

MASSIMO GRILLI

Albo degli Ingegneri Provincia di Roma n.15007

**Applicazioni
di
Acustica**

- Applicazioni, Normative, Sicurezza del Lavoro -

PARTE IV

- Internet Edition -

Per contatti:

E-Mail : **mc8812@mclink.it**

Personal Web Page: **www.mclink.it/personal/MC8812/**

2. CARATTERIZZAZIONE DEL RUMORE AERONAUTICO.....	26
2.1 RUMORE DEL SISTEMA PROPULSIVO	26
2.1.1 Rumore da turbojet.....	26
2.1.2 Rumore da turbofan	27
2.1.3 Rumore da propulsione ad elica	29
2.2 RUMORE AERODINAMICO	30
2.3 SPETTRO DI RUMORE.....	30
2.4 IL RUMORE AEROPORTUALE ED IL SUO CONTROLLO.....	31
2.4.1 Controllo del Rumore nelle Operazioni a Terra	32
2.4.2 Controllo del Rumore nelle Operazioni di Volo	33

Principali Integrazioni Bibliografiche:

1. **Cavallini** - *"Il controllo del rumore negli impianti di climatizzazione"*
2. **Parolini - Fantini** - *"Acustica Applicata"*
3. **Harris** - *"Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control"* ed. 1991
4. **P.Romani, F.Ventura** - *"La Rumorosità Ambientale, il ruolo delle barriere acustiche"*
5. **Ministero dei Trasporti / SAGAT Torino** - *"Rumore degli aerei e tutela dell'ambiente"*
6. **ICAO ANNEX 16** - *"Environmental Protection"*

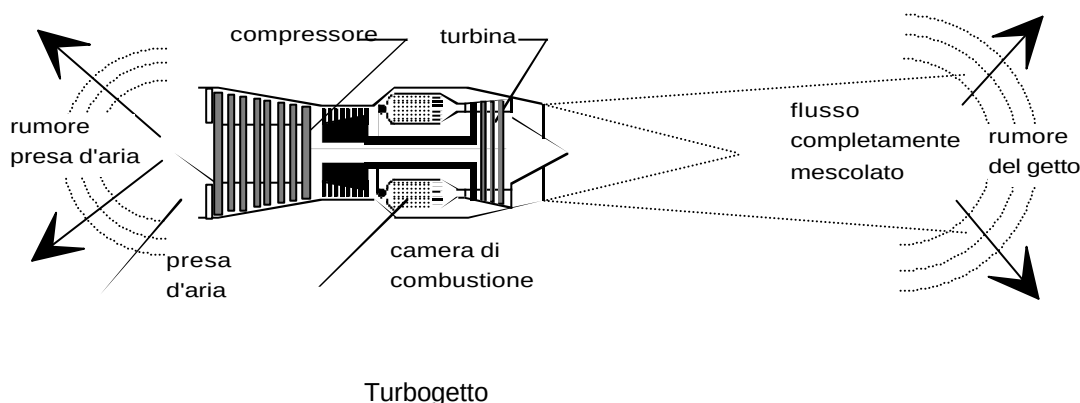
2. CARATTERIZZAZIONE DEL RUMORE AERONAUTICO

Le sorgenti principali di rumore per un velivolo sono il sistema propulsivo e la sua aerodinamica; ciascuna di queste sorgenti ha un suo peculiare spettro di emissione sonora che oltretutto dipende dalla fase della missione dell'aeromobile (rullaggio a terra, decollo, salita in quota, crociera, discesa, avvicinamento, atterraggio).

2.1 RUMORE DEL SISTEMA PROPULSIVO

Cominciamo a caratterizzare le sorgenti di rumore presenti nelle diverse tipologie di motorizzazione di un velivolo, in particolare il turbojet, il turbofan ed il motore ad elica (sia esso a pistoni o turbina).

