

**ALMA MATER STUDIORUM – UNIVERSITA' DI BOLOGNA**

---

**SCUOLA DI INGEGNERIA E ARCHITETTURA**

**D.I.C.A.M.**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali

**CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA CIVILE**

**TESI DI LAUREA**

in

Pianificazione dei Trasporti

**METODI OPERATIVI PER LA RIDUZIONE DELL'IMPATTO  
ACUSTICO DELLE OPERAZIONI AEROPORTUALI: EFFICACIA  
DELLE NOISE ABATEMENT PROCEDURES**

**CANDIDATO:**

Marcello Quaglia

**RELATORE:**

Prof. Ing. Luca Mantecchini

**CORRELATORE**

Anno Accademico 2012/13

Sessione III



*Ai miei genitori*



# INDICE

<i>INTRODUZIONE</i> .....	1
<i>CAPITOLO PRIMO</i> .....	3
1. Introduzione .....	3
2. Cenni di acustica .....	7
2.1. Origine e propagazione del rumore .....	7
2.2. Grandezze acustiche .....	7
2.3. Il decibel e i livelli di pressione sonora .....	8
2.4. Gli indicatori del rumore aeroportuale .....	11
3. Fonti del rumore .....	17
3.1. Movimentazioni .....	17
3.2. I motori .....	20
3.3. Auxiliary Power Unit .....	24
3.4. Rumore aerodinamico .....	25
4. Gli effetti del rumore .....	27
<i>CAPITOLO SECONDO</i> .....	32
1. D.P.C.M. 1° Marzo 1991 “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell’ambiente esterno” .....	32
2. Legge 447 del 26 ottobre 1995 n. 447 “Legge quadro sull’inquinamento acustico” .....	34
2.1. Competenze delle Regioni .....	35
2.2. Competenze dei Comuni .....	36
3. D.M. del 31 ottobre 1997 “Metodologia di misura del rumore aeroportuale” .....	37
4. D.P.C.M. del 14 novembre 1997 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore” .....	38
5. D.P.R. dell’11 dicembre 1997 n. 496 “Regolamento recante norme per la riduzione dell’inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili” .....	41
6. D.P.C.M. del 16 marzo 1998 “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell’inquinamento acustico” .....	42
7. D.M. del 20 maggio 1999 “Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti nonché criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico” .....	43
8. D.M. del 3 dicembre 1999 “Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti” .....	44
9. D.M. del 29 novembre 2000 “Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore” .....	46

10.	D.Lgs. del 17 gennaio 2005 n.13 “Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all’introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari” .....	47
11.	D.Lgs. del 19 agosto 2005 n.194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale” .....	51
12.	Imposta Regionale sulle Emissioni Sonore degli Aeromobili (IRESA) .....	54
12.1.	Modalità di calcolo .....	57
<i>CAPITOLO TERZO</i> .....		60
1.	Minore rumorosità degli aerei .....	61
2.	Limitazione operative all’uso dell’aeroporto .....	65
2.1.	Limitazione ai voli notturni .....	66
2.2.	Imposizione di un tetto massimo di movimenti .....	67
3.	Monitoraggio del rumore .....	69
4.	Pianificazione territoriale .....	70
5.	Insonorizzazione .....	72
6.	Slot allocation .....	76
7.	Tassazione sul rumore .....	77
7.1.	Il metodo del prezzo edonico .....	80
7.2.	Il metodo della valutazione contingente .....	83
7.3.	La modellazione delle tasse ambientali .....	85
8.	Interventi sulle piste .....	87
9.	Procedure operative antirumore .....	92
<i>CAPITOLO QUARTO</i> .....		93
1.	Le fasi del volo .....	93
2.	NAP .....	101
2.1.	Continuous Descent Approach (CDA) .....	102
2.2.	Three Degree Decelerating Approach .....	109
2.3.	Low Drag Low Power Approach (LDLP) .....	109
2.4.	Maggior pendenza del sentiero ILS e maggiore altezza cui il segnale è intercettato ..	110
2.5.	Noise Abatement Departure Procedure ICAO-A e ICAO-B .....	111
3.	Noise Preferential Runway .....	114
4.	Minimum Noise Routings .....	114
<i>CAPITOLO QUINTO</i> .....		115
1.	L’aeroporto .....	115
2.	Il sistema di monitoraggio .....	121

<b>3. Il modello analitico previsionale INM</b> .....	125
<b>3.1. Calibrazione del modello</b> .....	127
<b>4. Procedure operative adottate</b> .....	130
<b>4.1. Situazione pre-variante</b> .....	131
<b>4.2. Nuova procedura di salita iniziale per decolli Pista 12</b> .....	137
<b><i>CONCLUSIONI</i></b> .....	146
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	148



## ***INTRODUZIONE***

Con la continua crescita del traffico aereo che va di pari passo con l'urbanizzazione attorno ai principali aeroporti, l'impatto del rumore aeronautico e delle emissioni sulla qualità della vita per le comunità vicine è diventato un difficile problema con cui relazionarsi. Nonostante la sostanziale riduzione del rumore emesso dagli aeromobili negli ultimi decenni, il loro impatto sull'inquinamento, cui le comunità situate nelle vicinanze degli aeroporti sono sottoposte, è un problema che sussiste tuttora.

