

IL CONTENIMENTO DEL RUMORE AERONAUTICO SULLE AREE URBANE

*Carlo Baistrocchi**, *Luciano Rocco***

* Università degli Studi di Firenze, Dipartimento Processi e Metodi della Produzione Edilizia

** Università degli Studi di Firenze, Centro Audiologia

1. Problematiche e strategie di controllo del rumore aeronautico

Il rumore generato da aeromobili nelle fasi di decollo, atterraggio, rullaggio e prove motori investe inevitabilmente i territori circostanti gli aeroporti, disturbando le popolazioni residenti, mentre i sorvoli effettuati durante i voli in rotta, dato che avvengono a grande altezza dal terreno, non danno normalmente luogo ad inquinamento acustico dei territori sorvolati.

L'inquinamento da rumore aeronautico sulle aree urbane in prossimità degli aeroporti emerso fin dall'inizio degli anni Sessanta come il maggiore problema fonte di conflittualità fra le infrastrutture aeroportuali ed i residenti sui territori circostanti, rimane tuttora tale nonostante i molti cambiamenti nel frattempo intervenuti.

L'abbassamento da 10 a 15 dB dei livelli di rumore dei grandi aeromobili dell'Aviazione Commerciale è un esempio della notevolissima evoluzione che si è verificata nelle capacità di rispetto ambientale della flotta aerea.

Nel prossimo futuro, i motori a getto ad alto rapporto di diluizione di nuova generazione a seguito dello sviluppo di nuove tecnologie tendenti alla riduzione contemporanea del consumo di combustibile, del rumore e delle emissioni gassose potranno consentire ulteriori maggiori opportunità per il miglioramento dell'ambiente.

Il controllo e la riduzione del rumore degli aeromobili è stato attuato in primo luogo attraverso lo sviluppo di normative di certificazione acustica dell'aeronavigabilità. A seguito di tali azioni, nonostante la drammatica crescita del traffico aereo negli ultimi 30 anni, vi è stata una continua riduzione della emissione delle sorgenti di rumore aeronautico, e pertanto l'applicazione di tali normative, in combinazione con la modernizzazione delle flotte aeree ed i programmi di radiazione degli aeromobili più vecchi, ha prodotto i suoi benefici effetti.

In tempi più recenti, si è riconosciuta d'altronde l'opportunità di considerare, oltre alla riduzione del rumore alla sorgente, anche l'adozione di specifiche procedure operative e di individuare in strumenti economici potenziali misure per raggiungere obiettivi di protezione ambientale [1].

A loro volta, le compagnie aeree, a seguito della crescente pressione indotta dalle legislazioni nazionali e dalla maggiore consapevolezza del pubblico verso la protezione dell'ambiente, hanno cominciato ad indirizzarsi verso le problematiche ambientali; alcune compagnie infatti hanno optato per un approccio attivo che è consistito, nell'ambito della loro politica ambientale, nella scelta di operare con aeromobili meno rumorosi e di incorporare nei propri obiettivi aziendali anche i risultati del miglioramento dell'ambiente da considerare come un utile strumento di mercato.

Infine, le autorità aeroportuali e le società di gestione degli aeroporti di fronte alla crescente pressione del pubblico per la difesa dal rumore si sono anch'esse dovute muovere adottando piani di contenimento dell'inquinamento acustico sui territori circostanti gli aeroporti.

A questo proposito, si osserva che le politiche di controllo ambientale riguardanti il rumore aeronautico dovrebbero svilupparsi soprattutto a livello internazionale in modo da essere armonizzate tra loro, evitando pertanto la proliferazione di regolamenti e normative locali che inevitabilmente, dato il carattere necessariamente internazionale dell'Aviazione

Commerciale e le esigenze inderogabili della sicurezza al volo, porterebbero più a generare difficoltà che a risolvere i problemi di inquinamento acustico.

Concludendo, come tutti i problemi di rumore, anche quello che si riferisce al rumore aeronautico può essere affrontato da diverse direzioni adottando varie misure che, a seconda che agiscano sulle sorgenti o sul ricevitore, possono essere classificate in misure di difesa attiva o di difesa passiva. Come le seguenti:

Misure di difesa attiva

- Riduzione del rumore alla sorgente, attraverso lo sviluppo di nuovi motori più silenziosi e/o la modifica di quelli esistenti mediante l'applicazione di silenziatori.
- Adozione di procedure antirumore basate principalmente, durante la fase di decollo, sulla tecnica della riduzione di spinta al raggiungimento di determinate quote ed al momento del sorvolo di certe aree e durante la fase di atterraggio nell'imposizione di traiettorie di discesa più ripide.

Misure di difesa passiva

- Restrizioni operative del traffico aeroportuale, limitando il numero dei movimenti giornalieri degli aeromobili più rumorosi, oppure limitando, o addirittura escludendo, i movimenti notturni che sono quelli che danno luogo a maggiore disturbo.
- Applicazione di tassazione progressiva alle operazioni di aeromobili eccessivamente rumorosi.

2. Procedure operative antirumore

2.1 Premessa

Le procedure operative antirumore possono essere applicate sia nell'avvicinamento per l'atterraggio che nelle arrampicate di allontanamento in fase di decollo, nonché nei movimenti a terra, attraverso una opportuna combinazione di fattori tra loro correlati relativi alla configurazione della sorgente quali l'altezza del velivolo, le condizioni di spinta, il posizionamento dei flaps e la velocità dello stesso. Tali procedure sono però legate anche alla collocazione dell'aeroporto sul territorio ed alla sua tipologia, alla densità del relativo traffico ed alla presenza di agglomerati urbani limitrofi all'infrastruttura. Comunque esse devono armonizzarsi con le procedure molto complesse previste per gli aeromobili che operano sullo scalo definite per assicurare la massima sicurezza ad ogni operazione, quali direzione del decollo, senso e quota della virata successiva, rotta da seguire, rotta di avvicinamento finale. Aeromobili molto carichi, per esempio, possono essere autorizzati a procedere al decollo su prue che implichino il minor numero possibile di virate e di salire a livello di crociera con il minor numero possibile di limitazioni.

L'armonizzazione delle procedure antirumore con quelle generali previste per ciascun aeroporto può comunque essere ottenuta solo con il concorso dell'Azienda Autonoma di Assistenza al Volo (AAAV), dell'ente di gestione dell'Aeroporto, delle compagnie aeree nonché dei Comuni limitrofi interessati.

2.2 Le tecniche

2.2.1 Utilizzazione delle piste

Se l'aeroporto è provvisto di più piste, nel decollo è opportuno, per quanto possibile,

utilizzare quelle piste che implicano il sorvolo di aree con minore densità di popolazione (NPR = Noise Preferential Runway). Se esiste una sola pista occorre scegliere il più opportuno verso di percorrenza di essa nella corsa di decollo per rendere minimo l'impatto acustico nelle zone abitate in prossimità delle testate pista, sempre che le condizioni di sicurezza dettate dalla direzione e dalla intensità del vento lo consentano.

2.2.2 *Scelta delle rotte preferenziali*

Le rotte preferenziali devono essere scelte in modo da evitare il sorvolo delle aree più densamente abitate (MNR = Minimum Noise Routings); tali scelte però implicano inevitabilmente un maggiore rumore dovuto ai sorvoli di aeromobili su aree meno densamente abitate penalizzando quindi i residenti in prossimità dell'aeroporto che si trovano in minoranza.

