



Gruppo di Lavoro “Velivoli Ipersonici”

Chairman: Gen. B.A. (r) Giuseppe Cornacchia, CESMA

Framework (WP 1.0)

**Coordinatori: Ing. Ludovico Vecchione/Ing. Sara Di Benedetto, Centro Italiano
Ricerche Aerospaziali (CIRA)**

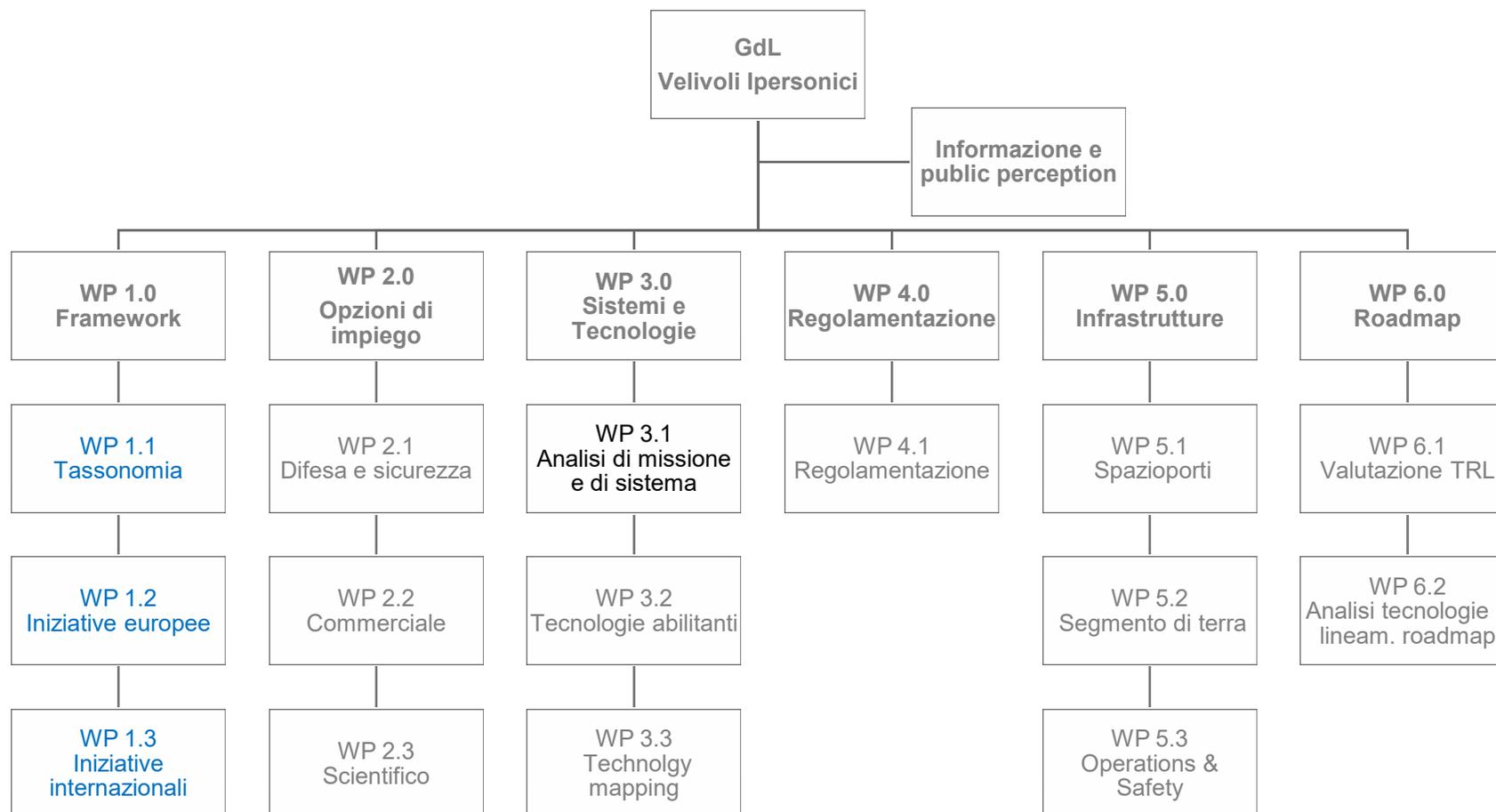


Indice

Work Breakdown Structure	3
1 Introduzione	4
2 Tassonomia	4
3 Mappatura delle iniziative europee	4
3.1 European eXPERimental Re-entry Test-bed (EXPERT)	5
3.2 Intermediate eXperimental Vehicle (IXV)	6
3.3 PRIDE	7
3.4 Long-Term Advanced Propulsion Concepts and Technologies (LAPCAT-II)	8
3.5 Future High-Altitude High-Speed Transport 20XX (FAST20XX)	9
3.6 High-Speed Experimental Fly Vehicles – International (HEXAFLY-INT)	10
4 Iniziative nazionali in Europa	11
4.1 Zero Emission High Speed Technologies (ZEHST) - FRANCIA	11
4.2 SKYLON - INGHILTERRA	12
4.3 HYpersonic airPLANE (HyPlane) – ITALIA	12
4.4 PRORA Unmanned Space Vehicle (USV) - ITALIA	13
5 Mappatura delle iniziative nel resto del mondo	16
5.1 Stati Uniti	16
5.1.1 X-37 (NASA/BOEING) – USA	17
5.1.2 SR-72 (LOCKHEED MARTIN PER USAF) - USA	17
5.1.3 DREAM CHASER (SIERRA NEVADA CORPORATION) – USA	18
5.2 Giappone	19
5.2.1 ORBITING PLANE EXPERIMENTAL, HOPE-X (JAXA) – GIAPPONE	19
5.2.2 SINGLE-STAGE-TO-ORBIT SPACEPLANE – GIAPPONE	20
5.3 India e Cina	20
Riferimenti Bibliografici	22



WORK BREAKDOWN STRUCTURE





1 INTRODUZIONE

Il work package 1.0 del gruppo di lavoro “Velivoli Ipersonici” è strutturato secondo i seguenti task, in accordo con il “Terms of Reference” del gruppo di lavoro CESMA dedicato ai velivoli ipersonici:

WP 1.1: Tassonomia;

WP 1.2: Mappatura delle iniziative europee con identificazione della partecipazione nazionale;

WP 1.3: Mappatura delle iniziative internazionali.

