

Il ruolo della MMI verso l'acquisizione di un accesso nazionale indipendente allo spazio, e le collegate opportunità strategiche

Scopo e premessa

Sono poche le Nazioni al Mondo che hanno una capacità indipendente di accesso allo spazio orbitale; fra esse annoveriamo: USA, Russia, Cina, India, Israele, Francia, Giappone e Corea del Nord. Tale stato di cose è provocato essenzialmente dalla complessità tecnica e dalle dimensioni economiche necessarie allo sviluppo dei veicoli di lancio. Fattore politico ulteriore è la volontà dei paesi a maggiore livello di sviluppo politico, tecnico, economico e militare di non favorire il proliferare di capacità di accesso allo spazio in quanto questo avrebbe provocato un aumento delle capacità di offesa militare da parte di Paesi di non facile controllo internazionale. Si tratta, infatti, di capacità e tecnologie fortemente correlate con quelle di rilascio di ordigni nucleari, e non, a grandi distanze ed in tempi molto rapidi; inoltre, le similarità tecnologiche menzionate sussistono anche per quanto concerne i sistemi di difesa da siffatte minacce.

La capacità di accesso orbitale pertanto costituisce un asset estremamente importante in ambito politico, strategico e militare e tale da risultare indispensabile per poter ricoprire ruoli di primo livello sulla scena mondiale; a tal riguardo si noti, in Fig. 1, un recente lancio da piattaforma navale eseguito dalla Cina.



Fig.1 Lancio da Piattaforma navale eseguito dalla Cina (Decollo del lanciatore Lunga Marcia 11 da piattaforma nel Mar Giallo, il 5 giugno del 2019. Da: China Academy of Launch Vehicle Technology (CALT).

L'accesso allo spazio orbitale può anche risultare importante da un punto di vista economico, sia considerando direttamente il business legato al servizio di trasporto in orbita di carichi paganti commerciali, sia mediante le ricadute tecnologiche derivate dalla capacità di eseguire sperimentazione in condizioni orbitali e di rientro in atmosfera.

Va anche considerata la capacità, di evidente interesse governativo e militare, di accedere allo Spazio tramite missioni ad hoc con tempi di attivazione dalla decisione brevissimi, dell'ordine della settimana; si parla di missioni spaziali ad implementazione rapida od anche di *Operational Responsive Space*.

L'Italia oggi non dispone di una capacità di accesso indipendente allo spazio, e la Marina Militare potrebbe fornire un contributo fondamentale alla sua acquisizione. Questo articolo ha lo scopo di descrivere le caratteristiche principali di tale contributo, inserendolo nell'appropriato contesto di riferimento che caratterizza il nostro Paese. Esso può essere descritto in base a questioni di natura geografica, economica e di mercato nonché in funzione del livello di ambizione nazionale e degli approcci tecnologici utilizzati. Analizzeremo tali aspetti in sequenza.

La Geografia

La traiettoria di ascesa di un veicolo di lancio verso l'orbita è caratterizzata dal progredire, sulla superficie terrestre, del cosiddetto "punto di caduta" in caso di anomalia della propulsione di bordo. Il punto di caduta che, all'istante iniziale coincide con il sito di lancio, si sposta sempre più velocemente sulla superficie mentre la velocità orizzontale del veicolo aumenta sempre più velocemente sino a raggiungere il valore necessario per consentire il mantenimento della stabile altitudine orbitale (circa 7-8 Km/s). Questo comporta che, in caso di incidente (o di normale separazione degli stadi), i frammenti del veicolo potrebbero cadere lungo un tratto molto lungo della traccia a terra della traiettoria di salita verso l'orbita; la lunghezza di tale tratto è dell'ordine di migliaia di chilometri. Conseguenza di ciò è che l'area del mediterraneo è praticamente inutilizzabile per installare poligoni di lancio perché in qualsiasi "direzione" di pensi di decollare (verso nord, o est o anche ovest o sud) l'area di caduta coinvolgerebbe aree ad elevata densità di popolazione con conseguenti probabilità di perdita di vite umane eccedenti i limiti definiti dalle linee guida internazionali. La figura 2 mostra ad esempio una ipotesi di lancio effettuata dalla zona di oceano atlantico di fronte alla costa del Marocco; da essa si vede come sia percorrendo traiettorie verso est (miranti a orbite equatoriali) sia percorrendo traiettorie verso nord (miranti ad orbite polari o sun-sincrone), si riesce a sorvolare esclusivamente aree a bassa densità di popolazione. Le orbite citate sono di particolare rilievo in quanto di notevole pregio applicativo, ma il tema di fondo delle zone di sorvolo rimane valido per ogni possibile orbita si desideri raggiungere.

Ne consegue che l'Italia, per poter eseguire lanci orbitali in modo indipendente e tale da consentire un adeguato e completo sfruttamento delle potenzialità loro correlate, ha la necessità di utilizzare piattaforme mobili (aerei o navi) in grado di accedere a zone di lancio in possesso delle caratteristiche di sicurezza citate per le popolazioni sorvolate. Di fatto, l'Italia si serve di infrastrutture di lancio localizzate all'estero, con margini di autonomia modesti.

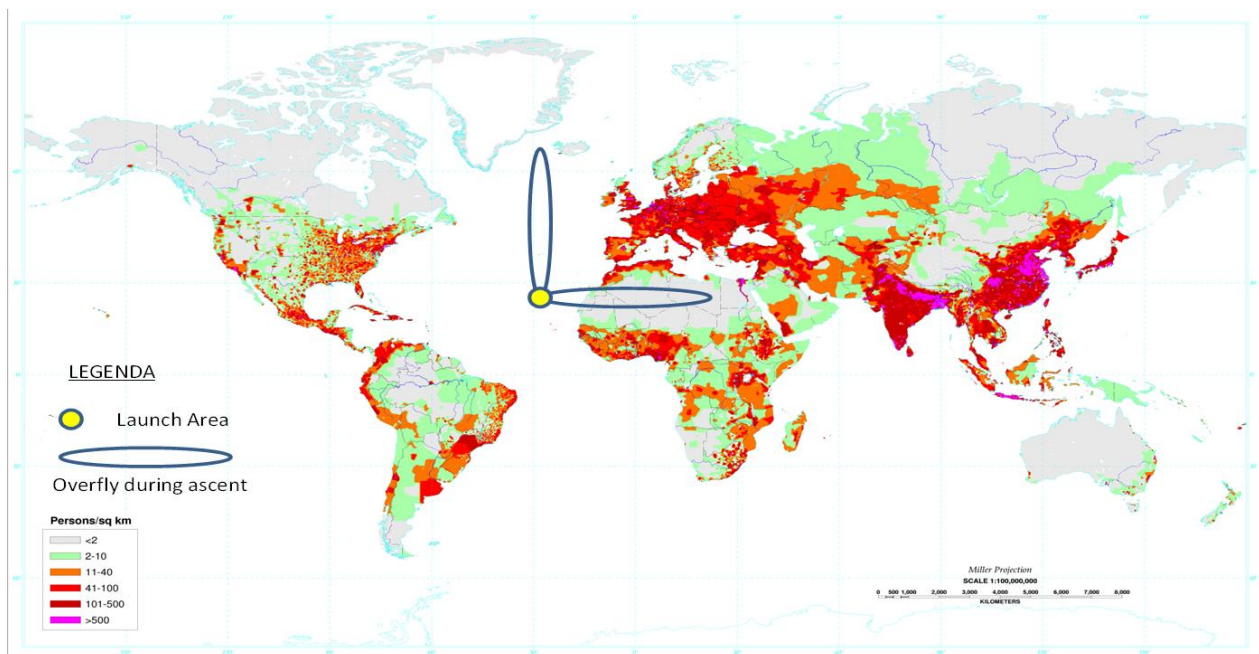


Fig. 2: ipotesi area di lancio Marocco (area senza problemi di safety in traiettoria di accesso orbitale sia per basse che per alte inclinazioni orbitali)

