assemblaggio e test.

(Fonte: NASA)



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E



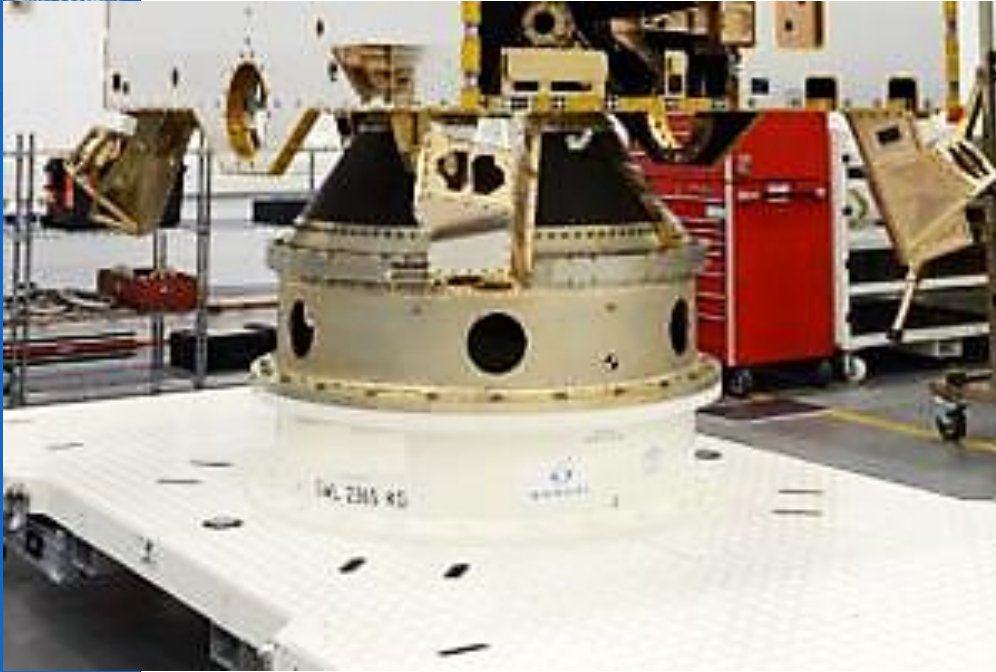
- **Prendere il Satellite**
- **Maneggiarlo**
- **Sollevarlo**
- **Montarlo ed allestirlo**

- **Provarlo**
- **Trasportarlo**
- **Caricarlo di propellente**
- **Montarlo sul Razzo**

https://www.vut.cz/en/but/_/construction-of-the-rose-l-satellite-structural-model-at-fme-but-has-progressed-d289727#ch2-settings



Ing. Pietro Ladisa



Dispositivi d'interfaccia

Adattatori flangiati

Fasce di clampaggio

Zoccoli di ancoraggio e sollevamento

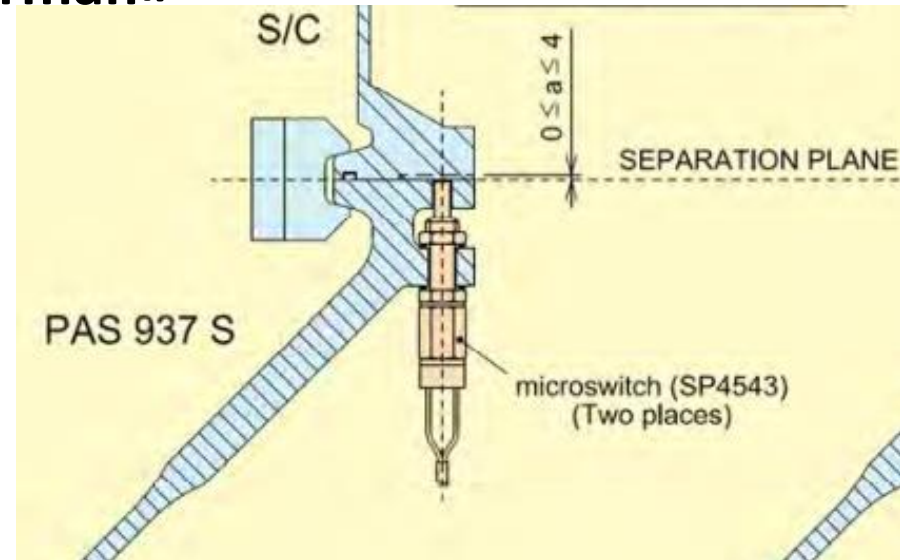
Parti meccaniche ad alta precisione e finitura, per assicurare un'interfaccia di **maneggio, sollevamento e trasporto** durante tutta la fase di assemblaggio e test, fino al caricamento sul lanciatore.

Ricadono nell'applicazione del **Regolamento Macchine**, e rispondono alla Norma Armonizzata **UNI EN 13155** «Apparecchi di sollevamento - Sicurezza - Attrezzature amovibili di presa del carico»

Requisito «dissimilar metals»

*Da garantire: la compatibilità elettrochimica dei materiali a contatto col Prodotto.
Si tratta principalmente di una garanzia di protezione alla corrosione da contatto.*

L'interfaccia di clampaggio «Marman»



Il clampaggio Marman fu inventato da uno dei fratelli Marx.

Herbert, detto "Zeppo", lasciò il gruppo comico per dedicarsi all'imprenditoria. Brevettò il sistema Marman che mise in produzione, fondando la Marman Products nel 1941, e vendendo i suoi prodotti soprattutto all'aviazione americana.

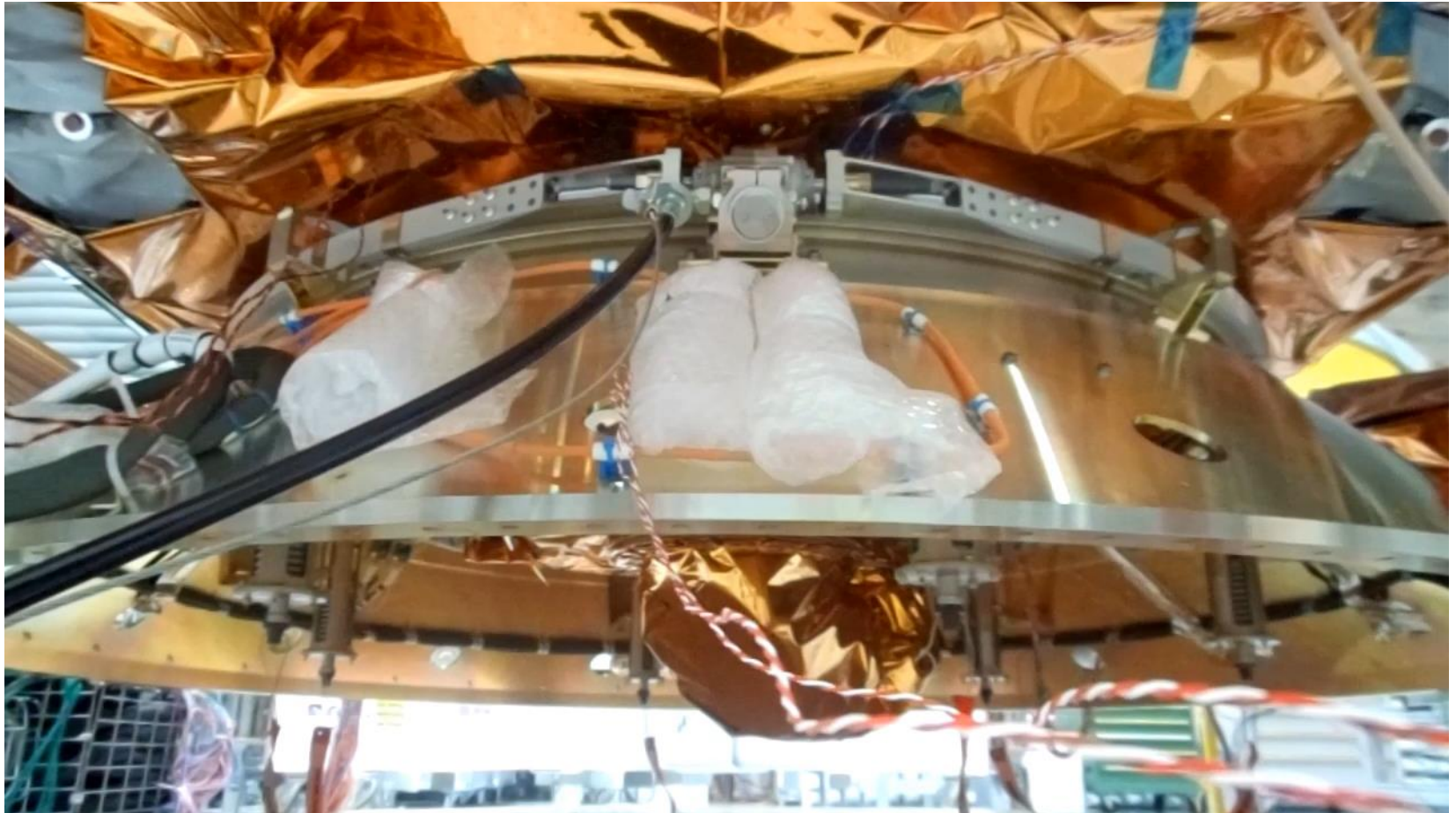
L'aviazione fece largo uso di questo **sistema di collegamento rapido** soprattutto per la sua affidabilità ed efficacia nel comando di separazione, dapprima per il collegamento dei tubi del carburante fino anche al suo triste impiego per lo sgancio della bomba nucleare a bordo dell'Enola Gay.