2.2.3 *Tecniche operative*

Le procedure antirumore (ONAP = Operational Noise Abatement) applicate dagli aerei in decollo, in atterraggio o in movimento al suolo, sono definite allo scopo sia di limitare il numero delle persone esposte al rumore aeronautico, sia di ridurre l'entità del rumore sul territorio. Per l'arrampicata di decollo le condizioni ottimali di alleviamento del rumore dipendono dalle caratteristiche operative dell'aeromobile (peso al decollo) e dal tipo di motore, quindi sono strettamente legate al tipo di aeromobile, mentre per quanto riguarda l'avvicinamento per l'atterraggio si possono ottenere riduzioni del rumore non così dipendenti dalla configurazione del velivolo.

Decollo

Il decollo viene eseguito sempre al regime di massima potenza dei motori ed in funzione del peso al decollo dell'aeromobile, della lunghezza della pista nonché delle condizioni locali quali l'altitudine dell'aeroporto, la pressione atmosferica, la temperatura dell'aria, viene selezionato dal pilota l'angolo di inclinazione degli ipersostentatori (flaps) più idoneo; tutto ciò determina la lunghezza del tratto di pista percorso prima del distacco e la pendenza della traiettoria di decollo. Diminuendo l'angolo degli ipersostentatori la corsa di decollo diviene più lunga ma aumenta il gradiente di salita della traiettoria; ciò consente di guadagnare in altezza allontanando dal suolo la sorgente di rumore.

In base a quanto sopra esposto, per attenuare il rumore al decollo è stata utilizzata in vari aeroporti una procedura operativa di decollo cosiddetta a tre segmenti illustrata nella Fig. 1, nella quale sono messe a confronto le impronte di rumore con contorno di 85 dBA. Essa consiste nell'effettuare il decollo a piena potenza sotto un angolo di salita il più grande possibile; quindi, allorché l'aeromobile è giunto ad un'altezza di circa 300 metri nel ridurre la potenza continuando pertanto la salita con una pendenza minore. Durante questa fase il rumore emesso dai motori è minore (la riduzione essendo dell'ordine di circa 5 dB) per cui il sorvolo di aree urbane prossime all'aeroporto dà luogo ad un disturbo per i residenti più contenuto; l'aereo però sale meno rapidamente e ciò comporta una rumorosità sulle aree successivamente sorvolate maggiore di quella che si sarebbe avuta con l'arrampicata alla massima potenza e quindi al massimo gradiente di salita. Nella definizione di una procedura di decollo a tre segmenti si deve pertanto tener conto di tutti i fattori in gioco con l'obiettivo di ridurre al minimo il numero dei residenti disturbati dal rumore.

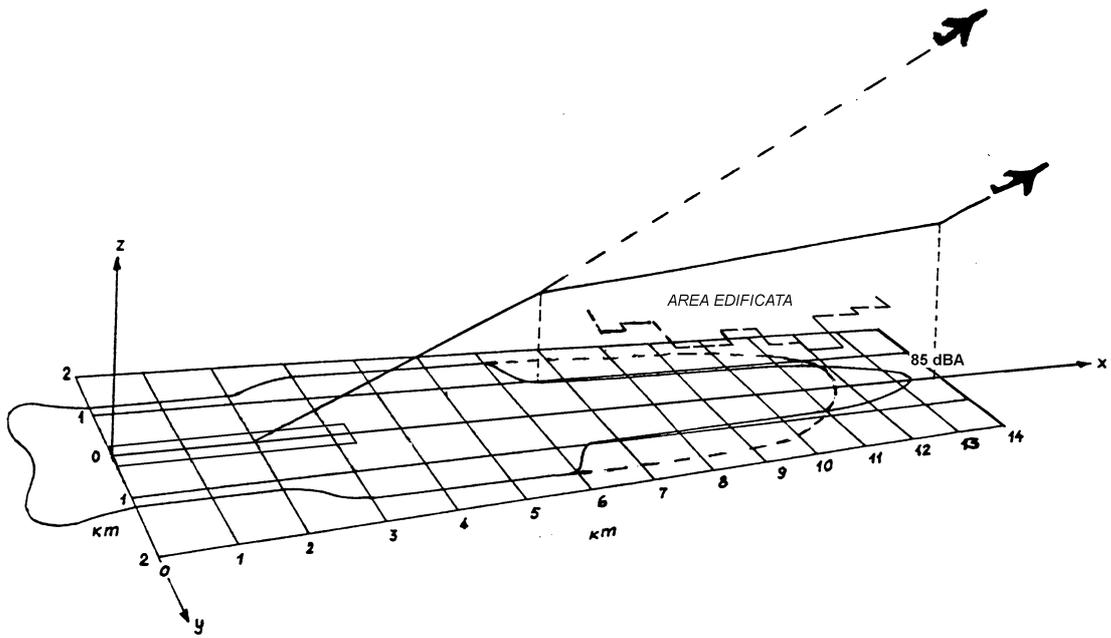


Fig. 1: Procedure di decollo standard ed a tre segmenti; contorno impronte di rumore 85 dBA

Atterraggio

Nella fase di atterraggio l'angolo della traiettoria di avvicinamento alla pista è di 3° e quindi l'aeromobile, seguendo tale traiettoria, viene a trovarsi molto basso anche a notevole distanza dalla pista.

Per mantenere l'aeromobile alla quota più alta compatibile con l'atterraggio è stata definita una procedura di avvicinamento su due segmenti: nella prima fase dell'avvicinamento la discesa avviene sotto un angolo di 6° fino a circa due miglia nautiche dalla pista, poi la discesa prosegue con la pendenza usuale di 3° . La Fig. 2 illustra come si riduce il contorno di 85 dBA dell'impronta di rumore di un aeromobile DC8, turbogetto puro a quattro motori adottando la suddetta procedura.

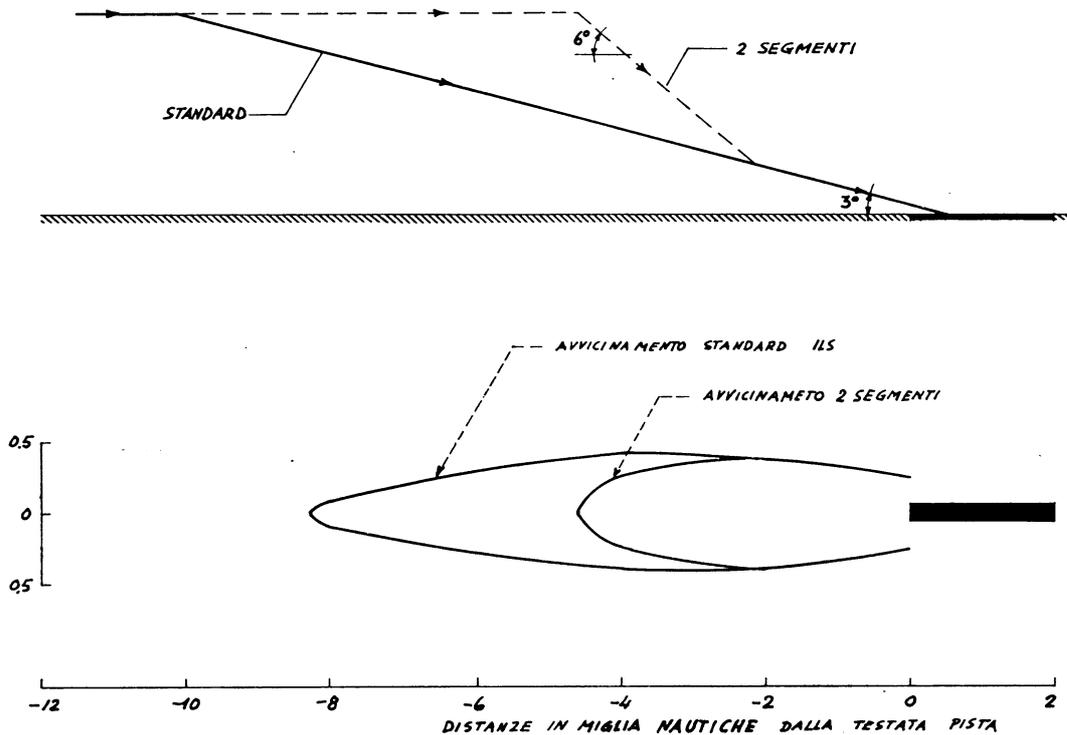


Fig. 2: Procedure di avvicinamento standard e a due segmenti: confronto impronte di rumore con contorno di 85 dBA