Aspetti economici e di mercato

Negli ultimi anni si è assistito ad un enorme sviluppo per missioni utilizzando carichi utili (satelliti) di sempre minori dimensioni, peso, ed anche costo unitario. Si parla, seppure in assenza di tassonomie formali, di nano (massa di circa 1 kg), micro (massa dell'ordine dei 10 kg) e mini satelliti (massa dell'ordine dei 100 kg e sotto i 500 kg); un satellite sopra i 1000 kg può essere considerato grande. Questo enorme numero di piccoli satelliti di proprietà di un comparabilmente grande numero di "proprietari" - nel 2019 è dell'ordine di numerose centinaia, lanciati spesso insieme a satelliti grandi secondo la cosiddetta tecnica di

piggybacking - fa nascere una forte domanda di “micro-lanciatori”; infatti i proprietari vogliono evitare di utilizzare lanciatori più grandi in quanto dovrebbero in tale caso “sottostare” alle preminenti esigenze derivanti dai “Clienti principali” costituenti il grande carico utile del medio grande lanciatore. È difficile sviluppare previsioni ad elevata accuratezza su fenomeni di mercato nelle condizioni di elevata espansione oggi rilevate, anche considerato che esiste una quota di capacità assorbita da un mercato governativo “occulto” difficile da stimare sia per sua natura che per la predetta tecnica di *piggybacking*. Purtroppo la disponibilità di un micro-lanciatore (dedicato a Carichi Utili al di sotto dei 200-300Kg) potrebbe consentire lo sviluppo di una attività commerciale di potenziale interesse. Questo ovviamente a due condizioni: sviluppare un sistema con un costo ricorrente di lancio molto basso (ordine di poche decine di K€/Kg di *payload*), e poter essere disponibile sul mercato in breve tempo (entro 3-6 anni).

Livello di ambizione nazionale e possibili approcci tecnologici utilizzabili

L’esperienza nazionale effettuata mediante la partecipazione al programma europeo Vega (al 60% finanziato dall’Italia) ha permesso di creare tutte le competenze chiave necessarie allo sviluppo di un veicolo orbitale. Rimane solo da acquisire la tecnologia di utilizzo di una piattaforma mobile per il suo lancio, acquisizione di non elevata criticità ed acquisibile in un tempo abbastanza breve (2-3 anni).

Già a partire dal 2015 nell’ambito della Difesa Italiana, si è posta la domanda di quali potevano essere le caratteristiche dei satelliti / missioni di particolare interesse per la Difesa Italiana; ciò con specifico riferimento al settore dei piccoli satelliti, in quanto settori tradizionali come i grandi SATCOM ed i satelliti SAR per l’Osservazione della Terra (CSK/CSG) sono da considerare consolidati. Un Gruppo di Lavoro costituito, oltre che dalla Difesa, da numerose organizzazioni Accademiche ed Industriali ha prodotto un risultato formalizzato nel Quaderno del CESMA intitolato: “Missioni con piccoli satelliti ad alta tecnologia”. Il risultato comprende l’analisi di 32 missioni in gran parte utilizzanti satelliti tra gli 80 e i 150Kg.

Viene, inoltre, considerata con interesse la capacità, di evidente interesse governativo e militare, di accedere allo Spazio tramite missioni ad hoc con tempi di attivazione dalla decisione brevissimi, dell’ordine della settimana; le già menzionate missioni spaziali ad implementazione rapida od anche di tipo *Operational Responsive Space*.

È quindi evidente che esiste un ampio *background* per considerare con interesse, a livello politico, governativo e militare, la definizione di un’esigenza operativa per un accesso allo Spazio da parte italiana sempre più autonomo.

Va tuttavia notato che non è ancora stato formalmente definito dalla Difesa un requisito operativo, e quindi nemmeno un’esigenza operativa, che abbia per obiettivo esplicito l’accesso allo Spazio, specie se in forma maggiormente autonoma rispetto a quanto oggi effettuato.

È altresì vero che il tema è stato recepito dal Comitato Interministeriale Spazio previsto dalla L. 7/2018; la questione, quindi, è all’attenzione delle più alte Autorità del settore. Gli scriventi ritengono che l’Italia possa esprimere una capacità di accesso allo Spazio con margini di autonomia molto maggiori degli attuali, tralasciando una piena indipendenza, almeno per i piccoli satelliti di peso inferiore a 500 kg.

L’acquisizione di una tale capacità è stata studiata, nell’ambito dello SMM ed in seguito nel contesto del Comitato Tecnico dell’Accordo Quadro Difesa-MIT, effettuando l’analisi preliminare dei seguenti principali approcci:

- lancio da piattaforma aerea costituita da velivolo Fighter (Typhoon ed Eurofighter);
- lancio da piattaforma aerea costituita da velivolo cargo (baseline C130J o A400K);
- lancio da piattaforma navale con baseline Nave Garibaldi

In aggiunta ad essi, sono da valutare anche le seguenti ipotesi:

- utilizzo di una piattaforma marittima disabitata, derivata da quelle per attività petrolifere e minerarie di prospezione e sfruttamento, analoga a quella sviluppata per il programma Sea Launch; tale esperienza è economicamente fallita, anche perché priva di specifico supporto governativo in quanto iniziativa totalmente privata, e richiederebbe una acquisizione di porzioni di mercato enormi al fine di sostenere gli elevati costi non ricorrenti; merita comunque ulteriori approfondimenti;
- utilizzo, dopo ricondizionamento ed adeguamento, del Broglio Space Center (BSC) localizzato a Malindi (Kenya); si tratta del Centro che ospitò il Progetto San Marco, che portò l’Italia, seppure con impiego di tecnologia USA, ad essere il terzo paese del mondo a mettere in orbita un proprio

satellite. Tale opzione però sarebbe davvero interessante solo nel caso si potesse considerare il BSC come sotto completo e stabile controllo da parte dell'Italia; oggi il relativo trattato Italia – Kenya non consente tale tipo di controllo.

Vale la pena di menzionare che l'avvio dei citati studi preliminari da parte di SMM avvenne, in occasione di un incontro preparatorio alla stipula dell'Accordo Esecutivo fra la MMI e l'ASI, su input congiunto ancorché informale del Capo di Stato Maggiore della Marina p.t., A.S. Valter Girardelli, e del Presidente ASI p.t., Prof. Roberto Battiston; le due autorità discussero infatti del contributo poteva che venire dal mondo navale al lancio di piccoli satelliti.

