



PROGETTO DELLE CONFIGURAZIONI

4.1 Introduzione

Le specifiche di Microscope richiedono due configurazioni diverse degli EPSA che si differenziano per il numero delle unità propulsive (due in una, tre nell'altra), il loro orientamento e le caratteristiche operative.

Il modulo emettitore impiegato è quello descritto al Capitolo 2 riadattato nelle dimensioni del serbatoio in modo da rispondere alle diverse necessità di **impulso totale** delle due configurazioni.

Sebbene il progetto complessivo dell'EPSA sia stato guidato dalla ricerca della massima integrazione (semplificazione delle interfacce interne e accorpamento delle funzioni delle schede elettroniche) per la struttura di supporto si è scelto un approccio modulare.

La struttura dell'EPSA è composta da due gruppi principali; il primo ha il compito di garantire il supporto e l'allineamento dei moduli (**Struttura di supporto dei TA**), il secondo alloggia le componenti elettroniche (**Struttura di supporto della PPCU**).

In questo modo se dovesse variare la disposizione dei propulsori basterebbe riprogettare la sola struttura di supporto dei TA.

In origine si pensava di poter derivare la configurazione 3TC semplicemente "scalando" la 2TC, ma la diversa richiesta di tolleranza al guasto e la maggior complessità della disposizione dei moduli nella 3TC hanno costretto a geometrie diverse.

4.2 Studio della configurazione

In generale nello sviluppo di un modulo multipropulsore si deve affrontare la scelta del grado di modularità del sistema, [5].

Agli estremi del campo di possibilità si trovano le soluzioni di *completa integrazione* e di *completa modularità*

In una struttura completamente integrata le funzioni comuni a tutti gli emettitori sono svolte da componenti dedicate: un singolo serbatoio al quale attingono tutti gli emettitori, un singolo contenitore per il gas inerte di protezione degli emettitori, ed un singolo sistema di apertura.

Questo permette la massima riduzione dei pesi.

Inoltre la riduzione del numero di elettrodi dovrebbe semplificare l'isolamento elettrico delle zone ad alta tensione.

Una soluzione del genere, tuttavia, presenterebbe maggiore sensibilità ai guasti (il mal funzionamento di un componente condiviso pregiudicherebbe tutto il sistema) salvo il ricorso a una certa ridondanza ma a discapito del peso.

Inoltre la maggior complessità della struttura di supporto renderebbe più difficile la realizzazione delle prove di sperimentazione ed ovviamente non si ha flessibilità nel progetto che andrebbe completamente rielaborato in caso di nuove missioni.

D'altra parte la soluzione completamente modulare garantisce la più elevata flessibilità strutturale, un buon grado di realizzabilità e una intrinseca tolleranza al guasto, essendo ogni propulsore incluso in un modulo indipendente con proprie connessioni elettriche, atmosfera di protezione, e meccanismo di apertura.

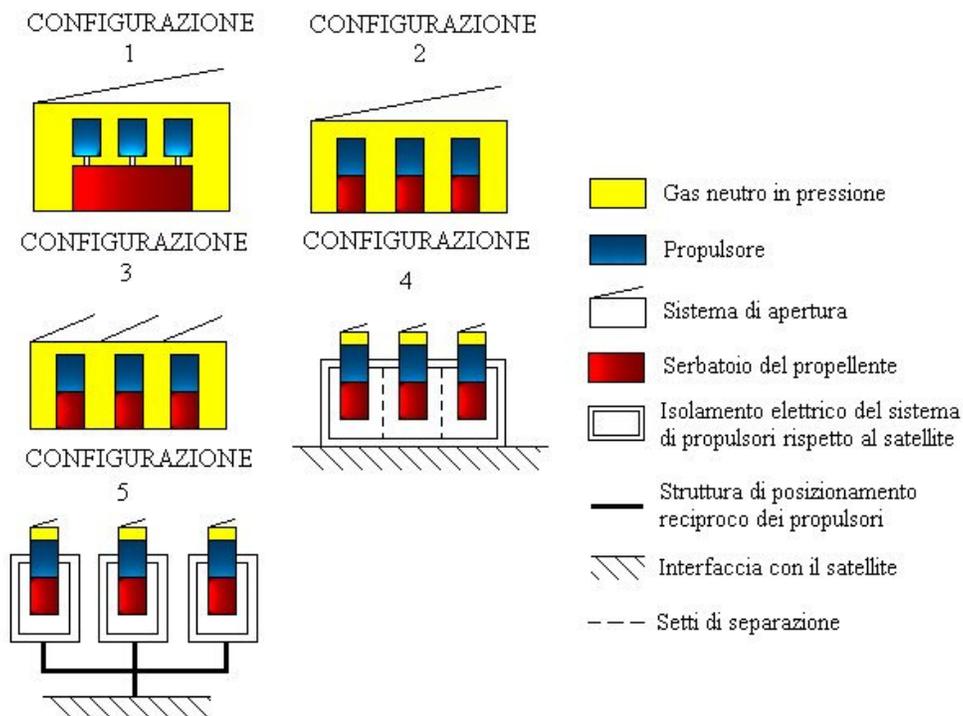


Figura 4.1- Schema di possibili configurazioni

La struttura di supporto del modulo multipropulsore dovrà però possedere una funzione strutturale che duplica quella del contenitore del modulo, e la presenza di un serie di interfacce indipendenti per ogni propulsore contribuisce a rendere questa configurazione più pesante.

Oltre questi due casi ne esistono altri; in Figura 4.1 ne sono rappresentati alcuni. Si passa gradualmente dalla soluzione completamente integrata a quella completamente modulare. La Tabella 4.1 ne descrive le caratteristiche.

<i>Funzione</i>	Configurazione				
	1	2	3	4	5
<i>Immagazzinamento del propellente</i>	Integrata	Modulare	Modulare	Modulare	Modulare
<i>Protezione del modulo</i>	Integrata	Integrata	Integrata	Modulare	Modulare
<i>Rimozione delle protezioni</i>	Integrata	Integrata	Modulare	Modulare	Modulare
<i>Struttura di supporto</i>	Integrata	Integrata	Integrata	Integrata	Modulare
<i>Isolamento dell'alta tensione</i>	Integrata	Integrata	Integrata	Integrata	Modulare

Tabella 4.1- Caratteristiche delle possibili configurazioni

Nel caso di Microscope la necessità di portare avanti il contemporaneo sviluppo di due configurazioni spinge verso una scelta modulare ma i vincoli di massa e volume ne favoriscono una integrata.

Nel progetto degli EPSA si è dovuto tener conto di una serie di vincoli e linee guida, tra i quali i più importanti sono:

- I requisiti delle configurazioni (2TC,3TC),
- I requisiti fisici (massa, volume),
- La posizione e orientamento dei propulsori,
- I requisiti di ridondanza e resistenza al guasto.

I requisiti di configurazione indirizzano verso una architettura modulare dei sottosistemi, in alternativa a una soluzione che prevede un gruppo di propulsori controllati dall'elettronica di bordo del satellite.

Ma come già notato una simile soluzione comporterebbe la duplicazione di molte funzioni rendendo complicata l'architettura interna con conseguente aumento di peso e volume.

La posizione e l'orientamento dei TA, le necessità di quantità di propellente unitamente ai vincoli di volume, determinano la configurazione interna degli EPSA che potrebbe essere ottimizzata solo rinunciando al requisito di minimo volume.

Ci si è così orientati verso una configurazione molto simile alla numero quattro nella quale i moduli propulsivi sono completamente indipendenti mentre una singola struttura provvede:

- al supporto e all'orientamento dei moduli,
- al contenimento delle componenti elettroniche di controllo e dei cablaggi,
- all'isolamento elettrico.

In questo modo è possibile:

- ridurre la massa delle strutture di supporto,
- evitare la propagazione del guasto,
- testare singolarmente i moduli e in generale facilitare le prove,
- semplificare i problemi di realizzazione e quindi abbassare i costi.

Inoltre la struttura è stata divisa in due parti: la **Struttura di supporto della PPCU** contenente tutta la componentistica elettronica e la **Struttura di supporto dei TA** destinata al supporto e orientamento dei moduli emettitori.

Questo permette di riprogettare solamente il supporto dei moduli se i responsabili della missione dovessero ritenere necessario cambiare le direzioni di spinta dei propulsori o se si volesse riadattare il progetto ad una missione simile.

La richiesta di ridondanza ha profondamente influenzato lo sviluppo della configurazione 3TC che non è stato possibile “scalare” semplicemente dalla 2TC.

Nelle figure seguenti si riportano le due configurazioni finali.

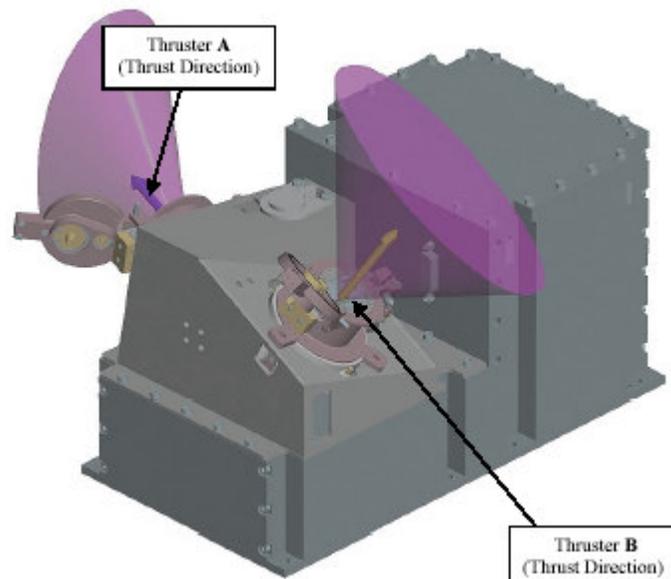


Figura 4.2–Configurazione 2TC.

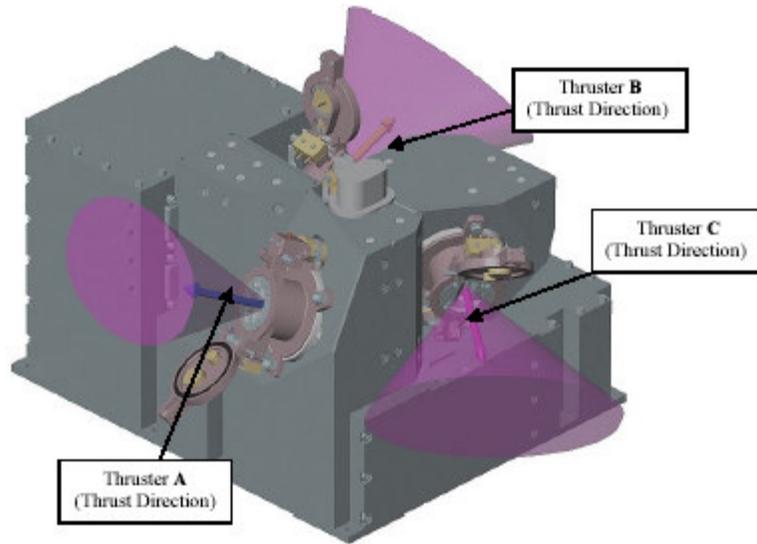


Figura 4.3- Configurazione 3TC.

4.3 Schema ad albero del progetto

Il progetto Microscope EPS (Electric Propulsion Subsystem) si basa sull'uso di quattro propulsori elettrici (EPSA); a seconda della configurazione che verrà scelta ognuno di essi avrà 2 o 3 Thruster Assembly.