il sistema Marman fu quindi impiegato per **il collegamento e lo sgancio rapido degli stadi dei razzi** in piena corsa per la conquista dello spazio.



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Test di shock da separazione





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.



Dispositivi d'interfaccia:

Adattatore d'interfaccia satellite SCA

<https://piap.space/>

Realizzato in lega d'alluminio, rappresenta la «scarpa» del prodotto satellitare, finché rimane a terra.

E' di fatto un simulacro dell'interfaccia del lanciatore.

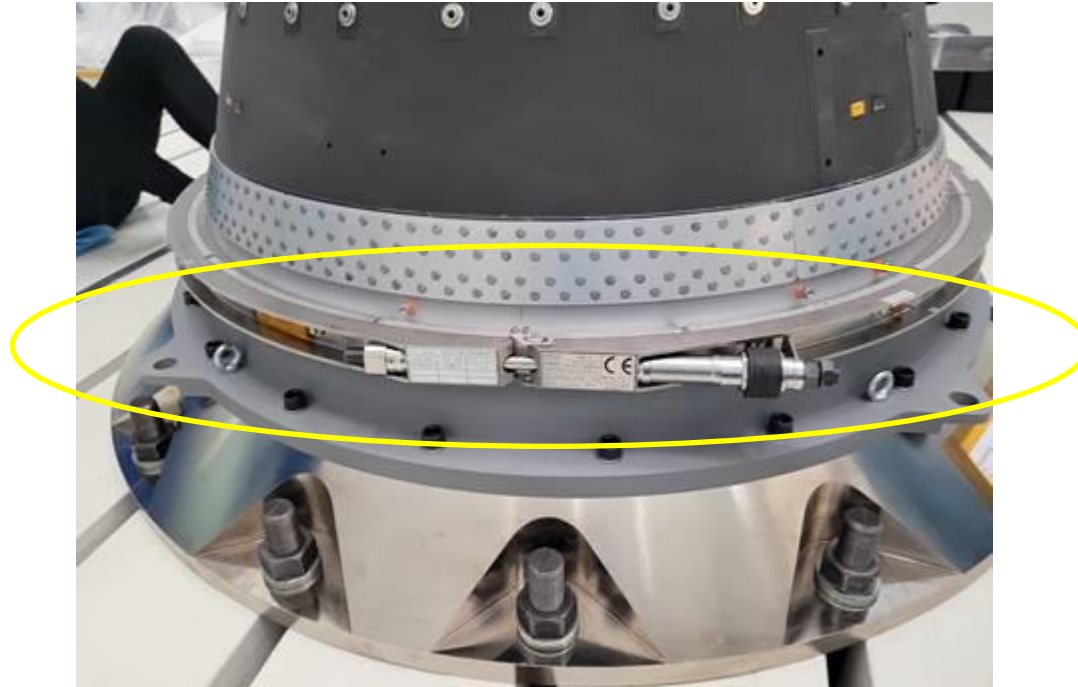
Supporta i carichi di maneggio, sollevamento, trasporto ed anche gran parte dei test (es. **in termo-vuoto da -100°C a +80°C**), ad esclusione delle prove di vibrazione.

E' progettato per reggere il carico completamente a sbalzo fino anche ad oltre 3g di shock in flessione, per il quale viene collaudato.



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Dispositivi d'interfaccia: *La fascia di clampaggio Marman MCB*

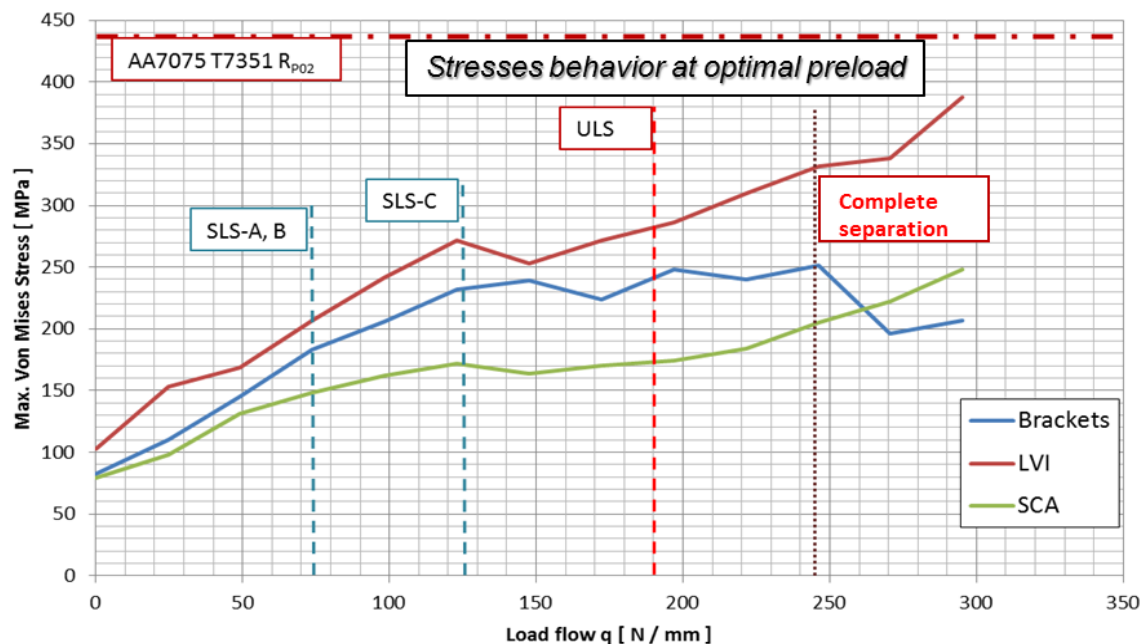


Replica «ground» della fascia di clampaggio che assicura il satellite al lanciatore. Deve reggere tutti i carichi previsti a terra, già visti per lo SCA, ed anche di prove meccaniche statiche e dinamiche.