2 TASSONOMIA

La tassonomia ha lo scopo di fornire una identificazione dei diversi sistemi in base alle finalità di missione e alle aree tecnologiche.

Per i velivoli ipersonici, si sono innanzitutto definite due macro aree: velivoli per l’accesso allo spazio; velivoli per il volo atmosferico/transatmosferico. All’interno di queste aree i sistemi sono stati classificati in base alle specifiche caratteristiche richieste dalla missione, come riassunto in Tab. 1.

Accesso allo spazio	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Volo orbitale/suborbitale ▪ Capsule – Lifting body – Winged body ▪ Sistemi di decelerazione dispiegabili 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riutilizzabile - Spendibile ▪ RCS e/o Superfici di controllo aerodinamiche 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Materiali high temperature
Trasporto atmosferico/trans-atmosferico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lifting & Winged body ▪ Sharp leading edges ▪ Superfici di controllo aerodinamiche 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basso impatto ambientale (emissioni, rumore) ▪ Propulsione Turbojets/Ramjet/Scramjet/TBCC 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Atterraggio su pista ▪ Materiali innovativi (light/high temperature)

Tab. 1: Tassonomia dei velivoli ipersonici

3 MAPPATURA DELLE INIZIATIVE EUROPEE

Nel definire una mappatura delle principali iniziative europee si è deciso di distinguere tra i progetti finanziati dalla Comunità Europea o dall’ESA, e le iniziative nazionali. Si è deciso inoltre di limitare la mappatura agli ultimi 15 anni (2000-1015).

La mappatura presentata non può ovviamente essere esaustiva di tutti i progetti maturati negli ultimi 15 anni.



Nella scelta dei progetti si sono preferiti quelli che più riflettevano e meglio identificavano le aree identificate dai criteri tassonomici adottati, al fine di poter derivare da essi linee guida concettuali tecnologiche e di design.

Nella descrizione dei progetti europei si è cercato inoltre di identificare in maniera chiara il contributo dell'Italia, ove presente, nonché di identificare le tecnologie chiave nazionali.

I principali progetti identificati per il primo gruppo, ossia quelli finanziati da EC e/o ESA sono riportati in Tab. 2; quelli identificati per il secondo gruppo sono rappresentati in Fig. 1. I principali progetti sono descritti nelle schede seguenti.

Anni di riferimento: 2000-2015	Progetti ESA e/o Comunità Europea		
Accesso allo Spazio	EXPERT	IXV	PRIDE
Trasporto atmosferico/trans-atmosferico	FAST 20xx	LAPCAT 1 & 2	HEXAFLY-INT

Tab. 2: Principali iniziative sull'ipersonica in Europa (ESA-EC)



Fig. 1: Principali iniziative nazionali

3.1 European eXPERimental Re-entry Test-bed (EXPERT)

Programma di ricerca ESA sull'aerodinamica. La capsula EXPERT avrebbe dovuto seguire una traiettoria di rientro balistica, lanciata dal lanciatore russo Volna, portando in volo una serie di payloads scientifici.

I principali goal del programma erano:



- Raccogliere dati di volo sui principali fenomeni aerotermodinamici attraverso i payloads scientifici;
- Consentire la validazione di tolli numerici (CFD) e di metodologie di estrapolazione al volo;
- Qualificare in volo alcune tecniche di misura, sia classiche che avanzate;
- Condurre un'estensiva analisi post-flight.

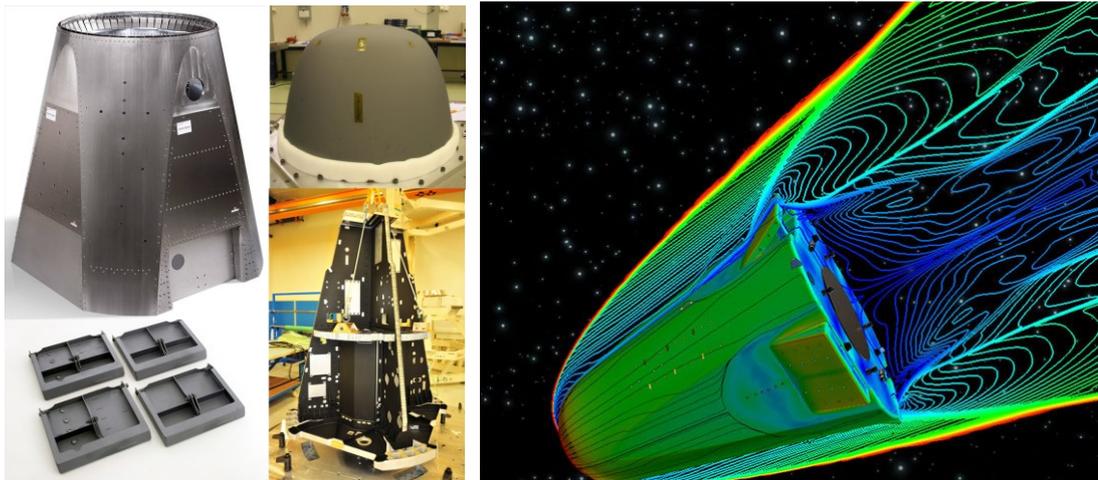


Fig. 2: La capsula ESA EXPERT

Ruolo dell'Italia nel programma:

- Responsabile del sistema e dell'integrazione (TAS-I);
- Coordinatore dei payloads scientifici (CIRA);
- Principal Investigator dei Payloads #4, #7, #15.

3.2 Intermediate eXperimental Vehicle (IXV)

Programma dell'ESA che ha visto la sua missione eseguita con successo l'11 Febbraio del 2015.

Il velivolo IXV, lanciato dal vettore Vega dallo spazioporto di Kourou, Guyana Francese, ha realizzato l'ambizione Europea di far rientrare in maniera completamente autonoma un veicolo portante da orbita terrestre. Oltre a dimostrare la capacità sistemistica Europea di progettare, sviluppare, costruire un veicolo portante senza ali, IXV ha permesso la verifica in volo delle più avanzate tecnologie di protezione termica e guida, navigazione e controllo, unitamente alle conoscenze nel campo dell'Aerotermodinamica, preparando così la strada allo sviluppo di futuri sistemi spaziali.