Nella figura seguente è mostrato lo schema ad albero dell'intero EPS, indicante le relazioni logiche tra i sottosistemi principali.

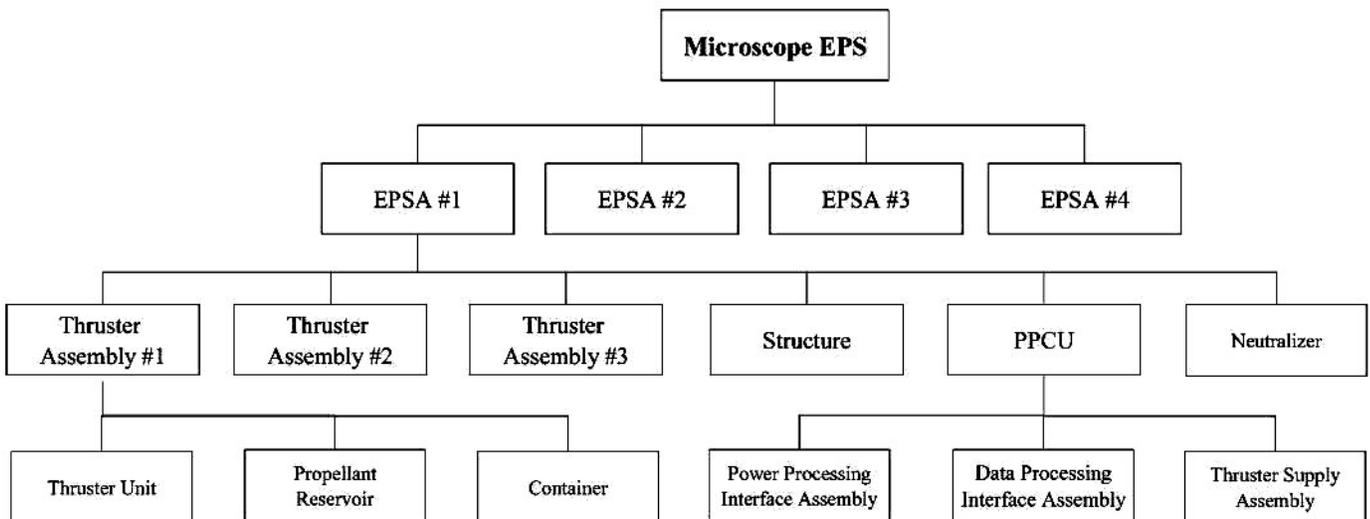


Figura 4.4- Relazioni tra i sottosistemi dell'EPS

4.4 Il neutralizzatore

Il neutralizzatore è una parte essenziale del propulsore.

Ha la funzione di produrre gli elettroni necessari alla neutralizzazione del fascio ionico emesso dal FEED (Capitolo 2); l'emissione di ioni avviene per effetto termoionico.

Un EPSA operante a 2×100 N necessita di una corrente elettronica di circa 2 mA; il fascio ionico, agendo come un anodo acceleratore, estrae automaticamente la giusta quantità di elettroni dal neutralizzatore.

Questo elemento è prodotto per Microscope da "Alelco", che provvede a fornire una unità completa di:

- Anodo
- Catodo
- Supporto meccanico.

4.5 Componenti elettroniche

In modo da ridurre i pesi e minimizzare le necessità di spazio, le schede dell'elettronica sono state progettate in modo da integrare il più possibile, in singole schede, le funzioni di regolazione e condizionamento della potenza elettrica.

Il maggior risultato da questo punto di vista si è ottenuto, come si vedrà nel prossimo paragrafo, nella configurazione 2TC che non ha requisiti di ridondanza.

Le relazioni funzionali tra le varie componenti elettroniche degli EPSA sono illustrate nello schema a blocchi della Figura 4.5.

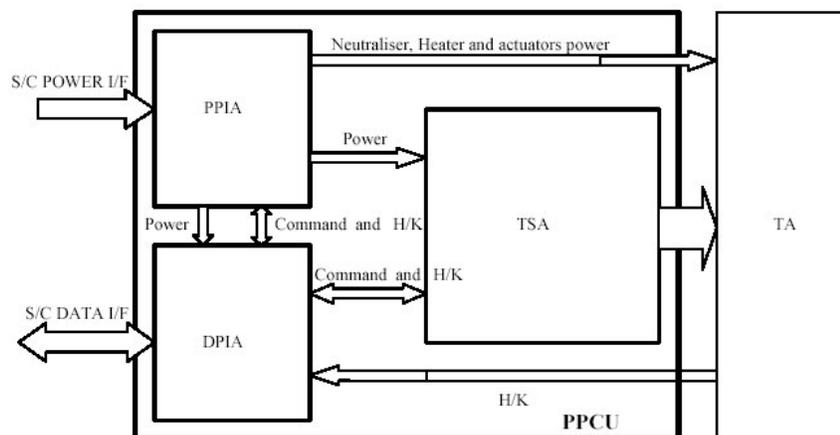


Figura 4.5- Schema a blocchi degli EPSA

4.5.1 Schede della 2TC

L'unità di controllo e condizionamento della potenza (**PPCU**) fa da interfaccia tra le linee di dati e potenza del satellite e il TA, Figura 4.5.

La scheda di controllo della potenza (**PPIA**) e quelle di elaborazione dei dati (**2DPIA**) controllano le schede dei convertitori di potenza del **TSA** che alimentano i propulsori.

Il PPIA intercetta la corrente proveniente dal bus del satellite e la ridistribuisce riadattata ai vari utilizzatori: le schede DPIA e TSA, i riscaldatori e gli attuatori dei coperchi.

Il TSA è composto da tre schede:

- Un moltiplicatore di tensione (**HVA**) che fornisce una tensione costante di -5 kV agli acceleratori dei due TA;
- Due moltiplicatori di tensione indipendenti (**HVE**) che alimentano i due emettitori con tensioni variabili tra i 2 e gli 8 kV.

La condivisione di un unico HVA per i due acceleratori permette di ridurre gli spazi e i pesi.

Una "scheda madre (**MB**)" connette le PPIA e DPIA tra loro e fa da interfaccia tra queste e la TSA.

Il bilancio di massa delle sette schede è a pagina 54.

4.5.2 Schede della 3TC

La configurazione generale delle schede elettroniche è la stessa del caso 2 TC e vale quanto detto precedentemente; in questo caso la necessità di dover garantire la funzionalità anche nel caso di guasto di 1,2 o 3 propulsori in un singolo EPSA fa sì che il **TSA** di questa configurazione sia composto da sei schede:

- Tre moltiplicatori di tensione (**HVA**), tra loro indipendenti, che forniscono una tensione costante di -5 kV agli acceleratori dei tre TA;
- Tre moltiplicatori di tensione (**HVE**), indipendenti, che alimentano i gli emettitori con tensioni variabili tra i 2 e gli 8 kV.

4.6 Configurazione 2TC

La struttura dell'EPSA è composta dalle due parti principali:

- la Struttura di supporto dei TA,
- la Struttura di supporto della PPCU.

La prima alloggia e garantisce il corretto posizionamento e allineamento dei due TA; la seconda contiene le schede della PPCU.

4.6.1 Struttura di supporto della PPCU

Gli ingombri massimi della struttura sono 300 x 160 x 160 mm e sono riportati nella figura seguente. Il gradino anteriore è alto 86 mm.

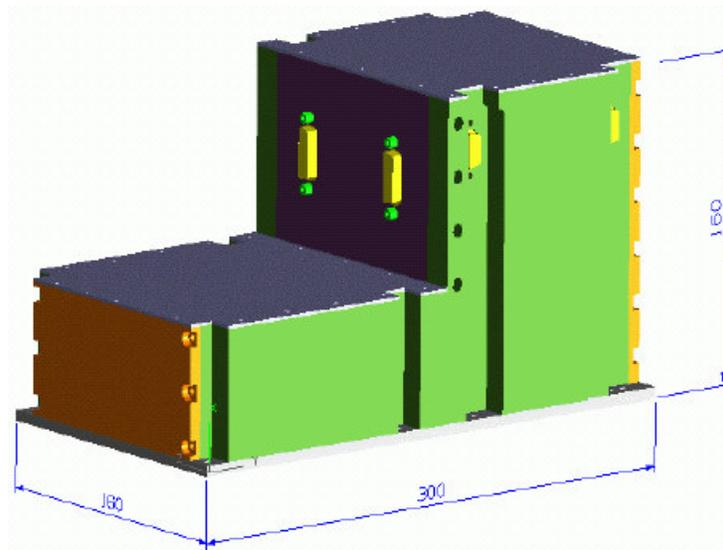


Figura 4.6– Involuppo della 2TC

È composta da cinque pareti esterne, una piastra base, e due piastre superiori collegate tra loro con viti in acciaio inossidabile M3 DIN 912 con relative rondelle (Figura 4.7); tutte le piastre sono in lega d'alluminio 6061-T651.

Material	σ_{iv} [MPa]	σ_{tu} [MPa]	E [GPa]	G [GPa]	ν	ρ [kg/m ³]
Al6061-T6	227	255	68.3	(¹)	0.33	2713
⁽¹⁾ $G = E / (2(1 + \nu))$						

Tabella 4.2– Proprietà dell'alluminio Al6061-T6

Per prevenire l'usura delle sedi delle viti, ognuna di esse è dotata di molle elicoidali autobloccanti in acciaio inossidabile; questo sistema impedisce anche lo sbloccamento delle viti ed evita i problemi di corrosione galvanica dovuti al contatto tra acciaio e alluminio.

Lo spessore di tutte le piastre è di 2,5 mm tranne che quello del "top cover +X1" che è di 2 mm.

Questi valori tengono conto del minimo richiesto per la resistenza alle radiazioni più un certo margine di sicurezza.

In realtà buona parte delle piastre della PPCU sono ottenute per asportazione di truciolo da piastre di spessore maggiore; in questo modo è possibile garantire alcune zone per la presa delle viti¹.

Questi spessori vanno quindi intesi come spessori minimi.