Nel seguito, sulla base di quanto sinora esposto, viene approfondito il tema del lancio da piattaforma navale, con baseline Nave Garibaldi. Ciò in quanto l'Unità, che dovrà nel prossimo futuro abbandonare il servizio come Unità Anfibia della Squadra Navale, si presta a tale tipo di impiego per via delle sue caratteristiche generali fra cui spiccano le ottime condizioni della piattaforma e gli ampi spazi disponibili.

Il sistema di lancio da piattaforma navale baseline Nave Garibaldi: una descrizione in vista delle missioni possibili e delle correlate sfide tecnologiche

Descrizione del sistema

Il sistema di accesso orbitale basato su piattaforma navale con baseline Nave Garibaldi è costituito dai seguenti principali elementi, suddivisi in una componente navale ed in una terrestre; entrambe saranno, secondo logica, integrate in un'architettura di C4, qui non descritta, che sarà fornita dalla MMI e che deve garantire, oltre al normale supporto tipico di una operazione navale, il controllo del lanciatore, in condizioni di volo, con le stazioni riceventi la telemetria del veicolo per il suo monitoraggio sino a completamento della missione. La componente navale può considerarsi a sua volta suddivisa in:

Unità Navale baseline Nave Garibaldi: costituisce la piattaforma mobile di trasporto e di lancio; potrebbe dover operare insieme ad una ulteriore Unità di supporto la cui effettiva necessità è in corso di valutazione. Si prevede che sia sempre con equipaggio e operatori del servizio di lancio a bordo, anche se tale personale dovrà sempre essere limitato al minimo necessario per svolgere le attività previste in pianificazione. Il personale non indispensabile, se necessario, sarà trasferito sulla predetta nave appoggio di cui si fa ulteriore cenno successivamente. Tali cautele derivano dal fatto che la nave immagazzina una notevole quantità di prodotti e assiemi a carattere esplosivo e che costituiscono un potenziale pericolo anche durante tutta la fase di trasferimento verso la zona di lancio. Al fine di ridurre al minimo i tempi necessari a completare il servizio di trasporto del Carico Utile verso l'orbita finale, è previsto che il tempo necessario alla piattaforma navale per raggiungere la zona di lancio sia utilizzato al suo interno per eseguire le attività di integrazione finale e controllo dei principali sotto-assiemi del lanciatore come anche la sua completa integrazione finale e controllo.

Assieme Lanciatore: è il veicolo che ha in carico il trasferimento del Carico Utile dalla Nave sino all'orbita finale. Esso include il Carico Utile. Le dimensioni e le caratteristiche della Nave Garibaldi rendono possibile l'utilizzo di Veicoli anche di dimensioni e pesi rilevanti; . Per ragioni basate sulle prevedibili esigenze di mercato ed in quanto interessanti in termini applicativi le seguenti due tipologie di lanciatore sono state analizzate nella fase di analisi tecnica di fattibilità del servizio di accesso allo spazio:

- micro-lanciatore della classe 17t, 1.6m di diametro e circa 13m di lunghezza (progettato per poter essere compatibile per un lancio utilizzante come piattaforma di lancio (anche) un velivolo cargo C130J o A400M
- mini lanciatore della classe 60t, 2.4m di diametro massimo e circa 19m di lunghezza (progettato per essere facilmente prodotto, provato e trasportato in conformità con la normativa applicabile e le caratteristiche degli impianti di produzione esistenti.

Sono entrambi lanciatori a 4 stadi e basati sull'utilizzo di propulsione a solido per gli stadi bassi, e con impiego di propulsione a liquido (green) immagazzinabile a temperatura ambiente, sull'ultimo stadio.

Assieme struttura di estrazione e allontanamento: è l'impianto pneumatico che consente di allontanare il Lanciatore dalla nave prima di procedere con il suo armamento ed accensione del motore di primo stadio. Questo approccio è dettato dalla necessità di poter mantenere il lanciatore sempre in condizioni disarmate (Safe) quando esso è ospitato sulla piattaforma navale. L'allontanamento pneumatico del lanciatore è

dimensionato in modo da scongiurare qualsiasi rischio di perdita di vite umane in caso di detonazione del propellente al momento del transitorio di accensione del motore di primo stadio (condizione incidentale più onerosa tra quelle immaginabili). In Fig.3 è mostrato un lancio realizzato mediante estrattore pneumatico sviluppato dalla Russia per impiego in lancio da rampa mobile su terra (sistema TOPOL M), che si valuta navalizzabile.

Nave di appoggio / supporto: l'effettiva necessità dell'impiego di tale ulteriore unità è ancora in corso di valutazione. Essa, in linea di principio, costituisce:

- elemento di back-up della Nave di trasporto e lancio, per le attività di comunicazione, controllo volo e gestione delle responsabilità degli aspetti di sicurezza e del comando di autodistruzione;
- elemento principale per intervento sulla Nave di trasporto e lancio in caso di incidente. È sede del personale non strettamente necessario per l'esecuzione delle operazioni sulla Nave di trasporto e Lancio e consente il trasferimento di detto personale tra le due unità navali.



Fig 3: lancio realizzato mediante estrattore pneumatico sviluppato dalla Russia per impiego in lancio da rampa mobile su terra (sistema TOPOL M); fonte you tube

La componente terrestre consiste in una base con funzioni di supporto, da realizzare in un sedime della MMI o nel contesto di cooperazioni inter-dicastero e inter-agenzie. Essa, denominata **Base terrestre di supporto** e nel seguito base, è la sede in cui si svolgono le attività di supporto del servizio di accesso allo spazio (vedi Fig.4) ed è bene che risulti contigua alla base di assegnazione della piattaforma navale di trasporto e lancio. La base possiede, in forma autonoma o grazie alle menzionate forme di collaborazione, le capacità di gestione degli aspetti di sorveglianza, security e di intervento in condizioni di emergenza. Ospita la funzione di immagazzinamento dei materiali e assiami del lanciatore, degli equipaggiamenti standard dei Carichi Utili necessari per lo sviluppo delle missioni ad implementazione rapida e delle attrezzature di supporto meccaniche ed elettriche. Ospita altresì aree dedicate alla integrazione e prova finale degli assiami da inviare alla zona di lancio, ed anche alla loro preparazione al trasbordo sulla piattaforma navale. Nella base hanno sede i servizi principali di supporto al sistema di lancio: ingegneria, qualità, logistica, comunicazione, gestione operativa e management di programma. Sono installati nella Base operativa anche il modello elettrico del sistema di lancio, i Ground Support Equipment (GSE) necessari ad eseguire le prove sugli assiami da inviare alla zona di lancio e le attrezzature costituenti l'ambiente di sviluppo e prova del software di volo. La base possiede le capacità di gestione degli aspetti di sorveglianza, security e di intervento in condizioni di emergenza. Di particolare rilievo sono i seguenti GSE:

Mechanical Ground Support Equipment MGSE (e fluidici): è la categoria di elementi meccanici adibiti a permettere le operazioni di trasporto, maneggio e integrazione sia al livello di assieme che di lanciatore completo. Nella categoria si includono anche i cosiddetti Fluid Ground Support Equipment (FGSE) che hanno lo scopo di permettere tutte le operazioni di caricamento / scaricamento / pressurizzazione dei fluidi e propellenti del veicolo di lancio come anche del Carico Utile;

Electrical Ground Support Equipment EGSE: è la categoria di elementi elettro meccanici e software adibiti a permettere le operazioni di integrazione elettrica e di controllo sia al livello di assieme, che di lanciatore completo. Un particolare EGSE è costituito dal modello elettrico del Lanciatore fondamentale per lo sviluppo delle procedure di prova dello stesso e per eseguire operazioni di trouble shooting in caso di anomalie.