Se l'aeroporto è dotato dell'apparecchiatura di avvicinamento strumentale ILS (Instrumental Landing System) si può disporre che il segnale radioelettrico, indicante il piano inclinato sul quale l'aeromobile deve mantenersi durante l'atterraggio, venga intercettato a partire da quote elevate. A tale scopo si adottano avvicinamenti a due segmenti con un avvicinamento iniziale a 5° o a 6° raccordato all'avvicinamento finale a 3°. Nella Fig. 3 sono illustrate alcune configurazioni operative dell'aeromobile adottate in tre diverse tipologie di avvicinamento, una standard e due antirumore.

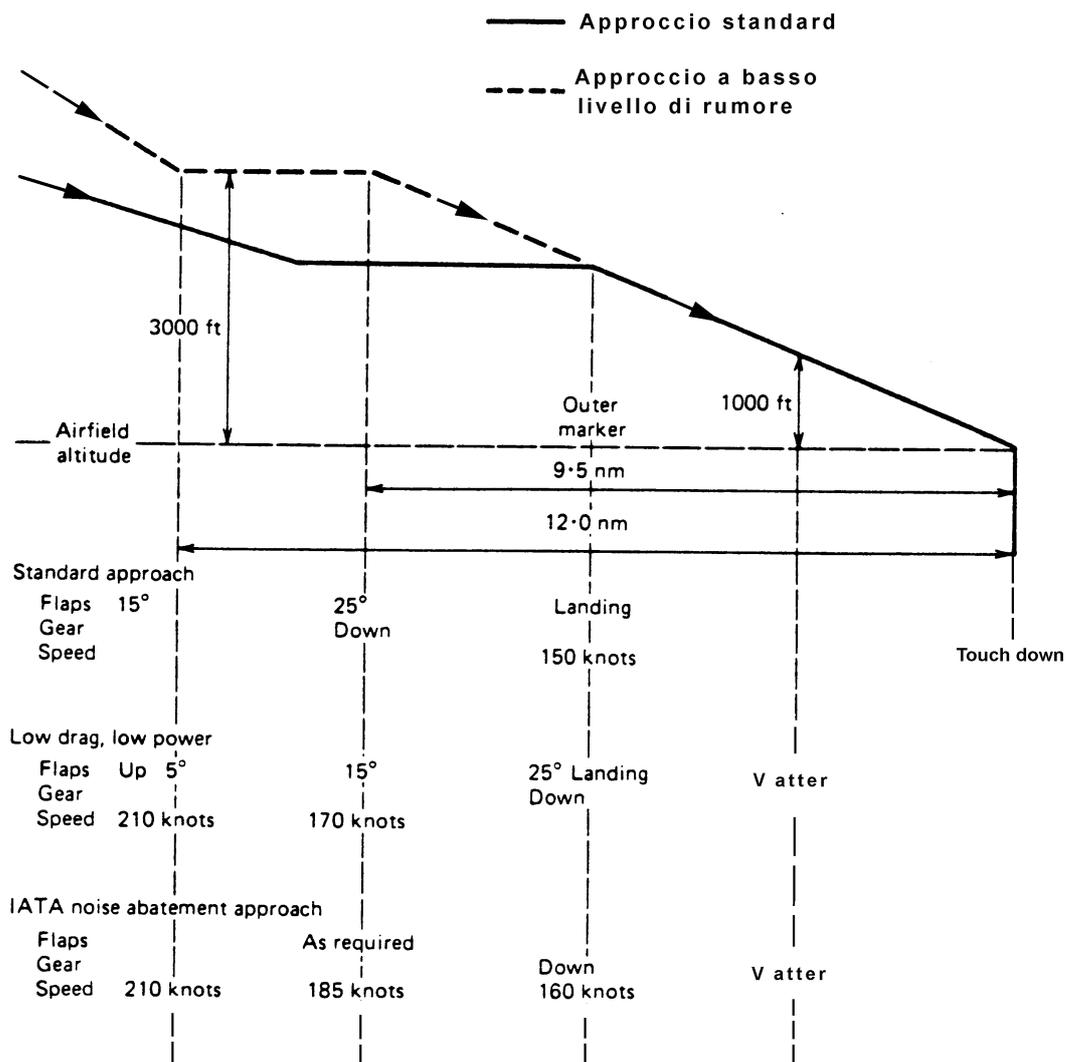


Fig. 3: Configurazioni operative in procedure di avvicinamento con ILS: a) standard, b) antirumore a potenza ridotta, c) antirumore IATA.

Movimenti al suolo

Nella fase di frenatura dell'aeromobile dopo il contatto con la pista (*touch down*) per un arresto più rapido vengono spesso messi in azione nei motori a getto gli inversori di spinta (*thrust reverser*) costituiti da deflettori disposti sullo scarico dei motori che deviano il getto di scarico in avanti nel senso del moto del velivolo esercitando quindi una potente azione frenante.

Tale procedura ausiliaria di frenatura, anche se il rumore dei motori con gli inversori di getto in azione è circa 10 dB inferiore a quello prodotto al decollo, tuttavia esso si manifesta all'improvviso e può dare luogo a disturbo per gli insediamenti urbani ai lati della pista; pertanto se la pista è sufficientemente lunga tale procedura ausiliaria deve essere evitata.

3. Limitazione all'uso degli aeromobili più rumorosi

3.1 Premessa

Il contenimento dell'inquinamento acustico sul territorio dovuto al traffico aereo può essere ottenuto nel modo più efficace, senza adottare vincoli operativi per gli aeroporti, con la messa al bando degli aerei più rumorosi.

Ovviamente, il ritiro anticipato dalle flotte aeree commerciali di aeromobili ancora efficienti a causa del divieto di operare comporta per le compagnie aeree dei costi molto elevati, compensati solo in parte dai risparmi sui costi di gestione ottenibili con i nuovi aeromobili e dalla vendita dei vecchi ad una data anteriore a quella prevista, tenendo conto della perdita del loro valore di mercato a causa delle restrizioni sul rumore.

3.2 Categorie di rumorosità degli aeromobili secondo la certificazione acustica

L'introduzione nelle linee aeree commerciali dei grandi velivoli con motori a reazione a partire dagli anni '60 unitamente al grande sviluppo del traffico aereo incrementò in modo eccessivo l'inquinamento acustico negli insediamenti urbani in prossimità degli aeroporti, per cui si rese necessario da parte delle pubbliche amministrazioni prendere delle drastiche misure per fermare la tendenza all'aumento del rumore. A tale scopo, per prima la FAA nel Dicembre 1969 [2] e poi l'ICAO nell'Agosto 1971 [3] pubblicarono due documenti denominati rispettivamente "FAR Part 36, Noise Standard" e "Annex 16 Aircraft Noise" che si proponevano di regolamentare, attraverso una certificazione acustica, l'emissione del rumore degli aerei.