Il sistema IXV ha effettuato un volo complessivo di circa 33000 km, di cui 8000 km percorsi attraversando l'atmosfera terrestre ad una velocità iniziale di 27000 km/h e concludendosi con un ammaraggio paracadutato in un punto preciso dell'Oceano Pacifico al largo delle Isole Galapagos dove la navicella spaziale è stata recuperata da una nave italiana.



La missione IXV si è svolta in maniera nominale e tutti i dati di volo, misurati dagli oltre 300 sensori di bordo, sono stati recuperati attraverso la telemetria e i registratori di bordo. Le analisi preliminari mostrano che i dati sono consistenti e pronti ad essere studiati dalla comunità scientifica internazionale.

Il velivolo IXV è lungo cinque metri, largo poco più di due, alto un metro e mezzo con un peso di quasi 2 tonnellate. La superficie esterna è costituita da materiali di protezione termica ceramici e ablativi in grado di resistere alle alte temperature (dell'ordine dei 1500°C) incontrate durante il rientro nell'atmosfera e mantenere l'integrità della struttura. L'architettura interna del velivolo è particolarmente complessa essendo costituita da diversi sottosistemi che assolvono a tutte le funzioni necessarie ad assicurare un rientro sicuro in atmosfera. Tra questi ricordiamo: l'avionica, il sistema di guida navigazione e controllo, il sistema di discesa e recupero, i flap, i razzetti per il controllo di assetto, i meccanismi, il controllo termico.



Fig. 3: Il velivolo ESA IXV. Destra: una fase del recupero dopo l'ammarraggio.

Ruolo dell'Italia nel programma:

- Prime Contractor (TAS-I);
- Assistenza tecnica all'ESA per lo sviluppo del progetto, il lancio e l'esecuzione della missione (ASI/CIRA);
- Definizione ed esecuzione del Drop Test da elicottero e della qualifica del sistema di Protezione Termica (CIRA);
- Analisi Post Flight.

3.3 PRIDE

Il successore del programma IXV è PRIDE.

Il Programma dell'ESA PRIDE (Program for Reusable In-Orbit Demonstrator for Europe) prevede la dimostrazione delle capacità Europee di accesso allo spazio e rientro da LEO per effettuare sperimentazione e dimostrazione in orbita.

Rispetto a quanto già ottenuto con il successo della missione di IXV il programma mira ai seguenti obiettivi:



- Fase orbitale con rendezvous con ISS, cattura di piccoli payload, osservazione della terra, telecomunicazioni, micro-gravità.
- Riutilizzabilità
- Atterraggio su terreno o pista convenzionale.

L'Italia, attraverso l'Agenzia Spaziale Italiana, è il maggiore contributore.

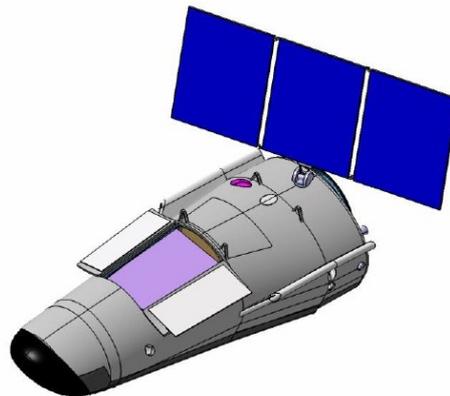


Fig. 4: Concetto del velivolo PRIDE

Ruolo dell'Italia nel programma:

- CIRA e Thales Alenia Space Italia, in qualità di Co-Prime hanno avuto mandato da ESA per l'implementazione delle fasi A/B1 del progetto, con l'obiettivo di effettuare una System Requirement Review a metà 2017.

3.4 Long-Term Advanced Propulsion Concepts and Technologies (LAPCAT-II)

Progetto del settimo programma quadro (2008-2013) coordinato da ESA, a cui hanno partecipato 16 partners.

Il progetto LAPCAT II è stato focalizzato sullo studio dei sistemi di propulsione, ed alla relativa integrazione con la configurazione aerodinamica, per futuri concetti di trasporto civile trans-atmosferico ipersonico ($Mach=4\div 8$). Il macro-obiettivo è stato quello di ridurre il tempo di percorrenza sulle rotte intercontinentali a $2\div 4$ ore, mantenendo entro valori accettabili costi e livelli di inquinamento. In LAPCAT I (2005-2008) furono definite due configurazioni, una a Mach 5 e l'altra a Mach 8, mentre l'obiettivo di LAPCAT II è stato quello di consolidare e definire più in dettaglio questi due velivoli per l'aviazione civile.

Per la configurazione a Mach 5, al fine di raggiungere gli obiettivi in termini di tempi e percorrenza, l'azienda Reaction Engines ha concepito il motore SCIMITAR, un motore che sfrutta le proprietà termodinamiche dell'idrogeno liquido. Il motore è in grado di sostenere un volo a Mach 5, ma anche, di essere efficiente durante il volo subsonico. Il velivolo A2 sviluppato in LAPCAT II può trasportare fino a 300 passeggeri, numero valutato essere competitivo per il futuro trasporto supersonico.



Uno dei concetti a Mach 8 è il velivolo LAPCAT MR2. Il motore è un dual mode ramjet/scramjet tra Mach 4.5 e Mach 8, mentre al di sotto di questi numeri di Mach è previsto un motore turbine-based.



Fig. 5: Concetto A2 (sinistra) e MR2 (destra), LAPCAT II

Ruolo dell'Italia:

- CIRA è stato WP leader del WP6 “Combustion Modelling and Environmental Chemistry” dedicato alla modellistica fisica e numerica della combustione veloce (ram/scram-jet), allo studio degli effetti dell'aria viziata e degli effetti di scala negli impianti di prova per la combustione, allo studio dell'impatto ambientale dei velivoli ipersonici, in particolare alla riduzione delle emissioni di NOx ed agli effetti chimici sullo strato di ozono, tematiche queste ultime a cui ha dato un notevole contributo l'Università di Roma “La Sapienza”.
- Contributo al design di uno dei concetti sviluppati (Università di Roma “La Sapienza”) e al progetto della presa d'aria, combustore ed ugello (CIRA)

3.5 Future High-Altitude High-Speed Transport 20XX (FAST20XX)

Progetto del settimo programma quadro (2009-2012) coordinato da ESA, a cui hanno partecipato 16 partners.