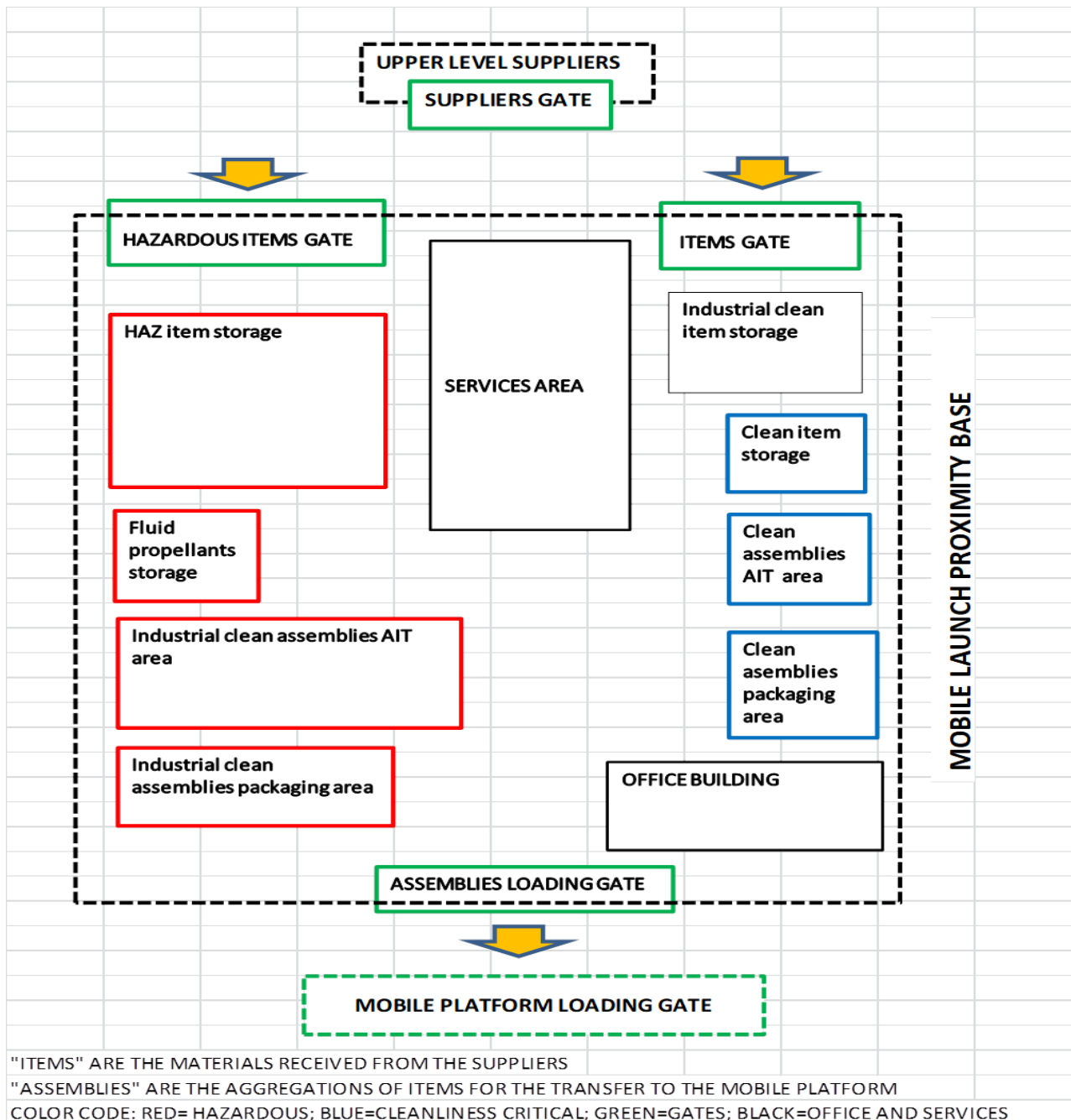


Fig.4 Base terrestre di supporto / Schema a blocchi architettura

Descrizione della missione commerciale e di quella in ambito “missione ad implementazione rapida”

Il sistema di accesso allo spazio basato su piattaforma nave Garibaldi costituisce operazione di immissione in orbita da parte della Nazione Italiana (essendo Nave Garibaldi considerata suolo nazionale). Esso può operare in due diversi principali contesti di programma e contrattuali; in particolare:

Programma Commerciale: relazione di tipo tradizionale in ambito commerciale in cui il rapporto con il Cliente prevede il rilascio del suo (suoi) Carichi Utili nell'Orbita finale richiesta entro un termine di tempo concordato; solitamente dell'ordine di 4-10 mesi. In questo scenario è il Cliente che consegna il Carico Utile alla base Operativa del Servizio. La base Operativa provvede ad organizzare la necessaria campagna di trasporto al sito idoneo e ad effettuare il lancio sino a completamento della relativa missione che si conclude (lato Cliente) con la manovra di allontanamento e di anticollisione tra l'ultimo stadio del lanciatore ed il carico utile. Opportuno notare che a fronte delle dimensioni e delle capacità di immagazzinamento di Nave Garibaldi, una singola campagna effettuata dalla Piattaforma navale può prevedere il lancio di più di un veicolo;

Programma di missione spaziale ad implementazione rapida: è una tipologia di missione che coinvolge, generalmente, un solo Cliente intenzionato a poter collocare nell'orbita desiderata un suo Carico Utile o, più probabilmente, un Carico Utile assiemabile mediante equipaggiamenti standard disponibili a terra e/o a bordo e già immagazzinati nella Base Operativa e/o a bordo, entro un termine temporale estremamente breve (una settimana); si tratta della tipica missione di reazione ad eventi di crisi non prevedibili sia in termini di insorgenza temporale che di localizzazione geografica, della quale appare ovvia la tipologia governativa. I tempi brevi derivano dalla possibilità di poter svolgere molte delle attività necessarie alla preparazione al lancio a bordo dell'Unità; inoltre, per quanto già detto, i carichi utili ed i veicoli di lancio coinvolti possono essere più di uno.

Le caratteristiche della Base Operativa e della Piattaforma Nave Garibaldi permettono di implementare meccanismi di garanzia degli aspetti di security e safety di elevato livello, In entrambi i contesti contrattuali di cui sopra.