2.1.1 Rumore da turbojet



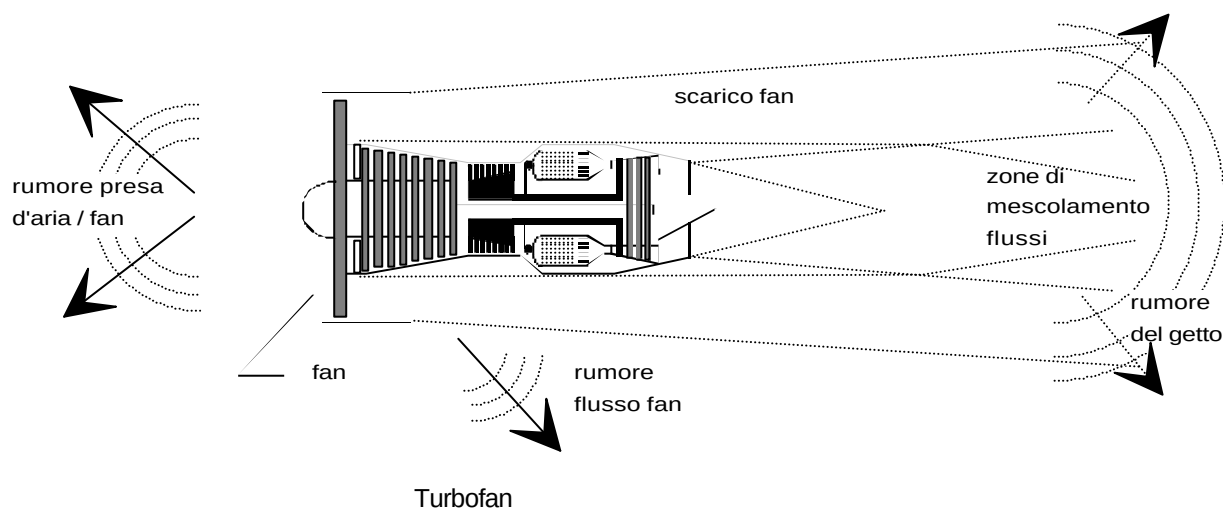
La generazione della spinta da parte di un turbogetto si basa sulla notevole accelerazione di una portata d'aria relativamente modesta.

Schematicamente il principio di funzionamento di un turbogetto è il seguente: la massa d'aria aspirata attraverso la presa d'aria con un minimo effetto di compressione, entra nel compressore assiale o centrifugo, in cui attraverso stadi successivi vengono realizzati relevantissimi rapporti di compressione; la massa d'aria così compressa viene scaldata, con minime perdite di pressione, nelle camere di combustione che possono essere anulari o suddivise in camere separate disposte sempre anularmente. A questo punto il gas ad alta pressione e temperatura (elevata energia), viene in parte ($\sim 20\% \div 30\%$) utilizzato per il funzionamento dei vari stadi del compressore, e la quota residua viene fatto espandere attraverso l'ugello di scarico per produrre la spinta.

Tale meccanismo di produzione della spinta genera tre sorgenti di rumore:

1. **presa d'aria;** in cui si sommano il rumore proveniente dal compressore ed il rumore aerodinamico
2. **cappottatura motore;** attraverso la vibrazione ad essa indotta dal funzionamento del motore
3. **ugello di scarico;** per la combinazione dei rumori provenienti dalla combustione, turbina, e primariamente dal mescolamento del getto d'uscita con l'aria calma circostante essendo presenti gradienti di velocità relevantissimi (come si è detto l'energia del getto più che dalla massa dell'aria espulsa è dovuta alla sua velocità). Tale rumore, anche detto rumore aerodinamico del getto, risulta il più importante come potenza sonora durante le operazioni svolte a tutta manetta

2.1.2 Rumore da turbofan



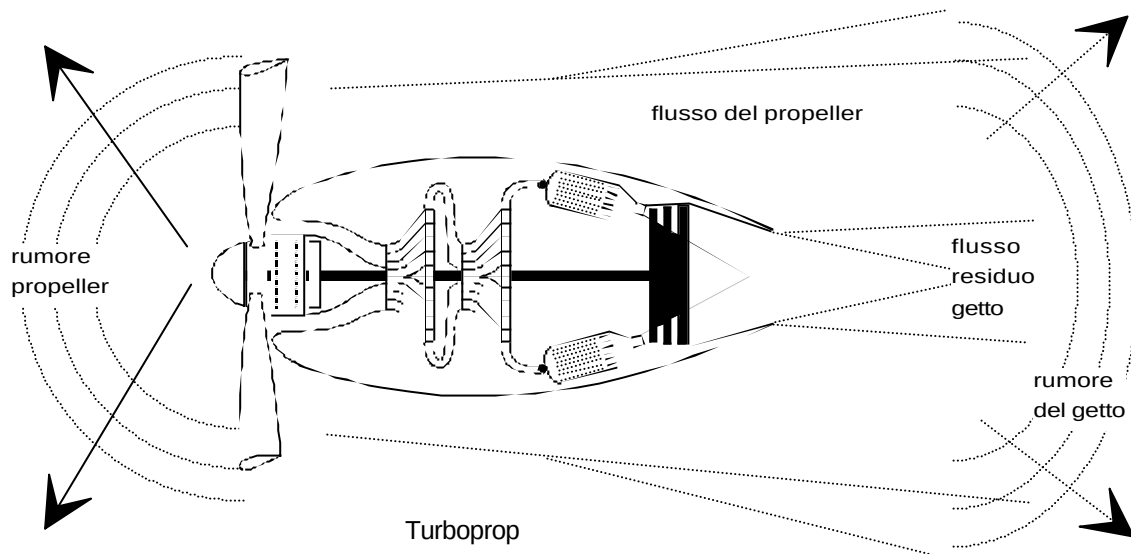
Il turbofan nasce con l'intenzione di risolvere alcuni problemi del turbogetto quali i bassi valori di spinta al punto fisso, gli elevati consumi, la velocità ottimale del velivolo per l'efficienza dei motori piuttosto elevata (tipicamente solo in crociera), l'elevata rumorosità aerodinamica del getto; questo motore da un punto di vista del rendimento propulsivo realizza un efficiente compromesso fra le caratteristiche positive del turbogetto e della propulsione ad elica.

