

2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM: “HYPERSONIC FLIGHT: FROM 100,000 TO 400,000FT”

(Roma, 30 giugno ÷ 1 luglio 2016)

Ing. Francesco Sintoni

SCENARIO

Volare a velocità ipersoniche (fino a raggiungere 12 volte quella di crociera del Concorde) rappresenta il nuovo *concept/design* di un vettore che, ad esempio, nell’ambito del trasporto civile e non solo, potrebbe volare da Londra a New York in solo 11 minuti. Il mondo dei media è ricco di annunci relativi a progetti in corso o comunque riguardanti studi di fattibilità in grado di rendere concreto quello che ad oggi è ancora in gran parte un’idea, un assioma.

Un esempio interessante è il velivolo “Antipode” del progettista Charles Bombardier, il quale salirebbe fino a 40.000 piedi (12.200 metri) a Mach 5 spinto per il decollo da booster per razzi, per poi dispiegare le proprie ali e tornare autonomamente alla base di partenza sotto la spinta di motori supersonici che accelererebbero il veicolo fino a Mach 24 (circa 20.000 km/h). Questo vettore è progettato, quindi, come un jet privato in grado di ospitare fino a 10 persone (di notevoli disponibilità economiche visto il costo presunto di ogni singolo volo) trasportandole in giro per il mondo a velocità tali da avere a malapena il tempo di bere un drink. Tanto per avere un’idea delle tempistiche in gioco si percorrerebbe New York-Londra in 11 minuti, New York-Shanghai in 24 minuti e New York-Sydney in 32 minuti.

Il volo ipersonico naturalmente investe anche aspetti legati alla Difesa e ai piani di armamento, che sono sempre più vincolati a soluzioni altamente tecnologiche (si pensi ad esempio a quanto in essere negli USA con il progetto del velivolo ipersonico “Falcon” - *Falcon Hypersonic Technology Vehicle*).

Viaggiare a velocità ipersonica, e poter, quindi, raggiungere qualsiasi punto del pianeta in meno di un’ora, richiede tecnologie e capabilities peculiari, quali i materiali, studi specifici di aerotermica, aerodinamica dell’ipersonico, ecc.. Ad esempio, alcuni test condotti sul suddetto Falcon hanno mostrato un problema legato allo stazionamento per tempi lunghi alle velocità ipersoniche (perdita della superficie esterna di copertura della struttura del velivolo conseguenza delle sollecitazioni legate alle forti onde shock generatesi attorno al veicolo che stava viaggiando a Mach 20) anche in relazione al riuso successivo del vettore. Quindi, la tecnologica è il cuore del problema e rappresenta il nodo che bisogna svolgere in un’ottica di volo umano ipersonico che non sia solo pionieristico, ma anche commerciale.

IL SIMPOSIO

L’ iniziativa intrapresa da CESMA con la seconda conferenza che si è tenuta a Roma il 30 giugno e 1 luglio 2016 presso la sala conferenze della Biblioteca Nazionale Centrale di Roma è l’evoluzione di elaborazioni fatte al suo interno anche coinvolgendo gli stakeholders a partire dal 2012 e si proietta appieno all’interno dello scenario brevemente descritto sopra con l’obiettivo dichiarato all’apertura dei lavori dal Gen. Isp. (r) Nazzareno Cardinali – Direttore di CESMA – di ispirare e facilitare possibili iniziative di cooperazione tra gli attori italiani, europei e internazionali finalizzate allo

sviluppo di veicoli/vettori ipersonici, per le ricadute che ciò avrebbe a livello strategico (sicurezza nazionale ed europea) e commerciale per l'Italia e la sua industria.

Semplicemente visto da questa *line-of-sight* l'evento si è rivelato un successo avendo centrato l'obiettivo di raggruppare attorno ad un tavolo di discussione Università e Politecnici nazionali (Milano, Cagliari, Bari, Torino, Napoli), centri di ricerca nazionali (CIRA) ed internazionali (il DLR tedesco, il Central Institute of Aviation Motor di Mosca), agenzie nazionali (ASI, ENAC, ESA) ed internazionali (NASA, JAXA), distretti aerospaziali regionali (DAC campano) e, non certo ultimi per importanza, l'Italian Air Force e le imprese operanti nel settore (MBDA, ThalesAlenia Space).

Questa molteplicità ha permesso una esposizione pressoché esaustiva delle problematiche relative al volo ipersonico, dalla propulsione ai materiali, passando per il monitoraggio strutturale, la meccanica del volo, la termoaerodinamica, l'analisi delle prestazioni, l'assessment strutturale, il traffic management, il testing, la *safety* sino ad arrivare, infine, a trattare dei sistemi di Guidance/Control e descrivere alcuni programmi in atto o appena conclusi con test di volo.