La gestione degli aspetti legati alla sicurezza del personale di bordo

L'aspetto più critico del sistema di accesso allo spazio utilizzando una piattaforma navale con equipaggio come Nave Garibaldi è costituito dalla modalità con la quale è possibile escludere rischi catastrofici (i.e. perdita della vita) per il personale a bordo durante tutte le fasi costituenti la missione.

Tra queste, la fase più critica e particolare è quella dell'accensione del motore a solido del primo stadio. La criticità discende dal fatto che, in un lancio tradizionale da poligono terrestre, il comando di accensione del primo stadio avviene alla rampa di lancio che risulta totalmente evacuata da tutto il personale. Anche nel caso (estremamente improbabile) di deflagrazione o detonazione del propellente, questo non provocherebbe danni alle persone confinate in bunker ad elevata distanza.

La criticità individuata è in fase di analisi mediante un piano agente su più direttrici (vedi Fig.5): linea propellentistica, linea di analisi di resistenza della piattaforma navale e linea di analisi del sistema di estrazione.

La linea propellentistica ricerca se esistono opzioni di modifica del propellente, dello stesso tipo impiegato in Vega, e della sua configurazione che possano portare ad escludere fenomeni di detonazione degli stadi, specie il primo, del lanciatore; essa pare evidenziare che:

- non è possibile escludere, in modo assoluto, la possibilità di innesco di fenomeni di detonazione del propellente tipo Vega che si intende utilizzare;
- il carico meccanico e termico derivante dall'evento di detonazione è stato definito con sufficiente precisione;
- una modifica del propellente al fine di rendere impossibile la detonazione va comunque a degradare in modo importante le caratteristiche di prestazione del propellente stesso.

La linea di analisi di resistenza della piattaforma navale ricerca il valore minimo di distanza tra nave e lanciatore detonante che consente di escludere perdita di vite umane con equipaggio di bordo opportunamente dislocato e protetto; essa è appena iniziata e valutazioni molto preliminari portano a ritenere che, anche introducendo aree di particolare confinamento e schermaggio del personale a bordo, sia possibile tollerare eventi di detonazione del propellente purché distanziati di qualche decina di metri dalla piattaforma (l'individuazione della distanza minima richiede il completamento del calcolo di dettaglio)

. Per "tollerare" si intende che si esclude la perdita di vita da parte equipaggio e l'affondamento della Piattaforma, ma si ammette la perdita irreversibile della funzionalità della stessa. Si implementeranno modelli agli elementi finiti; in Fig. 5 è visibile parte del modello di calcolo.

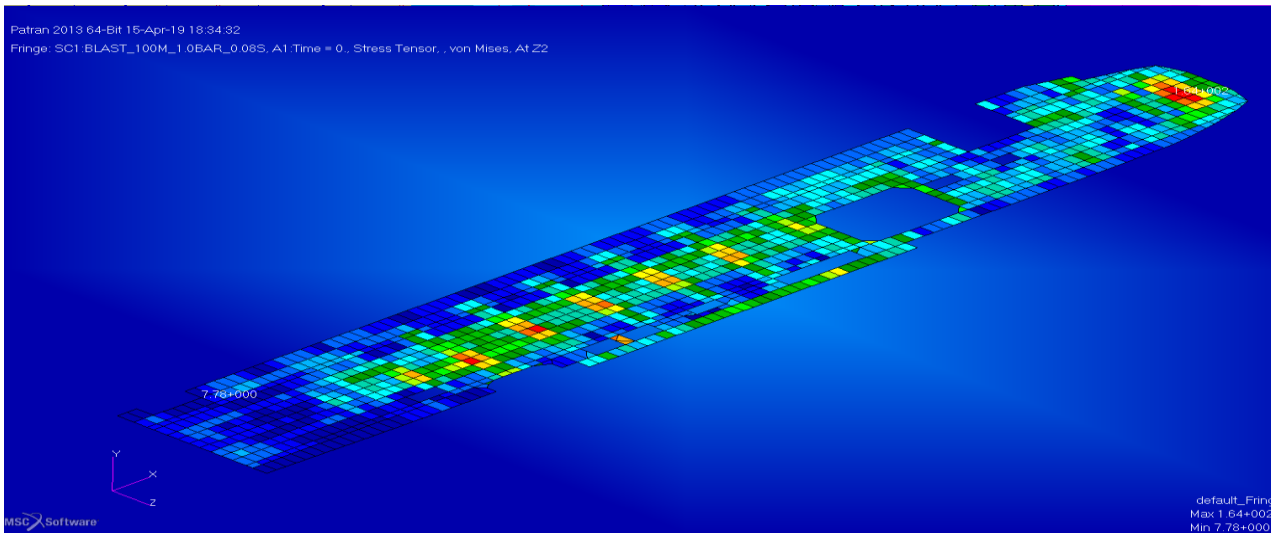


Fig. 5 Modello di calcolo piattaforma navale (parte), cortesia Cetena e Fincantieri

La linea di analisi del sistema estrattore (oggetto di un programma di ricerca proposto in ambito PNRM 2019) studia il sistema di allontanamento del lanciatore dalla nave che consenta di attivare il suo primo stadio ad una distanza non inferiore al valore minimo determinato in esito all'analisi di resistenza della piattaforma navale. Essa porta a definire architetture del sistema a crescente complessità man mano che viene richiesta una distanza di allontanamento maggiore. Il sistema comunque appare fattibile, anche sulla base della esistenza di analoghi sistemi impiegati in USA, Russia e Cina.

Il sistema è piuttosto semplice (vedi in fig.6 il primo schema di calcolo a suo tempo sviluppato), anche se le dimensioni e le masse in gioco lo rendono ingegneristicamente complesso. Il lanciatore è posto all'interno di un tubo estrattore e sopra un elemento mobile assialmente sotto la spinta generata dall'immissione di gas in pressione al di sotto dell'elemento mobile stesso.

Si veda la fig. 7 per sketch del transitorio di estrazione ed accensione del primo stadio.

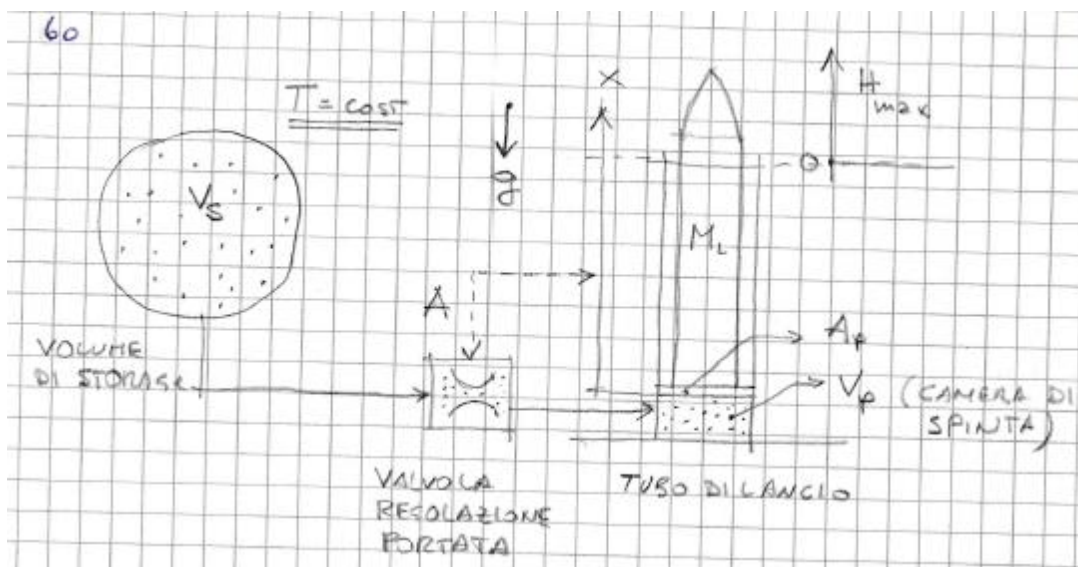


Figura 6: schema di calcolo preliminare per il sistema di estrazione e allontanamento