Ai citati inconvenienti, che poi si traducevano in elevati costi di esercizio, si è ovviato con l'adozione di un fan (ventola) di ampio diametro, montato coassialmente al compressore ed azionato in genere da un albero e turbine dedicate; nei primi motori il fan altro non era che il primo stadio di compressore con diametro maggiorato.

Il fan, funzionando come elica intubata, realizza una modesta accelerazione di una elevata massa d'aria la quale non prende parte al ciclo termodinamico del motore (flusso secondario), e realizza il confinamento del gas espulso dall'ugello (flusso primario) che a questo punto rappresenta una minima frazione dell'intera portata d'aria del motore (a tal scopo si definisce il rapporto di diluizione il rapporto: massa d'aria secondaria / massa d'aria primaria, che attualmente è anche > 10) ; questo consente di avere:

- Elevata spinta al decollo, che è una caratteristica tipica della propulsione ad elica e nella quale è carente il turbogetto.
- Minore massa d'aria, a parità di spinta, che partecipa al ciclo termodinamico; questo è come detto dovuto all'alto rapporto di bypass (diluizione) presente nelle moderne realizzazioni, e che ha come conseguenza diretta la drastica riduzione del consumo specifico di spinta (ovvero la quantità in peso di combustibile necessaria per sviluppare la spinta unitaria).
- Riduzione dei gradienti di velocità fra aria calma e flusso secondario; dato che il fan per generare la spinta agisce più sulla quantità d'aria messa in movimento che sulla sua accelerazione, il flusso secondario risultando relativamente lento genera anche una minor quantità di rumore; infatti il rumore del getto è proporzionale alla quarta potenza della sua velocità relativa all'aria circostante, quindi un dimezzamento di tale velocità comporta una riduzione del rumore di ben 16 volte. Inoltre complessivamente i gradienti di velocità fra flusso primario e secondario e fra secondario ed aria circostante sono molto minori di quello che si realizza nel turbogetto fra getto ed aria circostante generando complessivamente una minor rumorosità.
- Confinamento del flusso primario entro il secondario; ciò crea di fatto uno schermo al forte rumore provocato dal getto primario.

2.1.3 Rumore da propulsione ad elica



Questo tipo di propulsore aeronautico impiega come elemento di produzione della Trazione l'elica, la quale può essere mossa da un motore a pistoncini o da un propulsore a turbina.

Il flusso d'aria generato dall'elica è di notevole portata e quindi in grado di sviluppare, a basse velocità di avanzamento, un'elevata spinta con un ridotto consumo di carburante; con l'aumento della velocità di avanzamento del velivolo l'efficienza dell'elica diminuisce fino ad essere del tutto compromessa in corrispondenza del valore del mach critico dell'elica (è quella velocità, risultante da una data configurazione aerodinamica della pala e velocità di rotazione dell'elica ed avanzamento del velivolo, che realizza la condizione di $M=1$ in un punto della superficie della pala stessa).

Un tale propulsore risulta quindi efficiente per un campo di velocità medio/basse e tipiche del trasporto aereo regionale ed internazionale su brevi tratte percorse a basse quote operative.

In entrambi i casi di motorizzazione la sorgente primaria di rumore è l'elica, in via subordinata lo sono anche i gas di scarico del motore impiegato.

Lo spettro di frequenza del rumore dell'elica presenta dei picchi che sono determinabili moltiplicando la velocità di rotazione dell'elica per multipli interi del numero di pale.