Dalla conferenza emerge come prima considerazione generale che in Italia esistono eccellenze che abbracciano praticamente tutti gli aspetti rilevanti ed abilitatori della tecnologia, alcune già sfruttate nell'ambito dei programmi precedenti ed in atto, alcune ancora no, ma sicuramente in grado di dare risposte di livello elevato ed adeguato nell'ambito di possibili programmi futuri.

Circa quest'ultimo aspetto ci si riferisce, in particolare, a quanto presentato dal Politecnico di Bari relativamente alla tecnologia dei sensori fotonici per i sistemi di "*vehicle guidance & control*" e di monitoraggio strutturale.

La rilevanza della tecnologia fotonica ed il fatto che essa possa fornire un contributo fondamentale allo sviluppo di piattaforme ipersoniche affidabili è intrinsecamente connesso, da una parte, alle condizioni particolarmente onerose in termini di temperatura, pressione e gradienti di pressione, ed aerodinamica dei flussi comprimibili in cui questi velivoli sono chiamati ad operare, dall'altra ai requisiti particolarmente sfidanti in termini prestazionali richiesti ai sistemi di navigazione autonoma ed ai loro sensori che devono qualificarsi per una elevata accuratezza, risoluzione ed insensibilità ai disturbi esterni.

La tecnologia fotonica presenta il vantaggio di una maggiore efficienza, di minori perdite, di minore consumo energetico, delle piccole dimensioni, di più elevati livelli di integrabilità, di migliore compatibilità elettromagnetica, ecc.

Il Politecnico di Bari ha presentato alcuni degli sviluppi da esso realizzati quali, ad esempio, il giroscopio fotonico, i Fiber Bragg Grating (FBG) ed il Multiplexed FBG sensing.

Una enfasi speciale ha avuto nell'ambito della conferenza la tematica afferente ai materiali – in particolare quelli per le protezioni termiche – che è stata oggetto di presentazioni specifiche da parte dell'Università di Cagliari/Distretto Aerospaziale della Sardegna e del Politecnico di Milano, ed oggetto di richiami sostanziali in quasi tutti gli altri interventi.

La presentazione dell'Università di Cagliari si è concentrata attorno alle "ceramiche per impieghi a temperature molto elevate" (*Ultra High Temperature Ceramics* - UHTC), cioè classi di materiali ottenuti miscelando polveri di diboruro e carburo di zirconio, diboruro e carburo di niobio, diboruro e carburo di tantalio con polveri di carburo di silicio.

Le ceramiche di questa composizione possono operare in range di temperature compresi tra i 3300°K ed oltre i 4000°K in ambienti fortemente ossidativi, fatto che le rende tanto più appetibili nelle applicazioni relative ai sistemi di protezione termica (*nose, leading edge*, superfici di controllo) quanto più si adottano geometrie aerodinamiche che generano carichi termici più alti, e componenti per motori a propellente solido (interni delle camere di combustione, ugelli, ecc.). Di particolare interesse sono anche le tecnologie di processo che l'Università di Cagliari ha adottato per lo sviluppo di campioni di laboratorio e simulacri prototipali, vale a dire lo *Spark Plasma Sintering* - SPS che ha il vantaggio di permettere la pressoché totale densificazione dei materiali e la *Self-propagating High-temperature Synthesis* - SHS idonea a trattare polveri ad elevata sinterizzabilità. I test di ablazione condotti nell'ambito di un progetto di sviluppo di ugelli ha mostrato una elevata resistenza all'ablazione delle miscele densificate di HfB₂-SiC.

Altro aspetto relativo ai materiali - trattato dal Politecnico di Milano - è stato quello della “valutazione delle proprietà di resistenza meccanica ed alla temperatura” dei Compositi a Matrice Ceramica (*Ceramic Matrix Composites* - CMC) - in particolare il C-SiC - e del Carbon-Carbon (C-C) utilizzati nei sistemi di protezione termica che nel volo ipersonico operano in condizioni particolarmente onerose e per le temperature di picco che si manifestano e per la durata all’esposizione termica; questa classe di materiali opera a temperature massime non superiori ai 2500°C a differenza dei precedenti che sono pensati per sostenere sollecitazioni termo-meccaniche prodotte da temperature più alte.

I limiti principali del Carbon-SiC e del Carbon-Carbon vanno rispettivamente ricondotti, come da quanto ricordato dal Politecnico, alla porosità del primo e all’ossidazione che subisce il secondo al di sopra dei 500°C - processi di degrado che portano all’accumulazione progressiva del danneggiamento.