Gli aerei dai due documenti sopracitati furono classificati, agli effetti della certificazione acustica, in tre categorie:

- Aerei che non soddisfano i requisiti iniziali di contenimento del rumore stabiliti dall'Annesso 16 e dal FAR 36;
- Aerei che soddisfano i requisiti iniziali di contenimento del rumore stabiliti dall'Annesso 16 e dal FAR 36 (costituiti da aerei derivati da modelli già in produzione e indicati come "Capitolo 2" dall'Annesso 16 e "Stadio 2" dal FAR 36);
- Aerei che soddisfano i requisiti di più accentuato contenimento del rumore stabiliti per tutti i modelli di nuovo tipo (aerei indicati come "Capitolo 3" dall'Annesso 16 e "Stadio 3" del FAR 36).

A seguito di tale regolamentazione, tutti i modelli di aerei di nuovo tipo che l'industria aeronautica avrebbe prodotto dopo la pubblicazione dei due documenti dovevano essere conformi ai limiti più contenuti di rumorosità (Capitolo 3 e Stadio 3). Ciò comportò un

notevolissimo sforzo di ricerca da parte dell'industria con la definizione di motori di nuova concezione, cosa che però alla fine consentì la produzione di aerei con livelli di emissione sonora addirittura inferiori fino a 5 dBA ai limiti del "Capitolo 3" e "Stadio 3".

Inoltre, tale regolamentazione comportava che tutti gli aerei derivati da modelli esistenti che l'industria aeronautica avrebbe da quel momento prodotto, per ottenere l'aeronavigabilità dovessero soddisfare i requisiti della certificazione acustica previsti per la seconda categoria della classificazione ("Capitolo 2" e "Stadio 2"); tali limiti risultavano mediamente di 10 dBA inferiori alla emissione sonora degli aerei in esercizio di precedente produzione, per cui anche per i tipi derivati da modelli già in produzione si rese necessaria una intensa ricerca per ottenere una così forte riduzione della loro rumorosità.

Per quanto concerne gli aerei della prima categoria non soddisfacenti i requisiti iniziali di contenimento del rumore, diversi paesi stabilirono delle date per la cessazione del loro impiego, date peraltro in molti casi non rispettate; comunque, l'Italia non ha posto finora scadenze al riguardo.

I principali tipi di aerei da trasporto dell'Aviazione Commerciale che soddisfano i limiti di rumorosità stabiliti dall'Annesso 16 o dal FAR 36 per i modelli di nuovo tipo ("Capitolo 3" o "Stadio 3") e che quindi sono gli aerei meno rumorosi oggi esistenti, sono i seguenti:

Boeing :	B747-200/300/400, B757, B767, B777-200, B737-800
Airbus :	A310, A300, A340, A320
British Aerospace :	BAe 146
Lockeed :	Tri Star
Mc Donnell Douglas :	MD80, MD11

I principali tipi di aerei da trasporto che invece non soddisfano neppure i requisiti iniziali di contenimento del rumore stabiliti dall'Annesso 16 o dal FAR (Stadio 1) e che quindi sono gli aerei più rumorosi delle flotte delle Aviazioni Commerciali sono i seguenti:

Boeing :	B707, B720, B727 (ante 1974), B737 (ante 1974)
Mc Donnell Douglas :	DC8, DC9, (ante 1974)
British Aerospace :	One-Eleven
Aérospatiale :	Caravelle

Alcuni dei suddetti tipi di aerei prodotti dopo il 1983 uscirono dalla fabbrica già modificati per soddisfare i requisiti iniziali di contenimento del rumore, e pertanto sono da considerarsi fra quelli mediamente rumorosi.

Altri furono modificati successivamente mediante l'applicazione di dispositivi di insonorizzazione ai motori comportanti comunque costi molto elevati e pertanto sostenibili solo in quei casi in cui i costi operativi degli aerei potevano essere ancora competitivi e quindi non generalizzabili a tutti i velivoli.

Il passaggio ad una flotta prevalentemente costituita da velivoli "quieti" è stato inevitabilmente lento e graduale, ma non è lontano dall'essere completato con il compiersi del ciclo operativo di tutti i vecchi aeromobili, che è di circa 25÷30 anni. Tale passaggio può comunque essere accelerato in situazioni particolarmente critiche, potendo dare luogo a sostanziali miglioramenti della situazione di inquinamento acustico.

3.3 Valutazione della riduzione del rumore per sostituzione di aeromobili di vecchio tipo con altri più recenti

L'entità della riduzione della rumorosità indotta sul territorio in prossimità di un dato

aeroporto dalla sostituzione dei tipi di aerei più rumorosi attualmente operanti è valutabile sulla base dei dati sul traffico aereo giornaliero, del tipo di velivoli operanti e dei livelli stimabili o misurabili di esposizione a singolo evento L_{AE} di ciascun tipo di velivolo, mediante modelli di calcolo teorici o con misure dirette integrate da calcoli semplificati [4].

Con quanto riportato nella Tabella 1, si può confrontare la situazione della rumorosità indotta sul territorio tra un modello di traffico, di un generico aeroporto, con presenza di aerei rumorosi quali i DC9 (Situazione 1) avente in una posizione di riferimento a 1000 metri dalla testata pista un $L_{AE} = 101,3$ dBA ed un modello nel quale tutti i DC9 (cinque in atterraggio diurno ed uno in decollo diurno) sono stati sostituiti dai più recenti MD 80, avente nella posizione di riferimento un $L_{AE} = 93,8$ dBA (Situazione 2).

Le mappature delle curve isolivello L_{DN} per la Situazione 1 e la Situazione 2 riportate per confronto nella Figura 4, evidenziano come con tale intervento la zona con $L_{DN} \geq 70$ dBA si sia ridotta a circa 1/4 della sua estensione. Nella posizione di riferimento, questa ipotesi di bonifica dà luogo ad una riduzione del Livello Giorno Notte da $L_{DN} = 70,4$ dBA a $L_{DN} = 67,7$ dBA.

Tab. 1: Confronti di interventi di bonifica acustica

<i>Modello di traffico e contributi energetici in L_{AE}</i>			
		<i>SITUAZIONE 1: Senza interventi di bonifica acustica</i>	<i>SITUAZIONE 2: Sostituzione dei DC9 con MD80</i>
	N°	L_{AE} (dBA)	L_{AE} (dBA)
Aviazione commerciale			
Atterraggi voli di linea diurni	38	113,4	101,6
Atterraggi voli di linea notturni	4	115,0	112,0
Decolli voli di linea diurni	2	108,1	106,7
Atterraggi voli postali notturni	2	114,3	116,8
Atterraggi voli charter diurni	2	101,1	99,2
Atterraggi voli charter notturni	1	108,1	106,2
Aviazione generale			
Atterraggi di voli diurni	18	100,8	100,8
Addestramento voli diurni	5	95,2	95,2
Aviazione militare			
Atterraggi voli diurni	6	106,4	106,4
TOTALE		$L_{AE} = 119,7$; $L_{DN} = 70,4$	$L_{AE} = 117$; $L_{DN} = 67,7$

