

Prova Fughe di Aria dell' Elemento Space Station Nodo 3

Dario Bertotto, Michele Crivello
THALES ALENIA SPACE ITALIA S.p.A.

SOMMARIO

Il Nodo 3 della stazione spaziale internazionale ISS (International Space Station) e' stato testato con successo, relativamente alla leakage (fuga) complessiva, nello stabilimento Thales Alenia Space di Torino nel mese di febbraio 2007.

La prova e' stata eseguita col metodo di accumulo dell'Elio, utilizzando il Container per il trasporto di Columbus/Nodi come camera di accumulo. Questo metodo ha richiesto la pressurizzazione del Nodo fino a 1 bar differenziale, ma ha permesso un importante risparmio in termini economici perche' non e' stato necessario utilizzare una camera a vuoto.

Questo approccio non e' comune agli altri elementi della Stazione Spaziale, ma il container utilizzato (piu' piccolo di quello usato sul Nodo 1) ha permesso lo svolgimento del test in pochi giorni e con una buona accuratezza.

I risultati della prova sono stati in linea con le predizioni e più di 20 volte inferiori al valore di leakage globale ammesso per il Nodo 3.

La conduzione della prova e' stata sotto la responsabilita' Thales Alenia Space-Italia e le operazioni si sono svolte nella camera pulita n. 2 e nella relativa pre-camera in classe di pulizia 100K (<100,000 particelle per piede cubo).

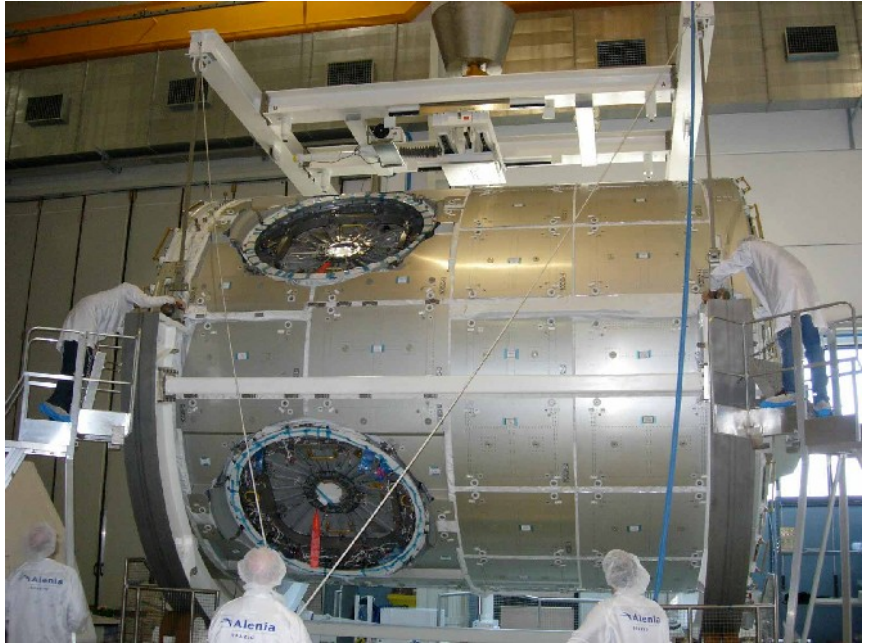
Questo articolo descrive le attivita' preparatorie, le precauzioni prese prima e durante il test e gli sforzi per migliorare i tempi e l'accuratezza.

Vengono inoltre discussi i risultati e gli insegnamenti tratti dalla prova

INTRODUZIONE.

Il problema delle fughe di aria (in composizione equivalente a quella atmosferica) riveste una particolare importanza nei moduli pressurizzati della Stazione Spaziale Internazionale, sia per la limitatezza delle risorse disponibili, sia per la lunga durata in servizio prevista (15 anni).