Ulteriore elemento che richiede attenta valutazione degli aspetti di safety del personale a bordo è quello relativo alla movimentazione di assiemi del lanciatore che contengono motori a solido e che, se coinvolti in manovre errate e che dovessero generare forti transienti di urto o coinvolgimento in fenomeni di incendio, potrebbero innescare una significativa amplificazione delle conseguenze; ciò sino al verificarsi di una detonazione. Questo elemento non si considera comunque tale da porre in discussione la fattibilità del sistema proposto in quanto sia fenomeni di movimentazione e trasporto, che situazioni di rischio di transienti di urto, sono oggi regolarmente gestiti nell'ambito della movimentazione e del trasporto sia via terra che via mare degli stadi di lanciatori come Vega e Ariane. Si opererà, quindi, in conformità a procedure definite o da definire.

Gli aspetti di safety sono infine dimensionanti per le regole di immagazzinamento a bordo degli assiemi contenenti motori a solido; in particolare regole precise sono stabilite per le distanze minime tra di essi, il loro orientamento, il loro ancoraggio, la connessione elettrica al fine di eliminare potenziali accumuli di carica elettrostatica e la disponibilità locale di sistemi anti incendio. Particolarmente evidenti, in questo caso, le similitudine con il munizionamento in generale

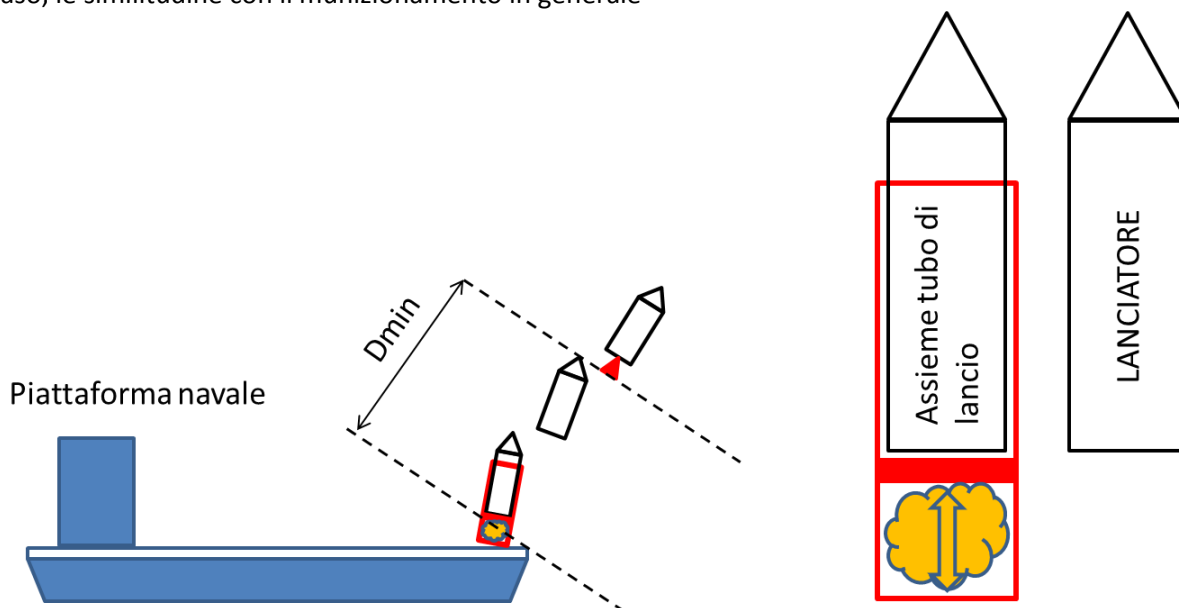


Fig. 7 per sketch del transitorio di estrazione ed accensione del primo stadio

I principali vantaggi e svantaggi dell'approccio di lancio tramite piattaforma navale Garibaldi rispetto alle piattaforme alternative

Le principali opzioni tecnologiche alternative all'utilizzo della piattaforma navale con baseline Nave Garibaldi, come detto, sono le seguenti:

- utilizzo di una piattaforma aerea tipo velivolo tattico;
- utilizzo di una piattaforma aerea tipo velivolo cargo;
- utilizzo di una piattaforma marittima non abitata (tipo Sea Launch);
- utilizzo di un sito di lancio come il Broglio Space Center (BSC) con sede a Malindi (Kenya).

Tali alternative sono state caratterizzate e analizzate, seppur preliminarmente, al fine di poter sviluppare nel prossimo futuro una formale analisi di trade-off in senso tecnico, economico e strategico. Si tratta, con l'eccezione del BSC, di piattaforme mobili e quindi tali da assicurare indipendenza dal fattore geografico; è evidente che, in entrambi i casi navale e marittimo, tale indipendenza è pressoché totale. Nel caso degli aeromobili, invece, è limitata dall'autonomia degli stessi rispetto alla base di assegnazione e/o di operazioni; non ha peraltro alcun senso, per quanto detto in termini di maggiore autonomia di capacità di accesso allo spazio, ricorrere a basi lontane dal territorio nazionale.

Di seguito si riporta una sintesi dei principali vantaggi e svantaggi di ciascuna di tali ipotesi.

Piattaforma aerea tipo velivolo tattico baseline EFA

Vantaggi:

- Ottimizzazione del punto di lancio (base mobile);
- Iniezione in orbita più agevole (manovra fuori piano eseguita da aereo): minimizzazione consumo carburante per il missile;
- Capacità di eseguire missioni del tipo *Operational Responsive Space*;
- Buona occultabilità delle manovre pre lancio;
- Compatibilità con versioni da attacco (elevata capacità di eseguire missioni duali).

Svantaggi:

- Prestazione orbitale marginale (stimata come minore di 5 Kg, con riferimento ai velivoli di uso nazionale);
- *Design Authority* del velivolo non nazionale; vincolo significativo in termini di tempi, costi e fattibilità in caso di eventuali necessità di modifica;
- Non possiede capacità di crescita della prestazione orbitale, senza cambiare le caratteristiche del velivolo.