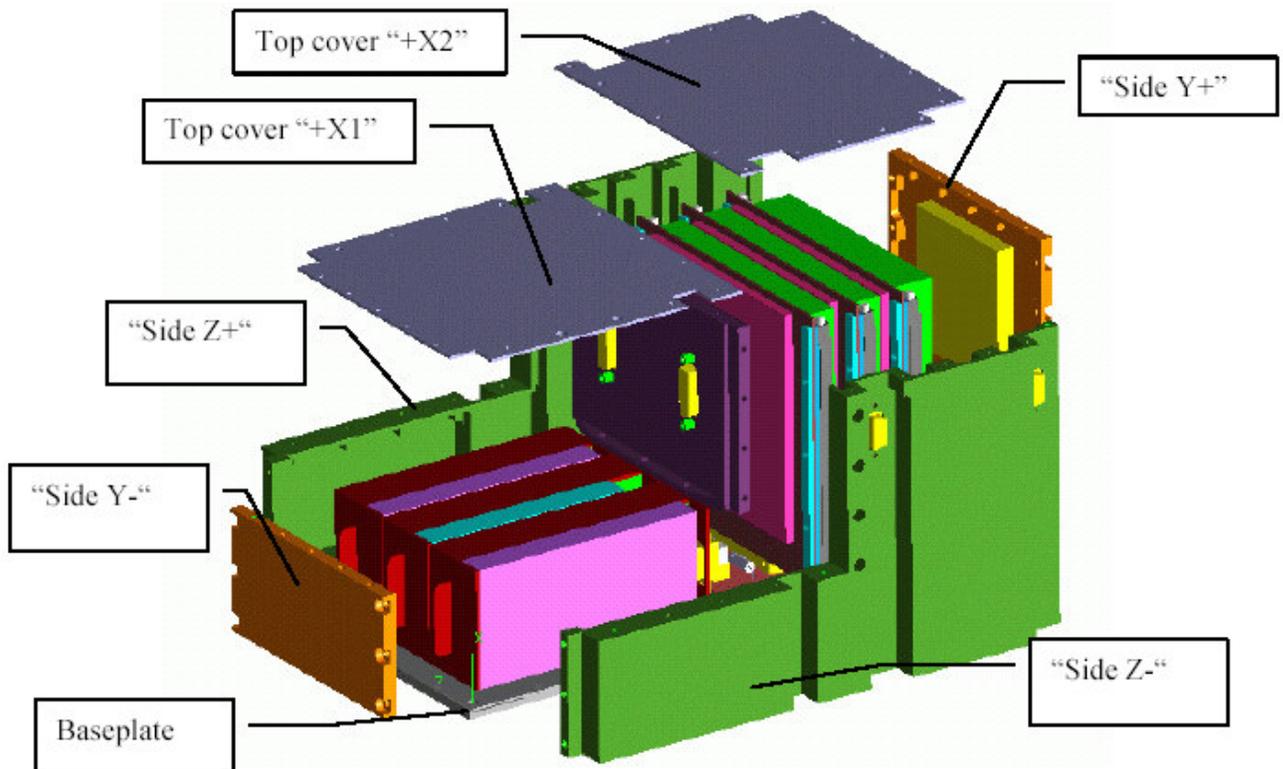


Figura 4.7- Vista esplosa della Struttura di supporto della PPCU

La scheda madre è fissata alla piastra base con apposite viti, vengono poi montate le pareti posteriore (Y+) e quella destra (Z+), a questo punto è possibile

¹ Si ritiene che una diversa progettazione della PPCU, in particolare l'uso di piastre di spessore costante assemblate con angolari o sistemi simili possa permettere riduzioni del peso della PPCU fino al 25%. Per la fase finale del progetto Microscope si suggerisce questo genere di modifiche.

inserire le schede PPIA, DPIA e TSA negli appositi alloggiamenti sulla scheda madre come in Figura 4.8.

Una volta montate le altre pareti e fissate le schede con appositi fermi si aggiungono le piastre superiori per completare la struttura.

Nelle figure seguenti è mostrata la posizione delle schede e dei connettori elettrici a 15 pin dei TA.

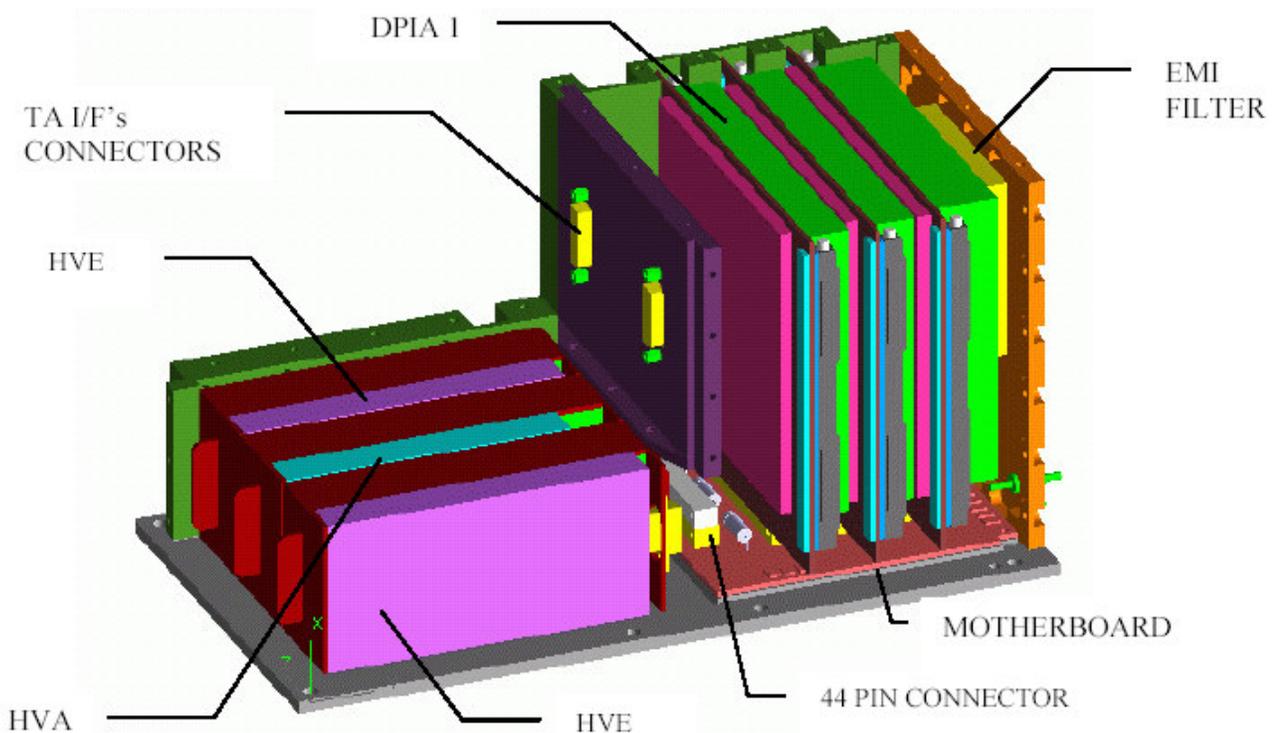


Figura 48- Vista interna della Struttura di supporto della PPCU

Nella parte posteriore sono stati ricavati dei fori per l'evacuazione dei gas durante le fasi di depressurizzazione (in Figura 4.9 è visibile anche la presa per la messa a massa dell'EPSA).

L'allineamento tra l'EPSA e il satellite avviene tramite due pin di riferimento situati nella piastra base; altre otto viti M5 DIN 912 in acciaio garantiscono il collegamento.

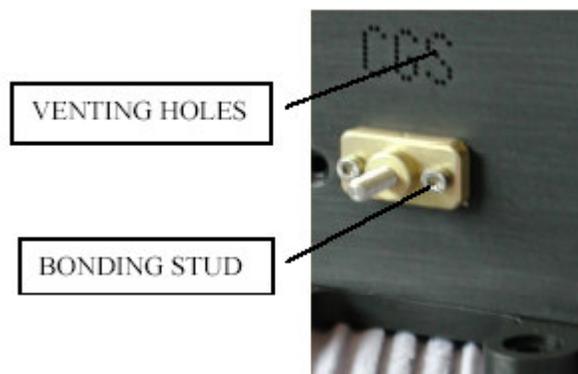


Figura 4.9- Fori di ventilazione

4.6.2 Struttura di supporto dei TA

I vincoli di configurazione geometrica dei TA rendono, rispetto al caso della Struttura di supporto della PPCU, complessa la progettazione di questo elemento anche tenendo conto delle necessità di integrazione e facilità di assemblaggio dei vari sottoelementi.

Questo è vero soprattutto nel caso della 3TC.

La Struttura di supporto dei TA è composta da un'unica struttura di piastre in lega d'alluminio Al 6061-T6 saldate tra loro, Figura 4.10: oltre a permettere il corretto posizionamento e allineamento dei moduli propulsori alloggia il neutralizzatore.

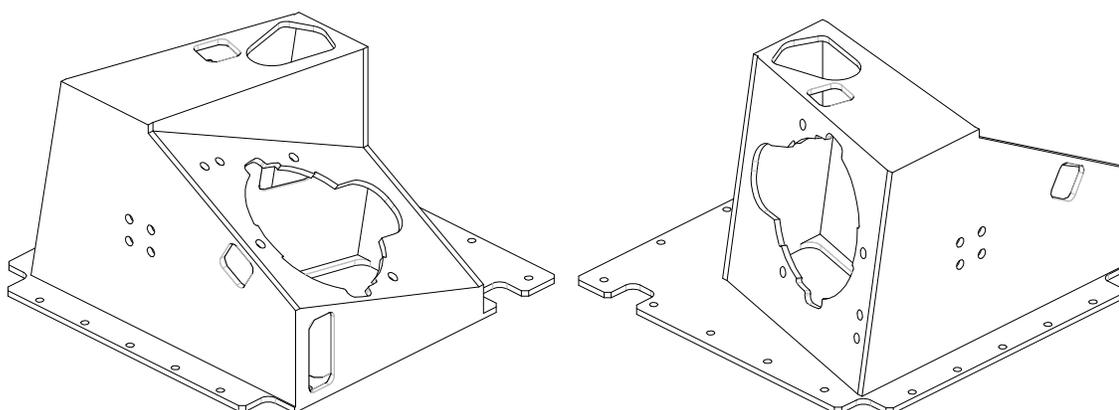


Figura 4.10- Struttura di supporto dei TA

Progetto della struttura di supporto del sistema di propulsione per il satellite *Microscope*

Tutte le piastre hanno uno spessore di 2.5 mm ad eccezione dello schermo interno di 0.8 mm.

L'allineamento di ogni TA con la Struttura di supporto avviene tramite accoppiamenti cilindrici e un foro di riferimento per ogni TA: per il fissaggio si usano sei viti M4 AISI 304 delle quali due calibrate.

Tutte le superfici di riferimento sono lavorate alle macchine utensili dopo la saldatura delle piastre per avere la massima precisione delle tolleranze.

La base della struttura consente l'interfacciamento con la struttura di supporto della PPCU, mentre varie aperture permettono il passaggio degli attrezzi di montaggio.

Il fondo è aperto per consentire il montaggio dei TA e degli altri componenti (cavi, viti) comunque l'isolamento elettrico tra le due strutture (dei TA e della PPCU) è garantito dallo schermo metallico d'interfaccia della PPCU.

Le specifiche di *Microscope* definiscono in maniera precisa la posizione del centro della fessura dell'emettitore con un margine d'errore di ± 20 mm; nella Figura 4.11 è mostrata la sua posizione finale.