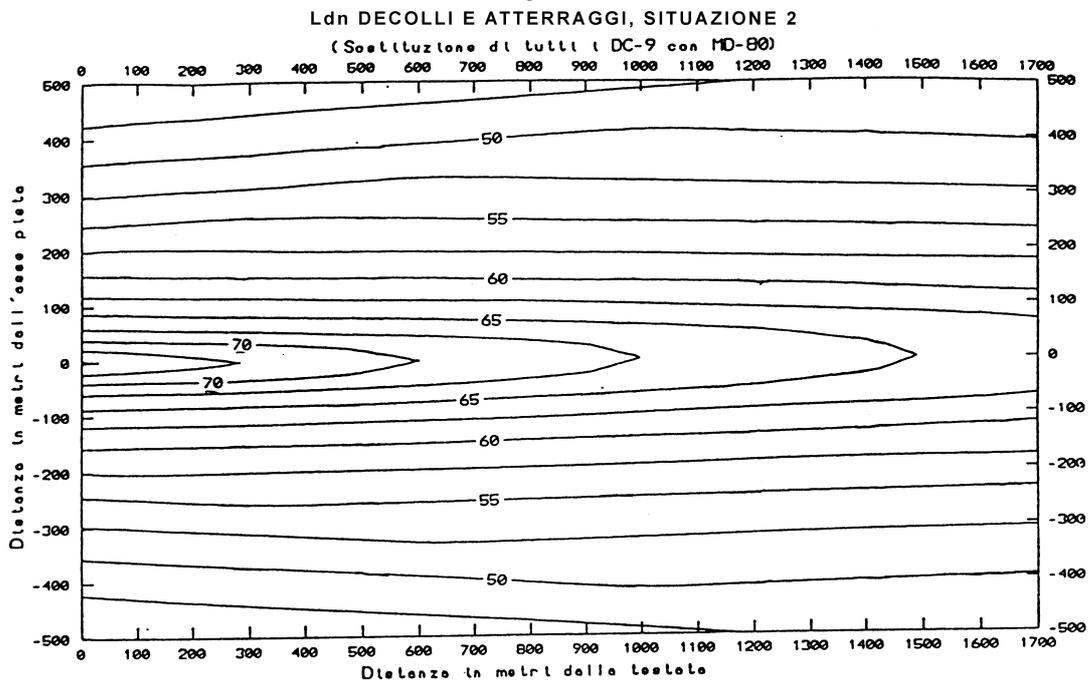
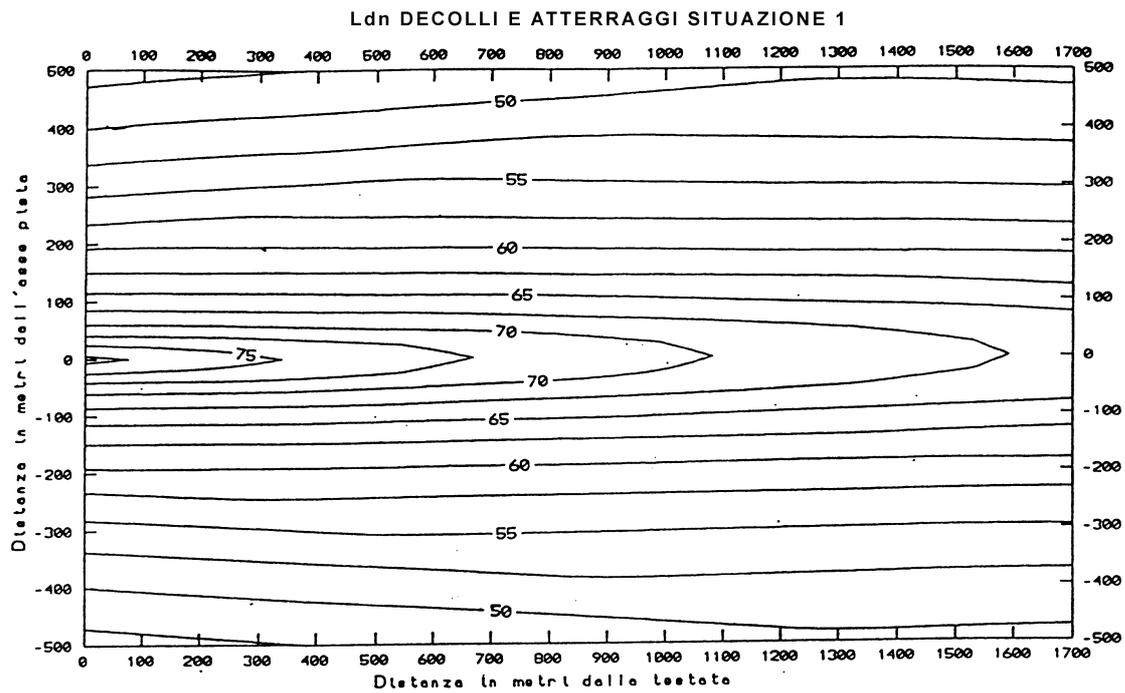


Fig. 4: Mappature curve isofoniche L_{DN} Situazione 1 e Situazione 2

4. Limitazioni orarie nell'uso dell'aeroporto

4.1 *Divieto delle operazioni di volo nelle ore notturne*

Fra le misure atte a ridurre il disturbo da rumore degli aerei, si devono considerare anche le limitazioni orarie nell'uso dell'aeroporto, fra le quali l'interdizione nelle ore notturne rappresenta la misura più efficace.

La durata del periodo notturno è variamente interpretata a seconda anche delle consuetudini locali; nella formulazione dell'indice L_{DN} , il periodo notturno è di 9 ore, e cioè quello compreso tra le 22.00 e le 07.00; nel Decreto Ministeriale 31.10.1997 viene definito come periodo notturno quello compreso tra le 23.00 e le 06.00, limitandolo pertanto a 7 ore.

Poiché gli eventi di rumore notturni sono molto più disturbanti degli eventi diurni, tanto che nella valutazione del disturbo i livelli che si verificano di notte vengono penalizzati di 10 dB, l'eliminazione di tali eventi comporta un notevole beneficio in termini di mitigazione del disturbo da rumore.

In alcune situazioni è stato constatato che il contributo alla rumorosità globale prodotto dalle sole operazioni di volo notturne dei grandi velivoli da trasporto di linea o postali può essere addirittura superiore al contributo delle operazioni di volo di tutti gli altri tipi di aeromobili nel periodo diurno.

In questi casi, un efficace intervento di bonifica acustica è quello che assume il trasferimento temporale di tutti i voli notturni dell'Aviazione Commerciale al periodo diurno. Tale misura non è una novità; infatti, molti aeroporti in presenza di situazioni critiche di inquinamento acustico vengono limitati nelle operazioni più rumorose, di solito le partenze di grossi aerei, dalla mezzanotte alle sei del mattino.

Ciò può provocare inconvenienti operativi di non indifferente portata, come minore possibilità di diluire il traffico durante la giornata e restrizioni alla programmazione dei lunghi voli transcontinentali destinati a partire o ad arrivare di notte, e difficoltà nella coincidenza dei voli, con antieconomiche menomazioni della capacità dell'aeroporto. Peraltro, negli aeroporti la cui capacità operativa è ancora lontana dalla saturazione, lo spostamento alle ore diurne degli attuali voli in orario nelle ore notturne non dovrebbe comportare grosse difficoltà economiche e organizzative.

4.2 *Valutazione della riduzione del rumore per divieto di operazioni di volo nelle ore notturne*

L'entità del beneficio in termini di inquinamento acustico dell'intervento di bonifica, consistente nel divieto delle operazioni di volo notturno è sempre accuratamente stimabile sulla base dei dati reperibili circa il traffico aereo giornaliero ed i livelli, stimabili o misurabili, di esposizione a singolo evento L_{AE} di ciascun tipo di aereo operante nell'aeroporto, mediante modelli di calcolo teorici oppure con misure dirette integrate da calcoli semplificati [4].

Un confronto della rumorosità indotta sul territorio tra un modello giornaliero di traffico con operazioni di volo diurne e notturne di un generico aeroporto (Situazione 1) ed un modello con le stesse operazioni tutte svolgentisi nelle ore diurne (Situazione 3) può dedursi dai dati riportati nella Tabella 2. In tale tabella sono indicati per ogni modello di traffico i contributi energetici espressi in Livelli di Esposizione a Singolo Evento relativi alle varie categorie di Aviazioni facenti capo all'aeroporto, calcolati per una posizione di riferimento posta a 1000 metri dalla testata pista e sul prolungamento dell'asse della stessa in base a dati a dati sperimentali, nonché i valori del livello L_{AE} complessivo e del livello L_{DN} nella stessa posizione.