Il problema è ancora più rilevante per i Nodi (moduli di comunicazione tra vari elementi pressurizzati), provvisti ciascuno di ben 6 porte di accesso (su cui si vanno ad attraccare i vari moduli pressurizzati) sia per la presenza di più di 100 tra passa-paratia, valvole di sovra/sotto-pressione e sfiati. Di questi Nodi la Thales Alenia Space – Italia ha costruito il Nodo 2 ed è responsabile per la costruzione del Nodo 3 (in via di immagazzinamento in attesa della consegna a NASA). Il requisito di massima perdita per i Nodi è abbastanza stringente (53 grammi di aria al giorno, pari a meno di 0,5 sec al secondo). Tuttavia per poter meglio dimensionare le riserve da assicurare a bordo la NASA ha richiesto una determinazione della perdita il più possibile vicina ai valori reali.



FFigura 1 – Il Nodo 3, pronto per la prova

SCELTA DEL METODO DI PROVA.

Il valore di 53 g/giorno è stato in precedenza verificato durante le prove strutturali col metodo di decadimento della pressione (con temperatura controllata). Questo metodo però non è in grado di discretizzare valori di perdita più dettagliati dei 20-30 g/giorno, a meno di durate delle prove molto superiori alla settimana o in controlli della temperatura dell'aria molto più accurati e difficilmente realizzabili.

Per soddisfare le richieste è stato quindi necessario utilizzare un metodo più preciso. Le alternative erano:

- Camera a vuoto.

La camera a vuoto (lettura diretta delle fughe di una miscela di aria-elio a 1 atmosfera) è già stata utilizzata in passato, in particolare per il Nodo 2, con prova effettuata dalla NASA al Kennedy Space Center (KSC). Il metodo richiede la disponibilità di grandi camere (il Nodo è un cilindro di 4,5 metri di diametro, per 7 metri circa di lunghezza) ed è piuttosto costoso.

- Metodo dell'accumulo.

È uno dei metodi più usati, in particolare quando si tratta di fughe localizzate su tubazioni o equipaggiamenti già installati e non facilmente accessibili.

Il metodo consiste nella pressurizzazione della giunzione / equipaggiamento da controllare con gas traccianti (di solito Elio) e nel confinamento delle fughe entro una camera esterna al potenziale punto di fuga. In tal caso l'Elio si accumula e tale accumulo può essere valutato collegando la camera con un cerca-fughe (Leak detector). L'accuratezza della misura viene migliorata valutando la risposta del Leak detector ad una fuga nota, inserita all'interno della camera di contenimento.

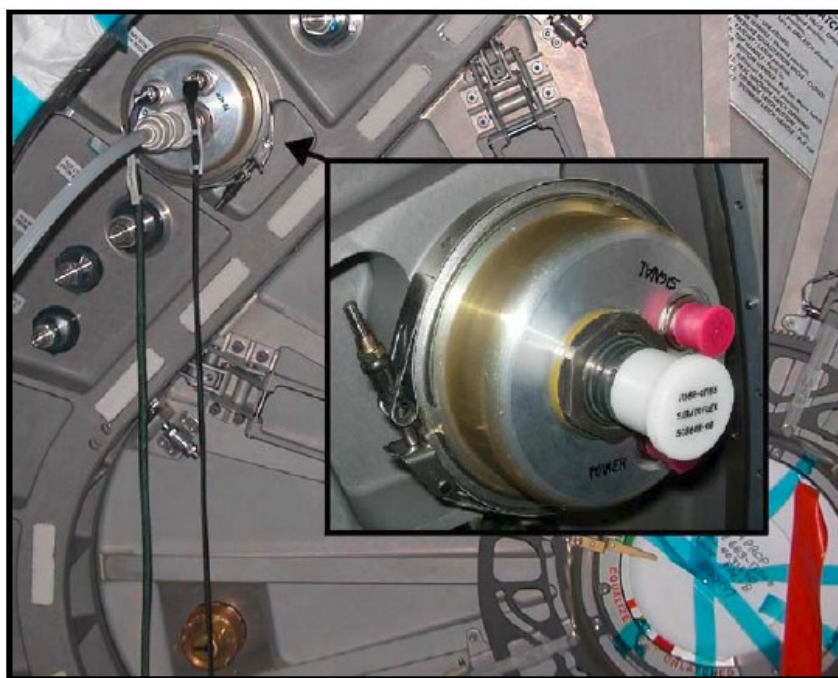
Pur presentando difficoltà oggettive per le grandi dimensioni del modulo, questo metodo è stato preferito, in quanto in grado di consentire notevoli risparmi di tempo e costi.