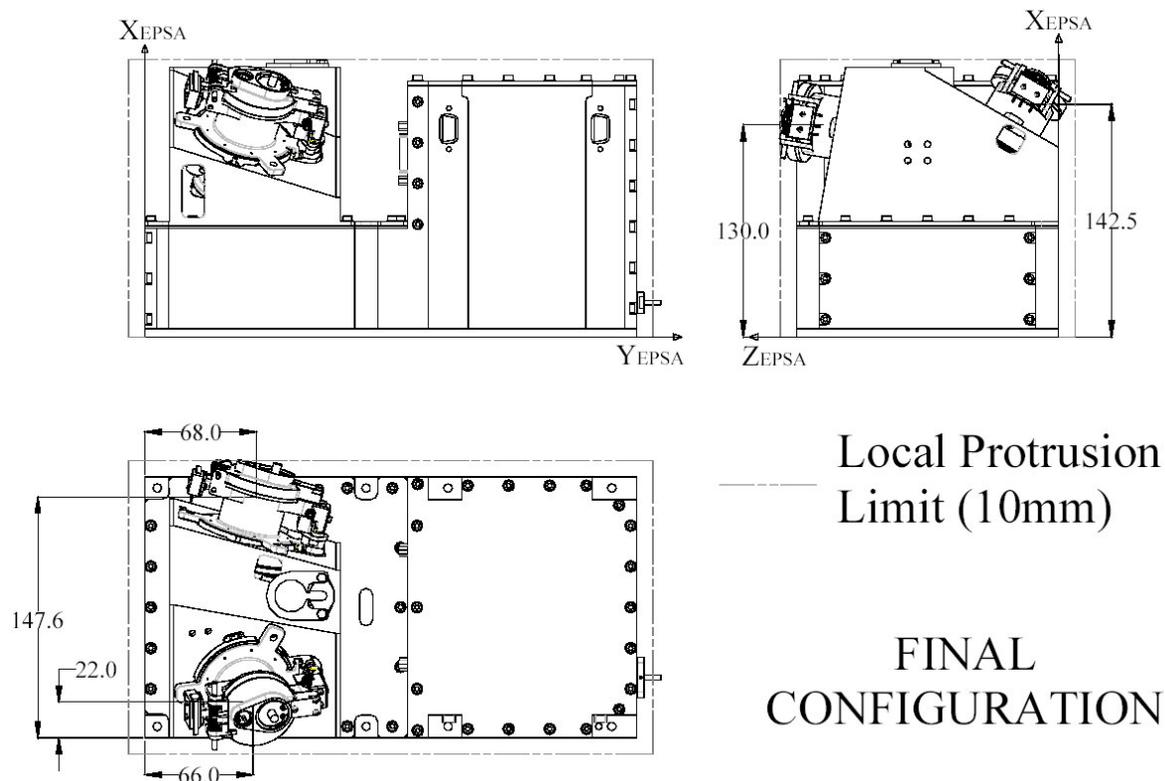


Figura 4.11- Posizione dei TA

Sia i requisiti di posizione del centro della fessura che quelli di massimo ingombro sono soddisfatti tenendo conto della possibilità di sporgenze locali entro i 10 mm.

Le posizioni finali dei TA, quelle richieste e lo scarto tra esse sono riassunte in Tabella 4.3.

	Thruster Assembly	X EPSA [mm]	Y EPSA [mm]	Z EPSA [mm]
<i>Final Configuration</i>	A	130	68	147.6
	B	142.5	66	22
<i>Nominal Configuration</i>	A	150	48	157
	B	155	47	7
<i>Offset*</i>	A	20	20	9.4
	B	12.5	19	15

Tabella 4.3– Coordinate del centro dell'emettitore

I serbatoi dei propulsori raggiungono durante il funzionamento la tensione degli emettitori; è quindi necessario provvedere al corretto isolamento elettrico della parti in tensione per garantire il funzionamento dell'EPSA.

Il progetto della struttura è stato fortemente condizionato dalla necessità di isolamento elettrico.

Per queste ragioni i serbatoi sono completamente circondati da pareti metalliche che fungono da gabbia di Faraday; le schede della PPCU sono schermate dalla piastra "Top cover + IX" (Figura 4.7) della struttura di supporto della PPCU mentre uno schermo metallico interno alla struttura dei TA separa i serbatoi.

Altri criteri di progetto seguiti per garantire l'isolamento elettrico sono:

- È stata mantenuta una distanza minima di 10 mm tra i serbatoi e le altre superfici metalliche;
- Le superfici a distanza inferiore di 10 mm sono state ricoperte con una pellicola isolante di Kapton² dello spessore di 0.125 mm, in ogni caso la distanza minima è maggiore di 4.5 mm;
- Tutti gli spigoli "visibili" nella struttura sono stati arrotondati.

Dopo il montaggio dei TA e del neutralizzatore tutte le aperture per il passaggio degli attrezzi vengono chiuse con fogli di alluminio sempre al fine di garantire l'isolamento elettrico.

² La resistenza dielettrica del Kapton vale 154kV/mm.

Il passaggio dei cavi all'esterno della struttura, fino ai connettori della PPCU, è garantito dalle asole ricavate nelle piastre di supporto dei TA; mentre all'interno, opportune fasce elastiche, li assicurano alle pareti, impedendone il moto libero.

Le strutture delle PPCU e dei TA sono collegate tra loro dallo stesso percorso di viti che collega le pareti laterali della struttura della PPCU con 16 viti M3; come riferimenti per l'allineamento sono usati i lati $-Z_{EPSA}$ e $-Y_{EPSA}$ e sono utilizzate attrezzature apposite.

Un singolo neutralizzatore soddisfa le esigenze dei due TA; in questo modo è possibile ottimizzare i consumi elettrici.

Nella figura seguente se ne mostra la posizione.

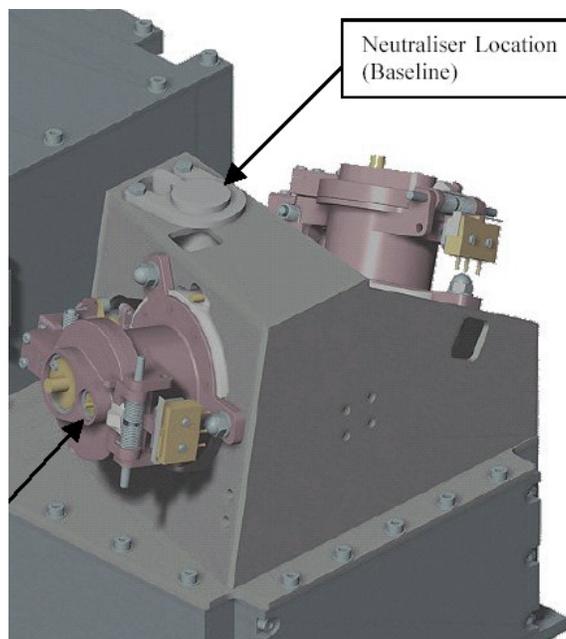


Figura 4.12 – Posizione del neutralizzatore

4.7 Conclusioni sulla configurazione 2TC

La configurazione 2TC non rispetta i limiti di peso; questo risultato è per lo più attribuito alla PPCU e alla sua struttura di supporto (Tabella 4.7).

Poiché è mancata una vera ottimizzazione della configurazione delle schede elettroniche, almeno dal punto di vista dei pesi e degli ingombri, e per quanto detto nella nota 1 di pagina 47, si pensa che nella prossima fase di progetto di dettaglio sarà possibile rientrare facilmente nelle specifiche.

4.8 Dati riassuntivi della configurazione 2TC

Nelle seguenti tabelle sono riassunti i dati delle dimensioni e dei pesi dell'EPSA e dei suoi principali componenti.

Sono stati applicati margini di contingenza in funzione dello stato di sviluppo dei componenti, in accordo con quanto previsto dalle specifiche.

Per la migliore compressione dei dati, sia i valori calcolati che i relativi margini di contingenza sono riportati nelle tabelle.

4.8.1 Dimensioni dell'EPSA

EPSA 2TC ENVELOPE	ΔX_{EPSA} [mm]	ΔY_{EPSA} [mm]	ΔZ_{EPSA} [mm]
All Lids Closed	168	315	178
All Lids Opened	200	322	233
Dynamic Envelope	215	322	254

Note: I valori riportati sono stati il risultato di analisi CAD e sono arrotondati alla prima cifra decimale.
Tutte le dimensioni fanno riferimento al sistema di riferimento dell'EPSA.

Tabella 4.4– Ingombri e involucro dell'EPSA 2TC

4.8.2 Bilancio di massa del Thruster Assembly

TA 2TC Mass Breakdown						
Assembly	Unit	2TC				Total Mass (g) (²)
		Calculated Unit Mass (g)	No. of units	Calculated Mass (g)	Contingency Margin (%)	
Thruster Assembly	Thruster Unit	77,3	1	77,3	5,0%	81,2
	Container Insulator Assembly	73,2	1	73,2	5,0%	76,9
	Container Assembly ⁽¹⁾	179,9	1	179,9	5,0%	188,9
	Paraffin Actuator	35,0	1	35,0	0,0%	35,0
	Pressure Sensor	15,0	1	15,0	5,0%	15,8
	Propellant Reservoir	77,8	1	77,8	5,0%	81,7
	Screws, washers, other components	50,0	---	50,0	2,0%	51,0
<i>Total Dry Mass</i>				508,2	4,4%	530,4 g

Note: I valori riportati sono stati il risultato di analisi CAD e sono arrotondati alla prima cifra decimale.

(¹)Escluse le masse dell'attuatore a paraffina e del sensore di pressione.

(²) Valori arrotondati.

Tabella 4.5- Bilancio di massa del Thruster Assembly

4.8.3 Bilancio di massa della PPCU

PPCU 2TC - Assembly Preliminary Mass Budget					
Unit	Calculated Unit Mass (g)	No. of units	Calculated Mass (g)	Contingency Margin (%)	Total Mass (g) ⁽³⁾
DPIA	200,0	2	400,0	5,0%	420
PPIA	500,0	1	500,0	5,0%	525
Motherboard	200,0	1	200,0	5,0%	210
HVE (part of TSA)	395,0	2	790,0	5,0%	830
HVA (part of TSA)	383,0	1	383,0	5,0%	402
Electr. Boards (including harness)			2273,0 g	Tot.	2387 g
PPCU Support Structure	1917	1	1917,0	3,8% ⁽²⁾	1990
TSA Support Structure ⁽¹⁾	26,6	3	79,8	5,0% ⁽²⁾	84
PPCU Structure (including bolt,screw,washer)			1996,8 g	Tot.	2074 g
TOTAL PPCU Estimated Mass			4270 g		4460 g

Note: ⁽¹⁾Compresi i blocchi delle schede.

⁽²⁾Valori medi.

⁽³⁾ Valori arrotondati.

Tabella 4.6- Bilancio di massa della PPCU

4.8.4 Bilancio di massa dell'EPSA

EPSA 2TC Preliminary Mass Budget						
Assembly	Unit	Calculated Unit Mass (g)	No. of units	Calculated Mass (g)	Contingency Margin (%)	Total Mass (g) ⁽¹⁾
Thruster Assembly		508,2	2	1016,4	4,4% ⁽⁴⁾	1061
PPCU Electronics Boards	PPIA,DPIA,TSA, M/B, Harness			2273,0	5,0% ⁽⁴⁾	2387
Support Structure	TA Support Structure ⁽¹⁾	382,8	1	382,8	10,0%	421
	PPCU Structure	1996,8	1	1996,8	3,9% ⁽⁴⁾	2074
Neutralizer		80,0	1	80,0	20,0%	96
Harness	TA Harness	96,8	2	193,6	20,0%	194
TOTAL DRY MASS⁽²⁾				5943 g	4,9%⁽⁴⁾	6232 g
Propellant Mass		41,8 ⁽³⁾	2			84 ⁽³⁾
Total Mass With Propellant ⁽³⁾ (Contingency margin included)						6315 g

Note: I valori riportati sono stati il risultato di analisi CAD e sono arrotondati alla prima cifra decimale.

Sono stati applicati margini di sicurezza in relazione allo stato di sviluppo del componente.

⁽¹⁾Comprese le viti della PPCU e dei TA.

⁽²⁾ La massa di propellente necessaria alla missione è 2x40g (vedi specifiche).

⁽³⁾ Escluse viti d'interfaccia col satellite.

⁽⁴⁾ Valori medi.

⁽⁵⁾ Arrotondati al primo decimale.

Tabella 4.7- Bilancio di massa dell'EPSA 2TC

4.8.5 Involuppo dell'EPSA

La figura seguente mostra gli ingombri complessivi dell'EPSA 2TC; ulteriori dettagli sono riportati nelle appendici.

Tutte le dimensioni sono il risultato delle analisi CAD della configurazione, sono in mm e sono arrotondate alla prima cifra decimale.