Il progetto FAST20XX ha mirato a creare delle basi tecnologiche solide per l'introduzione, a livello industriale, di sistemi di trasporto avanzati ad elevate velocità ed altitudini, sia a medio che a lungo termine, definendo le aree più critiche di ricerca e sviluppo tecnologico.

Sono stati studiati un concetto a bassa energia, l'ALPHA (piccolo veicolo per 2 passeggeri più pilota), che lanciato da un carrier sale uscendo dall'atmosfera propulso da un motore a razzo ibrido per poi planare verso terra, ed un concetto ad elevata energia, lo SPACELINER, un two-stage-to-orbit che decolla verticalmente ed atterra orizzontalmente, trasportando 50 passeggeri su rotte intercontinentali in tempi estremamente brevi.

Per quest'ultimo concetto, in particolare, sono stati studiati cabina e comfort dei passeggeri, sicurezza, sistema propulsivo a razzo, TPS e sistema di raffreddamento attivo, carrello e GNC; sono altresì stati stimati i costi di sviluppo ed operativi del sistema, così come è stato valutato l'impatto ambientale e gli aspetti medici e di sicurezza del volo suborbitale ad elevata energia.



Dal punto di vista delle tecnologie, sono state eseguite prove sperimentali dedicate a dimostrare l'efficacia di un sistema di raffreddamento attivo per traspirazione, di materiali porosi per controllare la transizione laminare-turbolenta, del controllo della transizione passiva/attiva dell'ossidazione del TPS ceramico riutilizzabile. Sono state eseguite progettazione e analisi strutturale dell'Orbiter e della capsula di sicurezza, sono stati selezionati i materiali ed è stato progettato un finestrino speciale per i passeggeri. Sono stati studiati sperimentalmente e numericamente gli effetti di rarefazione sull'aerodinamica e aerotermodinamica del volo suborbitale. Infine, sono state analizzate le qualità di volo ed è stato progettato il sistema GNC.



Fig. 6: Alpha (sinistra) e SpaceLiner (destra), FAST20xx

Ruolo dell'Italia:

- CIRA è stato WP leader del WP3 “Technologies for High-Energy Suborbital Transportation” dedicato sia ad aspetti di sistema che ad aspetti di sviluppo tecnologico per il concetto SPACELINER.

3.6 High-Speed Experimental Fly Vehicles – International (HEXAFLY-INT)

Progetto co-finanziato da ESA e dalla Commissione Europea, HEXAFLY-INT ha lo scopo di validare in volo alcune delle tecnologie abilitanti per il futuro volo atmosferico e transatmosferico.

Il progetto, che vede la partecipazione oltre a partner europei, anche di Russia e Australia, prevede il design, manufacturing, integrazione e test in volo di un concetto di velivolo senza motore per il volo ipersonico.

Le principali sfide del progetto sono rappresentate dal design del velivolo e dalle complessità di integrazione delle tecnologie a bordo, tra cui ad esempio l'unione di tecnologie e materiali di uso tipicamente aeronautico con materiali high temperature.

Il lancio è pianificato con il lanciatore Brasiliano VS43, che farà una traiettoria suborbitale fino a 90 km; la missione è descritta in

Il payload è composto, oltre al glider, anche da un modulo di supporto che controllerà l'assetto del velivolo alle quote più alte attraverso un sistema di controllo a gas. Dopo la separazione dal modulo, il glider inizierà la sua fase sperimentale volando autonomamente in volo ipersonico (Mach 7) livellato.

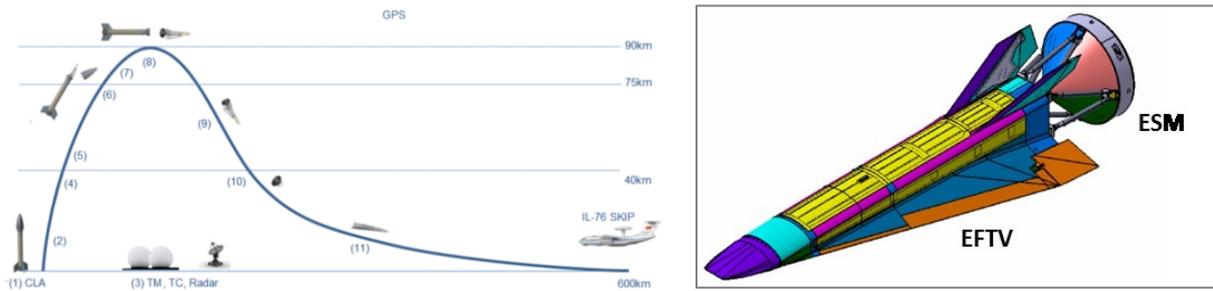


Fig. 7: HEXAFly-INT missione (sinistra) e payload (destra)

Ruolo dell'Italia nel programma:

- L'Italia, attraverso il CIRA, è responsabile del sistema e dell'integrazione del glider, oltre ad avere in carico lo sviluppo di diverse task a supporto del volo (GNC, aerodinamica, TPS). Il CIRA è inoltre Design Authority per l'intero payload.

4 INIZIATIVE NAZIONALI IN EUROPA

4.1 Zero Emission High Speed Technologies (ZEHST) - FRANCIA

Progetto del gruppo EADS, che nasce dalla cooperazione Francia-Giappone firmata all'Air Show di Parigi nel 2005, e a cui hanno partecipato anche MBDA, ASTRIUM e ONERA.

Nato come il discendente del Concorde, è un velivolo supersonico per il trasporto passeggeri capace di trasportare fino a 100 persone da Londra a Sydney in tre ore e mezza volando fino a Mach 4 e operando come un aeroplano convenzionale.

Utilizza tre diversi tipi di propulsori prevalentemente a idrogeno liquido:

- 2 turbojets operanti con biofuel tra il take-off fino a 5000 metri (Mach 0.8) e durante il landing;
- 3 motori a razzo (idrogeno) fino a 23000 metri;
- 2 motori ramjet per raggiungere Mach 4 fino a 32000 metri.