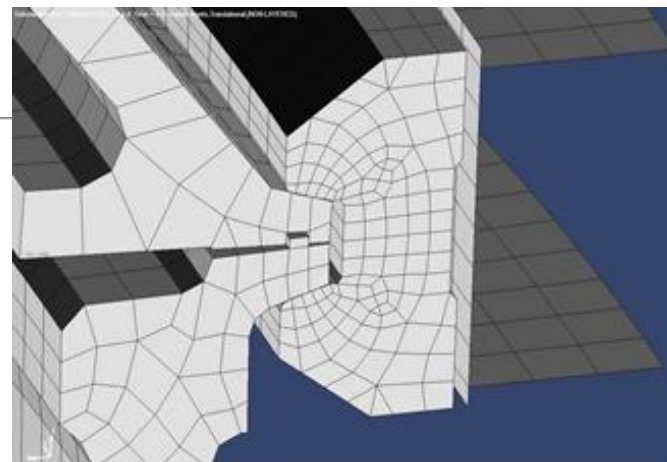
Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Progettazione e verifiche del Clampaggio Marman

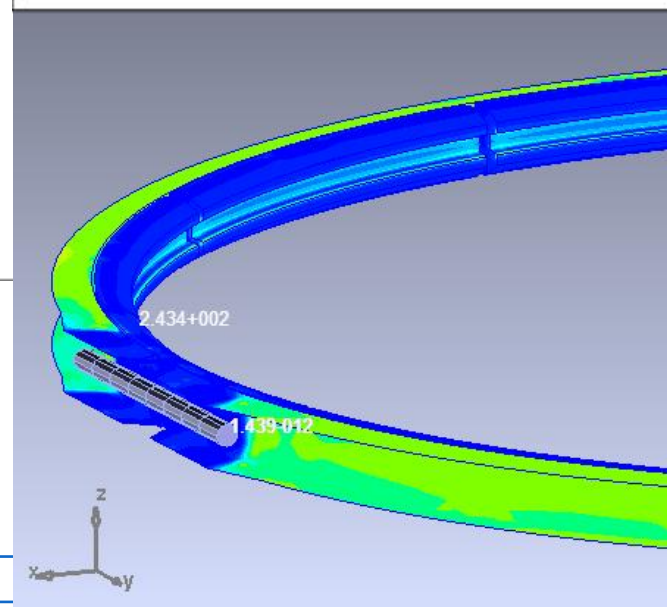
Verifiche agli stati limite del Clampaggio Marman



SLS: Stati limite di servizio: carichi operativi massimi previsti
SLU: Stato limite ultimo
LVI: Interfaccia carico utile
SCA: Adattatore, Base di supporto



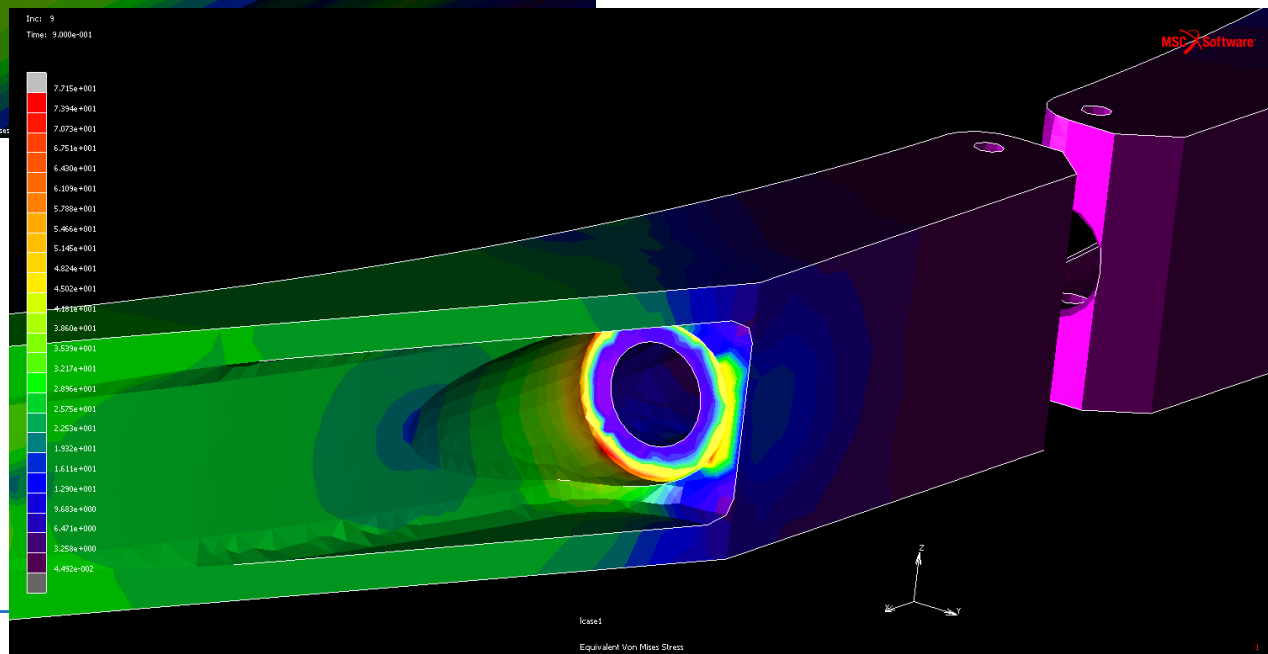
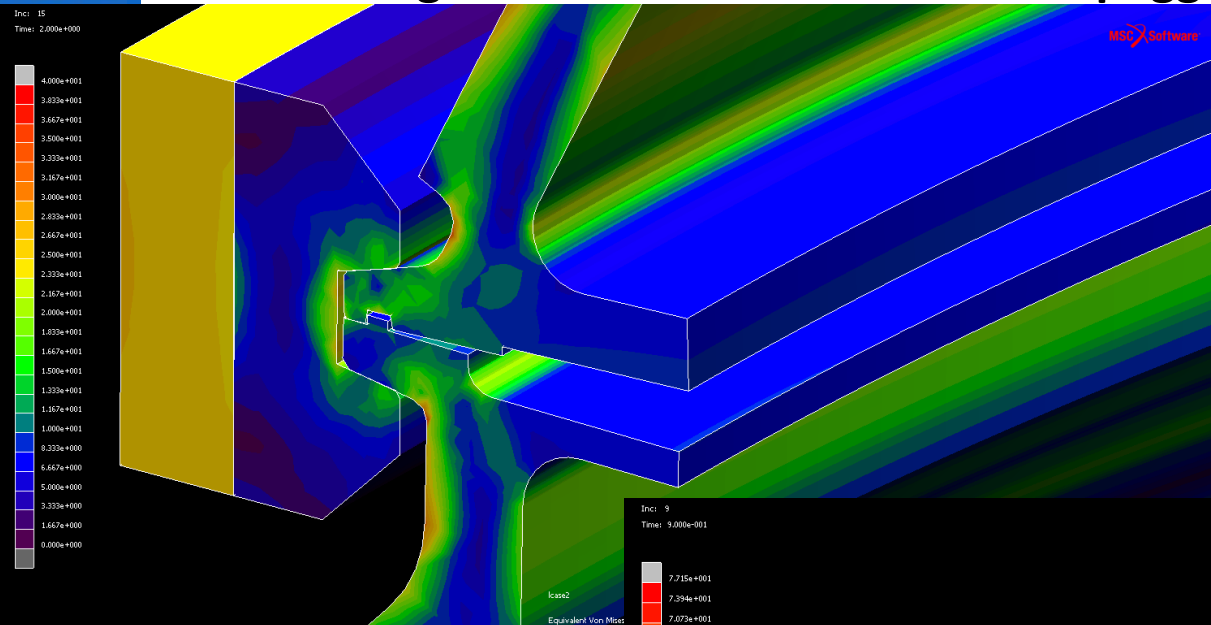
Ring rolling e inizio separazione totale flange a carico di Stato Limite Ultimo