Sebbene questi limiti siano rimuovibili in una certa misura mediante l’impregnazione degli strati superficiali e la successiva deposizione di *coating* di carburo di silicio e nitruro di silicio via *Chemical Vapour Deposition* (CVD), i problemi di compatibilità termo-meccanica che sono effetto di tali trattamenti, unitamente al degrado progressivo da esposizione, fa giustamente ritenere al Politecnico di Milano necessario adottare approcci di *damage tolerance* nella progettazione e del materiale e delle strutture, e ciò richiede la esecuzione di testing meccanico (i.e., *bending test*, ecc.) e di analisi microstrutturali/microanalitiche che permettono con un approccio di tipo multiscala lo sviluppo di modelli predittivi ed interpretativi del comportamento dei materiali e dei componenti prima e dopo l’utilizzo in esercizio e dell’impatto che ha il processo di fabbricazione sulle prestazioni degli stessi (i.e., variazione del contenuto di carbonio a seguito di trattamento in forno, ecc.) in termini, ad esempio, di resistenza ai processi di delaminazione tra i diversi strati e all’interfaccia matrice-fibra.

Il Politecnico ha presentato i risultati di una intensa attività di ricerca sperimentale dai quali è possibile, essendo il prodotto di un progetto condotto in cooperazione con la società Brembo specializzata nello sviluppo e produzione di freni per impiego auto, trarre l’importante conclusione che l’approccio dual-use può risultare vincente non solo nell’ambito software ed elettronico, ma anche in quello delle strutture e dei processi di fabbricazione di componenti/strutture dove i costi di investimento sulle tecnologie sono molto rilevanti.

I materiali sono risultati centrali pure nella presentazione della società Aerosekur sebbene essa abbia fornito ai presenti alla conferenza una visione sintetica, ma a trecentosessanta gradi, del progetto IRT (*Inflatable Re-entry Technology*) l’obiettivo del quale è stato lo sviluppo del modulo flessibile, gonfiabile e pieghevole SPEM per il rientro d’emergenza da navi spaziali orbitanti (SPEM è l’acronimo in inglese di “*SPacecrew Emergency Module*”). Lo SPEM è stato pensato costituito di una struttura reticolare gonfiabile realizzata con il tessuto AERTEX che supporta sulla sua superficie conica esterna uno strato di Kevlar che è la base del *Thermal Protection System* a sua volta costituito di due strati interni realizzati in Nextel e Saffil¹ ed uno esterno di silicio a funzione ablativa, a cui si aggiungono il sottosistema di gonfiaggio, l’avionica, il paracadute e la struttura meccanica della capsula. Test condotti con PWT (*Plasma Wind Tunnel*) del CIRA hanno provato la capacità del sistema di schermaggio termico di abbattere le temperature da un valore di circa 1250 °C (Superficie esposta) a 40°C (struttura gonfiabile).

In parte sulla stessa lunghezza d’onda tecnologica di quanto presentato dalla società Aerosekur, la presentazione dell’Università Federico II di Napoli ha dato ancor più enfasi alle *Deployable Technologies* che sono state presentate come architetture estremamente flessibili relativamente alle tipologie di missione a cui possono essere dedicate (recupero di piccoli carichi, missioni scientifiche, missioni interplanetarie di sonde spaziali, missioni per l’osservazione della Terra, missioni di pulizia dei detriti, ecc.).

Dalla presentazione esse appaiono anche in grado non solo di rovesciare il ranking delle tecnologie abilitanti - ad esempio, il basso coefficiente balistico reduce l’entità dei carichi aerodinamici e meccanici in fase di rientro -, ma di caratterizzarsi per la possibilità di eseguire la *de-orbiting* senza l’ausilio di un sistema propulsivo dedicato perché dotati di freni aerodinamici, di essere alloggiati più facilmente all’interno del lanciatore e così via.

¹ Fibre ceramiche refrattarie in alluminosilicati

L'Università Federico II di Napoli ha in essere il progetto IRENE che nelle configurazioni Maxus, Mapheus e Leo svilupperà missioni aventi target diversi e caratterizzate da profili di missione sostanzialmente diversi. Allo stato attuale i ground test eseguiti presso il Centro Ricerche Aerospaziali Italiano hanno qualificato i materiali, che anche in questo programma appaiono centrali come tecnologia abilitante, per la TPS: la schiuma ceramica Rescor 310M2 ha sopportato carichi termici fino 1550°C ed il tessuto ceramic Nextel 312 ha retto fino a 1350°C. Altri progetti proposti dal distretto aerospaziale campano (DAC) e che vedono o vedranno anche il coinvolgimento dell'Università sono MISTRAL – MicroSatellite con capacità di Rientro Aviolanciato, CubeSat End-Of-Life System (CELS) e CubeSat De-Orbit & Recovery System (CDRS).