Tab. 2: Confronti di interventi di bonifica acustica

<i>Modello di traffico e contributi energetici in L_{AE}</i>						
	SITUAZIONE 1: <i>Senza interventi di bonifica acustica</i>		SITUAZIONE 3: <i>Eliminazione di tutti i voli notturni</i>		SITUAZIONE 4: <i>Eliminazione di tutti i voli notturni e sostituzione dei DC9 con MD80</i>	
	N°	L_{AE} (dBA)	N°	L_{AE} (dBA)	N°	L_{AE} (dBA)
Aviazione commerciali						
Atterraggi voli di linea diurni	38	113,4	42	113,9	42	112,2
Atterraggi voli di linea notturni	4	115	-	-	-	-
Decolli voli di linea diurni	2	108,1	2	108,1	2	106,7
Atterraggi voli postali diurni	-	-	2	104,3	2	96,8
Atterraggi voli postali notturni	2	114,3	-	-	-	-
Atterraggi voli charter diurni	2	101,1	3	102,9	3	100,9
Atterraggi voli charter notturni	1	108,1	-	-	-	-
Aviazione generale						
Atterraggi di voli diurni	18	100,8	18	108,8	18	100,8
Addestramento voli diurni	5	95,2	5	95,2	5	95,2
Aviazione militare						
Atterraggi voli diurni	6	106,4	6	106,4	6	64,6
TOTALE	$L_{AE} = 119,7$ $L_{DN} = 70,4$		$L_{AE} = 116,1$ $L_{DN} = 66,7$		$L_{AE} = 113,9$ $L_{DN} = 64,6$	

Nella Figura 5 sono riportate per confronto le mappature delle curve dei livelli L_{DN} in una situazione aeroportuale senza interventi di bonifica acustica (Situazione 1) ed in una situazione con eliminazione dei voli notturni (Situazione 3).

Ipotizzando come intervento di bonifica acustica la chiusura al traffico nelle ore notturne di tutti i voli, si ottiene nel punto di riferimento una riduzione del livello L_{DN} da 70,4 dBA a 66,7 dBA e la zona con $L_{DN} \geq 70$ dBA si riduce notevolmente come evidenziato sulla mappatura delle curve L_{DN} .

Con l'impiego di modelli di calcolo è possibile valutare l'effetto combinato di misure di controllo del rumore di vario genere, come per esempio quello del divieto di voli notturni unitamente alla sostituzione dei velivoli di vecchio tipo con modelli più recenti.

Ipotizzando sia il trasferimento temporale di tutti i voli notturni al periodo diurno, sia la sostituzione di tutti i velivoli di vecchio tipo come ad esempio i DC9 con velivoli meno rumorosi, come ad esempio gli MD80, emerge un notevole miglioramento della situazione di inquinamento acustico.

Dai dati della Tabella 2 si può rilevare che con quest'ultima situazione (Situazione 4) nella posizione di riferimento si ha una riduzione del L_{AE} da 119,7 dBA a 113,9 dBA e del L_{DN} da 70,4 dBA a 64,6 dBA.

La mappatura delle curve isolivello L_{DN} per la Situazione 4 riportata nella Figura 5 fa vedere infine come la zona con $L_{DN} \geq 70$ dBA si sia ridotta ad una superficie insignificante a ridosso della testata pista, mentre nella posizione di riferimento il Livello Giorno Notte è diminuito da 70,4 dBA a 64,6 dBA.

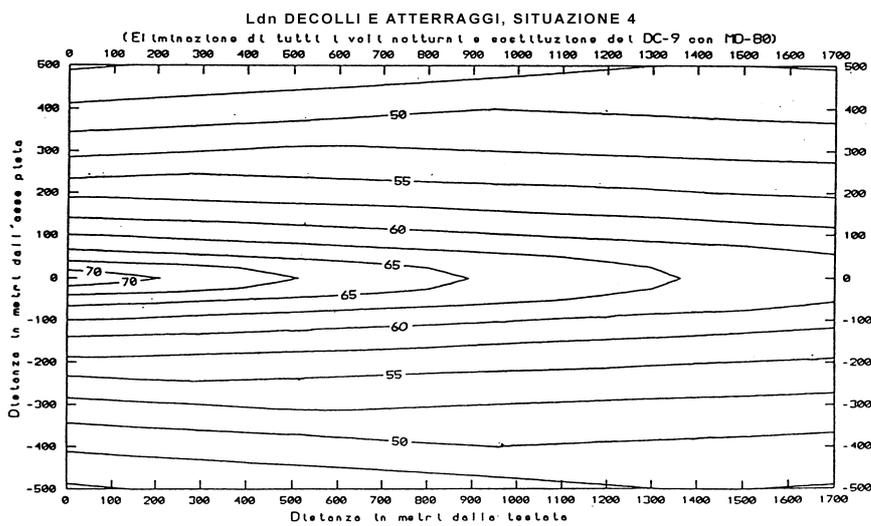
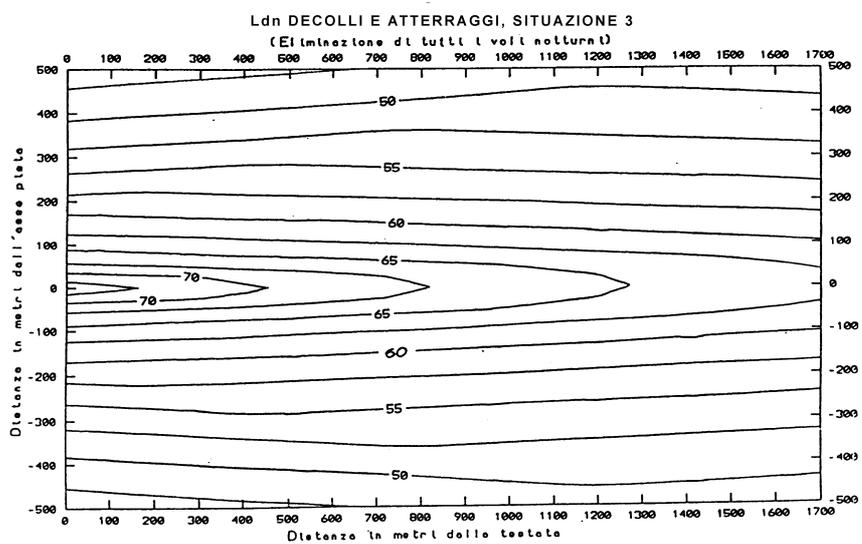
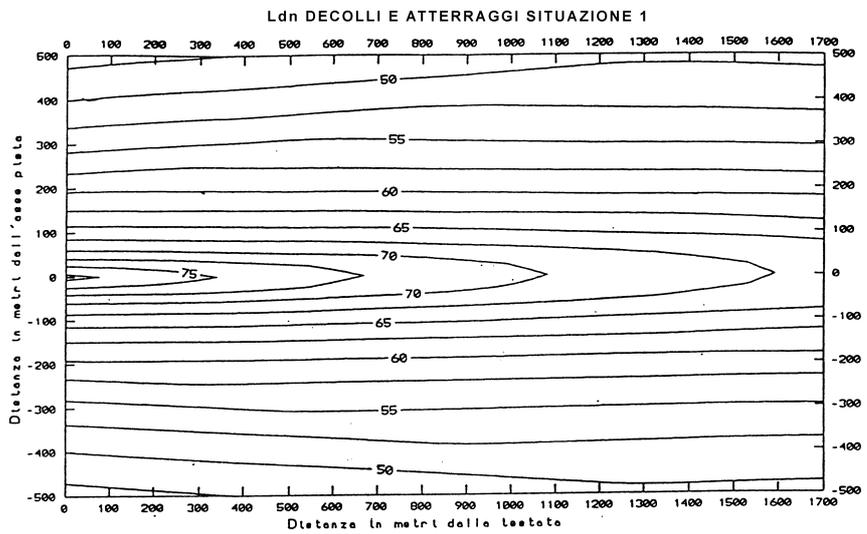


Fig. 5: Mappature curve isofoniche Situazioni 1, 3 e 4

5. Tassazione di operazioni rumorose

5.1 Premessa

La definizione di limiti di rumorosità per i decolli e gli atterraggi degli aeromobili facenti capo ad un aeroporto allo scopo di imporre alle compagnie una tassazione speciale, progressiva con l'entità del superamento dei limiti, è una misura adottata all'estero in molti aeroporti dalle amministrazioni locali o dalle autorità aeroportuali e allo scopo di contenere l'inquinamento acustico nelle aree urbane prossime all'aeroporto.