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Progettazione e verifiche del Clampaggio Marman



Ing. Pietro Ladisa

Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Macchine e attrezzature di Maneggio

- Posizionatori
- Bilancini di sollevamento
- Carrelli di supporto





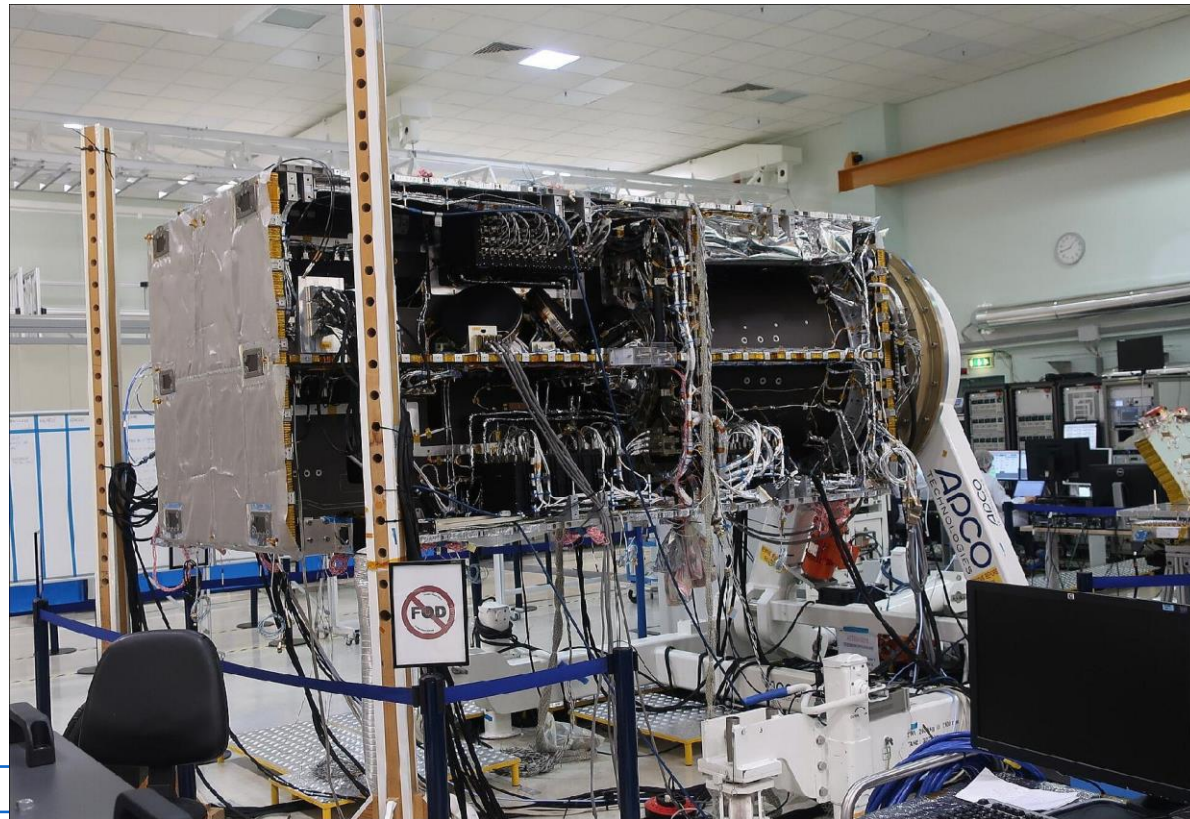
Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Requisiti principali

- *Stabilità strutturale e di maneggio*
- *Sicurezza per persone e prodotto*
- *Precisione e bilanciamento*
- *Livello di pulizia ISO 8*

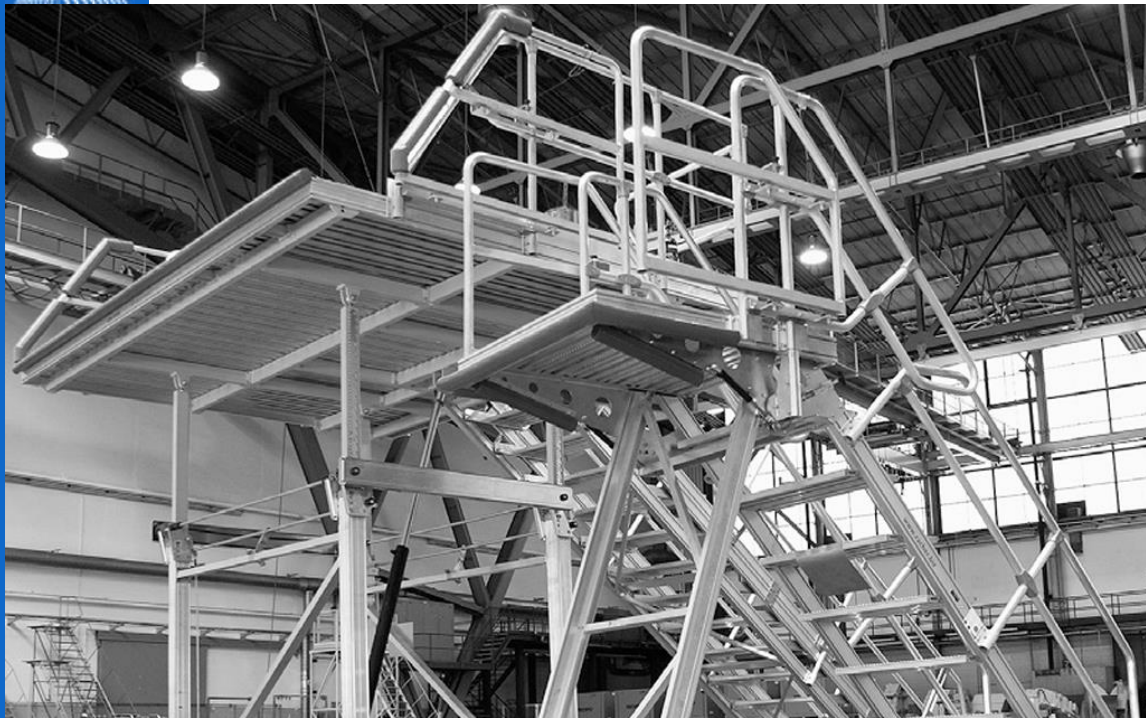
Certificazioni e normativa:

- *Marcatura CE per bilancini e dispositivi motorizzati (regolamento macchine, bassa tensione, ecc.)*
- *Classificazione ATEX per aree di caricamento propellente*



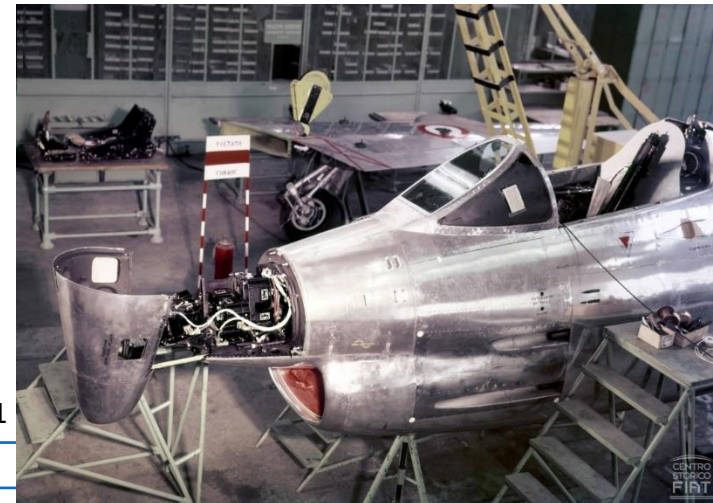
Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Pedane e Piattaforme di accesso