Numerosi aeroporti hanno già dovuto affrontare i problemi legati all'aumento della domanda di traffico e alla crescente pressione del pubblico per ridurre l'impatto ambientale.

Contenere il rumore generato dalle operazioni aeronautiche, andando incontro alla crescente domanda del trasporto aereo, è una delle maggiori sfide che devono affrontare le autorità aeroportuali, gli enti pubblici e i vettori operanti.

Molti sforzi sono stati compiuti in questa direzione, partendo dalla costruzione di aerei meno rumorosi, con l'introduzione di vincoli normativi sempre più stringenti per quanto riguarda gli aeromobili di vecchia generazione, limitazioni negli orari dei voli e tasse da applicare. Grande attenzione è stata posta anche alla pianificazione territoriale e alle procedure operative che permettano di mantenere alta la capacità degli aeroporti e la sicurezza nelle fasi di volo di più delicata e che rispettassero al contempo i sempre più stringenti vincoli ambientali.

In questa tesi si è cercato di analizzare i vari aspetti del problema e le possibili soluzioni finora adottate.

Nel primo capitolo viene analizzata l'origine e la propagazione del suono e gli indici che lo descrivono. Poi in particolare ci si sofferma sulle sorgenti del rumore aeroportuale e sulle conseguenze che questo ha sulle popolazioni esposte.

Nel secondo capitolo viene proposta una panoramica sulla normativa Italiana sul rumore.

La terza parte di questa tesi racchiude la maggior parte delle soluzioni proposte dagli organi internazionali per la riduzione dell'inquinamento acustico.

Le procedure operative sono il soggetto del quarto capitolo, in cui vengono analizzati alcuni aeroporti, come ad esempio lo Schiphol di Amsterdam, e gli effetti che queste procedure hanno avuto sulle popolazioni circostanti.

L'ultimo capitolo è dedicato al caso dell'aeroporto Marconi di Bologna e alle nuove procedure adottate in fase di decollo che dimostrano come si possano ottenere sostanziali miglioramenti.

# *CAPITOLO PRIMO*

## **IL RUMORE AEROPORTUALE**

### **1. Introduzione**

Con la continua crescita del traffico aereo così come il crescente livello di urbanizzazione attorno ai principali aeroporti, l'impatto del rumore aereo e delle sue emissioni sulla qualità della vita per le comunità limitrofe è diventato un serio problema con cui doversi confrontare. Molti aeroporti hanno già dovuto affrontare il problema conflittuale tra accrescere i servizi per andare incontro alla crescente domanda, e la sempre maggiore pressione dell'opinione pubblica per ridurre l'impatto ambientale, in particolare l'inquinamento acustico e le emissioni gassose, dell'aumentato volume di traffico.

Questo ha già portato in specifici vincoli alle operazioni aeronautiche non solo nei principali scali europei quali Amsterdam (Schiphol), Londra (Gatwick) e Francoforte, ma anche un sempre maggior numero di aeroporti regionali si sta relazionando con la necessità di dover imporre dei vincoli ai movimenti degli aerei.

Il rumore prodotto dagli aerei in fase di decollo e atterraggio rappresenta una fonte di disturbo per la popolazione che risiede nelle vicinanze degli aeroporti, soprattutto nelle aree caratterizzate da un buon clima acustico. Nel nostro paese, in particolare, le caratteristiche morfologiche e orografiche, legate a una forte urbanizzazione del territorio, sono tali per cui queste infrastrutture spesso sono localizzate in aree limitrofe a centri urbani.

La crescita economica e la globalizzazione richiedono un incremento della mobilità di persone e di movimentazione di merci in tempi brevi; in tale contesto il traffico aereo in Italia e in Europa ha mostrato nel tempo un progressivo e significativo aumento.