Piattaforma aerea tipo velivolo cargo (baseline C130J o A400K)

Vantaggi:

- Piattaforma aerea esistente e già qualificata per estrazione di carichi utili dal vano cargo, del peso e dimensioni necessarie per il Lanciatore;
- Possibilità di realizzare un sistema di estrazione che, funzionando da interfaccia fra il microlanciatore da 17t ed il velivolo, mitiga la mancanza di controllo nazionale sulla *Design Authority*;
- Capacità di eseguire missioni del tipo *Operational Responsive Space*;
- Ottima occultabilità delle manovre pre lancio;
- Ottimizzazione del punto di lancio (base mobile);
- Capacità di raggiungere buone prestazioni orbitali (>100Kg in LEO).

Svantaggi:

- Complessità tecnica della estrazione dal velivolo;
- Non possiede capacità di crescita della prestazione orbitale, senza cambiare le caratteristiche del velivolo;
- Nessun sfruttamento energetico derivante dalla velocità dell'aereo;
- Velivolo con *Design Authority* e commercializzazione al di fuori del controllo italiano; si veda quanto detto per il velivolo tattico.

Piattaforma marittima non abitata (tipo Sea Launch)

Vantaggi:

- Ottime caratteristiche di protezione della sicurezza del personale (piattaforma senza personale a bordo durante le operazioni di lancio);
- Ottima capacità di adattamento in caso di incremento delle dimensioni / peso del lanciatore;
- Approccio a basso rischio tecnico e di sviluppo in quanto già esistente (Sea launch);
- Possibile risolvere il problema della *Design Authority*; ciò sia per il tipo di tecnologie, meno critiche di quelle aeronautiche, sia per le esistenti capacità nazionali.

Svantaggi:

- Nessuna capacità di eseguire missioni del tipo *Operational Responsive Space*;
- Richiede lo sviluppo di una infrastruttura dedicata per le operazioni di lancio, sia nel caso di modifica di una piattaforma di tipo già esistente sia nel caso di un progetto dedicato;
- Nessuna occultabilità;
- Elevati costi per la manutenzione delle infrastrutture;
- Elevati tempi di trasporto della piattaforma verso i siti idonei al lancio.

Utilizzo di un sito di lancio fuori del territorio nazionale; baseline il Broglio Space Center (BSC) con sede a Malindi (Kenya)

Il BSC può essere considerato equivalente, semplificando leggermente, ad una piattaforma marittima non abitata fissa; quindi meno costosa ma con alcuni vincoli di natura geografica in quanto il BSC non permette, per i noti motivi di sorvolo, il raggiungimento di alcune orbite inclinate pur consentendo quelle geostazionarie e polari, particolarmente pregiate. Nel seguito vantaggi e svantaggi del BSC sono quindi esposti con riferimento ai prevalenti aspetti di natura politico diplomatica.

Vantaggi:

- Forte valenza di politica estera, mirata alla collaborazione verso i Paesi Africani;
- Tradizione storica di oltre 50 anni legata al lancio dei vettori Scout.

Svantaggi:

- Collocazione sito all'interno del territorio del Kenya; mancata disponibilità a tutela degli interessi nazionali della garanzia di accesso e di pieno utilizzo della infrastruttura.

Piattaforma navale baseline Nave Garibaldi:

Vantaggi:

- *Design Authority* Italiana della Piattaforma; nessuna criticità per l'introduzione di modifiche;
- Infrastruttura di lancio di ridotta complessità in quanto basata su disaccoppiamento struttura di lancio (Rampa elevabile) e piattaforma di trasporto e lancio (nave);
- Conseguenti tempi e costi di sviluppo notevolmente ridotti;
- Compatibilità con vettori di dimensioni adeguate e capacità di esecuzione di più di un lancio a missione;
- Capacità di raggiungere buone prestazioni orbitali (>100Kg in LEO con l'uso del vettore da 17t e >300 kg in LEO con l'uso del vettore da 60t);
- Capacità di sinergia con Paesi che hanno già sviluppato infrastrutture mobili per il lancio da terra;
- Significativa capacità di missioni del tipo *Operational Responsive Space*.

Svantaggi:

- Criticità da affrontare per la sicurezza del personale imbarcato in caso di incidente al lancio;
- Limite superiore alla capacità di adattamento in caso di aumento dimensioni / peso Lanciatore.

I tempi e i costi non ricorrenti di sviluppo del sistema di accesso allo spazio basato su piattaforma navale Garibaldi sono stati oggetto di valutazioni preliminari. L'ordine di grandezza è quello dei 300-400M€ e di un tempo di 5 anni, con una fase di "riduzione del rischio" di circa 3-4 anni.

Appare evidente, dall'esame comparativo preliminare estremamente sintetico presentato, che le tre soluzioni più promettenti sono tre: quelle relative alle soluzioni navale e marittima e quella dell'aereo cargo. L'approccio navale con baseline Nave Garibaldi appare inoltre, in questa fase, come il più completo. Si reputa comunque che sia necessario procedere in tempi brevi ad una formale analisi di trade-off in senso tecnico, economico e strategico confrontando tutte le cinque soluzioni prospettate. Tale iniziativa fornirebbe preziose indicazioni a *stakeholder* e *decision-maker* nazionali.

Spunti di approfondimento e riferimenti

La trattazione svolta è stata semplificata per quanto possibile ma il lettore ha senz'altro intuito la complessità, la delicatezza e l'importanza del tema. Nel seguito si propone una tabella che, oltre a dare evidenza concreta di siffatte caratteristiche, fornisce molti importanti riferimenti per chi volesse meglio comprendere il settore.

ID	Emesso da	Data, Numero e Titolo	Rilevanza
R01	PNRM 2020	Proposta Programma SIMONA (Sistema Italiano messa in Orbita da Nave)	Proposta per sviluppo tecnologico lancio con tubo di estrazione ed allontanamento
R02b	AVIO-AM	Tesi Marco Reali (AM) 2006-2007: PIANO DI SVILUPPO E QUALIFICA DEL LANCIATORE AVIOTRASPORTATO "LICIO GIORGIERI	Primo studio su aviotrasportato eseguito da Avio in cooperazione con esterno

