



INFORMATICA MUSICALE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA
DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA
LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA
A.A. 2020/21
Prof. Filippo L.M. Milotta

ID PROGETTO: 12

TITOLO PROGETTO: Viaggi supersonici

AUTORE 1: Riccardo Patronaggio

AUTORE 2: Lorenzo Tomasello

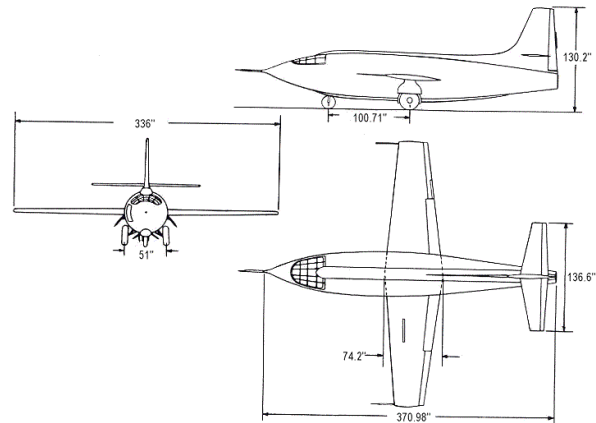
Sommario

1. Obiettivi del progetto	2
1.1 Cenni storici sul primo aereo supersonico (BELL-X1)	2
1.2 Raccontare in breve la storia del Concorde	2
1.3 Spiegare come è possibile che questi mezzi riescano a superare la barriera del suono	3
1.4 Pregi e difetti dei viaggi supersonici	4
1.5 Il futuro dei viaggi supersonici	4
2. Riferimenti bibliografici	5
3. Argomenti teorici trattati	6
3.1 Soglie di tolleranza del rumore	6
3.2 Boom sonico	7
3.3 Velocità del suono	8

1. Obiettivi del progetto

1.1 Cenni storici sul primo aereo supersonico (BELL-X1)

Si trattò del primo velivolo statunitense progettato espressamente per fini di ricerca nel campo delle alte velocità; il programma di cui l'X-1 fu il risultato era finalizzato, in particolare, a esplorare le velocità comprese circa tra Mach 0,75 e Mach 1,25, cioè il cosiddetto regime transonico. L'aerorazzo Bell X-1, volò con successo il 14 ottobre 1947 sopra i cieli della California. Pilotato dal capitano dell'aeronautica militare americana Chuck Yeager, l'aereo superò la barriera del suono, volando ad una velocità che superava i 1220 km/h.



Le difficoltà della sua costruzione, essendo il primo velivolo ad avvicinarsi alla velocità del suono, furono notevoli. Ciò che andava esaminato nel particolare erano le anomalie aerodinamiche che caratterizzano i velivoli transonici: le eliche dei biplani, le cui estremità potevano toccare velocità di circa Mach 0,75 e, quindi, accelerare il flusso d'aria oltre Mach 1, incorrevano in drastici cali di efficienza (con aumento della resistenza e riduzione della portanza) dovuti alla formazione di onde d'urto e alla separazione di flussi di aria turbolenta dalla loro superficie, problemi che erano riscontrati anche nelle ali. Solo nella Germania del ventesimo secolo, grazie a Ludwig Prandtl, tali problemi trovarono soluzione.

1.2 Raccontare in breve la storia del Concorde

Il Concorde, è stato un aereo da trasporto supersonico: il primo volo del prototipo fu effettuato il 2 marzo 1969, mentre il 4 novembre 1970 il velivolo raggiunse per la prima volta Mach 2, diventando il secondo aereo commerciale a volare a tale velocità.

E' così che arriviamo al 21 gennaio 1974, quando si accendono i motori del primo aereo Concorde con a bordo passeggeri civili che avevano acquistato il loro biglietto. Tra un difetto dopo l'altro e proteste dei cittadini nei vari aeroporti stufi dell'alto livello di boom sonico si arriva al 25 luglio del 2000, giorno fatidico che segnò per sempre le sorti di quello che doveva essere un gioiello della storia aerea civile: infatti in quel giorno il volo Air France 4590 operato da un Concorde si schiantò a Gonesse in Francia; il bilancio fu disastroso, cento passeggeri, nove membri dell'equipaggio e quattro persone a terra persero la vita. Le indagini successive constatarono la causa del disastro; l'esplosione di una gomma dell'aereo dovuta da un corpo estraneo presente sulla pista. Prima dell'incidente il Concorde era considerato l'aereo di linea più sicuro nel mondo, poiché vantava un numero di incidenti per distanza percorsa pari a zero. E' da qui però che nasce l'idea di mettere da parte per sempre questo tipo di jet supersonico.