UNI EN ISO 14122 Scale e piattaforme fisse
UNI EN 131-1/2/3 Scale portatili

1958 – Fiat Aeritalia: Area montaggio G91





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

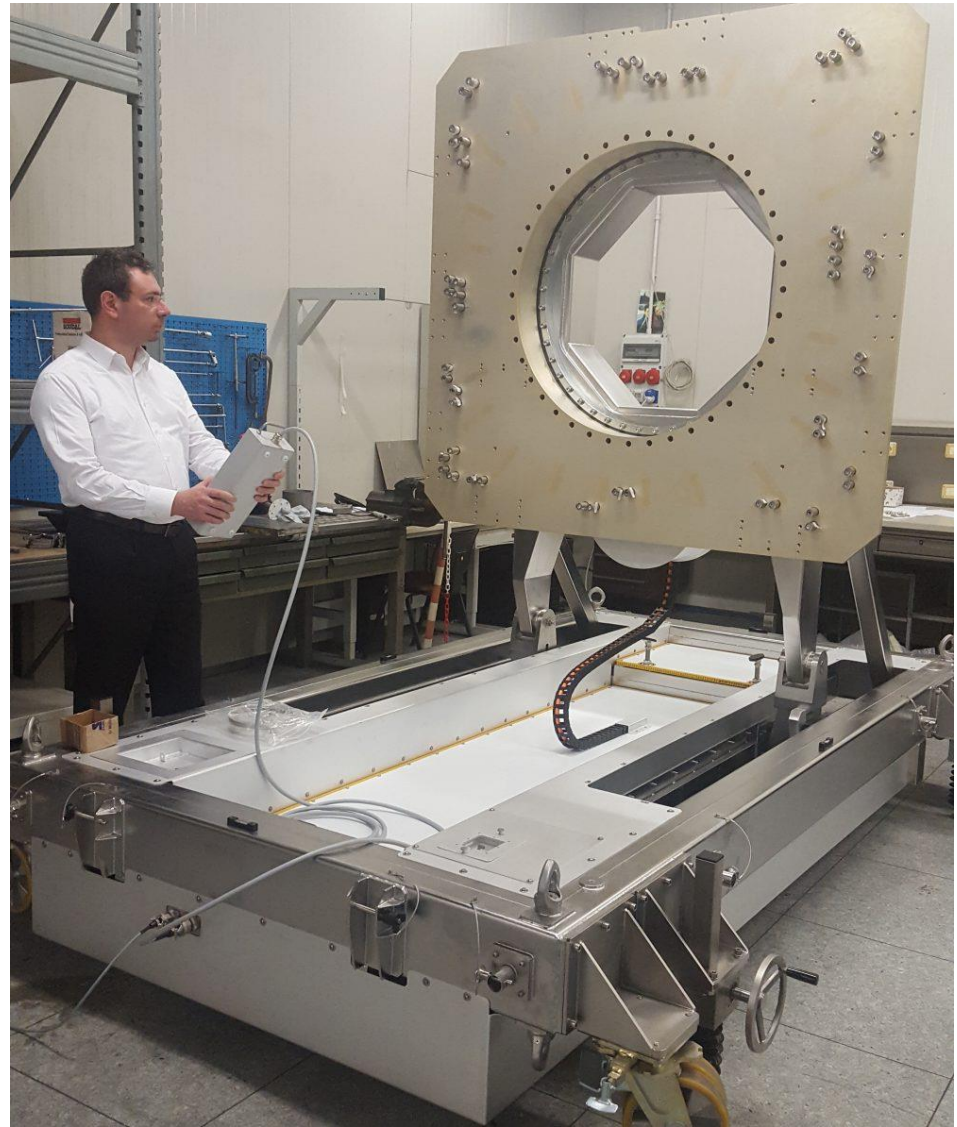
Piattaforma elevatrice «Tucano»





Carrello Multiscopo

Macchina di posizionamento a due o tre gradi di libertà



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Bilancini



Bilanciamento a comando manuale o elettrico, a cavo o wireless.

Marcatura CE,
UNI EN 13155

Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Attrezzature per area di caricamento:

ATEX II 3G – IIB T4 IP grade 64

Classificazione ed etichettatura delle aree a rischio di esplosione

Materie infiammabili	Ambienti a rischio d'esplosione Presenza di atmosfere potenzialmente esplosive	Aree a rischio di esplosione Suddivisione	Classificazione degli apparecchi		Livello di protezione dell'apparecchiatura (EPL)
			Gruppo	Categoria	
Gas, vapori, nebbie	Continuamente, per lunghi periodi o frequentemente	Zone 0	II		
	Occasionalmente	Zone 1	II	1G	Ga
	Raramente o per brevissimi periodi	Zone 2	II	2G	Gb
				3G	Gc

Suddivisione e differenziazione di gas, nebbie, vapori

Gruppo d'esplosione	Esempi relativi a - gruppo d'esplosione - classe di temperatura					
IIA	IIB	Ammoniaca Metano Etano Propano	Etano Cicloesano n-Butano	Benzina Diesel n-Esano	Acetaldeide	
		Smog Nitrile acrilico	Etilene Ossido di etilene	Glicol etilenico Acido solfidrico	Etere etilico	
	IIC	Idrogeno	Acetilene			Bisolfuro di carbonio

T1 < 450 °C	Attenzione: questo elenco è soltanto un piccolo estratto a titolo esemplificativo delle sostanze deflagranti!				
T2 < 300 °C					
T3 < 200 °C					
T4 < 135 °C					
T5 < 100 °C					
T6 < 85 °C					

Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Ingress Protection (IP) ratings guide

Solids

Water

1	Protected against a solid object greater than 50mm such as a hand.		1	Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.	
2	Protected against a solid object greater than 12.5mm such as a finger.		2	Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted up to 15 degrees from the vertical. Limited ingress permitted.	
3	Protected against a solid object greater than 2.5mm such as a screwdriver.		3	Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.	
4	Protected against a solid object greater than 1mm such as a wire.		4	Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Limited ingress permitted for three minutes.	
5	Dust Protected. Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. Two to eight hours.		5	Protected against jets of water. Limited ingress permitted.	
6	Dust tight. No ingress of dust. Two to eight hours.		6	Water from heavy seas or water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities.	
			7	Protection against the effects of immersion in water between 15cm and 1m for 30 minutes.	
			8	Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods.	
			9	Protection against the effects of high pressure and temperature water jet.	