Con la sola eccezione del 2002 (anno successivo a quello dell'attentato alle Torri Gemelle di New York), dal 2000 al 2009 si è osservato un incremento

di oltre il 10% del numero complessivo di movimenti, con un picco di oltre il 20% nel 2007 (da quasi 1,4 milioni nel 2000 a oltre 1,7 milioni nel 2007).<sup>1</sup>

Solo negli ultimi anni, a causa della globale crisi economica internazionale, tale incremento ha subito un generale rallentamento.

Gennaio 2006-dicembre 2011 , valori assoluti in migliaia

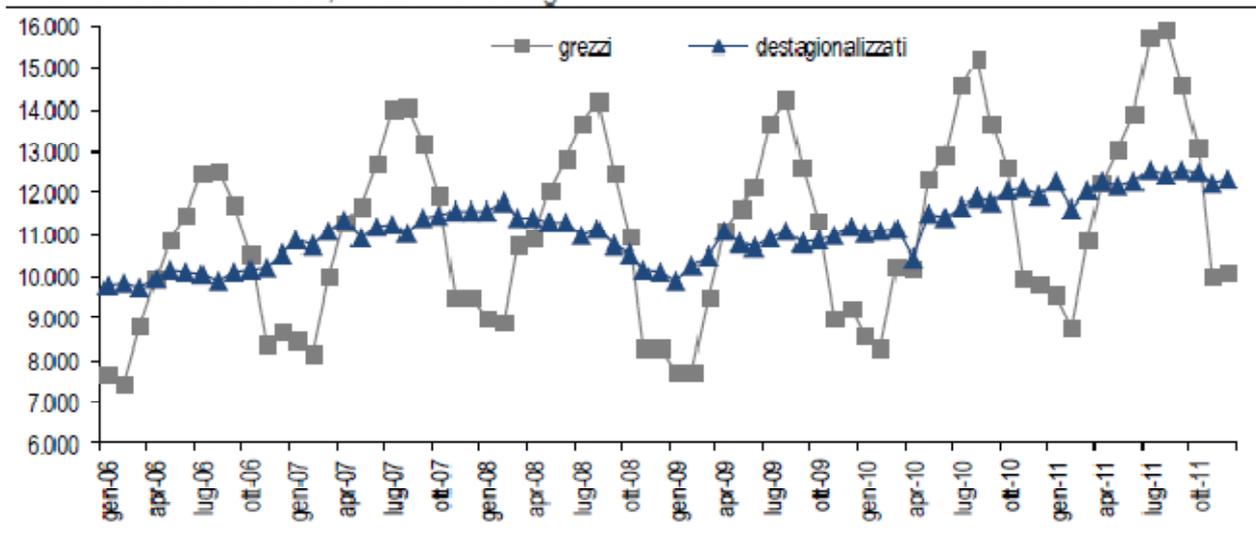


Figura 1: Movimento passeggeri in Italia periodo 2006-2011<sup>2</sup>

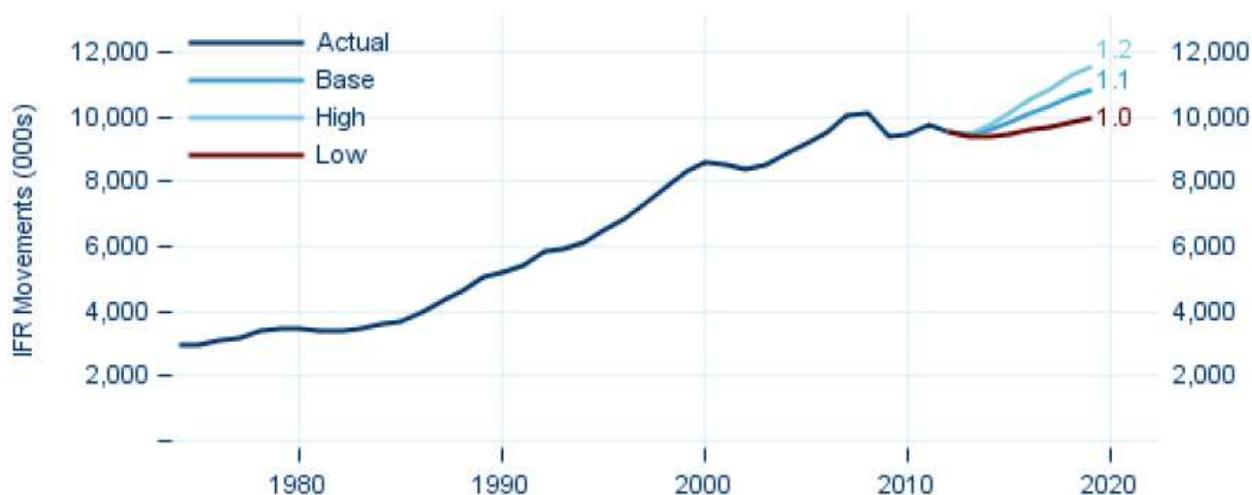


Figura 2: Crescita dei voli in Europa<sup>3</sup>

I problemi ambientali connessi alla presenza di un aeroporto non sono mai trascurabili e riguardano pressioni che vanno dalla gestione dei rifiuti