Il 10 aprile 2003 l'Air France e la British Airways annunciano al mondo il ritiro di tutti i Concorde giustificando la decisione con il crollo di passeggeri dopo il disastro aereo del 2000, il mercato dei voli aerei in flessione e uno spropositato costo di manutenzione e mantenimento dell'aereo stesso. Il 26 novembre dello stesso anno il jet supersonico vola un'altra volta per un giro di congedo.

Decine di migliaia di persone assistono a quella performance. È la fine del Concorde, venti unità prodotte totali; diventa così un aereo statico da esposizione nei più importanti musei aerospaziali del mondo.



1.3 Spiegare come è possibile che questi mezzi riescano a superare la barriera del suono

È un'espressione che ritroviamo spesso nel mondo dell'aeronautica, specie quando avviciniamo all'aviazione militare. Ma cosa vuol dire, da un punto di vista pratico, "Rompere il muro del suono"? E, soprattutto, da dove viene questa terminologia così particolare?

Si parla di "muro del suono" perché la resistenza dell'aria aumenta sempre di più con l'aumentare della velocità dell'aereo, diventando elevatissima quando la velocità si approssima a Mach 1 (circa 1200 km/h al livello del mare). Ma cosa succede in quell'istante? In quel momento le molecole d'aria non fanno più in tempo a spostarsi per lasciare spazio all'aereo e vengono urtate, provocando il famoso fenomeno del "bang" sonico.

Il Mach è un numero adimensionale dato dal rapporto tra la velocità del corpo e la velocità del suono (vale a dire la velocità di propagazione dei "disturbi" che si creano a causa delle particelle di fluido con cui va a impattare il nostro velivolo).

L'espressione "*muro del suono*" è stata coniata durante la Seconda guerra mondiale quando gli aerei incominciarono a sperimentare gli effetti del volo transonico (aumento di resistenza, vibrazioni delle superfici aerodinamiche e inversione dei comandi) durante le manovre per il bombardamento in picchiata. In queste circostanze gli aerei mostravano dei comportamenti anomali in un'epoca in cui si comprendeva ancora ben poco. Siccome i velivoli esplodevano in modo inaspettato, come se avessero impattato contro un muro invisibile, divenne uso comune nel linguaggio non scientifico descrivere l'avvicinamento alla velocità del suono con la locuzione "*muro del suono*".

Con il passare degli anni non è più considerabile un avvenimento eccezionale rompere questo muro. Siamo arrivati, ormai, anche a regimi supersonici e, addirittura, ipersonici. Resta, tuttavia, ancora da risolvere quella conseguenza inaspettata che è stata il "*boom sonico*".



1.4 Pregi e difetti dei viaggi supersonici

Indubbiamente i viaggi supersonici hanno numerosi pregi, ma anche parecchi difetti.

Ad esempio il Concorde ha avuto molti nemici, e si è affermato con grande fatica. Negli Stati Uniti gli è stato negato a lungo il permesso di atterraggio a causa del rumore ed è stata necessaria una sentenza della Corte Suprema per permettergli di atterrare a New York. I costi di esercizio erano impressionanti: la manutenzione richiedeva 20 ore di lavoro per ogni ora di volo, nel solo rullaggio a terra si consumavano due tonnellate di combustibile e in viaggio se ne andavano 17 litri per passeggero ogni 100 chilometri, il triplo degli altri aerei. Altrettanto elevati erano i costi dei voli: poche persone potevano permettersi di volare sul Concorde - il biglietto costava tre volte quello della prima classe di un aereo normale.

Passando invece ai pregi senza dubbio uno dei motivi per cui si sta testando un jet supersonico per i voli di linea è l'intrigante lotta nel tagliare i tempi di volo. Immaginate di andare da New York a Londra in sole tre ore e un quarto (anziché le 6 attuali), o da Singapore a Dubai in quattro ore (anziché 7), o ancora da Los Angeles a Sidney in neanche sette ore. Il tutto con un numero di passeggeri variabile (55-75), una velocità di crociera di Mach 2.2 e un rumore pensato per essere non superiore a quello dei classici voli di linea subsonici. Un altro aspetto positivo è la chiara finalità ecologista, infatti i jet supersonici potrebbero dare una svolta all'epoca in cui gli aerei usano ancora il piombo.