E' stato progettato per ridurre l'impatto ambientale, sia in termini di emissioni che di rumore (sonic boom).

Presentato all'Airshow di Parigi nel 2011; il primo dimostratore di volo è previsto per il 2021;

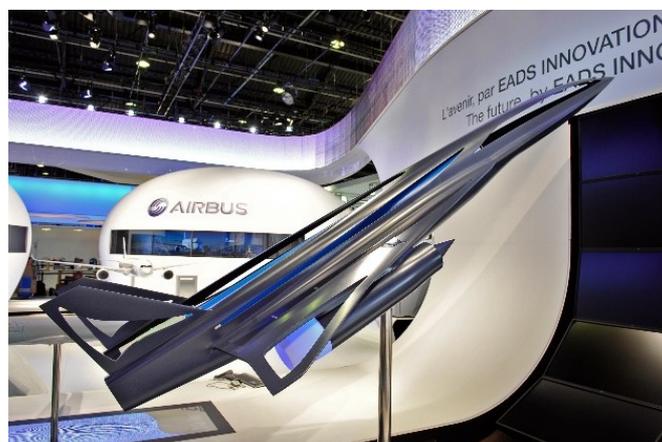




Fig. 8: ZEHST all'Air Show di Parigi.

4.2 SKYLON - INGHILTERRA

Progetto dell'azienda britannica Reaction Engines Limited, SKYLON è uno spaziosplano senza pilota, riutilizzabile, per l'accesso allo spazio.

Al momento in fase di sviluppo, si prevede di renderlo operativo intorno al 2020, quando sarà in grado di portare in orbita fino a 15 tonnellate di carico.

Lo SKYLON è stato progettato attorno al suo motore, il SABRE (Synergistic AirBreathing Rocket Engine), che ne costituisce la maggiore innovazione tecnologica. Il SABRE è un motore a ciclo combinato così operante:

- airbreathing dal take-off fino a Mach 5.5;
- rocket (LOx) da 25 km in poi.

Grazie al motore SABRE, lo SKYLON sarà in grado di raggiungere l'orbita con un solo stadio (SSTO), decollando e atterrando come un aeroplano convenzionale. Il velivolo sarà protetto durante la fase di rientro nell'atmosfera da una skin di material composito ceramico.

Il primo test a terra del motore è previsto per il 2019, mentre il primo volo dello Skylon è pianificato per il 2025.

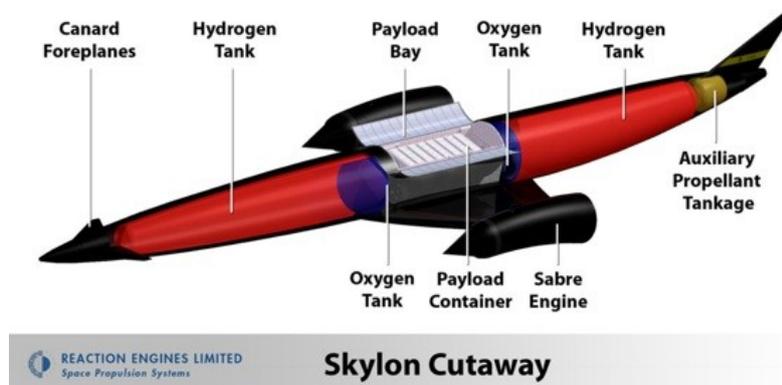


Fig. 9: SKYLON (Reaction Engine Limited)

4.3 HYPERSONIC airPLANE (HyPlane) – ITALIA

Aerospaziosplano proposto da: TRANS-TECH srl e Università Federico II di Napoli, basato sull'integrazione di tecnologie aeronautiche e spaziali state-of-art e che non necessita di ausilio al decollo (lanciatore, aereo madre, ecc.).

Configurazione:

- Capacità: 6 posti (+ 2 piloti)





- Ala a delta variabile e fusoliera portante tali da fornire stabilità aerodinamica e manovrabilità su un ampio range di velocità
- Dimensioni: 24.8 x 16.3 x 5.4 m
- Propulsione: 2 motori turbo-ramjet combinati con un razzo liquid oppure due motori a ciclo combinato del tipo SERJ
- Propellenti: JP7 o JP10 con H₂O₂ o N₂O
- Peso massimo al decollo (MTOW) = 27 t
- Interni facilmente ed automaticamente riconfigurabili



Caratteristiche di volo:

- Decollo e atterraggio orizzontale da oltre l'80% degli aeroporti disponibili (lunghezza necessaria della pista <1000 m) nel rispetto delle attuali normative
- Mach massimo: 4-4.5
- Accelerazione massima: 4 g₀
- Volo Suborbitale fino oltre i 100 km (Karman Line) per Turismo Spaziale, Esperimenti in Microgravità, Training
- Durante un singolo volo, può realizzare una serie di 3 parabole oltre i 70 km di quota per Turismo Spaziale (Space Tourism 2.0)
- Volo stratosferico a 30 km di quota per coprire distanze di circa 7000 km in meno di 2 ore

Segmenti di Mercato di riferimento:

- Turismo spaziale di durata estesa (multi-jump)
- Trasporto ipersonico intercontinentale di tipo business
- Trasporto urgente di merci speciali
- Ricerca in bassa gravità
- R&TD in ambito aerospaziale
- Remote sensing

4.4 PRORA Unmanned Space Vehicle (USV) - ITALIA

Il CIRA, Centro Italiano Ricerche Aerospaziali, che ha come principale stakeholder l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), ha in carico lo sviluppo del PRORA, il programma sulla ricerca aerospaziale finanziato dal Ministero della Ricerca Italiana. Il PRORA è un programma a lungo termine con un forte commitment per le attività relative al rientro.



All'interno del PRORA il CIRA ha sviluppato il programma USV, incentrato sullo sviluppo di tecnologie relative al rientro: GN&C autonomo, aerodinamica, aerotermodinamica, materiali e sistemi di protezione termica.