<sup>1</sup> Fonte Arpa Lazio report 2012

<sup>2</sup> Fonte Istat report trasporto aereo 7 gennaio 2013

<sup>3</sup> Fonte Eurocontrol 7-year IFR Flight Movements and Service Unit Forecast 2013-2019

all'inquinamento atmosferico, dal traffico auto veicolare indotto alla semplice occupazione fisica di una significativa porzione di territorio, dal trattamento delle acque di servizio e meteoriche alle attività aeronautiche negli intorni aeroportuali; di tutte le forme di pressione l'impatto acustico costituisce l'elemento di disturbo più evidente e più frequentemente segnalato dalla popolazione. Sebbene l'adozione di una serie di misure di mitigazione e prevenzione abbia, nel complesso, permesso di ridurre negli ultimi anni l'emissione sonora media degli aeromobili, la percezione dei progressi ottenuti è stata spesso vanificata dal continuo incremento del traffico aereo.

Negli ultimi anni, inoltre, gli aeroporti minori hanno mostrato un ritmo di crescita particolarmente accentuato dovuto a un maggior utilizzo per il trasporto delle merci e all'introduzione dei voli di compagnie aeree low cost.

L'impatto ambientale a cui viene attribuita maggiore importanza, perché è immediatamente avvertibile è sicuramente quello del rumore. Il rumore degli aeroplani, in particolare quelli a reazione, provoca disturbo nella popolazione che abita in prossimità degli aeroporti, e questo si traduce in sofferenza nelle ore dedicate al riposo.

Una rapida crescita del numero di aeroporti e di movimenti di aeromobili nonché una frequente incapacità della comunità locale a controllare adeguatamente l'uso del territorio intorno agli aeroporti hanno, pertanto, sottolineato l'urgente necessità di affrontare sistematicamente il problema. Tale urgenza ha incentivato gli sforzi a breve, medio e lungo termine. Questi sforzi sono stati orientati come segue:

- Regolazione, controllo e monitoraggio
- Sviluppo di procedure antirumore
- Pianificazione e controllo dell'uso del territorio in prossimità degli aeroporti
- Utilizzo di aerei meno rumorosi

A differenza di altri inquinanti fisici che possono permanere a lungo nell'ambiente anche quando è cessata la causa che li ha prodotti, il rumore

dura fintantoché la sorgente sonora fa vibrare il mezzo. Inoltre, a causa della elevata velocità di propagazione delle onde sonore, esso viene disperso rapidamente.

La sorgente, ovvero l'aeromobile, produce quindi rumore dall'avvio dei motori sino al loro spegnimento, tuttavia i livelli più elevati, e quindi quelli che producono maggiore disturbo, sono generati durante:

- Il decollo, quando i motori vengono spinti al massimo e il velivolo si trova ancora al suolo
- La fase iniziale di salita, quando il velivolo ha ancora i motori ad alto regime e si trova relativamente vicino al suolo
- La fase finale di discesa, quando l'aeroplano si avvicina nuovamente al suolo: in questo caso il regime dei motori è basso ed il rumore viene generato dall'attrito dell'aria sulla fusoliera e sulle superfici di controllo poste sulle ali del velivolo (flaps e slats)
- La fase di frenata immediatamente successiva al contatto delle ruote sulla pista in cui vengono usati gli inversori di spinta dei motori

Nella fase di crociera e di discesa iniziale, invece, il rumore non viene avvertito al suolo grazie all'altitudine. Inoltre, ad influenzare il disturbo associato al rumore intervengono altri fattori, quali:

- L'intensità delle emissioni sonore, solitamente espressa in decibel (dB)
- La frequenza delle emissioni sonore, espressa come il tasso di vibrazione di una sorgente solitamente espressa in Hertz. Una maggiore vibrazione della fonte indica una frequenza superiore. Una sorgente sonora, come il motore aeronautico, genera diverse frequenze
- La variazione nel tempo del livello sonoro
- Il numero di movimenti (decolli e atterraggi) per unità di tempo: maggiore è la frequenza maggiore è il disturbo
- Le fasce orarie delle operazioni: il disturbo aumenta nelle ore notturne

- La densità di popolazione attorno agli aeroporti e la sua ubicazione rispetto ai sentieri di decollo e atterraggio

## 2. Cenni di acustica

### 2.1. Origine e propagazione del rumore

Il rumore è un fenomeno oscillatorio che consente la trasmissione di energia attraverso un mezzo. Nel vuoto non è possibile la trasmissione di rumori o vibrazioni.