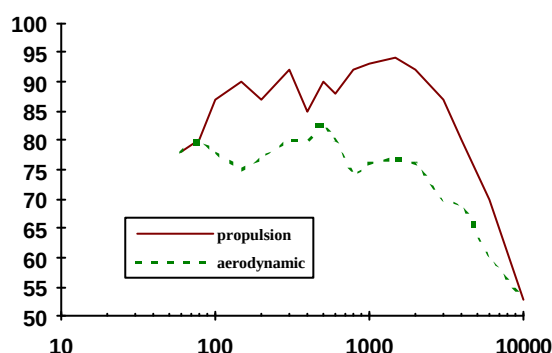
2.2 RUMORE AERODINAMICO

Questa sorgente di rumore non è localizzata in un punto preciso, come per il sistema propulsivo, ma diffusa praticamente su tutto il velivolo, dipendendo dall'estensione della superficie "bagnata" dal flusso d'aria (fusoliera, cavità, superfici mobili, carrello).

Nei moderni velivoli a getto, per configurazione aerodinamica e velocità riferite al volo in crociera, il principale responsabile del rumore intorno alla frequenza dei 600 Hz è proprio il rumore aerodinamico; relativamente alle operazioni di decollo ed atterraggio, dato che vengono condotte a velocità ridotta, il rumore aerodinamico risulta inferiore di più di 10 dB rispetto al rumore del sistema propulsivo.

Il controllo del rumore aerodinamico nelle condizioni di volo in crociera è essenziale per le implicazioni che questo ha nei confronti del rumore, e quindi del confort, di cabina.

Per le operazioni che si svolgono in prossimità di aeroporti e centri abitati, il rumore aerodinamico rappresenta il limite inferiore alla possibilità di ridurre la rumorosità del velivolo ed assume una sempre maggior importanza al diminuire della rumorosità del sistema propulsivo.



2.3 SPETTRO DI RUMORE

Lo spettro di rumore degli aerei a reazione copre tutta la banda di frequenze udibili.

I rumori più acuti che predominano nella fase di atterraggio, sono prodotti in massima parte da ventola e compressore del motore; i rumori più gravi provengono invece dalla parte posteriore e quindi dal getto secondario e primario. Ventole e turbine producono inoltre rumori puri la cui posizione spettrale dipende dalla frequenza con cui le pale dei dischi rotorici passano davanti a quelle statoriche.

Nei moderni turbofan con un elevato bypass ratio, come si è già detto, si è in buona parte risolto intrinsecamente il problema della riduzione del rumore del getto primario, attraverso il contenimento di questo all'interno di un tubo di flusso a velocità più bassa (bassa frequenza) si è però parallelamente incrementato il rumore dovuto alla ventola; dato quindi che nel decollo prevale il rumore del getto e nell'atterraggio quello del fan, il bypass ottimale da un punto di vista esclusivamente acustico, varia a seconda della fase cui ci si riferisce.

Altri dispositivi di abbattimento del rumore delle parti rotanti anteriori e presa d'aria (alte frequenze) e della camera di combustione e turbine (medio basse frequenze) sono l'adozione di prese d'aria, condotti di deflusso e cappottature motore silenziati con materiali fonoisolanti/fonoassorbenti.

2.4 IL RUMORE AEROPORTUALE ED IL SUO CONTROLLO

La rumorosità in un ambito aeroportuale risulta composta da un insieme di fattori correlati in modo complesso poichè ciascun velivolo è caratterizzato da un proprio spettro di rumore il quale va a combinarsi con gli analoghi spettri di rumore prodotti dall'insieme degli aerei operanti in quell'area, e con la variabilità causata dal movimento degli aeromobili e dai differenti tempi operativi.

Per tale motivo è conveniente considerare due classi di sorgenti di rumore aeroportuale e relative alle:

1. operazioni a terra
2. operazioni di volo

Per ciascuna di queste categorie di rumore, è possibile calcolare il campo acustico ad esse relativo e per ciascun velivolo, non appena siano note la potenza acustica delle sorgenti di rumore e le caratteristiche di propagazione dell'ambiente circostante (aria, terreno, ostacoli, ecc.).

Per distanze maggiori di 300m, un limite a tale possibilità sta nell'accuratezza della predizione dei coefficienti di attenuazione dell'aria e nella perfetta individuazione dello spettro di rumore della sorgente.

Un suono proveniente da un velivolo fermo al suolo o in volo a bassissima quota, è attenuato molto di più di quello proveniente da un velivolo in volo ad alta quota.