Passando a trattare quanto è stato esposto in termini di piattaforme/sistemi di volo ipersonico di rilievo è apparsa la presentazione della European Space Agency la quale ha fornito il quadro generale dei programmi che la vedono coinvolta.

Nell'ambito dello sviluppo di vettori per il trasporto ad alta velocità ESA si è posta come coordinatrice di una serie di progetti finanziati dai Framework Program 6 e 7 (ATLAS I/II, LAPCAT I/II, FLACON, FAST20XX, HIKARI, HEXAFly-INT) che hanno unito in partnership operatori europei (BE, CH, DE, FR, IT, NL, RO, SE, UK) ed internazionali (J, RU, AUS, BR) e che vedono pianificati per il 2018 test di volo di bassa velocità ed ipersonici fino a $M_\infty = 7$, oltre che una serie di attività di R&D incentrate su "velivoli ad elevato rapporto lift/drag, *winged vehicle*, HTOL, TPS, integrazione, ottimizzazione aerodinamica, propulsione avanzata *air-breathing* – missile per *reusable vehicles*, materiali per alte temperature e strutture calde riutilizzabili, sistemi di controllo volo avanzato, GNC e HMS, impatto ambientale delle emissioni anche acustiche.

Tra le attività elencate dalla European Space Agency si ricordano SABRE (*Synergistic Air-Breathing Rocket Engine*) che sviluppa un propulsore air-breathing a rapporto spinta-peso in grado di accelerare un veicolo fino a $M_\infty = 5$ accoppiato ad razzo propulso ad ossigeno ed idrogeno liquido, FLACON & FAST20XX Alpha il cui target è un sistema suborbitale completamente riutilizzabile, SWISS SPACE SYSTEM (S3) che sviluppa il concetto di un lanciatore costituito da un aereo di linea come 1° stadio, una navetta riutilizzabile come 2° stadio ed un propulsore a combustibile liquido non riutilizzabile come 3° stadio, XCOR, un sistema di lancio utilizzante l'Eurofighter, oltre che una serie di attività a basso TLR che riguardano la propulsione elettrica (*Air-Breathing Electric Propulsion* RAM-EP), equipaggiamenti, sistemi di combustione, sistemi di visione, ecc.

Di particolare rilievo appare il concept "Hyplane" elaborato e proposto dalla campana Trans-Tech che si configura come un aereo per il volo sub-orbitale e stratosferico a bassa ipersonicità ($M_\infty = 4 \div 4.5$) in grado di operare parabole ad una altitudine di oltre 70 km e di percorrere circa 7000 km in meno di due ore volando a quote di 30 km, trasportare un numero di passeggeri limitato (6) decollando ed atterrando da piste non più lunghe di un chilometro senza la necessità di aggiornamenti alla attuale normativa, propulso da un motore ramjet o da due ramjet accoppiati ad un sistema di propulsione missilistica e che riguarda il mercato delle sperimentazioni scientifiche, del turismo spaziale e dell'addestramento.

Su un piano analogo sembra essersi posta la proposta della Agenzia Spaziale Giapponese JAXA con il suo Hypersonic Transport Aircraft HiMICO (*High Mach Integrated Control Experiment Aircraft*) che è pensato come un aeroplano con comfort da prima classe, in grado di volare fino a circa $M_\infty = 5$ alla quota di crociera di ventiquattro chilometri percorrendo la tratta Tokio-Roma in tre ore con decollo ed atterraggio in aeroporti normali e potenzialmente utilizzabile come primo stadio di un veicolo spaziale di tipo *Two Stages to Orbit*, in grado di raggiungere la quota di cento chilometri per operare poi una discesa ed un volo di crociera fino all'atterraggio alla base di partenza. La JAXA pianifica una attività di R&D che entro il 2025 porterà alla realizzazione ed al flight test di un mezzo lungo quaranta metri propulso da un motore turbojet ipersonico preraffreddato.

² Rescor 310M è un alluminosilicato

Il contributo del Centro Ricerche Aerospaziali Italiano (CIRA) ha riguardato le presentazioni relative ai progetti HEXAFLY-INT e SPACE-RIDER.

Il primo, che vede collaborare il CIRA con molteplici partner internazionali (TET per la progettazione delle strutture operanti a bassa temperatura, TsAGI per la fabbricazione delle stesse, DLR per le strutture calde e DLR/Australia per i test di volo), si propone l'obiettivo di progettare, realizzare, assemblare e collaudare in volo un velivolo ad alta velocità ($M_\infty = 7 \div 8$) portandolo a quote di 27÷33 km con il lanciatore VS-43 per farlo poi ridiscendere in configurazione glider.