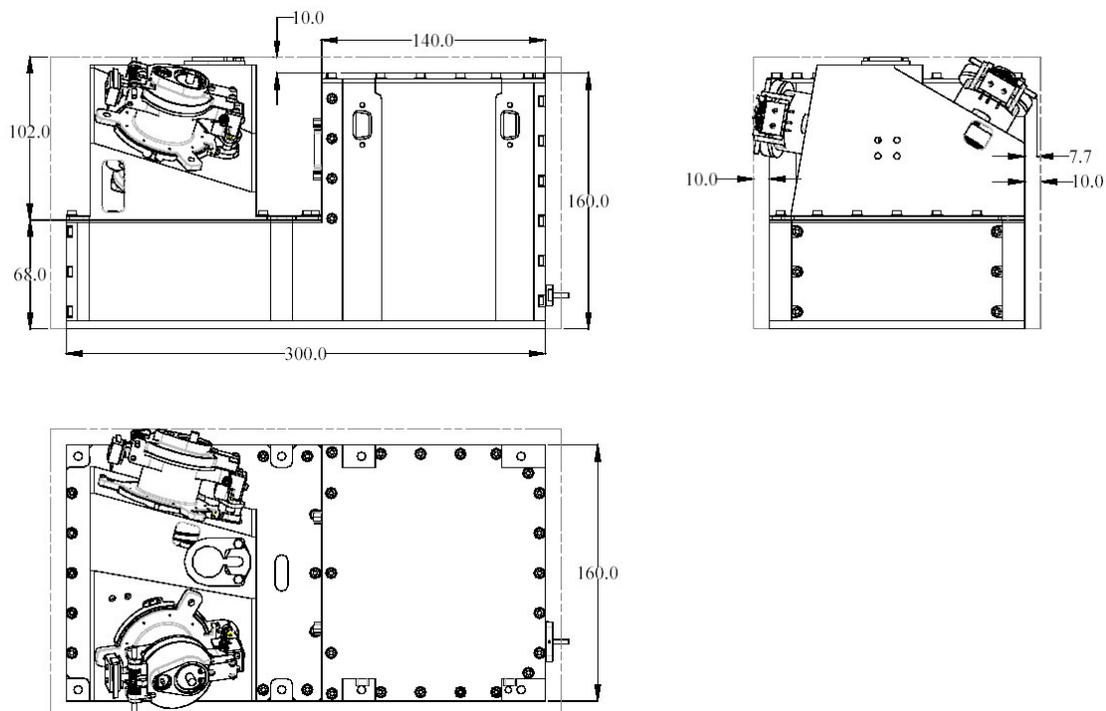


Figura 4.13- Dimensioni dell'EPSA 2TC

4.9 Configurazione 3TC

La struttura dell'EPSA è composta dalle due parti principali:

- la Struttura di supporto dei TA,
- la Struttura di supporto della PPCU.

La prima alloggia e garantisce il corretto posizionamento e allineamento dei due TA; la seconda contiene le schede della PPCU.

Come detto lo sviluppo di questa configurazione si è da subito rivelato più complesso di quello della 2TC.

L'orientamento delle direzioni della spinta (Figura 4.3) complica la disposizione dei Thruster Assemblies e costringe a prevedere nella Struttura di supporto dei TA una serie di elementi smontabili al fine di permettere l'assemblaggio dei vari componenti.

Rispetto al caso della 2TC (unica struttura di piastre saldate) si ha una struttura maggiormente labile e particolare attenzione, dal punto di vista del comportamento dinamico, hanno richiesto le parti smontabili.

La necessità di garantire la ridondanza dei propulsori e il vincolo sulla disponibilità di potenza non hanno permesso un grado di integrazione delle funzioni di controllo pari a quello del caso 2TC.

Questo ha comportato la crescita delle dimensioni e del numero delle schede elettroniche, soprattutto di quelle della TSA.

Per queste ragioni non è stato possibile mantenere le dimensioni e il peso dell'EPSA entro quanto previsto dalle specifiche.

In attesa di una ottimizzazione delle schede, si è proceduto allo studio di una soluzione compatibile con i vincoli imposti dall'elettronica, a discapito di quelli di massa e volume inizialmente previsti³.

Le strutture di supporto sono in leghe d'alluminio con un trattamento superficiale Alodine 1200, mentre altri elementi sono in acciaio (vedi oltre).

È previsto un ulteriore trattamento superficiale (verniciatura) al fine di migliorare il controllo termico.

³ Venne presa in considerazione anche la possibilità di rinunciare alla ridondanza dei propulsori, similmente al caso 2TC. Questo avrebbe comportato un minor numero di schede e una struttura più compatta; ma avrebbe completamente snaturato la configurazione 3TC anche in vista di miglioramenti nella integrazione delle componenti elettroniche.

4.9.1 Struttura di supporto della PPCU 3TC

In figura sono mostrati gli ingombri principali del contenitore dell'elettronica.

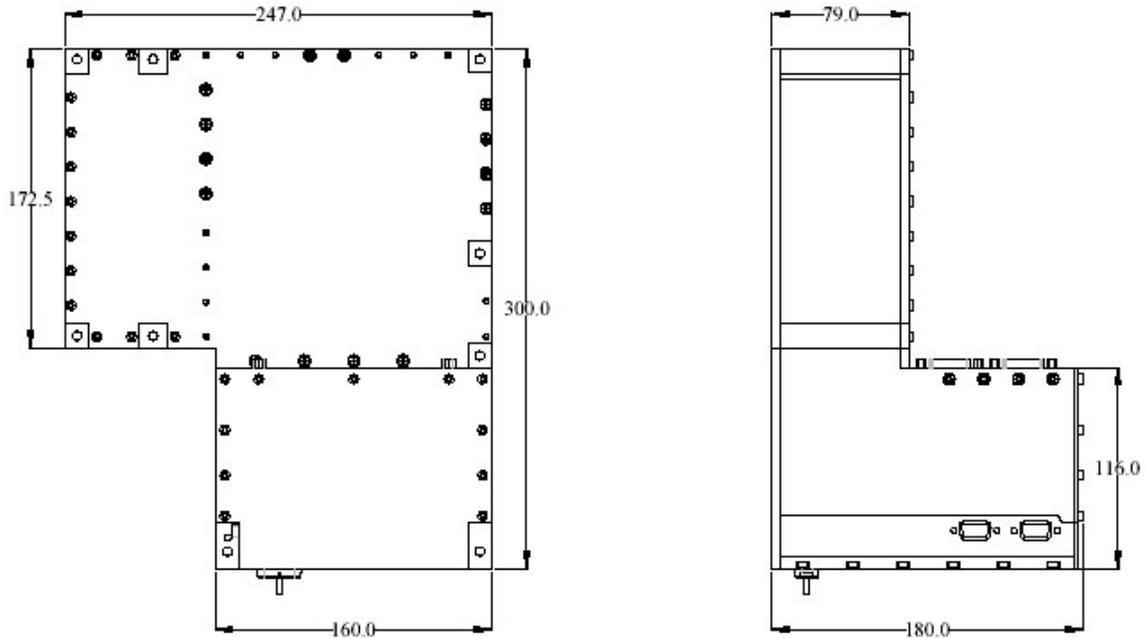


Figura 4.14– Involuppo della Struttura di supporto della PPCU 3TC

La Struttura di supporto della PPCU è composta da cinque pareti esterne, una piastra base, due coperchi e un setto interno collegati con viti in acciaio inossidabile M3 DIN 912 con relative rondelle (Figura 4.17); tutte le piastre sono in lega d'alluminio 6061-T651.

Per prevenire l'usura delle sedi delle viti, ognuna di esse è dotata di molle elicoidali autobloccanti in acciaio inossidabile; questo sistema impedisce anche lo sbloccamento delle viti ed evita i problemi di corrosione galvanica dovuti al contatto tra acciaio e alluminio.

Lo spessore⁴ di tutte le piastre è di 2,5 mm tranne quello del “top cover +X2” che è di 2 mm e quello del “top cover +X1” di 1,5 mm.

Questi valori tengono conto del minimo spessore richiesto per la resistenza alle radiazioni che prevede per gli spessori delle superfici esposte almeno 2 mm.

Nel caso del “top cover +X1” si è potuto scegliere uno spessore minore e quindi ridurre il peso della piastra, perché questa è completamente riparata dalla struttura di supporto dei TA.

⁴ Valgono le stesse considerazioni fatte per la 2TC. Sono spessori medi per via della presenza di nervature ed ispessimenti.

La scheda madre è fissata alla piastra base con apposite viti, vengono poi montate le pareti posteriore (Y+) e quella destra (Z+), a questo punto la struttura è autoportante ed è possibile inserire le schede PPIA e DPIA negli appositi alloggiamenti sulla scheda madre come in Figura 4.15.

Una volta montate le altre pareti, il “Mid Wall” e il setto interno possono essere aggiunte le sei schede del TSA (tre HVE, tre HVA).

Infine per completare la struttura si montano le piastre superiori.

Tutte le schede sono bloccate sulla struttura da specifici sistemi d'ancoraggio.

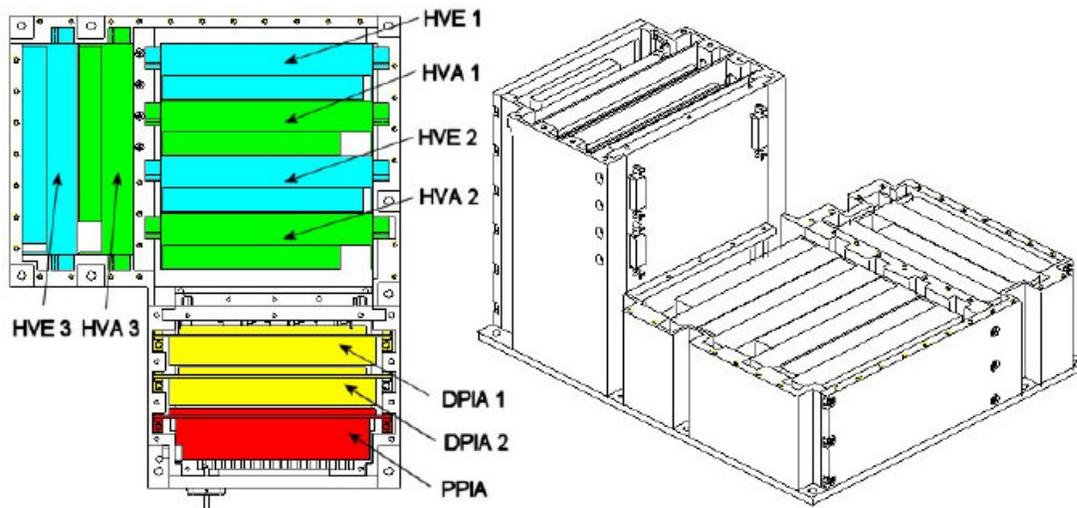


Figura 4.15– Posizione delle schede nella PPCU

Nella parte posteriore sono stati ricavati dei fori per l'evacuazione dei gas durante le fasi di depressurizzazione (in Figura 4.16è visibile anche la presa per la messa a massa dell'EPSA).