1.5 Il futuro dei viaggi supersonici

Sembrava che l'epoca dei voli supersonici, troppo costosi fosse tramontata per sempre. Le cose, però, stanno per cambiare. A garantirlo è Boom Supersonic, una società americana che il 7 ottobre presenterà al mondo il suo velivolo di prova, l'XB-1 (in scala ridotta 1:3) e proverà a far tornare in auge il viaggio aereo supersonico reso famoso dal Concorde, con l'intenzione di dimostrare le nuove capacità raggiunte dal viaggio supersonico e di testare le tecnologie alla base del modello di punta, l'Overture, la cui presentazione per i test è prevista per la metà del prossimo anno e che si propone di essere l'aereo commerciale più veloce di sempre pur mantenendo un basso impatto ambientale.

Il CEO di Boom Supersonic, Blake Scholl ha spiegato: «le nostre esperienze nella pandemia COVID-19 sottolineano per tutti noi il bisogno umano fondamentale di connessione personale. Viaggi aerei più veloci ci consentono di sperimentare le persone, le culture e i luoghi del mondo e XB-1 è il primo passo nel riportare nel mondo il viaggio supersonico. Con XB-1 ci stiamo assicurando che il futuro supersonico sia sicuro, sostenibile dal punto di vista ambientale ed economico. Abbiamo capito che la domanda di viaggi supersonici è cresciuta ancora più velocemente di quanto non pensassimo».

Se tutto filerà liscio, XB-1 inizierà il suo programma di test entro la fine dell'anno ed è previsto il primo volo nel 2021. Entro il 2030 potrebbe già essere possibile, per esempio, volare da New York a Londra in appena 3 ore e 15 minuti con una velocità di crociera di Mach 2.2.



2. Riferimenti Bibliografici

- <https://aerospacecue.it/bell-x-1-il-primo-aereo-supersonico-a-spiccare-il-volo/8795/>
- https://www.youtube.com/watch?v=4bZkG1KeL6U&ab_channel=LucaDiscacciati
- <https://www.viaggiare senza confini.it/perche-il-concorde-e-stato-dismesso/>
- <https://www.hdmotori.it/2018/11/14/concorde-aereo-ritorno-nasa-velocita-2000-kmh/>
- <https://aerospacecue.it/cosa-vuol-dire-rompere-il-muro-del-suono/11963/>
- <https://www.ilpost.it/2020/10/09/boom-jet-supersonico/>
- <https://www.nonsolocontro.eu/nsc2/in-piu/scienza/4527-torna-l-era-dei-viaggi-supersonici.html>

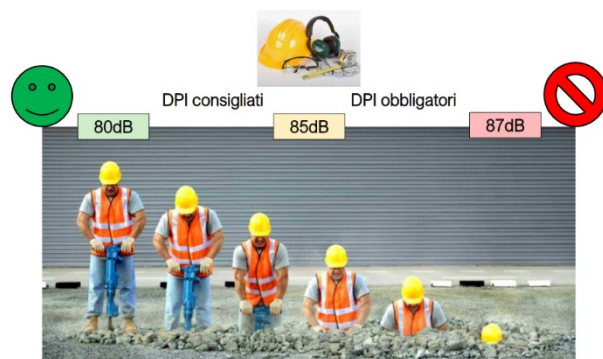
3. Argomenti Teorici Trattati

3.1 Soglie di tolleranza del rumore

Il rumore, in generale, è un segnale non desiderato e imprevedibile, che sommandosi ad altri segnali, li distorce in maniera più o meno grave. Poiché nella maggior parte dei casi non è voluto, si cerca di attenuarlo il più possibile. Nell'uomo la superficie ricevente è la membrana timpanica le cui vibrazioni sono trasmesse al cervello che a sua volta le traduce in "sensazione uditiva".

Il rumore può provocare effetti diversi sull'apparato uditivo e questo dipende delle modalità ed intensità di esposizione.

L'esposizione prolungata al rumore causa l'STS, ovvero lo spostamento temporaneo della soglia uditiva e innalzandosi temporaneamente rispetto a quella di riposo.