Il mezzo si compone di due parti; la prima - l'*Experimental Flight Test Vehicle* (EFTV) il cui compito è di operare la discesa in configurazione "alante" – vede l'impiego di *Ceramic Matrix Composite* per gli *ailers* ed i *leading edge* alari, leghe di rame per il *nose cap* ed il *Leading Edge* dello stabilizzatore verticale, leghe di titanio per le ali, la fusoliera e lo stabilizzatore di coda che nelle parti calde sono rivestite di zirconia parzialmente stabilizzata, la seconda - l'*Experimental Support Module* (ESM) che ha la funzione di stabilizzare e controllare l'assetto alle quote più alte per mezzo di thrusters – vede il cono fatto in lega di alluminio e barre/fittings in lega di titanio rivestita di PSZ mediante plasma spray.

I sistemi di bordo COTS prevedono un sistema autonomo di guida, navigazione e controllo operante sulla base di dati IMU e GPS, un DAQ System ed un sistema di invio a terra degli stessi per telemetria.

Il secondo progetto si pone come la naturale prosecuzione del programma IXV, nel quale il CIRA ha collaborato con ThalesAlenia Spazio ed altri importanti attori aerospaziali con l'obiettivo di sviluppare un trasporto spaziale affordable lanciabile da VEGA e VEGA C+ in grado di realizzare operazioni in orbita circolare LEO (max 400Km, 52°), per poi operare un *de-orbiting* e ridiscendere a terra con atterraggio di precisione (principalmente siti europei) ed essere pronto per la missione successiva; di fatto il progetto si pone l'ambizioso obiettivo di rendere il trasporto spaziale sostenibile da un punto di vista commerciale e finanziario e di ridurre entro limiti ristretti il rischio tecnologico ed economico della missione (soluzione lanciatore la più economica possibile, costi di *refurbishment* limitati per sei missioni). In termini applicativi SPACE-RIDER si propone come una piattaforma *multipurpose* in grado di fornire servizi di sperimentazione in microgravità, recupero di payload da ISS e da orbite LEO, logistica ad imprese che necessitano di spazi da dedicare a test dimostrativi scientifici e tecnologici, osservazione della terra ed ispezione di satelliti.

Il progetto vede la partecipazione di venticinque aziende distribuite in nove paesi (IT, FR, GB, ES, CH, RO, SE, PT, IR) con un ruolo primario sviluppato dal CIRA (Interfaccia di Project Management verso ESA, identificazione delle tecnologie e dell'architettura del mezzo, aerodinamica ed aerotermo aerodinamica, TPS, strutture composite anisogrid, ecc.) e da ThalesAlenia Spazio (Ingegneria di sistema, definizione della missione, configurazione del sistema, analisi meccaniche e termiche, avionica, ecc.).

La missione IXV, oggetto della presentazione di ThalesAlenia Spazio, è stata completata con successo a metà febbraio del 2015 con tutta la piattaforma e le tecnologie associate che hanno eseguito con successo l'intera linea di programma di volo. Esso prevedeva il lift-off da parte del lanciatore VEGA fino all'altitudine di 348km, un arco orbitale in salita fino a 413 km di quota ed in discesa fino a 120 km seguito da un volo planato sostenuto nella fase finale da palloni frenanti (ultimi 25 chilometri); il tutto con controllo della traiettoria e manovre comandate, eseguendo un volo complessivo di circa 25.000 chilometri, compresi 8.000 Km di rientro atmosferico con guida automatica, a partire da un velocità orbitale di circa 7,5 km / sec (Mach = 27) e concludendo la missione con un atterraggio di precisione. Il programma IXV ha creato le basi solide per lo sviluppo dello SPACE-RIDER che sarà il dimostratore finale di un trasporto spaziale europeo.

La presentazione del Politecnico di Torino si caratterizza per quattro aspetti peculiari rispetto alle precedenti: una ipotesi di velivolo ipersonico a decollo ed atterraggio verticale dotato, inoltre, di un sistema di fuga (sezione di poppa della fusoliera staccabile), un progetto di sviluppo a finanziamento privato ed internazionale, uno statement concettuale basato sull'adozione di una metodologia di progettazione di sistema associata alla definizione corretta della missione e a strategie di trade-off rigorose come struttura concettuale che aumenta la possibilità di successo della missione. Il progetto del Politecnico di Torino si fonda, quindi, da una parte su una analisi preliminare del mercato, su valutazioni economiche, sull'analisi delle necessità dei stakeholders e su considerazioni di tipo geopolitico, e, dall'altra su una

definizione chiara degli obiettivi (garantire un servizio di volo regolare di 4 passeggeri alla volta, raggiungere i cento chilometri di altitudine, sperimentare almeno due minuti di microgravità, garantire una piacevole vista della terra).