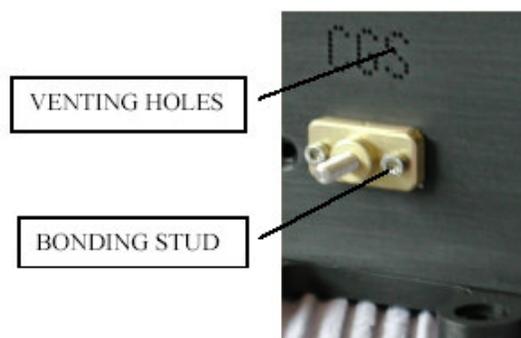


Figura 4.16– Fori di ventilazione e messa a terra

L'allineamento tra l'EPSA e il satellite avviene tramite due pin di riferimento situati nella piastra base; altre nove viti M5 DIN 912 in acciaio garantiscono il collegamento.

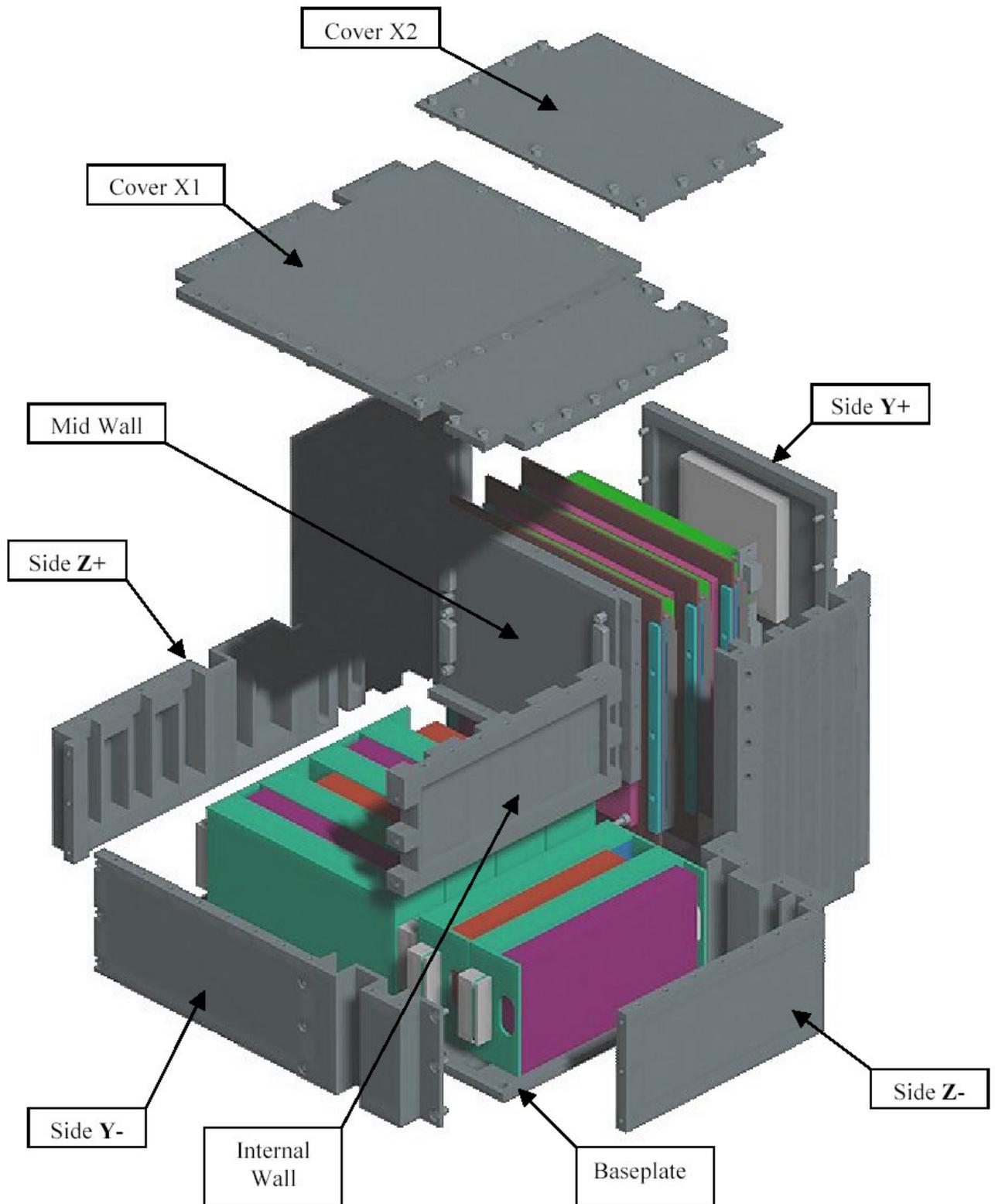


Figura 4.17- Vista esplosa della struttura di supporto della PPCU

4.9.2 Struttura di supporto dei TA 3TC

I vincoli di configurazione geometrica dei TA rendono, rispetto al caso della Struttura di supporto della PPCU, complessa la progettazione di questo elemento, soprattutto tenendo conto delle necessità di integrazione e facilità di assemblaggio dei vari sottoelementi.

In particolare la disposizione e il numero dei propulsori hanno costretto ad un'attenta analisi della configurazione affinché ne fosse garantita la realizzabilità e la facilità di montaggio.

Per il corretto passaggio dei TA e della relativa "cavetteria" non è stato possibile, come nel caso della configurazione 2TC, realizzare un'unica struttura di piastre saldate, ma si sono dovute prevedere diverse parti smontabili.

Gli svantaggi di questa soluzione, rispetto a quella del caso 2TC, sono relativi soprattutto al comportamento dinamico della struttura, come si vedrà in sede di analisi.

I principali elementi della Struttura di supporto dei TA sono (Figura 4.18):

- La Struttura saldata,
- I tre schermi superiori,
- Lo schermo laterale,
- Lo schermo interno,
- Gli angolari di supporto.

La Struttura saldata è composta da piastre in lega d'alluminio (AL 6061 – T6) dello spessore di 2.5 mm saldate tra loro, dopo esser state disposte in modo tale da garantire il corretto posizionamento dei "Thruster Assemblies".

Tutte le superfici di riferimento sono lavorate alle macchine utensili dopo la saldatura delle piastre, per avere la massima precisione delle tolleranze.

L'allineamento dei tre TA con la Struttura di supporto avviene tramite accoppiamenti cilindrici e un foro di riferimento per ogni TA: per il fissaggio si usano nove viti M4 AISI 304 delle quali tre calibrate.

La base della struttura consente l'interfacciamento con il supporto della PPCU, mentre varie aperture permettono il passaggio degli attrezzi di montaggio.

Il fondo è aperto per consentire il montaggio dei TA e degli altri componenti (cavi, viti) comunque l'isolamento elettrico tra le due strutture (dei TA e della PPCU) è garantito dallo schermo metallico d'interfaccia della PPCU.

La possibilità di smontare gli schermi superiori, quello interno e lo schermo laterale (Figura 4.18), permette l'accessibilità interna della struttura, facilitando il

montaggio dei TA e il passaggio degli attrezzi; inoltre i suddetti schermi contribuiscono ad assicurare l'isolamento elettrico dei serbatoi dei propulsori.

Lo schermo laterale è, come la struttura saldata, in lega d'alluminio AL 6061-T6 dello spessore di 2.5 mm mentre lo schermo interno è realizzato in lega d'alluminio AL 7075-T73 dello spessore di 1 mm.

Gli schermi superiori sono anch'essi in alluminio AL 7075-T73 e hanno spessore di 2.5 mm.

Questi componenti rimovibili sono assemblati sulla struttura saldata con l'ausilio di appositi elementi angolari in acciaio AISI 304 dello spessore di 4 mm; in Figura 4.18 sono mostrate le loro posizioni e quelle delle rispettive viti.

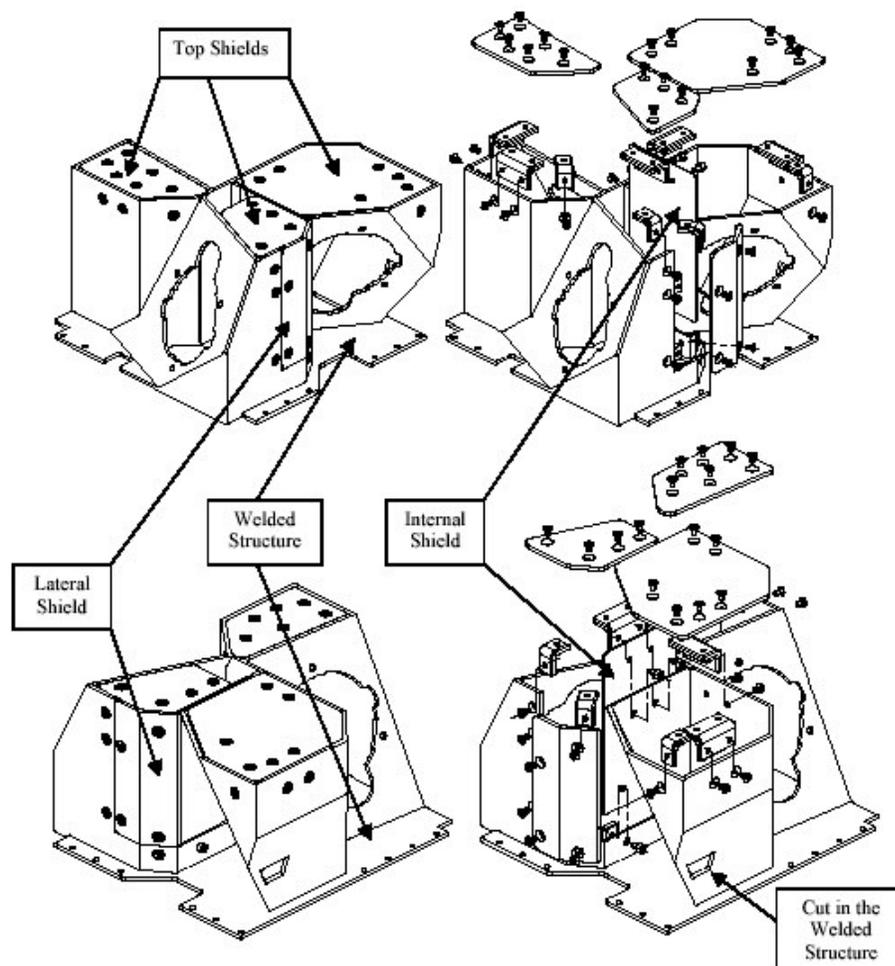


Figura 4.18- Struttura di supporto dei TA

Nella seguente tabella sono elencate le proprietà dei materiali impiegati per tutte le piastre:

Material	σ_{ty} [MPa]	σ_{tu} [MPa]	E [GPa]	G [GPa]	ν	ρ [kg/ m ³]
Al7075-T73	386	455	71.7	(¹)	0.33	2796
Al6061-T6	227	255	68.3	(¹)	0.33	2713
AISI304	215	505	200.0	(¹)	0.29	8000
⁽¹⁾ $G=E/(2(1+\nu))$						

Tabella 4.8- Proprietà dei materiali delle piastre

Le richieste sulla posizione dei propulsori unitamente alle necessità di assemblaggio hanno impedito la realizzazione di una struttura completamente congruente con le specifiche.

Sono stati garantiti la fattibilità della struttura e l'orientamento delle direzioni di spinta ma a parziale discapito dei requisiti di posizione.

In particolare non è stato possibile garantire per tutti i propulsori la posizione del centro della fessura dell'emettitore nonostante un margine di ± 20 mm sulla sua coordinata nominale; in Tabella 4.9 sono riportati i valori nominali e reali, nonché la loro differenza, della posizione del centro della fessura.