ADATTAMENTO DEL METODO AL NODO 3.

Pressurizzazione.

Per la prova il Nodo 3 andava condizionato ad una pressione assoluta di circa bar, ottenuta iniettando nel modulo, partendo dalla pressione atmosferica, un bar differenziale di elio, pari a circa il 50% del gas totale contenuto nel modulo.

L'iniezione di Elio è stata possibile installando un apposito adattatore in uno dei passa-paratia, corredato linee per la misura della pressione e della temperatura.



2

di

Figura 2 – Adattatore di interfaccia per il Nodo 3

Per evitare danneggiamenti agli equipaggiamenti interni si è provveduto a:

- Rimuovere le unità sensibili, in particolare le luci, i sensori di fumo ed il pannello di controllo della pressione.
- Limitare la velocità pressurizzazione e depressurizzazione. Lo si è ottenuto imponendo gradini di pressione di non più di 100 mbar da eseguirsi a distanza di almeno 25 minuti.

Distribuzione dell'Elio all'interno del modulo.

Essendo le possibili vie di fuga distribuite su tutte le pareti esterne del modulo, era necessario miscelare l'Elio con l'aria contenuta all'interno, per contrastare la sua naturale tendenza ad accumularsi in alto. Si è risolto il problema installando alcuni ventilatori (di dimensioni ridotte), alimentati grazie ad un collegamento elettrico a tenuta inserito sull'adattatore.

Camera di contenimento

Per la camera di contenimento ci siamo orientati ad utilizzare il contenitore predisposto per il trasporto del Nodo 3 da Torino alla base Kennedy di Cape Canaveral.



Figura 3 – II

contenitore di trasporto

Dopo una accurata ispezione per verificare che non ci fossero vie di fuga verso l'ambiente esterno (la camera pulita dello stabilimento di Torino), sono stati installati degli ulteriori ventilatori per omogeneizzare la distribuzione dell'elio e sono stati praticati fori per il passaggio delle linee di potenza, dei sensori di pressione e temperatura, dell'alimentazione dell'elio, delle fughe calibrate e del campionamento.

Raccolta delle fughe

Per raccogliere i campioni dell'aria nella camera di contenimento sono stati previsti 6 punti di raccolta scelti in modo da coprire tutte le possibili zone. I vari punti sono poi stati collegati al rivelatore di fughe installato esternamente al contenitore di trasporto (Figura 4).

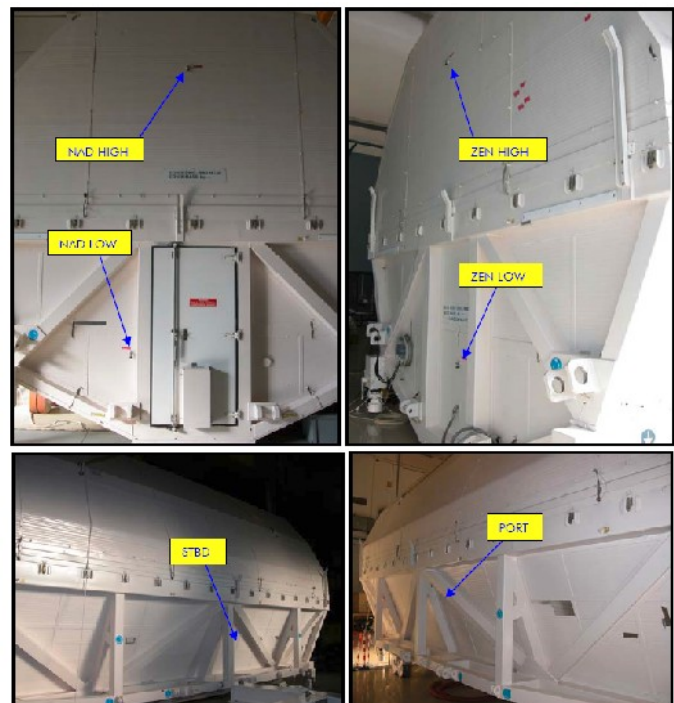


Figura 5 – Localizzazione dei punti di campionamento

DETEMINAZIONE DELLA SENSIBILITA' DELL'ALLESTIMENTO DI PROVA.