SMART-1 preparations for hydrazine fuelling - ESA

Ing. Pietro Ladisa



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Dispositivi di Montaggio

Supporto e Montaggio pannelli

Montaggio antenne

Montaggio ali solari





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

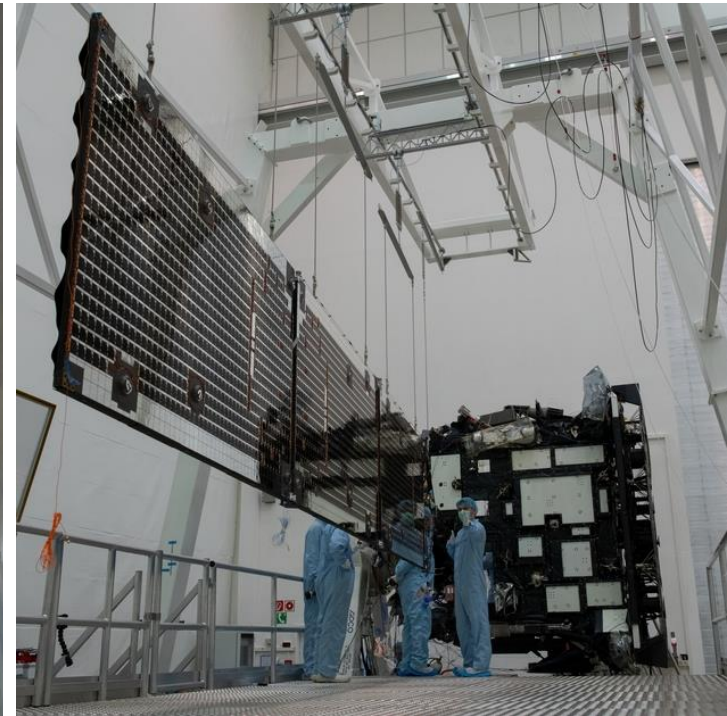
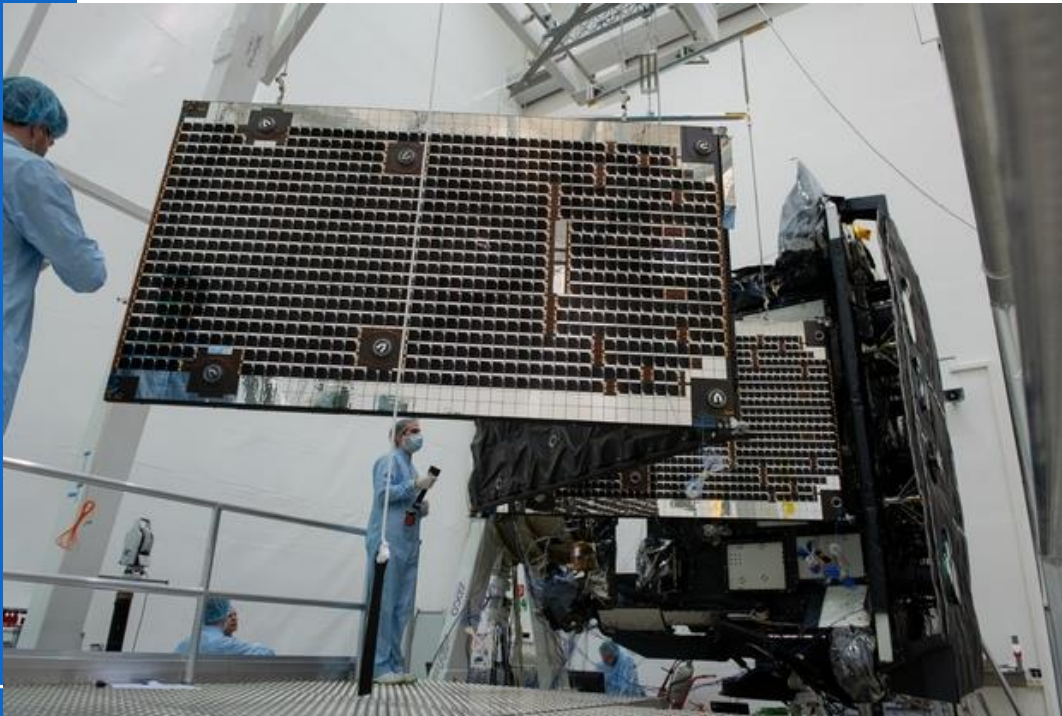
Dispositivi di Montaggio

Requisiti

Limiti e controllo sui carichi indotti

Bilanciamenti «0g»

Precisione di movimenti cinematici





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Solar Array Deployment Rig



<http://www.nasa.gov>



Ing. Pietro Ladisa

La produzione aerospaziale: Mechanical Ground Support Equipment

17 giugno 2025

pag. 29

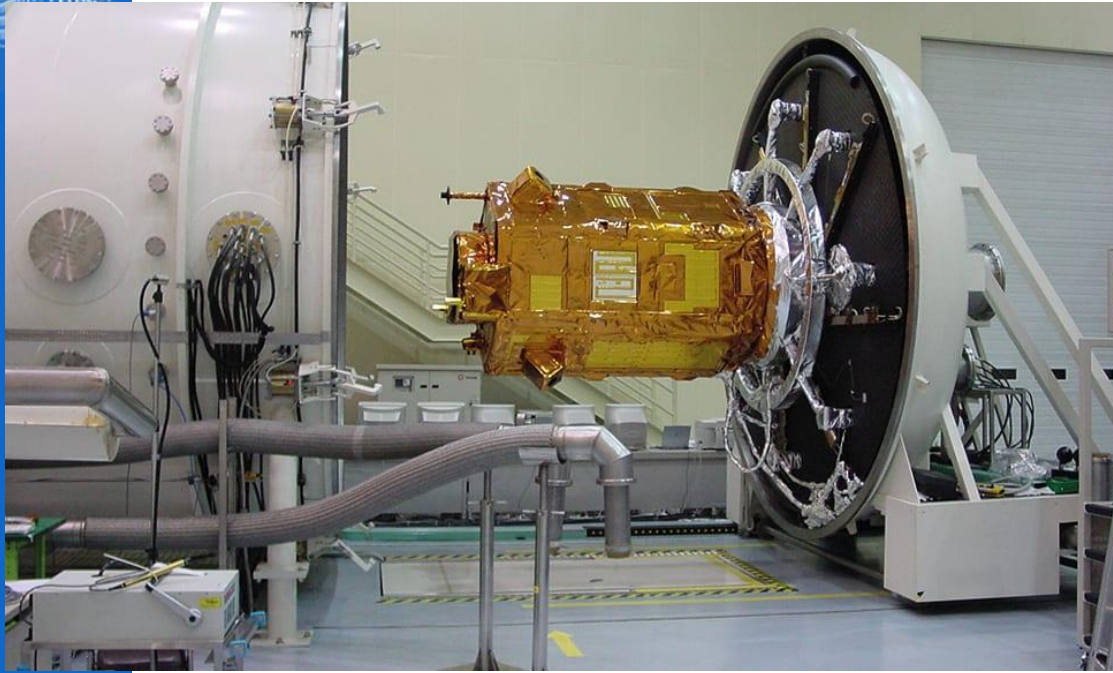
Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Adattatori e telai per prove

Adattatori per vibrazioni

Telai per prove in termo-vuoto

Carrelli per camere anecoiche



Dispositivi sottoposti alle stesse sollecitazioni (meccaniche, termiche, ecc.) a cui viene sottoposto il prodotto per essere qualificato.

Il carico indotto, quindi, è di qualifica per il prodotto ma nominale per il dispositivo MGSE.

Il disturbo alle condizioni di test, dovuto alla presenza dell'attrezzatura, dev'essere minimo se non nullo.



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Adattatore per prove di vibrazione