In particolare, i progetti FTB-X (2006-2008) e USV-3, in collaborazione con JAXA e ASI (2012-2013), si sono focalizzati sullo sviluppo di velivoli unmanned alati, capaci di missioni suborbitali e orbital. La roadmap seguita è rappresentata in Fig. 10



Fig. 10: Roadmap tecnologica

Le prime due missioni realizzate all'interno del programma USV sono state la DTFT_1 e DTFT_2, eseguite rispettivamente a Febbraio del 2007 e ad Aprile del 2010, con lo sviluppo dei due velivoli FTB1 Castore e FTB2 Polluce.

I due velivoli sono stati sviluppati con una configurazione alata ad alta efficienza aerodinamica allo di testare in volo e di validare le tecnologie chiave del rientro.

In particolare, le missioni DTFT sono state concepite per duplicare la parte finale di una traiettoria di rientro, la parte transonica, attraverso lo sgancio da un pallone stratosferico ad una quota di 24 km (Fig. 11, Fig. 12).

Lo step successivo è il progetto USV3, nato con lo scopo di completare la roadmap delle tecnologie realizzando un velivolo per il rientro da orbita LEO, in grado di operare in orbita e di rientrare autonomamente. Dal 2008 sono stati presi in considerazione diversi concetti, focalizzati sui seguenti punti:

- ✓ Lancio con VEGA;
- ✓ Capacità di operare in orbita attraverso l'implementazione di una Cargo Bay Multi-Purpose;
- ✓ Capacità di manovra e di controllo ai diversi regime di volo;
- ✓ Capacità di atterraggio su pista convenzionale.



FTB_1 Polluce before lift-off

FTB_1 Vehicle - "Polluce" unit

Vehicle figures-of-merit	
Length	8m + 2m Pitot Boom
Wing-span	3.6m
Mass	1268kg

Fig. 11: Missione DTFT_1

Controlled manoeuvring:
 Constant AoA acceleration
 Mach hold & AoA sweep
 AoA modulation & Banking

DTFT_2 Mission

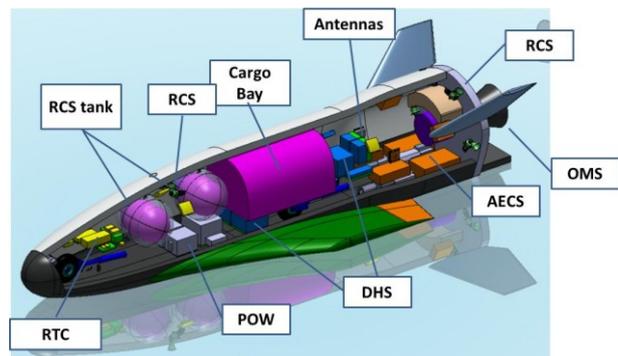
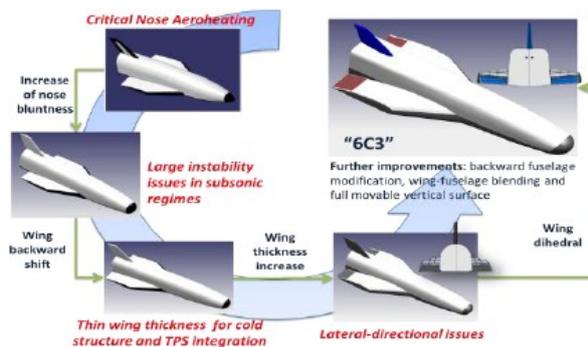
Drop altitude: 24 Km
 Mach (max): 1.2
 Flight duration: 140 sec

Arbatx-Tortoli (East Sardinia) civil airport used as logistic base

Flight and splashdown within the test range operated by PISQ in the Tyrrhenian sea

Tracking and telemetry provided by radar, satellite and direct links

Fig. 12: Missione DTFT_2



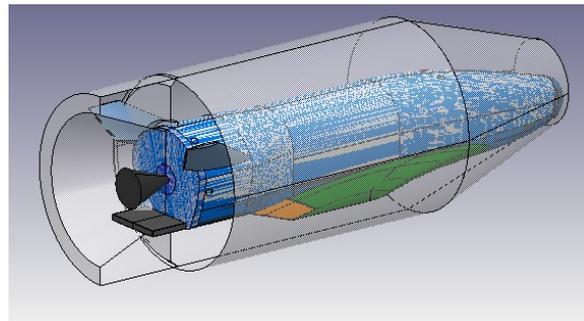


Fig. 13: USV-3, Studio di configurazione

5 MAPPATURA DELLE INIZIATIVE NEL RESTO DEL MONDO

La mappatura delle iniziative internazionali è presentata allo scopo di avere una panoramica completa dei concetti e delle tecnologie esistenti, e di identificare i diversi approcci e le possibili sinergie.

Sono analizzati i principali progetti di USA, Giappone e paesi emergenti (India e Cina) nello stesso intervallo temporale (2000-2015).

5.1 Stati Uniti

Gli **Stati Uniti** continuano ad investire molti sforzi in campo aerospaziale; solo alcuni dei progetti USA sono rappresentati in Fig. 14.

Per quanto riguarda il volo atmosferico/transatmosferico ipersonico le principali applicazioni sono legate al campo militare; tra questi progetti ricordiamo HyFly, X-51, HTV-2, SR-72.

Ci sono poi i progetti per l'accesso allo spazio, X-37 e Dream Chaser, e per il turismo spaziale, SpaceShip I e II.

Alcuni di questi sono descritti più in dettaglio nelle schede seguenti.

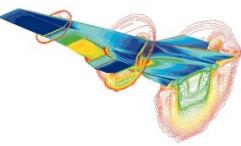
<p>HyFly (DARPA) Hypersonic missile (Mach 6) with Dual Combustor Ramjet</p> 	<p>X-43 (NASA/Boeing) unmanned scramjet (Mach 7-9)</p> 	<p>X-51 (WaveRider) (NASA/Boeing) unmanned scramjet (Mach 6)</p> 	<p>SR-72 (NASA/LockheedM.) unmanned hypersonic aircraft (Mach 6)</p> 	<p>Lynx (XCOR Aerospace) horizontal-takeoff, horizontal landing, rocket powered</p> 
<p>Space Shuttle (NASA)</p> 	<p>X-37 (NASA/Boeing) unmanned flight demonstrator; Automated Reentry and Landing</p> 	<p>HTV-2 (Falcon Project) (DARPA/USAF) Mach22 in volo sub-orbitale</p> 	<p>SpaceShip Two (Virgin Galactic) Suborbital Passenger spaceplane (Space Tourism)</p> 	<p>Dream Chaser (Sierra Nevada Corporation) Trasporto passeggeri in orbita terrestre bassa</p> 

Fig. 14: Alcuni dei progetti sull'ipersonica in USA (2000-2015)



5.1.1 X-37 (NASA/BOEING) – USA

Il velivolo X-37 nasce da un accordo nato tra NASA e Boeing [1] per lo sviluppo di velivoli in grado di operare in orbita e di rientrare autonomamente su pista convenzionale.