Tale tassazione, che può avere la forma di un incremento dei diritti di approdo e partenza in funzione della rumorosità dell'aeromobile, può portare, anche se non in tempi brevi, a dei notevoli benefici in termini di miglioramento acustico in quanto incentiva l'uso da parte delle compagnie aeree di aeromobili meno rumorosi o più leggeri.

L'attuale normativa internazionale dell'Aviazione Civile (come esposto in precedenza) impone già dal 1974 dei limiti alla rumorosità prodotta al decollo ed all'atterraggio degli aeromobili con la certificazione acustica [3] che peraltro prevede procedure di misura e condizioni operative di non pratica applicazione in verifiche di routine aventi come scopo l'imposizione di tassazioni speciali sui diritti di approdo e partenza.

Sorge pertanto anche la necessità di definire una metrologia più idonea ad una normale prassi operativa che comunque comporti la misura di grandezze correlabili a quelle della certificazione acustica e la definizione di valori limite compatibili con quelli previsti dalla medesima.

5.2 Azioni legislative e normative in campo europeo

Mediante l'Atto Unico Europeo entrato in vigore il 1° Luglio 1987 si introdussero per la prima volta nella legislazione della Comunità Europea delle disposizioni che riconoscevano in modo esplicito alla Comunità stessa il potere di emanare provvedimenti in materia di tutela ambientale; il Titolo VII di tale Atto fu dedicato esclusivamente all'ambiente stabilendo tra l'altro i principi ai quali dovesse ispirarsi l'azione in materia ambientale qui di seguito testualmente riportati:

“L'azione della Comunità in materia ambientale è fondata sui principi dell'azione preventiva e della correzione anzitutto alla fonte, dei danni causati all'ambiente, nonché sul principio ‘chi inquina paga’”.

Veniva pertanto chiaramente chiamata in causa la responsabilità dell'inquinatore stabilendo che coloro che provocano un inquinamento debbono sostenere i costi delle attività necessarie per evitarne le conseguenze.

Tra i soggetti inquinatori devono ovviamente essere considerate anche le compagnie aeree nella loro qualità di proprietari/operatori di aeromobili, in quanto esercenti la fonte primaria del rumore aeronautico e quindi responsabili di diritto dei danni all'ambiente causati dalle operazioni di volo e dalle prove motori; tale responsabilità deriva anche dal fatto che le compagnie hanno la possibilità di verificare gli aeromobili meno rumorosi disponibili sul mercato, nonché di utilizzare le tecnologie ormai consolidate per l'insonorizzazione di quelli più rumorosi.

In alcuni paesi europei sono state da tempo istituite delle tassazioni a carico delle compagnie aeree. In Francia, con legge del 1992, è stata istituita una tassa per la riduzione del rumore nelle vicinanze di un aeroporto, tassa che deve essere pagata dai proprietari/operatori di aeromobili basata sul MTOW (Maximum Take Off Weight = Peso Massimo al Decollo) sulla sua classificazione acustica e sul periodo diurno o notturno di attività.

Anche in Inghilterra in alcuni aeroporti è prevista l'imposizione di una tassazione sul

rumore prodotto dagli aeromobili. Per esempio nell'Aeroporto di Manchester la tassazione è costituita da un aumento delle Landing Charges: per gli aeromobili che operano di giorno il cui rumore è superiore ad un limite variante a seconda del MTOW dai 90 ai 102 PNdB la maggiorazione è del 25% per gli aeromobili che operano di notte il cui rumore è superiore ai 102 PNdB la maggiorazione è ancora del 25% e infine per rumori superiori ai 110 PNdB in operazioni diurne è prevista un'altra maggiorazione del 25%.

In Svizzera l'Aeroporto di Zurigo impone sia agli aeromobili sia a getto che ad elica una tassa sul rumore proporzionata al MTOW in aggiunta alle normali Landing Charges; gli aeromobili meno rumorosi del Capitolo 3° dell'annesso 16 non pagano invece alcuna tassa.

Tale tassazione viene applicata negli aeroporti Charles de Gaulle e Orly di Parigi, Côte d'Azur di Nizza, Marseille-Provence, Toulouse-Blagnac e Lyon.

In Germania sono applicate tasse, sul rumore negli aeroporti di Asburgo Munster, Francoforte, Monaco, Bonn, Hannover, Norimberga, Stoccarda, Saarbrücken, Düsseldorf, Brema, Berlino e Colonia.

Tali tasse sono conglobate sulle Landing Charges (Diritti di approdo) e graduate in modo diverso a seconda che l'aeromobile non soddisfi ai requisiti iniziali di contenimento del rumore stabiliti dall'Annesso 16 dell'ICAO, o appartenga al gruppo degli aeromobili indicati come "Capitolo 2" dall'Annesso 16 oppure infine al gruppo degli aeromobili indicati come "Capitolo 3" dell'Annesso 16 [3].

5.3 Scelte metrologiche per la formulazione di limiti di rumorosità

Il rumore prodotto dal suono di un aeromobile in decollo o in atterraggio, come quello di ogni altra sorgente mobile è caratterizzato da singoli eventi sonori durante i quali si verifica una rumorosità nettamente superiore a quella presente nel resto del tempo.

Tali eventi evolvono con una fase iniziale di crescita del loro livello istantaneo sopra il rumore residuo fino a raggiungere un massimo al quale poi segue una fase di decremento fino al livello del rumore residuo: la durata di tali eventi può variare da 10-15 secondi per posizioni al suolo vicine alla traiettoria dell'aeromobile fino circa due minuti per posizioni lontane.

Per quantificare con un unico numero un evento di rumore risulta logico considerare l'energia acustica totale ricevuta durante l'evento sul punto di misura; d'altra parte nello stabilire dei limiti di rumorosità alle operazioni di volo occorre riferirsi a grandezze che abbiano lo stesso significato di quelle già adottate nella certificazione acustica che considerano appunto l'energia totale ricevuta e che siano pertanto con quest'ultime correlabili.

Definita l'energia acustica totale ricevuta nel punto considerato come grandezza idonea a quantificare un evento di rumore occorre effettuare la scelta sul più opportuno approccio metrologico [5].

Per l'analisi strumentale dell'evento, attualmente sono disponibili le seguenti due diverse tecniche. La prima tecnica, che è poi quella adottata nella certificazione acustica, si avvale dell'analisi Energia-Tempo-Frequenza (ETF) che richiede la disponibilità di un analizzatore di spettro in tempo reale in grado di memorizzare una successione di spettri di 1/3 di ottava fornendo quindi ogni possibile informazione sulla evoluzione spettrale e temporale dell'evento sonoro; mediante l'analisi ETF è possibile determinare i valori istantanei del Livello di Rumore Percepito Corretto per Toni puri L_{PNT} dai quali mediante l'integrazione nel tempo dell'evento di rumore, si ottiene la grandezza derivata Livello Effettivo di Rumore Percepito L_{EPN} impiegata nella certificazione acustica.