Intensità media	Effetto
Da 30 a 65 dB(A)	Fastidio
Da 50 a 85 dB(A)	Disturbo
Oltre 80 dB(A)	Danno

Si definisce ipoacusia da rumore una sordità che interessa i due orecchi causata dalla continua e prolungata esposizione al rumore. L'esposizione più frequente è rappresentata da certi tipi di lavorazioni per cui tale sordità viene definita ipoacusia professionale.

Tale disturbo consiste nella degenerazione delle cellule acustiche fino alla sostituzione delle cellule ciliate con un epitelio cubico monostratificato. Il danno uditivo inizia sulle cellule che rispondono a 4000-6000 Hz, caratterizzate da ridotta irrorazione ematica e quindi degenerano precocemente. Successivamente il deficit uditivo 4000- 6000 Hz si aggrava e si estende alle frequenze inferiori (2000 e poi 1000, 500 Hz) comportando difficoltà di comprensione delle comunicazioni verbali, inclusa la normale conversazione.

Il rumore non appena supera il livello di 70 dB(A) può causare stress e determinare una reazione neurovegetativa aspecifica, che può portare a malattie.

Il riferimento normativo fondamentale in materia di prevenzione dai rischi da rumore è il decreto legislativo 81/2008 (Titolo VII, artt. da 187 a 198) che prescrive i "requisiti minimi per la protezione dei lavoratori contro i rischi per la salute e la sicurezza derivanti dall'esposizione al rumore durante il lavoro". Esistono dunque tre livelli di esposizione, e i rispettivi accorgimenti da adottare da parte dei datori di lavoro:

- **Sopra gli 80 decibel:** vengono messi a disposizione dei DPI(DISPOSITIVI DI PROTEZIONE INDIVIDUALE) dell'udito ai lavoratori, da parte del datore di lavoro; inoltre, vi è obbligo di formazione e informazione dei lavoratori in merito ai rischi provenienti dall'esposizione al rumore, alle misure adottate, ai DPI dell'udito, all'uso corretto delle attrezzature, al significato del ruolo del controllo sanitario e della valutazione del rumore.
- **Sopra gli 85 decibel:** è obbligatorio dell'utilizzo dei DPI dell'udito; anche qui vi è obbligo di formazione e informazione dei lavoratori in merito ai rischi; inoltre, su richiesta del lavoratore e approvazione del medico può essere effettuato un controllo sanitario.
- **Sopra gli 87 decibel:** adottare misure atte a riportare l'esposizione al di sotto dei valori limite di esposizione; bisogna anche individuare le cause dell'esposizione eccessiva e modificare le misure di protezione e di prevenzione per evitare che la situazione si ripeta.

3.2 Boom sonico

Il boom sonico è il suono prodotto dal cono di Mach generato dalle onde d'urto create da un oggetto che si muove, in un fluido, con velocità superiore alla velocità del suono. Queste velocità così elevate vengono definite «supersoniche», quindi questo fenomeno viene chiamato boom supersonico.

Quando si viaggia sotto questa barriera il suono si propaga in tutte le direzioni. Quando si supera la barriera del suono, sulla punta dell'aereo viene prodotta un'onda di pressione che si propaga a forma di cono dietro l'aereo. Una volta che il cono raggiunge le nostre orecchie si sente un rumore molto forte.

I boom sonici possono essere molto forti. Per un aereo da trasporto supersonico commerciale (SST), può essere di circa 136 decibel, o 120 Pa.