Allo sviluppo dei test orbitali per l'X-37 hanno contribuito l'Air Force e la DARPA. Il primo test (OTV-1) in orbita bassa è stato effettuato nel 2010 con il razzo Atlas-V. Il rientro è avvenuto autonomamente sette mesi. Dopo di questo, altri test sono stati effettuati nel 2011, nel 2012 e nel 2015.

Le missioni e i test effettuati hanno riguardato sistemi avanzati di guida, navigazione e controllo, sistemi di protezione termica, avionica di bordo, componenti resistenti alle alte temperature, sistemi di isolamento riusabili, componenti elettromeccaniche leggere di controllo del volo, e procedure automatiche per il volo orbitale, la fase di rientro in atmosfera

Vehicle: X-37
Developers: Boeing
First launch: September 2002
Number of stages: 1 stage deployed by Shuttle
Possible launch sites: KSC
Markets served: Testbed for RLV technologies and operations.

e di atterraggio [2].

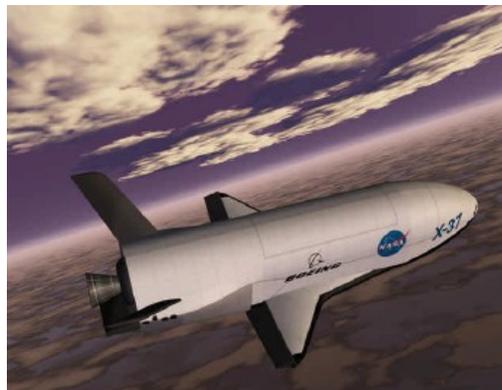


Fig. 15: X-37

5.1.2 SR-72 (Lockheed Martin per USAF) - USA

Successore del Lockheed SR-71 Blackbird, è UAV spia ipersonico (Mach 6) progettato a scopo militare (ricognizione e sorveglianza), in grado di raggiungere qualunque punto nel mondo in un'ora.

Utilizza un motore ibrido turbine-based a ciclo combinato (TBCC):

- turbojet fino a Mach 2;
- motore scramjet fino a Mach 6.

I materiali sono titanio e fibre di carbonio; il TCS dovrà garantire la sopravvivenza degli equipaggiamenti a condizioni di temperature estreme.



La costruzione di un dimostratore scalato (18 metri) è prevista per il 2018 con test di volo pianificati per il 2023. L'SR-72 avrà le stesse dimensioni dell'SR-71, circa 30 metri, ed è previsto che entri in servizio nel 2030.



Fig. 16: SR-72

5.1.3 Dream Chaser (Sierra Nevada Corporation) – USA

Spazioplano riutilizzabile progettato per rifornire la Stazione Spaziale Internazionale.

Prevede decollo verticale; sarà in grado di rientrare dallo spazio come un glider e di atterrare su pista convenzionale.

Dotato di motore a razzo ibrido, lo stesso utilizzato sullo SpaceShip Two, e di TPS ablativo sostituibile.

Previsto sia nella versione cargo che in quella manned, potrà trasportare da 2 a 7 passeggeri.

Nella versione cargo sarà dotato di particolare ali dispiegabili per potersi adattare ai fairing dei lanciatori esistenti e di quelli futuri e utilizzerà array solari per aumentare il tempo di missione nello spazio.

Nella versione crewed sarà dotato invece di un controllo ambientale addizionale per ospitare un equipaggio fino a sette persone, e di finestre per consentire la visibilità all'equipaggio. In questa modalità il lancio avverrà senza fairing e verranno aumentati i sistemi di sicurezza e le possibilità di manovra orbitale.

Il primo test orbitale è pianificato per fine 2016. Verrà utilizzato il razzo ATLAS V.

Like NASA's space shuttle, Dream Chaser is designed to glide to a runway landing

	Dream Chaser	Space Shuttle Orbiter
Builder	Sierra Nevada	Rockwell Int'L
First crewed flight	to be determined	1981
Crew	up to 7	up to 7
Launch vehicle	Atlas 5	STS
Length overall	29.5 ft (9 m)	122 ft (37 m)
Wingspan	22.9 ft (7 m)	78 ft (24 m)



Fig. 17: SR-72

5.2 Giappone

Il **Giappone**, attraverso al JAXA, negli ultimi anni ha analizzato vari concetti, focalizzati soprattutto al volo supersonico/ipersonico per trasporto passeggeri.

JAXA sta portando avanti la ricerca su forme aerodinamiche che consentano di raggiungere un volume sufficiente per voli ad alta velocità e a lunga percorrenza. Si stanno valutando aerodinamica e prestazioni attraverso prove in galleria del vento e analisi numeriche, allo scopo di consentire un volo stabile al decollo e all'atterraggio, nonché durante la crociera, pensata ad una velocità di circa Mach 5.

Parallelamente si sta portando avanti la ricerca sui materiali per i sistemi di protezione termica e sui metodi di raffreddamento attivo per la cabina.

Un altro punto critico è il motore, che deve essere in grado di funzionare in diversi regimi di moto. La JAXA sta progettando un motore turbojet capace di operare fino a Mach 5 utilizzando un sistema di raffreddamento dell'aria attraverso idrogeno liquido. Il motore è stato già testato fino a Mach 2; si prevede un test fino a Mach 5 con il velivolo sperimentale del progetto Hytex.

Alcuni concetti per il trasporto high-speed sono sviluppati all'interno del progetto HIKARI.

Tra i progetti del Giappone si ricordano infine i due progetti Single-Stage-To-Orbit Spaceplane e Hope-X per l'accesso allo spazio, meglio descritti nelle schede seguenti.