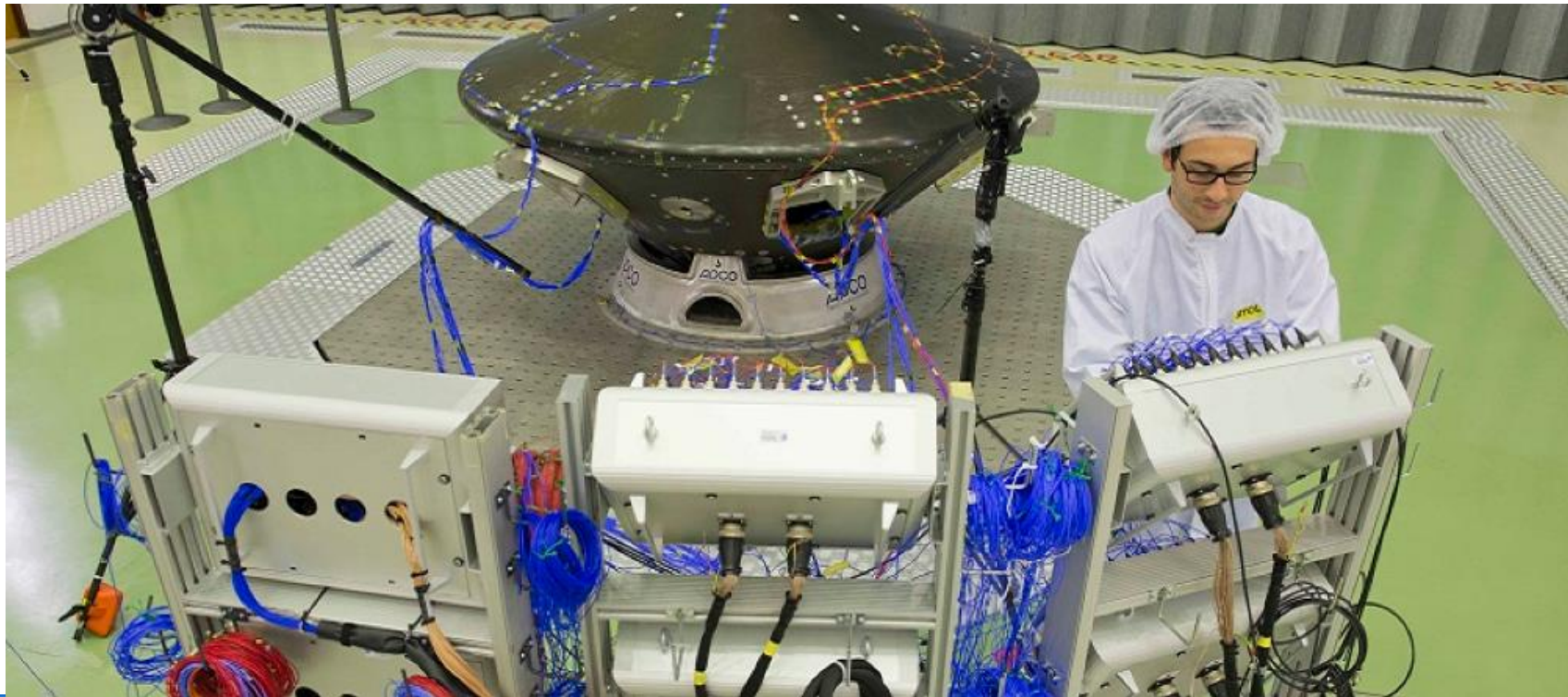
Requisiti

Trasmettere la sollecitazione di test dalla tavola vibrante al prodotto senza indurre amplificazioni o smorzamenti, o comunque in modo controllabile.

Intervalli di frequenza:

Per vibrazioni «sine sweep»: da 5 a 120 Hz

Per vibrazioni «random»: da 10 a 2000 Hz





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E. **Adattatore per prove di vibrazione**





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Supporti per prove in campo elettromagnetico



Requisiti

Trasparenza o non riflessione per le onde elettromagnetiche



Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Contenitori di stoccaggio e trasporto

Requisiti

- Mantenimento delle condizioni ISO 8
- Isolamento Termo-igrometrico
- Isolamento a vibrazioni e shock
- «Free-breathing»: equalizzazione della pressione con l'esterno
- Controllo ambientale e registrazione eventi
- Conformità IATA per trasporto aereo





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Contenitori di stoccaggio e trasporto

Equipaggiamento

- Bocche di equalizzazione con filtri HEPA
- Sistema culla e carrello su sospensioni (meccaniche o pneumatiche) con meccanismo di estrazione
- Bocca di emergenza per sovrappressioni
- Bilancino per operazioni di trasbordo
- Ruote e timoni per movimentazione nello stabilimento
- Telo di copertura
- UTA per mantenimento attivo condizioni termo-igrometriche
- Gruppo elettrogeno (separato) per alimentazione UTA durante trasporto su gomma e stoccaggio temporaneo





Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Contenitori di stoccaggio e trasporto



Prove di qualifica

- Collaudo statico culla a 3.5g (valore tipico)
- Collaudi di sollevamento e movimentazione
- Prova di caduta di bordo da 100mm su cemento
- Prove di tenuta (bubble test)
- Prova di pioggia MIL-STD-810 metodo 506.5
- Prova UTA e sistemi attivi
- Prova su strada



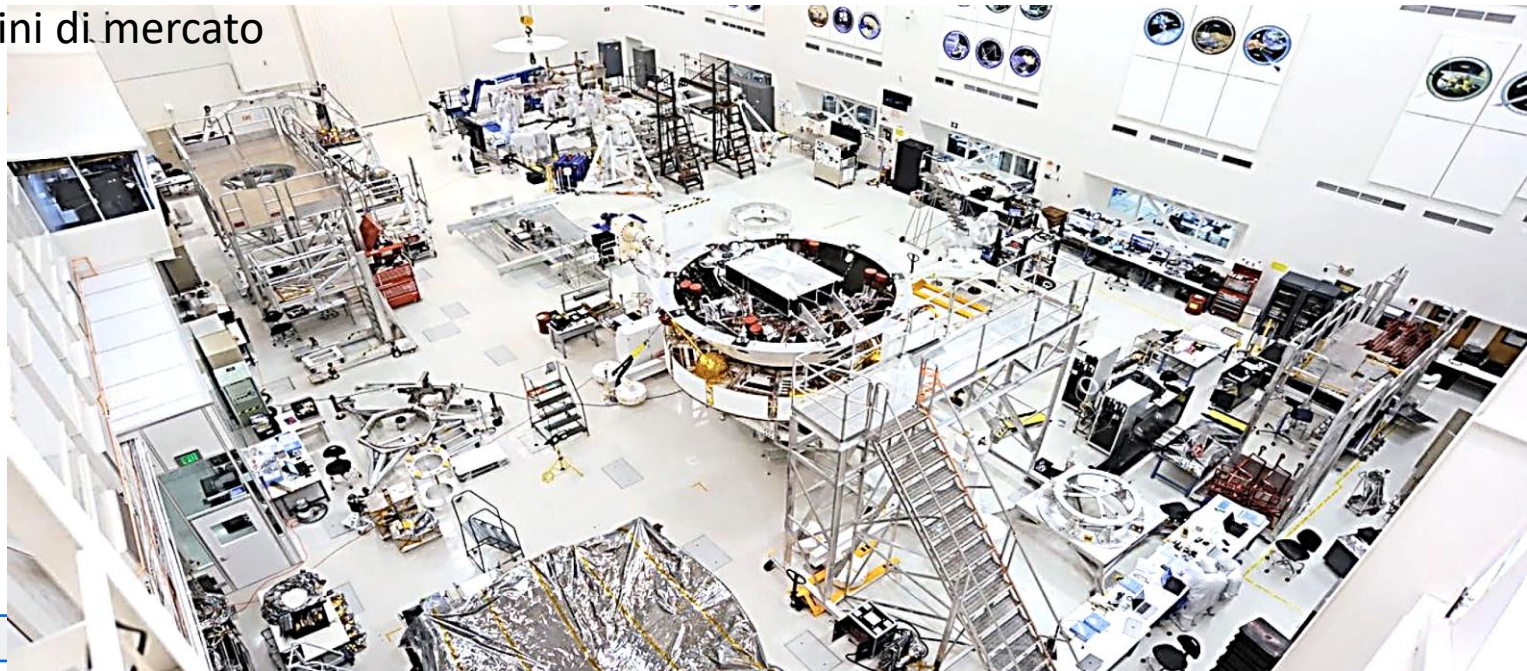
Mechanical Ground Support Equipment – M.G.S.E.