	Thruster Assembly	X EPESA [mm]	Y EPESA [mm]	Z EPESA [mm]
<i>Final Configuration</i>	A	140	75	160
	B	151	140	35
	C	132	10	47.5
<i>Nominal Configuration</i>	A	160	55	160
	B	170	160	75
	C	152	0	49
<i>Differences*</i>	A	20	20	0
	B	19	20	40
	C	20	10	1.5

Tabella 4.9- Coordinate del centro della slitta

Risulta che il propulsore "B" non rientra nei margini di specifica.

Nella figura seguente vengono mostrate le posizioni finali dei tre propulsori.

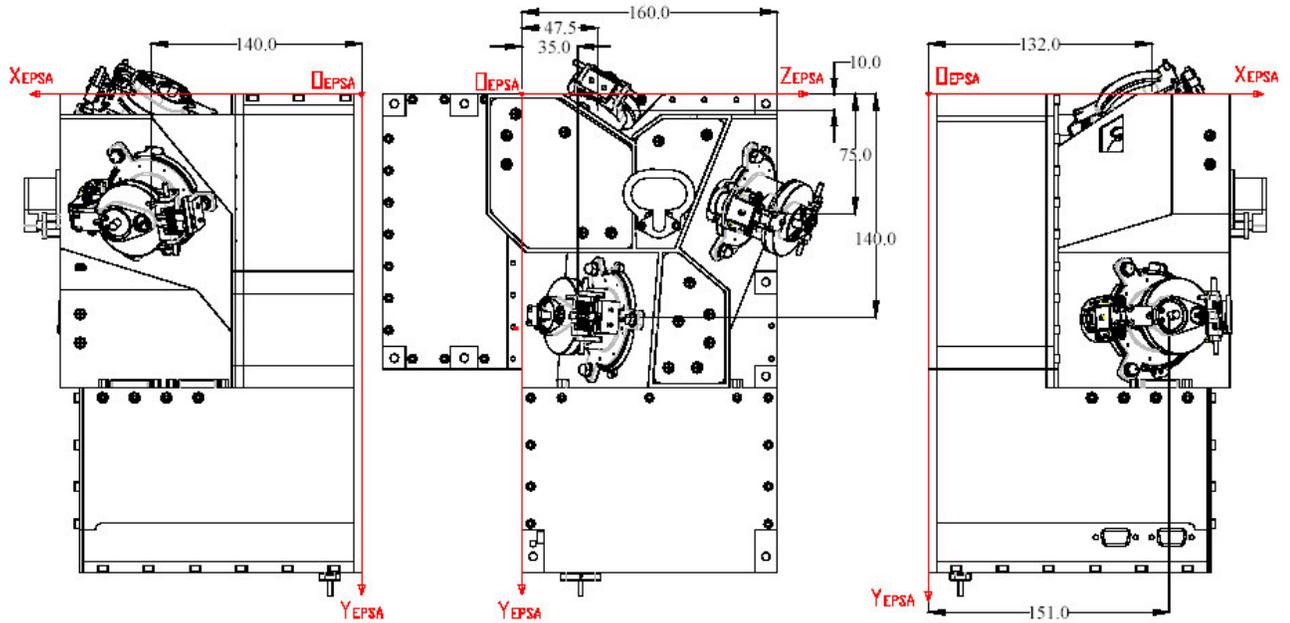


Figura 4.19– Posizioni finali del centro della fessura

Va' inoltre osservato che la posizione del modulo "B" è in ogni caso estremamente critica sia riguardo il montaggio del sistema di chiusura sia soprattutto per il fatto che non è possibile evitare l'interferenza tra il fascio ionico e il corpo del propulsore "C" come indicativamente illustrato in Figura 4.20.

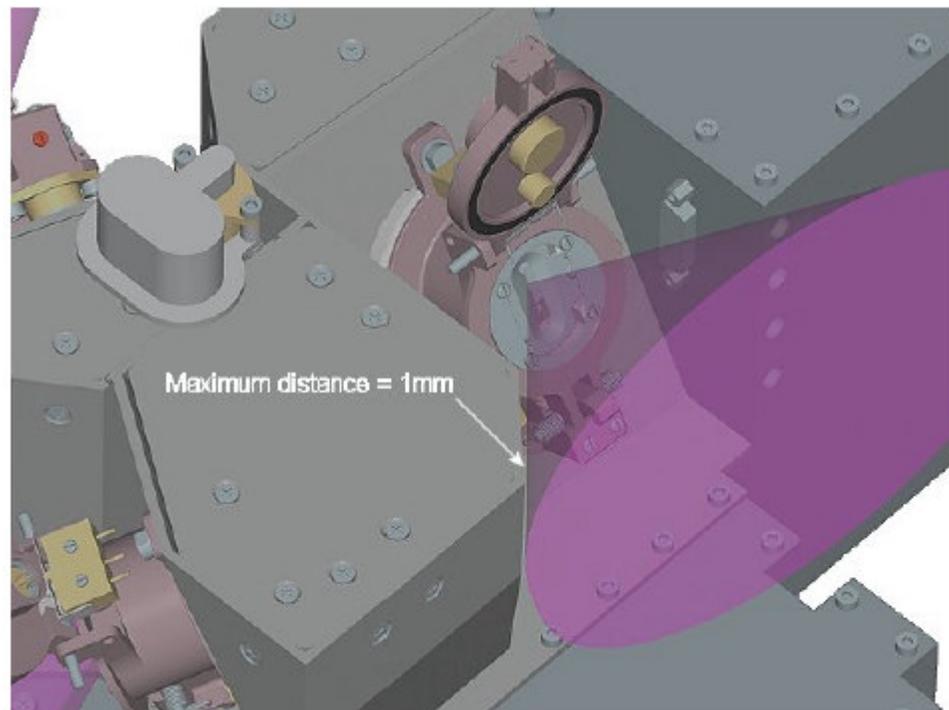


Figura 4.20– Distanza tra il fascio ionico e la struttura di supporto dei TA

Il problema potrebbe essere risolto solo spostando di almeno altri 20 mm il propulsore "B"; la figura seguente mostra il confronto tra queste due soluzioni.

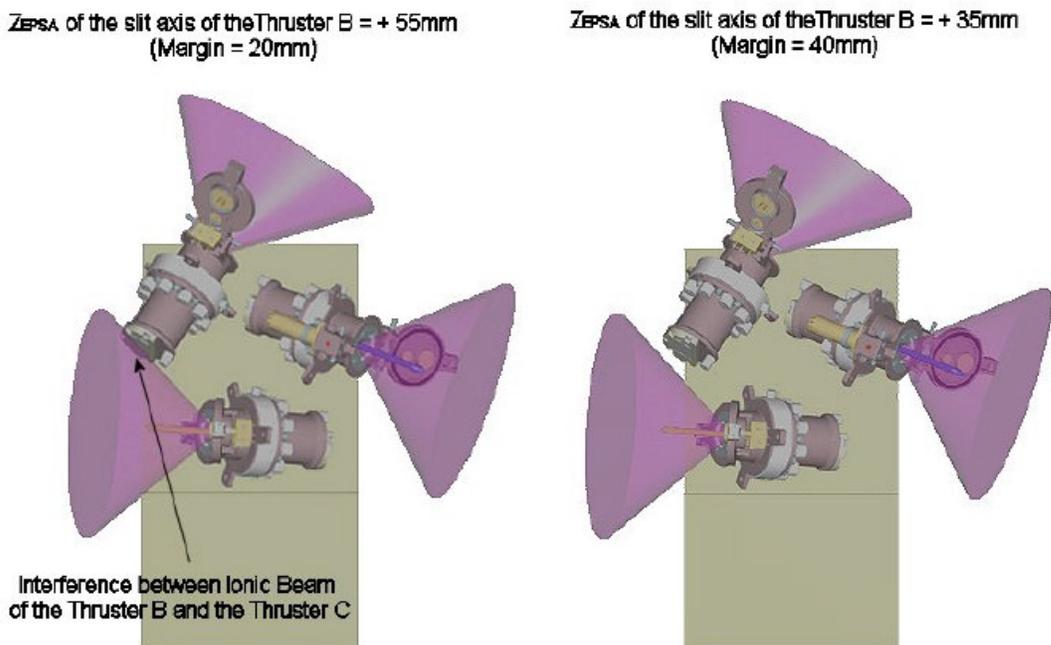


Figura 4.21– Alternativa alla coordinata Z_{EPSA} del centro della fessura del propulsore "B" al fine di evitare interferenza

I serbatoi dei propulsori raggiungono durante il funzionamento la tensione degli emettitori; è quindi necessario provvedere al corretto isolamento elettrico della parti in tensione per garantire il funzionamento dell'EPSA.

IL progetto della struttura è stato fortemente condizionato dalla necessità di isolamento elettrico.

Per queste ragioni i serbatoi sono completamente circondati da pareti metalliche che fungono da gabbia di Faraday; le schede della PPCU sono schermate dalla piastra "Top cover + 1X" (Figura 4.17) della struttura di supporto della PPCU mentre uno schermo metallico interno alla struttura dei TA separa i serbatoi.

Altri criteri di progetto seguiti per garantire l'isolamento elettrico sono:

- È stata mantenuta una distanza minima di 10 mm tra i serbatoi e le altre superfici metalliche;
- Le superfici a distanza inferiore di 10 mm sono state ricoperte con una pellicola isolante di Kapton dello spessore di 0.125 mm, in ogni caso la distanza minima è maggiore di 4.5 mm⁵;
- Tutti gli spigoli "visibili" nella struttura sono stati arrotondati.

⁵ La resistenza dielettrica del Kapton vale 154kV/mm.

Dopo il montaggio dei TA e del neutralizzatore tutte le aperture per il passaggio degli attrezzi vengono chiuse con fogli di alluminio sempre al fine di garantire l'isolamento elettrico.

Il passaggio dei cavi all'esterno della struttura, fino ai connettori della PPCU, è garantito dalle asole ricavate nelle piastre di supporto dei TA; mentre all'interno opportune fasce elastiche, li assicurano alle pareti impedendone il moto libero.

Le strutture delle PPCU e dei TA sono collegate tra loro dallo stesso percorso di viti che collega le pareti laterali della struttura della PPCU con 12 viti M3 AISI304; come riferimenti per l'allineamento sono usati i lati $+Z_{EPSA}$ e $-Y_{EPSA}$ e sono utilizzate attrezzature apposite.

Il lato $-X_{EPSA}$ costituisce l'interfaccia col satellite e due spine di riferimento permettono il corretto piazzamento e allineamento.

L'EPSA viene fissato al satellite con nove viti in acciaio inossidabile M5 DIN 912; i fori quotati della base sono mostrati nei disegni d'appendice.

La struttura di supporto dei TA alloggia il neutralizzatore come mostrato Figura 4.22.

Un singolo neutralizzatore soddisfa le esigenze dei tre TA; in questo modo è possibile ottimizzare i consumi elettrici.