Quando si deve calcolare il contributo di ciascun velivolo al rumore complessivo percepito nel sedime aeroportuale è necessario stabilire, misurandole o stimandole, le condizioni meteorologiche standard; a questo punto il rumore irradiato dai velivoli durante le operazioni di rullaggio e di manutenzione può essere determinato.

2.4.1 Controllo del Rumore nelle Operazioni a Terra

Il rumore dovuto alle operazioni a terra è dovuto principalmente al funzionamento del sistema propulsivo per attività di manutenzione o di ispezione condotte sulla linea di volo e nelle postazioni di test.

Il controllo di tali emissioni di rumore pur essendo intrapreso per ridurre le proteste degli abitanti nelle zone limitrofe all'aeroporto, è molto importante per la protezione del personale aeroportuale.

L'intensità del rumore prodotto da un velivolo non è uguale in tutte le direzioni, perciò si possono realizzare riduzioni del livello sonoro nelle zone da proteggere (anche 10 dB) sfruttando in modo opportuno tale direzionalità del rumore orientando in modo opportuno le direttrici secondo le quali vengono svolte le operazioni a terra.

Esistono comunque situazioni orografiche del sedime aeroportuale e condizioni meteo locali talmente favorevoli alla propagazione del suono, le quali possono rendere consigliabile in tali circostanze di evitare attività rumorose ad esempio in orari notturni poichè in tale fascia oraria si è meno tolleranti nei confronti della rumorosità ambientale; è da notare che in condizioni normali di attenuazione e relativamente alle distanze in gioco fra sorgente di rumore ed ambienti disturbati, si possono facilmente avere attenuazioni anche maggiori di 20 dB (specie su frequenze medio-alte).

Un modo per limitare la rumorosità dei velivoli durante le operazioni a terra è di sfruttare l'effetto schermante degli hangars e degli edifici; se tali operazioni sono svolte interponendo tali infrastrutture fra aeromobile e area da proteggere possono realizzarsi dai 10 ai 25 dB di attenuazione.

Il metodo comunque più efficace per ridurre la rumorosità del sistema propulsivo durante le fasi di manutenzione consiste nell'utilizzo di soppressori di rumore, sia mobili che fissi, da applicare direttamente agli scarichi dei motori, che possono portare ad abbattimenti della rumorosità da 10 a 25 dB in funzione delle modalità di collegamento fra motore e soppressore.

2.4.2 Controllo del Rumore nelle Operazioni di Volo

Il controllo del rumore nelle operazioni di volo ha un più ristretto campo di possibilità con cui attuarsi.

Per il velivolo, una volta che è progettato ed è operativo, esiste come unica possibilità di riduzione alla fonte del rumore, cioè quella di dosare opportunamente la potenza dei motori.

E' bene precisare che è anche possibile intervenire sugli effetti di questa rumorosità, stabilendo procedure operative antirumore consistenti ad esempio nel tracciare opportune rotte (specialmente quando il velivolo è a bassa quota nelle fasi di decollo o atterraggio) o nel limitare la circolazione in determinati orari; a tal fine possono essere tracciate su una carta topografica le densità abitative ed i livelli di rumorosità prodotti e quindi determinare la direzione di decollo e le manovre successive atte a minimizzare l'esposizione al rumore della popolazione (è anche utile poter disporre di un sistema articolato di piste che consenta di distribuire il traffico in modo più uniforme riducendo le frequenze d'impiego della pista preferenziale).

E' bene valutare anche l'effetto che può avere, sulla estensione e forma dell'area disturbata dalle operazioni dei velivoli, la scelta di un angolo di rampa più o meno pronunciato; in generale il decollo secondo un angolo di rampa elevato consente di ridurre l'area disturbata in senso longitudinale per effetto delle maggiori quote raggiunte dal velivolo a parità di distanza dalla testata pista, ma nel contempo si assiste ad un aumento dell'estensione del disturbo in senso trasversale alla direzione di decollo per l'aumento di potenza necessario a percorrere tale rampa.

Per quel che riguarda gli orari delle operazioni è opportuno ridurre, se non evitare, attività notturne o nella primissima mattinata, dato che la percezione del rumore e quindi il fastidio provocato in queste ore è maggiore per il complessivo abbassamento della rumorosità ambientale.

In definitiva per stabilire le procedure di decollo/atterraggio sono da valutare congiuntamente i seguenti fattori:

- tipologia dei velivoli interessati
- ubicazione dell'aeroporto rispetto ai centri abitati
- densità abitativa
- orari delle operazioni

Si rimanda ai documenti tecnici dell'ICAO, o ad un prossimo testo, per un approfondimento sulle modalità di rilevazione e calcolo dell'impatto acustico di un sedime aeroportuale.