Obiettivi di una buona progettazione degli MGSE

- Essenzialità e semplicità (di progetto e di utilizzo)
- Modularità e standardizzazione
- Sicurezza del prodotto e degli operatori

Metodi:

- Design sicuro, mirato e stabile
- Individuazione delle varie famiglie e delle fasce di carico utile
- Indagini di mercato



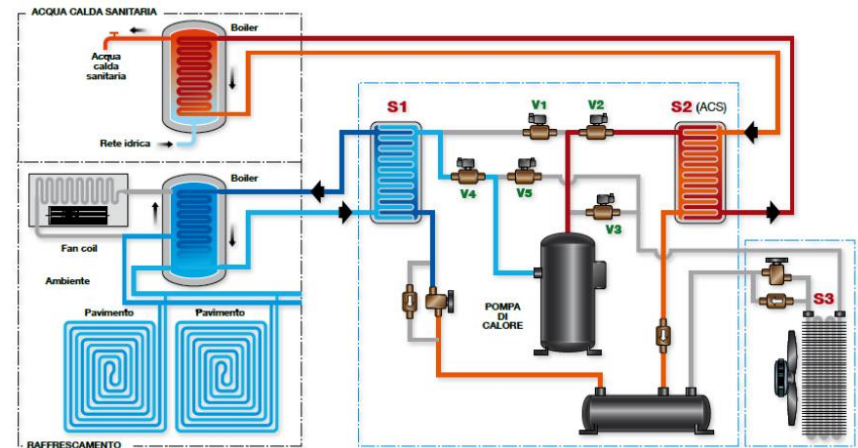


La sicurezza in ambito aerospaziale

Failure Modes Effects Analysis (FMEA)

Al verificarsi di un evento di rischio, il sistema assume una configurazione in modalità di guasto.

Esempio: *una pompa di refrigerazione elettrica si arresta, la portata di raffreddamento si azzerava, le macchine continuano a funzionare per altre due ore e, di conseguenza, la sua temperatura aumenta, le prestazioni delle macchine diminuiscono, con un impatto sul processo produttivo per due ore, ecc.*



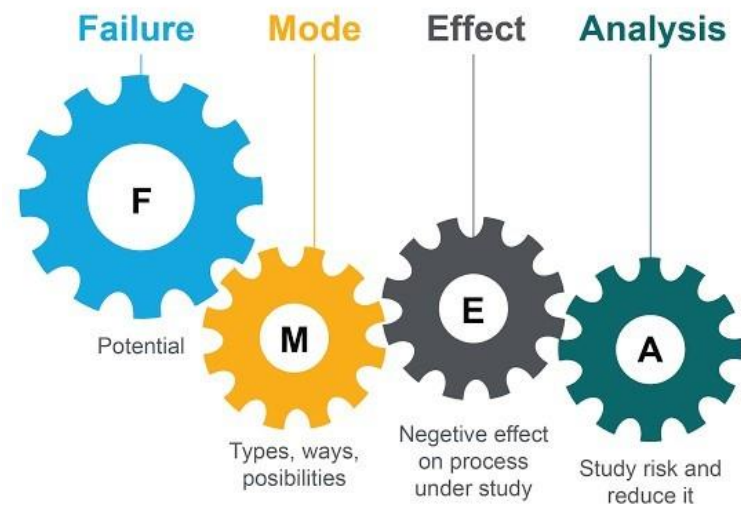


Failure Modes Effects Analysis (FMEA)

L'analisi FMEA deve essere eseguita a livello di stabilimento produttivo e, di conseguenza, per ciascuna area di produzione: assemblaggio, integrazione e collaudo.

È prevista anche un'analisi FMEA dedicata per le fasi di movimentazione e trasporto esterne.

FMEA





La sicurezza in ambito aerospaziale

Failure Modes Effects Analysis (FMEA)

Il primo passo da compiere è separare i processi, o il sistema, in sottosistemi elementari.

Per ogni sottosistema, è necessario identificare ed elencare quanto segue:

- Tutte le possibili modalità di guasto o anomalia
- Tutte le possibili cause per ciascuna modalità di guasto o anomalia
- Tutti i possibili effetti
- Tutti i controlli di prevenzione o rilevamento esistenti per ciascuna modalità di guasto o anomalia



La sicurezza in ambito aerospaziale

Failure Modes Effects Analysis (FMEA)

Sottosistema: pompa di raffreddamento elettrica

Modalità di guasto: interruzione di corrente

Possibili cause:

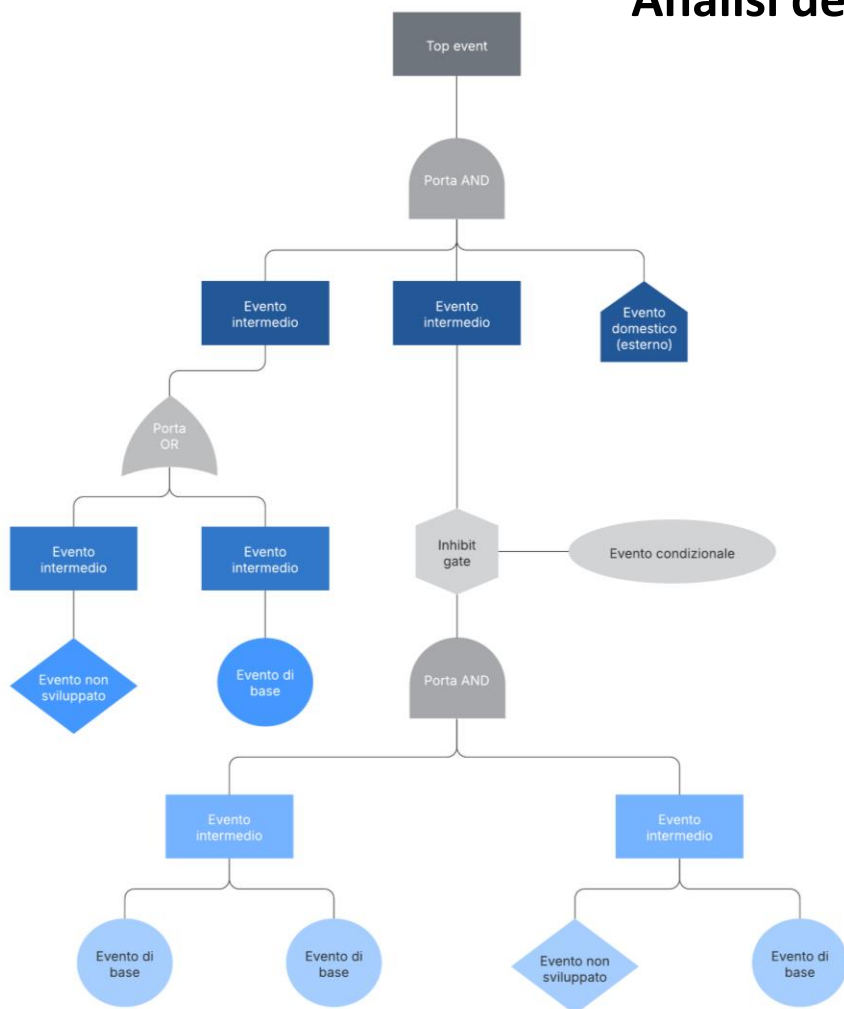
- Interruttore magnetotermico disattivato automaticamente per sovracorrente
- Errore dell'operatore nell'azionare l'interruttore del quadro elettrico
- Perdita di continuità della giunzione elettrica nel circuito della pompa

Possibili effetti:

- Non conformità del controllo qualità per 3 lotti di prodotti
- Ustione di secondo grado alle mani dell'operatore
- Due giorni di interruzione della produzione per interventi di riparazione e manutenzione non programmati sulla macchina

La sicurezza in ambito aerospaziale

Analisi dell'albero dei guasti e FMECA



È possibile disegnare un diagramma dell'albero dei guasti per visualizzare la dipendenza "dall'alto verso il basso" degli effetti di ciascuna modalità di guasto e l'influenza reciproca di tali effetti.

È necessario condurre un'analisi completa degli effetti e della criticità delle modalità di guasto (FMECA) per valutare il rischio correlato a ciascuna modalità di guasto, combinandone la probabilità con il livello di gravità, in modo simile a quanto avviene in una tipica analisi del rischio.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Ing. Pietro Ladisa

pladisa61@gmail.com

<https://www.linkedin.com/in/ing-pietro-ladisa/>