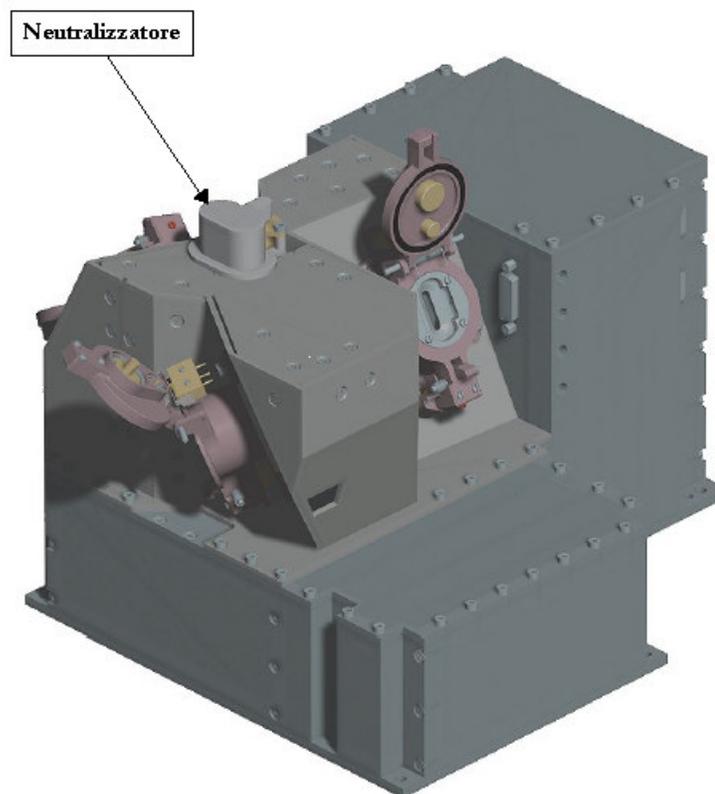


Figura 4.22– Posizione del neutralizzatore

4.10 Conclusioni sulla configurazione 3TC

La configurazione 3TC non rispetta né i limiti di peso né gli ingombri previsti dalle specifiche; anche in questo caso la PPCU e la sua struttura saranno soggette nella prossima fase del progetto Microscope a sensibili riduzioni dei pesi ma a differenza della 2TC sembrano più critici i vincoli imposti dall'orientamento dei TA.

Inoltre, in questo caso, non è stato possibile garantire per tutti i propulsori la posizione del centro della fessura dell'emettitore.

Solo una diversa orientazione delle direzioni di spinta degli emettitori potrà contribuire a sfruttare al meglio gli spazi disponibili e a ridurre anche il peso della struttura di supporto dei TA.

4.11 Dati riassuntivi della configurazione 3TC

Nelle seguenti tabelle sono riassunti i dati delle dimensioni e dei pesi dell'EPSA e dei suoi principali componenti.

Sono stati applicati margini di contingenza in funzione dello stato di sviluppo dei componenti, in accordo con quanto previsto dalle specifiche.

Per la migliore compressione dei dati, sia i valori calcolati che i relativi margini di contingenza sono riportati nelle tabelle.

4.11.1 Dimensioni dell'EPSA

TA 3TC ENVELOPE	ΔX_{TA} [mm]	ΔY_{TA} [mm]	ΔZ_{TA} [mm]
Lid Closed	92	78	115
Lid Opened	135	78	168
Dynamic Envelope	135	78	138

Note: I valori riportati sono stati il risultato di analisi CAD e sono arrotondati alla prima cifra decimale.
Tutte le dimensioni fanno riferimento al sistema di riferimento dell'EPSA.

Tabella 4.10 - Dimensioni dell'EPSA

4.11.2 Bilancio di massa del Thruster Assembly

TA 3TC Mass Breakdown						
Assembly	Unit	Calculated Unit Mass (g)	No. of units	3TC		Total Mass (g) (3)
				Calculated Mass (g)	Contingency Margin (%)	
Thruster Assembly	Thruster Unit	77,3	1	77,3	5,0%	81,2
	Container Insulator Assembly	73,2	1	73,2	5,0%	76,9
	Container Assembly (1)	179,9	1	179,9	5,0%	188,9
	Paraffin Actuator	35	1	35,0	0,0%	35,0
	Pressure Sensor	15	1	15,0	5,0%	15,8
	Propellant Reservoir	95,1	1	95,1	5,0%	99,9
	Screws, washers, other components	50	---	50,0	2,0%	51,0
<i>Total Dry Mass</i>				525,5	4,4%	548,5 g

Tabella 4.11 - Bilancio di massa del Thruster Assembly

Note: I valori riportati sono stati il risultato di analisi CAD e sono arrotondati alla prima cifra decimale.

(1) Escluse le masse dell'attuatore a paraffina e del sensore di pressione.

(2) Valori arrotondati.

4.11.3 Bilancio di massa della PPCU

PPCU 3TC - Assembly Preliminary Mass Budget					
Unit	Calculated Unit Mass (g)	No. of units	Calculated Mass (g)	Contingency Margin (%)	Total Mass (g) (3)
DPIA	250,0	2	500,0	5,0%	525
PPIA	600,0	1	600,0	5,0%	630
Motherboard	250,0	1	250,0	5,0%	263
HVE (part of TSA)	358,0	3	1074,0	5,0%	1128
HVA (part of TSA)	365,0	3	1095,0	5,0%	1150
PPCU Electr. Boards (including harness)			3519,0 g	Tot.	3695 g
PPCU Support Structure	2798	1	2798,0	3,1% (2)	2884
TSA Support Structure (1)	26,6	6	159,6	5,0%	168
PPCU Structure (including bolt,screw,washer)			2957,6 g	Tot.	3052 g
TOTAL PPCU Estimated Mass			6477 g	Tot.	6746 g

Note: (1) Compresi i blocchi delle schede.

(2) Valori medi.

(3) Valori arrotondati.

Tabella 4.12 - Bilancio di massa della PPCU

4.11.4 Bilancio di massa dell'EPSA

EPSA 3TC - Preliminary Mass Budget						
Assembly	Unit	Calculated Unit Mass (g)	No. of units	Calculated Mass (g)	Contingency Margin (%)	Total Mass (g) (5)
Thruster Assembly		525,5	3	1576,5	4,4% (4)	1646
PPCU Electronics Boards	PPIA,DPIA,TSA, M/B, Harness			3519,0	5,0% (4)	3695
Support Structure	TA Support Structure (1)	924,3	1	924,3	10,0%	1017
	PPCU Structure			2957,6	3,2% (4)	3052
Neutralizer Assembly		100,0	1	100,0	20,0%	120
Harness	TA Harness	96,8	3	290,4	20,0%	348
Total Dry Mass (3)				9368 g	5,4% (4)	9877 g

Note: I valori riportati sono stati il risultato di analisi CAD e sono arrotondati alla prima cifra decimale.

Sono stati applicati margini di sicurezza in relazione allo stato di sviluppo del componente.

(1) Compresi le viti della PPCU e dei TA.

(2) La massa di propellente necessaria alla missione è 3x75g (vedi specifiche).

(3) Escluse viti d'interfaccia col satellite.

(4) Valori medi.

(5) Arrotondati al primo decimale.

Tabella 4.13 - Bilancio di massa dell'EPSA

4.11.5 Involuppo dell'EPSA

La figura seguente mostra gli ingombri complessivi dell'EPSA 3TC; ulteriori dettagli sono riportati nelle appendici.

Tutte le dimensioni sono il risultato delle analisi CAD della configurazione, sono in mm e sono arrotondate alla prima cifra decimale.

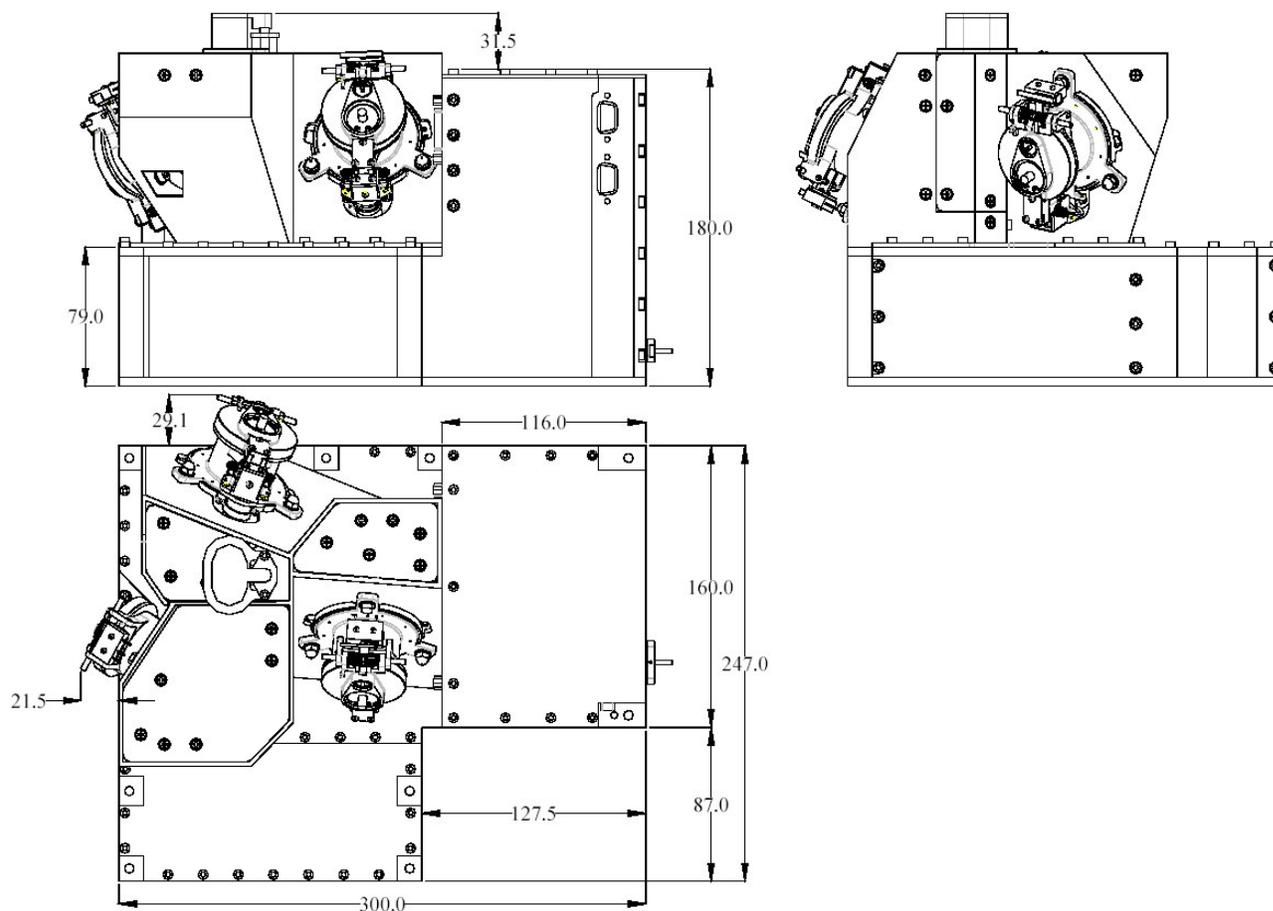


Figura 4.23- Dimensioni dell'EPSA 3TC

4.12 Bibliografia

- [1] Robert C. Juvinall; *Fundamental of Machine Component Design*, John Wiley & Sons Inc., 1983.
- [2] Niemann, Winter; *Elementi di macchine*, Edizioni scienza e tecnica, Milano, 1983.
- [3] ALTA S.R.L., "Development of integrated FEED Cluster System- Cluster Design Report", Fin. Rep., ESA Co. No. 15.231/01/NL/PA.
- [4] ALTA S.R.L., "Development of integrated FEED Cluster System- Cluster Thermal Analysis Report", Fin. Rep., ESA Co. No. 15.231/01/NL/PA.
- [5] M. Spurio, *Progetto di un modulo multipropulsore FEED*, Tesi di Laurea, Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università di Pisa, 2002.
- [6] F. Rugo, *Sistema di alimentazione del propellente e modulo FEED per la prova in volo*, Tesi di Laurea, Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Università di Pisa, 1998.