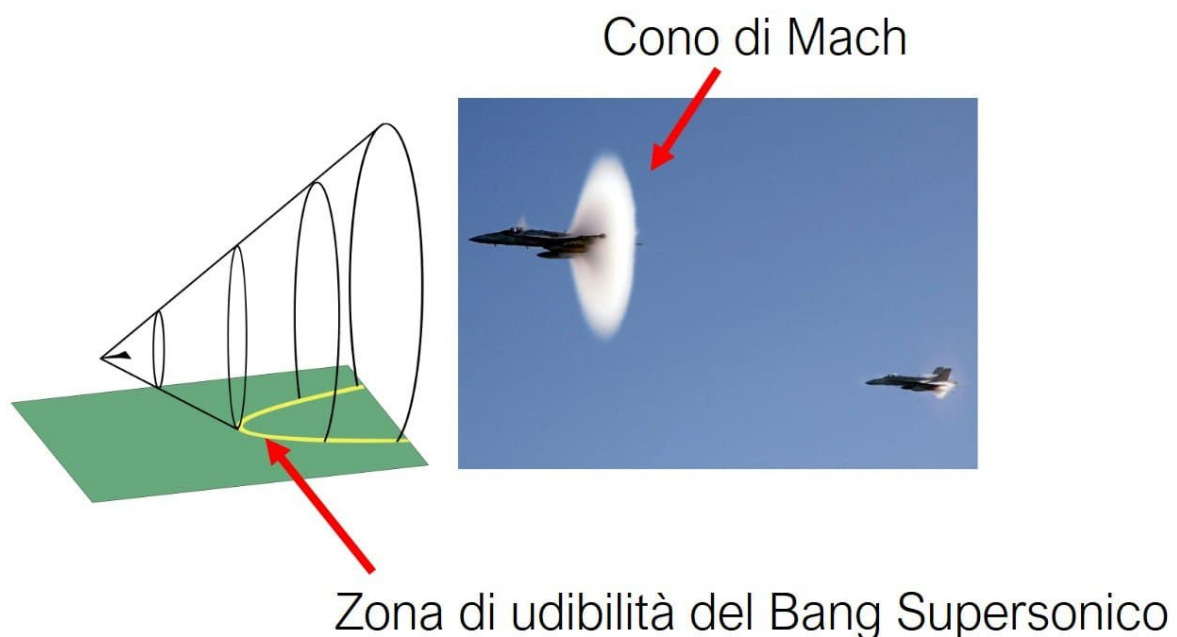
Può arrivare a terra come un boato, oppure non essere percepito affatto, ma il boom sonico avviene ogni volta che un aereo in volo determina una compressione dell'aria, simile alle onde generate da una nave in movimento, e poi aumenta la velocità fino a 'rompere' letteralmente l'aria, creando l'effetto di un'onda sonora.

Quindi il boom sonico può avvenire quindi anche non appena l'aereo e il suono si trovano alla stessa velocità. È un fenomeno che avviene sempre e che può generare un boato percepito a terra come più o meno violento, a seconda della distanza.

Un altro esempio di boom sonico è lo schiocco prodotto da una frusta, quando viene usata correttamente.

L'estremità della frusta si muove a una velocità superiore a quella del suono e crea il rumore caratteristico. La frusta è stata quindi la prima invenzione dell'uomo in grado di abbattere il muro del suono. Esse sono realizzate con una struttura che si affina partendo dalla impugnatura fino all'estremità. La punta ha molto meno massa dell'impugnatura, di conseguenza, quando la frusta è fatta schioccare correttamente, l'energia si trasferisce dall'impugnatura all'estremità.

La formula per l'energia cinetica $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, ci spiega che la velocità della frusta aumenta via via che diminuisce la massa, fino ad arrivare a superare la velocità del suono, creando il caratteristico boom sonico.



3.3 Velocità del suono

La velocità delle onde dipende dalle proprietà chimiche e fisiche del mezzo di propagazione. Le onde sonore si propagano nell'aria a temperatura di 20°C e pressione pari a 1 atm ad una velocità di 343,85 m/s.

In generale la velocità del suono in un mezzo può essere ricavata dalla seguente formula:

$$v_{m,T} = v_{m,0} + \alpha_m(T)$$

Dove T è la temperatura in gradi celsius, $v_{m,0}$ è la velocità del suono nel mezzo m a temperatura 0 °C e $\alpha_m(T)$ una funzione che pesa l'influenza della temperatura nella velocità finale.

Il suono si propaga in modi diversi a seconda che sia in un solido, in cui tutte le molecole sono collegate solidamente fra loro, oppure in un fluido (liquido o gas), che invece è incoerente.

Nei fluidi, la velocità del suono segna il confine tra due regimi di moto completamente diversi, per l'appunto detti regime subsonico e regime supersonico.

Materiali	Velocità del suono in m/s	Velocità del suono in km/h
Ghiaccio	3200	11 520
Vetro	5300	19 080
Argento	2600	9360
Alluminio	5100	18 360
Anidride carbonica	259	932,4
Ferro	5000	18 000
Metano	430	1548
Mercurio	1400	5040
Oro	3200	11 520
Ossigeno	318	1144,8
Sangue	1570	5652
Scheletro umano	4080	14 688
Zinco	4200	15 120