Per definire la sensibilità della prova si e' eseguita una procedura calibrazione dell'allestimento modulo-contenitore di trasporto. La calibrazione e' stata fatta prima della prova utilizzando una valvola-orifizio precedentemente verificata casa, e dopo la prova con una fuga certificata e fornita da NASA.

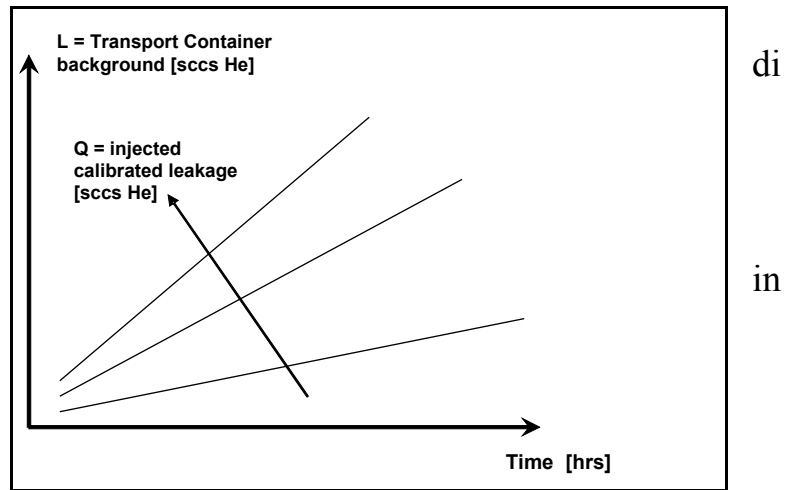


Figura 5 - Risposta del contenitore di trasporto alle diverse fughe calibrate

Avremo:

$$\text{Sensibilità} = \frac{Q * T}{[L(T) - L(0)]}$$

= scc di Elio introdotti nel Contenitore di Trasporto dalla fuga calibrata per ciascuna unita di misura del livello di fondo (ad esempio $1 * 10^{-6}$ scc/s), essendo:

$$L(t=0) = L(0) = \text{Livello di elio iniziale}$$

$$L(t=T) = L(T) \geq 3 * L(0) = \text{Liv. di Elio finale (almeno 3 volte l'iniziale)}$$

CONDUZIONE DELLA PROVA.

Calibrazione pre-test

La calibrazione pre-test e' stata effettuata con una fuga valutata corrispondente ad una perdita di .0019 lb/day(0.86 g/giorno) He ed e' durata circa 20 ore. I campioni sono stati prelevati alternativamente dalle 6 porte predisposte nel Contenitore di Trasporto. La sensibilità e' stata stimata in 9.7 scc di Elio introdotti ogni $1 * 10^{-7}$ scc/s He rilevati .