La seconda tecnica più semplificata prevede l'impiego del filtro di ponderazione "A" e la memorizzazione di una successione temporale di singoli valori (livelli "istantanei") del L_{pA} , Livello di Pressione Sonora Ponderato A, ed è quella più estesamente adottata per la

formulazione di limiti di rumorosità.

Con questa tecnica, ancora con l'integrazione nel tempo dei valori istantanei, è possibile calcolare il Livello di Esposizione a Singolo Evento L_{AE} che come l' L_{EPN} , ma con diversa pesatura in frequenza, esprime il contenuto energetico complessivo dell'evento di rumore fornendo quindi una quantificazione dello stesso.

La corretta formulazione del L_{AE} è la seguente:

$$L_{AE} = 10 \log \left\{ \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} [p_A^2(t)/p_0^2] \cdot dt \right\} \quad (\text{dBA})$$

dove $t_0 = 1$ secondo è la costante temporale di normalizzazione, $p_A(t)$ è il valore efficace istantaneo della pressione sonora pesata A, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa, ed i tempi t_1 e t_2 espressi in secondi individuano gli istanti di inizio e fine dell'evento la cui corretta definizione permette di separare il contributo dell'evento di rumore dal rumore residuo.

La correlazione approssimata esistente fra l' L_{EPN} ed il L_{AE} derivante dalla diversa pesatura in frequenza e dalle diverse costanti temporali di normalizzazione è data dalla:

$$L_{EPN} = L_{AE} + 13$$

La determinazione degli istanti t_1 e t_2 di inizio e fine della durata dell'evento non è critica per l' L_{AE} ; la pratica e la normativa consentono di individuare come istante t_1 quello in cui il livello sonoro raggiunge per la prima volta un valore inferiore di 10 dB al livello massimo registrato nell'evento e come istante t_2 quello in cui il livello sonoro si riduce definitivamente ad un livello inferiore al massimo di 10 dB; per l' L_{AE} non è neppure critica la scelta della costante di integrazione per il campionamento dei valori istantanei dalla quale poi dipendono le posizioni temporali degli istanti t_1 e t_2 e quindi la durata convenzionale dell'evento.

Al variare della costante di tempo di integrazione infatti i valori ottenibili del L_{AE} risultano estremamente vicini fra loro con differenze contenute in $0,1 \div 0,2$ dB e ciò deriva proprio dalla sua formulazione analitica; risultano, inoltre anche poco diversi dall' L_{AE} che si ottiene integrando sull'intera durata dell'evento sonoro percepibile come si fa con un semplice fonometro integratore. Pertanto, l' L_{AE} , non essendo significativamente influenzato né dalla durata convenzionale dell'evento né dalla costante di integrazione dei valori istantanei, può venire tranquillamente determinato da strumenti diversi operanti con tecniche diverse di rilevamento

L' L_{AE} risulta dunque una grandezza particolarmente idonea a rappresentare il descrittore acustico primario di un singolo evento di sorvolo; esso infatti viene misurato in maniera pressoché invariante con strumenti anche di basso costo e tecniche di rilievo diverse, è deducibile col calcolo con buona approssimazione dai valori dell' L_{EPN} della certificazione acustica, essendo di analoga formulazione ed allo stesso correlato.

Pertanto, per l'imposizione di limiti sui quali basare la tassazione del rumore emesso dagli aeromobili, la scelta del L_{AE} si presenta sostanzialmente obbligata.

Per quanto riguarda la posizione di misura del L_{AE} essa dovrebbe trovarsi in un punto posto sulla proiezione della traiettoria sul terreno ed a una distanza di riferimento fissa di 1.000 metri dalla testata pista in modo da trovarsi sotto uno spazio in cui tutte le traiettorie percorse dagli aeromobili diventano necessariamente rettilinee; infatti, data la vicinanza alla testata le traiettorie seguite dagli aeromobili seguono un sentiero rettilineo praticamente obbligato.

Nella certificazione acustica le distanze dalla testata pista sono molto maggiori, ma le

traiettorie percorse dall'aeromobile sotto controllo devono essere mantenute rigorosamente rettilinee, cosa invece non sempre verificabile nella pratica operativa.

La posizione scelta, per quanto possibile, dovrebbe poi essere non apprezzabilmente influenzata dal rumore residuo.

5.4 *Ipotesi di Tassazione speciale progressiva per le operazioni di volo eccessivamente rumorose*

Qualora una o entrambe le operazioni di volo di atterraggio e di decollo abbiano prodotto il superamento dei limiti di rumorosità di seguito definiti in corrispondenza della posizione di riferimento a 1.000 m dalla testata pista, le autorità aeroportuali dovrebbero imporre alle compagnie aeree una tassazione speciale, progressiva con l'entità del superamento del limite.

L'ipotesi di tassazione per incentivare l'impiego di aerei meno rumorosi potrebbe essere basata su tre livelli L_{AE} di rumorosità con tolleranze di + 0,5 dB sul limite.

- $L_{AE} \leq 95$ dBA; in questo caso si applicano solo gli incrementi percentuali dell'importo dei diritti di approdo e partenza degli aeromobili già previsti dal D.P.R. 26.08.1993 n° 434 [6] pari al 20% per i velivoli senza certificazione acustica, al 15% per i velivoli conformi al "Capitolo 2" dell'Annesso 16 dell'I.C.A.O. e al 5% per i velivoli conformi al "Capitolo 3" dell'Annesso 16.
- $95 < L_{AE} \leq 100$ dBA; per le tre classi di velivoli sopra identificate gli incrementi percentuali suddetti vengono raddoppiati.
- $L_{AE} > 100$ dBA; oltre alle percentuali di incremento sopra indicate, si applica all'importo dei diritti di approdo una ulteriore sovratassa corrispondente al 20% dei diritti di approdo per ogni dBA in più oltre la soglia dei 100 dBA.

Bibliografia

- [1] L. Rocco, G. Cellai, S. Sauro, *Criteri per l'esecuzione dei piani di contenimento ed abbattimento del rumore prodotto dalle infrastrutture aeroportuali*, Vol. 3, Collana CIRIAF - Ministero dell'Ambiente, coordinamento Prof. Ing. F. Cotana, Dott. G. Biondi.
- [2] Noise Standards: *Aircraft type and airworthiness certification*; Federal Aviation Administration Regulation, Part 36, U.S. Department of Transportation (June, 1974 as amended).
- [3] Annex 16, *International Standards and recommended practices, Environmental Protection, Aircraft Noise, Aircraft Engine Emissions*, ICAO, Montreal, Canada (1981 as amended).
- [4] A. Farina, L. Rocco, S. Sauro, "Il rilevamento delle zone di influenza acustica connesse al traffico aereo sul territorio in prossimità degli aeroporti" *Aerotecnica*, Missili e spazio, Dicembre 1994.
- [5] A. Farina, "Metodologia del rumore di aeromobili, certificazione acustica ed impatto sul territorio", *Bollettino Ingegneri* n° 10, Firenze 1995.
- [6] D.P.R. 26 Agosto 1993 n° 434 "Regolamento di attuazione dell'art. 10 del decreto legge 27 Agosto 1990 n° 90, convertito con modificazioni, dalla legge 26 giugno 1990 n° 165 relativo all'imposta erariale in aggiunta ai diritti di approdo e partenza degli aeromobili". G.U. n° 260 del 5.11.1993.