La missione simulata dal Politecnico e da ThalesAlenia Spazio (sub-contractor della società Altec S.p.A. committente della Malesia) – risultato di un processo iterativo e ricorsivo - prevede il decollo in verticale eseguito con modalità simili a quelle di un caccia Harrier da un pad posto a Taiping (Malesia), una parte dell'ascensione in atmosfera sostenuta da due propulsori *air-breathing* (150 kN di spinta ciascuno) a spinta vettorizzata per mezzo di ugelli orientabili (PW-100-220), seguita da una seconda parte sostenuta dalla propulsione missilistica (300kN di spinta), un arco di orbita parabolica in condizioni di microgravità, un rientro veleggiato ed un volo di crociera fino alla base di partenza con atterraggio sulla stessa piattaforma.

La natura prettamente commerciale dell'iniziativa ha spinto la progettazione ad ipotizzare soluzioni innovative come quella che attraverso lo spostamento dei sedili massimizza gli spazi fruibili da parte dei passeggeri durante lo stazionamento in microgravità e quella che garantisce la massima affidabilità strutturale riducendo in una certa misura, ad esempio, le discontinuità strutturali dovute agli obli con l'ausilio di pannelli O-LED che permettono, comunque, un'immersione virtuale completa nell'ambiente esterno.

L'intervento di Altec S.p.A. si è posto come complementare rispetto a quello del Politecnico di Torino in quanto ha approfondito le problematiche del segmento di terra traguandole secondo una logica di tipo commerciale/normativo e coerentemente ad un approccio metodologico il quale prevede che la progettazione di questo segmento³ deve camminare di pari passo con quella della missione e del trasporto al fine di garantire la piena coerenza tra il segmento di volo e le infrastrutture di supporto – ovvero, l'architettura dello spazioporto.

Con riferimento al progetto malaysiano, sebbene Altec esprima l'auspicio che sia sviluppato per i voli suborbitali un nuovo frame normativo capace di integrare e sinergizzare la normativa spaziale con quella aeronautica, ritiene che in via transitoria debba essere adottata la policy FAA attraverso accordi con l'Autorità per l'Aviazione Civile Malese mirati ad adattare le normative FAA al quadro normativo locale.

Relativamente ai sistemi propulsivi il Politecnico di Milano ha presentato i risultati di simulazioni e valutazioni tecniche sulla tecnologia *Air-augmented rocket* o *ducted rocket* contestualizzandole in un quadro generale che vede la tecnologia propulsiva adottabile variare a seconda del target di velocità e di quota della missione e dei vantaggi/svantaggi associati alla stessa (nel caso del ramjet elevato numero di Mach, semplicità, alta potenza specifica, impulso specifico superiore alla propulsione missilistica ed inferiore a quella del turbojet, combustione subsonica, soglia di funzionamento e sensibilità verso le condizioni operative, ecc.).

La presentazione evidenzia che la flessibilità operativa del generatore di gas dipende dalla sua configurazione fluidodinamica, garantendo quelle “*unchocked*” e a “flusso variabile” una maggiore flessibilità operativa rispetto a quella “*chocked*” e che le prese d'aria supersoniche rendono subsonica la combustione, incrementano di temperatura statica di ingresso e generano una miscelazione dinamica nel bruciatore RAM che stabilizza la fiamma; le particelle metalliche (Mg, Al, B) o a base di idruri richiedono tempi di permanenza più lunghi, ma sono esse stesse in grado di stabilizzare la combustione il sistema propulsivo.

Più in generale, dato che la quota e la velocità influenzano le condizioni di flusso e di conseguenza l'efficienza e la stabilità della fiamma, che la combustione RAM risente fortemente delle caratteristiche chimiche e fisiche del propellente e che durante la missione si osservano variazioni a macchia di leopardo del rapporto massa-propellente e che la formulazione del propellente condiziona fortemente la efficienza della combustione, la soluzione *Air-augmented rocket* non sembra particolarmente idonea a sostenere un *climbing flight*, bensì una soluzione praticabile per una fase

³ La stazione terrestre di Taiping segue la traccia del mezzo e permette il controllo della sua traiettoria mediante ricezione in telemetria (informazioni GPS e/o unità di misura di localizzazione come, ad esempio, unità di misura inerziale) e la presenza di antenne dotate di funzionalità di posizionamento e *ranging*.

sustainer o per una missione di accelerazione, ma la disponibilità di generatori di gas a portata variabile o prese a geometria variabile possono portare ad una capacità operativa più espansa.