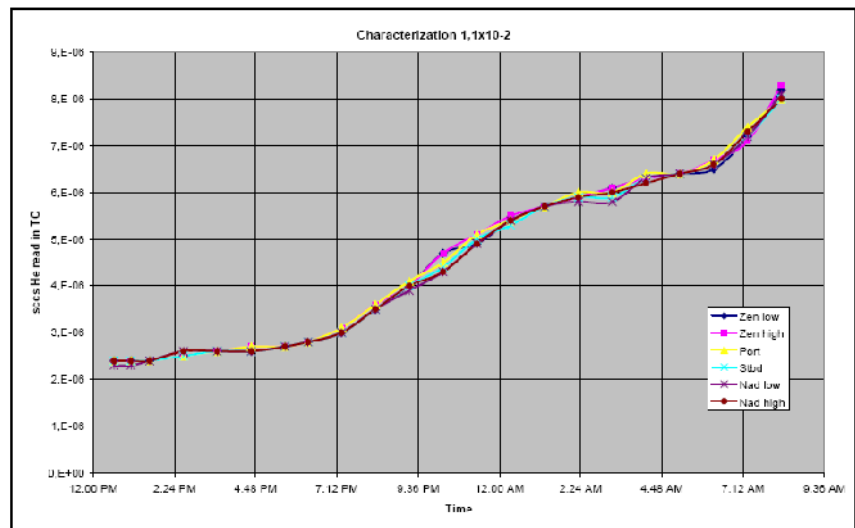


Figura 6 – Calibrazione pre-test

Pressurizzazione del modulo e risultati del test in pressione

Le operazioni di pressurizzazione sono durate circa 15 ore. Alla fine della pressurizzazione si è iniziata la raccolta dei dati di fuga (per circa ore), che ha dimostrato andamento abbastanza stabile ed uniforme tra vari punti di rilevazione.

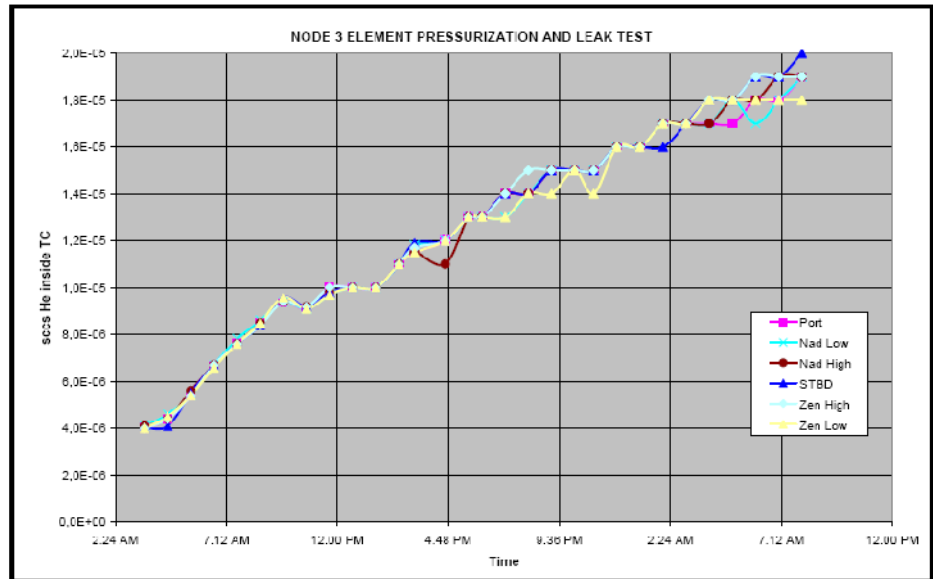


Figura 7 – Rilevazione delle fughe dal Nodo 3 pressurizzato

Calibrazione post-test

Dopo il test la calibrazione è stata ripetuta utilizzando una fuga calibrata certificata da NASA. La fuga era regolabile a diversi valori variando la pressione a monte (20, 50, 100 psig)



Figura 8 – Fuga calibrata NASA

I valori prescelti sono stati un valore iniziale di $1.9 \cdot 10^{-2}$ scc/s He (durata 22 ore), seguito da una misura di circa 3 ore con una fuga di $6.4 \cdot 10^{-2}$ scc/s He.

I risultati sono mostrati nella figura 9. Dal diagramma si nota l'innalzamento della risposta al variare del valore di fuga (più che triplicato).