5.2.1 Orbiting Plane Experimental, Hope-X (JAXA) – GIAPPONE

Hope-X è il progetto della JAXA per l'accesso allo spazio.

Il progetto nasce dalle conoscenze acquisite in progetti passati, quali l'Orbital Re-entry Experiment (OREX), completato nel 1994, l'Hypersonic Flight Experiment (HYFLEX) e l'Automatic Landing Experiment (ALFLEX), entrambi completati nel 1996 e l'High Speed Flight Demonstration (HSFD) completato nel 2002 [1].



Lo spaziosplano Hope-X [4] è un velivolo alato, dotato di due rudder verticali e lungo 13.4 metri. La struttura è principalmente costituita da leghe di alluminio, protette da piastrelle di ceramica e da un sistema di isolamento termico interno. Lanciato probabilmente con il vettore H-II, e dotato di un proprio sistema di manovra orbitale, sarà in grado di entrare in orbita LEO e di rientrare poi autonomamente, atterrando come un aeroplano tradizionale.

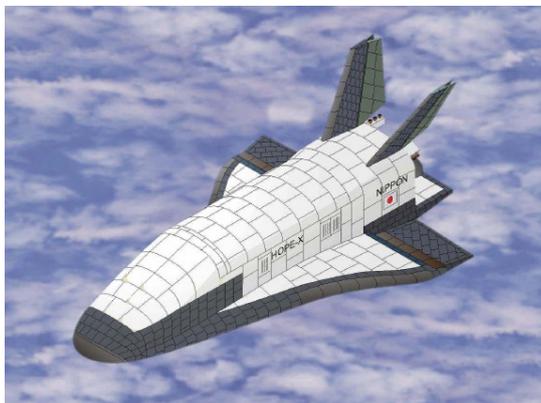


Fig. 18: Hope-X - JAXA

5.2.2 Single-Stage-To-Orbit Spaceplane – GIAPPONE

Tra gli obiettivi a lungo termine del Giappone c'è quello di realizzare un velivolo Single-Stage-to-Orbit (SSTO) in grado di decollare e atterrare orizzontalmente, trasportando fino a 10 passeggeri.

Il progetto è portato avanti da JAXA insieme alle compagnie che costituiscono lo Space Plane Committee (Mitsubishi, Ishikawa-jima-Harima, Kawasaki, Fuji, and Sumitomo).

Il velivolo utilizzerà propulsione avanzata combinata; tra i concetti, il “liquefied air cycle engines (LACE)” e gli scramjets. Il motore LACE è in grado di liquefare l'aria a bassa quota e di accumulare ossigeno da usare alle quote più alte. Quindi LACE avrà il compito di portare il velivolo a fino a Mach 5 ad una quota di 20 km, mentre lo scramjet lo accelererà fino a Mach

L'obiettivo del Giappone è quello di realizzare un primo SSTO per il 2020.



Fig. 19: SSTO Spaceplane

5.3 India e Cina

In questi Paesi i progetti sull'iperonica sono essenzialmente legati ad applicazioni di tipo militare e riguardano soprattutto lo sviluppo di missili tattici ipersonici a lunga gittata.



Tra i progetti dell'**India** ricordiamo l'Hypersonic Technology Demonstrator Vehicle (HSTDV), progetto finanziato dall' Indian Defence Research and Development Organisation (DRDO) per lo sviluppo di un dimostratore scramjet ipersonico, e i progetti BrahMos I-II co-finanziati da India e Russia e finalizzati allo sviluppo di missile ipersonici in grado di volare a Mach 7 coprendo fino a 290 km. Durante la fase di crociera i missile sono propulsi da uno scramjet. Il primo test di volo è previsto per il 2017.

Ancora in **India** troviamo il progetto AVATAR - Aerobic Vehicle for Advanced Trans-Atmospheric Research [5]- sempre dell'Indian Defence Research and Development Organisation, finalizzato al design di un piccolo spaziosplano riutilizzabile in grado di portare da 500 a 1000 kg in orbita.

L'AVATAR decollerà orizzontalmente utilizzando dei motori ramjet (aria e idrogeno), una volta raggiunta la quota di crociera il velivolo utilizzerà un motore scramjet per accelerare fino a Mach 7. Durante la fase di crociera i sistemi di bordo separeranno ossigeno liquido dall'aria, usandolo poi nella fase finale di volo per raggiungere l'orbita.

Sia il motore scramjet che il sistema di recupero dell'ossigeno liquido sono stati già testati in DRDO.

Nel 2012 un prototipo scalato dell'AVATAR, il Reusable Launch Vehicle-Technology Demonstrator (RLV-TD) è stato approvato per essere costruito e testato. Il primo lancio è pianificato per Aprile 2016 a Sriharikota.

Anche la **Cina** è impegnata principalmente in progetti a scopo militare, soprattutto per lo sviluppo di missili ipersonici. E' impegnata anche nello sviluppo di propulsori combinati per droni ipersonici riutilizzabili. E' del China Aviation News la notizia che il 18 Settembre 2015, la Cina abbia fatto volare, per il suo primo test, un drone, che lanciato dal carrier H-6 ha raggiunto la velocità di Mach 4 ed è poi stato in grado di atterrare. Il propulsore utilizzato in questo caso era un motore a ciclo combinato turbo-ramjet

Il passo successivo sembra essere quello di testare motori combinati turbo/scramjet engine per superare la velocità di Mach 5.



Riferimenti Bibliografici

- [1] "NASA, Boeing Enter Cooperative Agreement to Develop and Fly X-37 Technology Demonstrator," MSFC News Release, July 14, 1999.
- [2] "X-37 Demonstrator to Test Future Launch Technologies in Orbit and Reentry Environments," Boeing Press Package, July 14, 1999 and Lt. Col. Kris Johannesssen, Deputy Project Manager for the X-37, Dec. 16, 1999.
- [3] Y. Miyazawa, "Current Status of Japanese Aerospace Programs—Focusing on the High Speed Flight Demonstration", 2004.
- [4] M. Shirouzu et al., "Development of HOPE-X and High Speed Flight Experiment".
- [5] "India Sees Bright Skies for Space Plane," Space News, May 18-24, 1998, p. 15.