Sempre riguardo ai sistemi propulsivi la presentazione della Bayern Chemie – Gruppo MBDA – è stata incentrata sulla tecnologia *Air-augmented rocket* a gola variabile (*the throttleable ducted rocket*) che si caratterizza per il propulsore *airbreathing ramjet* ad alta regolabilità del flusso e per un generatore di gas di alta energia che fa uso del boro come vettore energetico, capace di manovre estreme in funzione della configurazione della presa d'aria ed arrivato ad un livello di sviluppo TRL 9 (Meteor).

Questa sua peculiarità lo candida ad essere un intercettore in grado di operare a bassa ed alta ipersonicità, un vettore lanciabile da poligono in grado di volare con una autonomia chilometrica di 150 km ad una altitudine massima di 35 km e con una velocità media che supera i 5 Mach.

In ultimo la conferenza avuto anche momenti di approfondimento delle tematiche di mercato, normativa, sicurezza, salute e traffic management.

Circa quest'ultimo aspetto l'intervento del DLR ha focalizzato l'attenzione sugli aspetti di integrazione del volo dei veicoli spaziali nell'attuale sistema ATM affermando che essa passa attraverso l'analisi degli scenari di volo spaziale e l'ottimizzazione degli stessi in relazione all'impatto che eserciteranno sul traffico aereo, sul miglioramento delle procedure che sono alla base della progettazione di un ATC che tiene conto di questa mutata condizione, sulle regole di integrazione delle aree di rischio, sulla progettazione ed attuazione di operazioni spazio-portuali efficienti e sostenibili ed, infine, sulla disponibilità di adeguate capacità di valutazione e di validazione.

Partendo dalla considerazione che esistono differenze tra una gestione ATM di aeroplani e di veicoli spaziali (quest'ultimi non prevedono un piano di volo, le traiettorie sono prevedibili ma lontane da contratti 4D, hanno funzionalità limitate nell'evitare il traffico aereo rimanente e, quindi, necessitano di una "prioritizzazione" ed hanno bisogno di uno spazio aereo limitato, spesso necessitano di ritardare le operazioni di lancio e/o atterraggio, opereranno voli ipersonici intercontinentali, ecc.) il DLR esprime il concetto che la completa integrazione in un Air Traffic System (ATS) richiederà una interoperabilità a livello internazionale. Inoltre, esso ritiene che limitare l'impatto dei voli spaziali sulla ATM richiede l'adozione di pratiche operative che prevedano finestre di lancio e di rientro le più brevi possibili e che non vadano a sovrapporsi alle ore di punta del traffico aeronautico, l'ottimizzazione delle traiettorie di lancio e di rientro e l'utilizzo dello spazio aereo ristretto ad aree riservate, il monitoraggio in tempo reale e diretto ed una comunicazione che colleghi tutti i soggetti coinvolti.

Dedicato alla salute è stato l'intervento dell'Aeronautica Militare. La sua presentazione ha posto l'accento, da una parte, sul fatto che la maggior parte dei dati sanitari e fisiologici sono stati raccolti su personale in salute e bene addestrato al volo spaziale e dall'altra sul fatto che, pur nelle limitate esperienze di turismo spaziale (gli standard sanitari dello shuttle prevedevano la categoria "Class IV" relativa ai *Spaceflight Participants*, che però non è stata mai usata), l'età non più giovane e la presenza di alcuni problemi fisici del viaggiatore né ha impedito il viaggio, né ha evidenziato problemi di salute al ritorno dallo stesso.

Tenuto conto, comunque, del fatto che la microgravità produce alterazioni sensoriali e motorie, altera la risposta immunitaria e riduce i carichi sul sistema muscolo-scheletro, è opinione dell'Aeronautica Militare che nel definire criteri e norme che regolamentano la materia in maniera organica bisognerà, al fine di non ostacolare le opportunità di business associate ad un accesso allargato al volo spaziale, si dovrà ben bilanciare l'esigenza di safety del passeggero con quella del volo; nel far questo esse dovranno prevedere una visita medica abilitante per il passeggero con emissione del relativo certificato medico.

Nello stabilirle, comunque, si può partire da una solida base già esistente che è quella relativa a quanto previsto negli *ISS Medical Requirements*, nelle *Medical Guidelines for Space Passengers* e nelle 2002 "assumptions" (*suborbital flights*) elaborate dalla Task Force on Space Travel 2001 della Aerospace Medical Association, nel Commercial Space Launch Amendment Act (2004) che prevede che "I passeggeri devono essere pienamente informati circa i potenziali rischi, ma che è loro consentito di volare a proprio rischio", nelle FAA 2005 ("Guidance for Medical Screening of Commercial

Aerospace Passengers”) e FAA (2006) (“Human spaceflight requirements for crew and spaceflights participants”), nelle Medical Guidelines 2012 (FAA Centre of Excellence for Commercial Space Transportation) ed, infine, nelle Medical guidelines 2014 e Radiation limits for suborbital flights elaborate dalla International Association for the Advancement of Space Safety (IAASS).