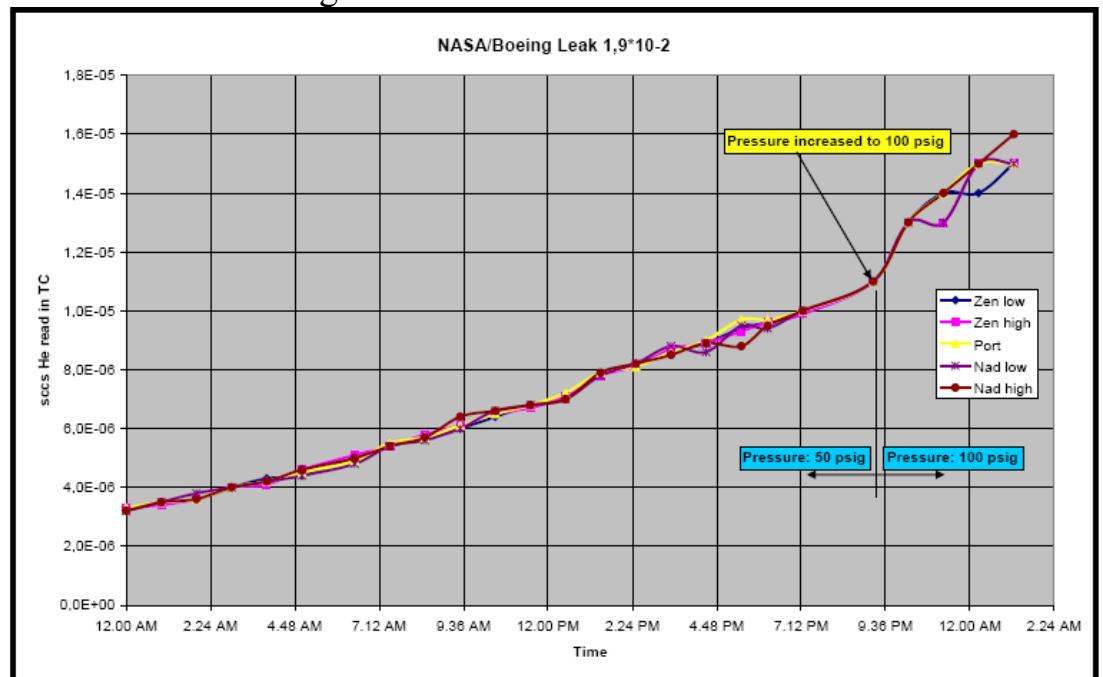


Figura 9 – Risposta del Contenitore Nodo 3 alla fuga calibrata NASA

DETERMINAZIONE DELLA FUGA.

La fuga complessiva del modulo e' stata ricavata confrontando i dati della prova con Nodo 3 pressurizzato ed i dati di prova con la fuga calibrata NASA:

– Per Nodo 3 pressurizzato abbiamo:

Aumento del livello di Elio:

$$+ 9.9*10^{-6} \text{ scc/s He in } 1285'$$

– Per la sensitività (con la fuga calibrata NASA a $1.9*10^{-2}$ scc/s):

Aumento del livello di Elio.

$$+ 6.4*10^{-6} \text{ scc/s He in } 1095', \text{ corrispondente a } 1248 \text{ scc totali}$$

Sensibilità (perdita totale/variazione di livello di misura della fuga).

$$19.5 \text{ scc ogni } 10^{-7} \text{ scc/s}$$

La perdita diventa:

$$99*19.5 = 1931 \text{ scc per } 1285' = 0.025 \text{ scc/s}$$

Considerando che la concentrazione di Elio all'interno del Nodo 3 e' del 50 %, la fuga che si avrebbe per una concentrazione del 100% diventa pari a 0.0508 scc/s .

Trasformando in aria secondo la formula molecolare (radice quadrata del rapporto dei pesi molecolari) si ottiene un valore di:

$$0.050*(4/29)^{0.5} = 1.89 \text{ scc/s}$$

Con una densità normalizzata di 1.293 g/litro otteniamo $2.44*10^{-5} \text{ g/s}$, cioè 2.11 g/giorno

Si tratta perciò di **0.465 lb/day** , contro un requisito di **0.117 lb/day** !

INSEGNAMENTI RICAIVATI PER LE PROVE FUTURE.

Il metodo di prova impiegato si è rivelato sufficientemente accurato, ed i tempi ed i costi di realizzazione della prova sono stati effettivamente molto contenuti rispetto al test in camera a vuoto.

Tuttavia per future prove si raccomanda di:

- Usare solo fughe calibrate per perdite in ambiente (e non verso il vuoto).
- Verificare sempre preventivamente che i tempi di pressurizzazione /depressurizzazione siano compatibili con le proprietà meccaniche dei materiali presenti alla prova (alcuni isolamenti hanno richiesto una riparazione dopo il test)