R03	AVIO-AM	2013: Tesi Master Capitano Monaci (AM) su compatibilità del Lanciatore con la piattaforma aerea C130J –J30	Studio di affinamento per compatibilità velivolo cargo con lanciatore .
R04	AVIO	05-06 Maggio 2011: High Tech Small Sat Missions; Presentazione CASD	Prima presentazione pubblica di diversi approcci per Aviolancio (Avio e MBDA)
R05	AVIO	Proposta H2020 CABALA; anno 2015 (riservato industriale)	Proposta Avio per attività sperimentale di riduzione dei rischi su aviolancio da velivolo Cargo C130J
R06	MBDA, Alenia aeronautica, Politecnico di Torino, Scuola di Ingegneria aerospaziale di Roma la Sapienza	XX AIDAA Congress; Milano, Italy, June 29–July 3, 2009 LAUNCH ON DEMAND SYSTEMS	Valutazione di capacità orbitale per aviolancio da velivolo caccia
R07	ESA; Concurrent Design facility	Anni 2010: Studio di fattibilità aviolancio da velivolo caccia (Tornado)	Valutazione di capacità orbitale per aviolancio da velivolo caccia
R08	CESMA	2014 (quaderni del CESMA): Missioni con piccolo satelliti ad alta tecnologia	Studio di identificazione delle missioni di interesse AM/Difesa ed eseguibili tramite lancio aviotrasportato (caccia o cargo)
R09	Ordine degli Ingegneri (Roma); commissione Aerospazio	Ordine degli Ingegneri di Roma, Commissione aerospazio, Seminario su Accesso allo Spazio Ottobre 2018	Prima presentazione dei principali approcci per conseguire indipendenza di accesso allo spazio
R10	Presidenza del Consiglio	Presidenza del Consiglio dei Ministri: 25 Marzo 2019; Indirizzi del Governo in materia spaziale e aerospaziale	Documento apicale di indirizzo
R11	Ordine degli Ingegneri (Roma); commissione Aerospazio	Ordine degli Ingegneri di Roma, Commissione aerospazio; Mauro Balduccini; seminario: Lo Spazio in rete; 13/Ottobre 2017. SVILUPPO DI PICCOLI LANCIATORI SMALLSAT IN ORBITA LEO E PROBLEMATICHE DETRITI SPAZIALI	Presentazione di introduzione alla problematica di lancio e rientro dei piccoli satelliti
12	Piattaforma SPIN-IT	Position Paper Piattaforma SPIN-IT relativamente al Dominio Applicativo DA4 Sistemi di trasporto spaziale, lancio e rientro; Gennaio 2015	Documento di visione strategica ruolo italiano in ambito spazio
13	TCS Transcost Systems	D.E.Koelle Handbook of Cost Engineering for Space Transportation Systems (Rev.3a)	Testo di riferimento per analisi quantitative dei costi per sistemi di lancio
14	Marti Sarigul-Klijn, et al	AIAA 2001-4619 A Study of Air Launch Methods for RLVs	Riferimento consultato
15	Marti Sarigul Klijn	AIAA-2005-0621: Trade off studies for launching a small launch vehicle from a cargo aircraft	Importante riferimento contenente numerosi approcci in termini di velivolo .
16	J.H.Saleh	AIAA-2007-6015 Responsive Space: Concept Analysis, Critical Review, and Theoretical Framework	Riferimento consultato
17	Marti Sarigul Klijn	AIAA 2008-7835 Selection of a Carrier Aircraft and a Launch Method for Air Launching Space Vehicles	Riferimento consultato, include configurazioni meccaniche complesse
18	Debra Facktor Lepore	Presented to: 2008 Utah State Small Satellite Conference: Results of QuickReach™ Small Launch Vehicle Propulsion Testing and Next Steps to Demonstration Flights	Uno dei più rilevanti paper includenti risultati di prova in scala 1:1
19	CNES presentation C.Bonnal	Surrey University, september 9th 2008 Guest Lecture : Air Launch Solutions for Microsatellites	Contiene interessanti considerazioni (anche) su aspetti di marketing e sezione dedicata ad Aldebaran
20	Rodney L. Burton1 , Kevin Brown2, and Anthony Jacobi3	Low Cost Launch of Payloads to Low Earth Orbit	Riferimento consultato
21	ESA	CDF Study Report (2010) Gianus II	Rilevante per aspetti inerenti la Sicurezza in ambito europeo

		Space Architecture for Security System of Systems Study	
22	IHI Aerospace	ALSET: Japanese Air Launch System Concept and Test Plan	Interessante presentazione di soluzioni basate su Cargo aircraft
23	J.Jurist et al	WHEN PHYSICS, ECONOMICS, AND REALITY COLLIDE The Challenge of Cheap Orbital Access	Considerazioni energetiche e di costo
24	Nanolaunch	(2010); A Whitepaper on Responsive and Affordable Nano-Satellite Launcher	Contiene valutazioni su propulsione ibrida
25	Karl Gallagher AE 549a Paper #2 Dec. 10th, 2000	Conflicting Heuristics for Low-Cost Launch Vehicle Architectures	Interessante analisi su aspetti decisionali di architettura
26	G.Williams	AIAA: 2nd Responsive Space Conference RS2-2004-8000 ALMOST THERE: RESPONSIVE SPACE	Con opzioni a propulsione ibrida
27	Fernando de Souza Costa	ABCM: 502 / Vol. XXXII, No. 4, October-December 2010 Preliminary Analysis of Hybrid Rockets for Launching Nanosats into LEO	Basato su opzioni di propulsione ibrida
28	Ministero Infrastrutture e Trasporti	Accordo Quadro (AQ) tra il Ministero della Difesa (MD) e il Ministero delle Infrastrutture e Trasporti (MIT) – Riunioni del Comitato Tecnico Amministrativo (CTA)	Sede istituzionale ove sono discusse attività inerenti l'accesso indipendente allo Spazio
	Riferimenti Web:		
RW01	Internet	Sito www.spacelaunchreport.com	Sito di riferimento per dati statistici sui lanci spaziali al livello mondiale
RW02	internet	Sito www.nanosats.eu	Sito di riferimento per dati statistici sui micro e nano satelliti al livello mondiale
RW03	internet	Zero2infinity wikipedia files	Sito consultato per lancio tramite aerostato
RW04	internet	https://en.wikipedia.org/wiki/RT-2PM2_Topol-M	Caratteristiche sistema russo TOPOL-M
RW05	internet	https://spacenews.com/china-gains-new-flexible-launch-capabilities-with-first-sea-launch/	Lancio navale cinese

Conclusioni e prospettive

Si ritiene di aver dimostrato, se non ancora la vera e propria fattibilità del lancio di missioni spaziali da piattaforma navale abitata, la possibilità di un ulteriore impiego dello strumento navale e marittimo in tal senso e l'opportunità di procedere in tempi brevi alla già menzionata formale analisi di trade-off in senso tecnico, economico e strategico; il confronto di tutte le cinque soluzioni prospettate consentirà di definirne la fattibilità ed il rapporto costi benefici.

L'utilizzo discusso di Nave Garibaldi, una volta ultimata la predetta analisi, può e deve essere proposto anche in ambito internazionale, illustrando l'opportunità – in ambito EC, ESA o anche NATO - della trasformazione di Nave Garibaldi in una Unità Esperienze con un inquadramento che ricalchi, *mutatis mutandis*, quanto già accade per Nave Alliance in ambito NATO; evidente il beneficio finanziario di tale tipo di approccio ma anche l'apertura verso i paesi partner nel condividere esperienze e tecnologie.

È infatti importante notare che l'impiego di Nave Garibaldi come Unità Esperienze piattaforma di trasporto e lancio per accesso allo spazio non preclude e forse anzi favorisce altri suoi impieghi. Due di questi sono menzionati di seguito a mero titolo di esempio:

- Piattaforma per lancio e controllo droni aerei e navali (di superficie ed immersi);
- Piattaforma per lancio, recupero e controllo di velivoli ipereloci con lancio tramite elemento booster.

Si conclude rimarcando la valenza strategica di quanto prospettato, che deriva dalla contemporanea presenza di: potenziali risvolti economico industriali, aspetti capacitivi e opportunità di incremento dell'immagine internazionale dell'Italia.