Altrettanto rilevante sia per gli aspetti sanitari che per quelli legali dovrà essere l’obbligo da parte dell’operatore di strutturare un data-base nel quale riportare i dati sanitari dei viaggiatori.

Relativamente agli aspetti normativi l’intervento dell’ENAC, dopo una introduzione in cui ha elencato le molteplici iniziative intraprese negli ultimi anni in sinergia con altri riferimenti nazionali (ICAO, IAF, CESMA, ASI, ecc.), ha provveduto a dare il quadro di riferimento sia dei destinatari ultimi che dovranno beneficiare del quadro normativo relativo alle *suborbital flight operations* in Italia (infrastrutture critiche, terze parti non direttamente coinvolte, utenti del servizio, passeggeri), sia del cammino che dovrà portare alla emissione dei regolamenti. A questo riguardo l’ENAC ha previsto tre fasi successive ed è entrata nel merito della prima che prevede i seguenti obiettivi

definizione di trasporto suborbitale e delle responsabilità nazionali (Permesso Sperimentale di Volo a livello nazionale vincolato alla “Sicurezza delle operazioni all’interno di specifiche condizioni e limitazioni”) a partire da un frame iniziale (autorizzazione al veicolo e all’operatore - FAA *Permit / License Validation* -, autorizzazione ENAC allo spazioporto) fino ad arrivare ad un quadro finale di accordi bilaterali che tengono conto di requisiti e limitazioni addizionali a livello nazionale, management della configurazione dello Spazio Aereo ed impatto sulla valutazione dei rischi.

Individuazione di Centri di Eccellenza a supporto dell’azione normativa, definizione dello status giuridico e dei criteri di consenso/informazione per i partecipanti al volo spaziale, analisi ed individuazione delle problematiche assicurative, definizione dei requisiti medici per l’equipaggio e per i viaggiatori, definizione dei criteri di gestione dello spazio aereo, del *Tracking* e dei piani di emergenza in uno spazio aereo non segregato sotto FL600, definizione dei criteri di coordinamento tra enti territoriali e l’operatore.

La presentazione della Federal Aviation Administration, dopo un excursus sulla storia spaziale ad oggi, traendo spunto dagli obiettivi perseguiti dal programma XS-1 della DARPA (volare 10 volte in 10 giorni, superare Mach 10, lanciare in orbita piccoli satelliti, sostenere costi di viaggio inferiori a \$5M), ha delineato le sfide e le opportunità dell’accesso attuale allo spazio (stimolo e supporto ad operazioni non tradizionali, CubeSat e detriti spaziali, approcci alla gestione dei servizi), il frame normativo nel contesto dell’articolo VI dell’ Outer Space Treaty - Le attività di enti non governativi nello spazio esterno ... sono soggette ad autorizzazione e vigilanza costante da parte delle Parti Statali a cui il trattato fa riferimento " -, gli enti ed i stakeholder coinvolti (FAA come responsabile delle licenze per i lanci ed i rientri commerciali, FCC come responsabile delle licenze per le trasmissioni radio dallo spazio, NOAA come responsabile delle licenze per le *remote sensing operations* , oltre al DoD alla NASA, anche se non sono *regulatory agencies*, ecc.) e quanto deciso recentemente dal Congresso degli Stati Uniti nel 2016. L’Office of Science and Technology Policy – OSTP – è incaricato di valutare le attività commerciali nello spazio attuali e proposte, di identificare le authority di autorizzazione e controllo, e di individuare un approccio alla definizione delle procedure di autorizzazione).

Circa l’ultimo aspetto la FAA delinea un quadro in cui il Segretariato Trasporti è incaricato delle autorizzazioni in un contesto che non va ad interferire con le agenzie FCC e NOAA e la FAA di gestire la policy spaziale, di processare e rilasciare le *situational awareness data* rilevanti per la sicurezza, in linea con gli interessi di sicurezza nazionale e gli obblighi di pubblica sicurezza degli Stati Uniti.

In ultimo la NASA ha presentato le dotazioni sperimentali e di testing della NASA Glenn Research Center’s Plum Brook Station.

La conferenza si è conclusa con una interessante tavola rotonda dove i rappresentanti industriali ed istituzionali hanno definito la propria *vision* e strategia di medio e lungo termine sulla problematica e gli ospiti stranieri, con riferimento sia agli USA e alla Russia, sia a quelli EU, hanno dato apertura a cooperazioni nello sviluppo di piattaforme di volo ipersonico e dei relativi propulsori.