Le oscillazioni sono spostamenti delle particelle, intorno alla posizione di riposo e lungo la direzione di propagazione dell'onda, provocati da movimenti vibratorii, provenienti da un determinato oggetto, chiamato sorgente, il quale trasmette il proprio movimento alle particelle adiacenti, grazie alle proprietà meccaniche del mezzo; le particelle a loro volta, iniziando ad oscillare, trasmettono il movimento alle altre particelle vicine, provocando una variazione locale della pressione; in questo modo, un semplice movimento vibratorio si propaga meccanicamente originando un'onda sonora, che è pertanto onda longitudinale.

### 2.2. Grandezze acustiche

Il *periodo* è il tempo impiegato dalla particella per tornare nello stesso punto dopo aver cominciato lo spostamento (indica cioè la durata di una oscillazione completa).

La distanza dalla cresta all'asse delle ascisse indica, invece, l'*ampiezza* del movimento, in altre parole la distanza massima percorsa dalla particella dalla sua posizione di riposo durante l'oscillazione.

Dal numero di periodi compiuti in un secondo si ottiene la *frequenza*, misurata in Hertz (Hz), che è definita proprio come il numero di oscillazioni compiute dalla particella in un secondo. Dall'ampiezza dell'onda, invece, si calcola la *pressione sonora*, definita come la

variazione tra la pressione esistente al tempo  $t$  e la pressione standard di riferimento<sup>4</sup>.

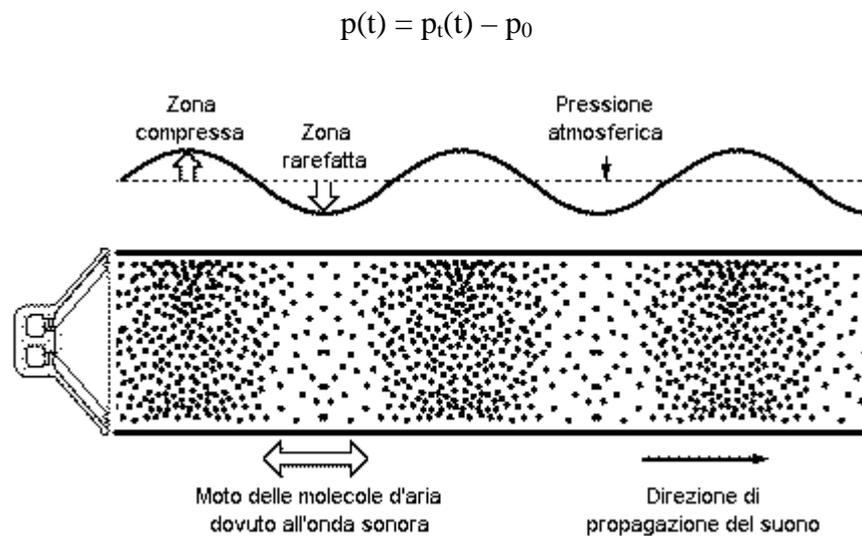


Figura 3: Onda di pressione

La *potenza sonora* ( $P_w$ ), misurata in Watt (W), è l'energia sonora emessa da una sorgente nell'unità di tempo ed è una grandezza scalare.

L'*intensità* ( $I$ ), misurata in Watt/m<sup>2</sup>, di un suono è il flusso di potenza che passa nell'unità di tempo, attraverso una superficie unitaria<sup>5</sup> e perpendicolare alla direzione di propagazione, esprime il valore e la direzione del flusso netto di potenza in una certa posizione dello spazio.

$$I = \frac{P_w}{S}$$

### 2.3. Il decibel e i livelli di pressione sonora

Il livello di rumore viene valutato in base al *livello di pressione sonora*<sup>6</sup> ( $L$ ), misurato in decibel (dB). Dato l'enorme campo di variazione delle frequenze e della potenza, conviene esprimere i valori di pressione sonora, potenza e intensità in termini relativi, ovvero riferiti ad un valore standard della pressione di riferimento:

<sup>4</sup>  $p_0$  : pressione sonora di riferimento ( $20\mu\text{Pa} = 20 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ )

<sup>5</sup>  $S$ : superficie di propagazione =  $4\pi r^2$

<sup>6</sup> SPL = Sound Pressure Level, indicato appunto con  $L$

$$L = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right)^2$$

Il livello di pressione sonora è espresso in termini logaritmici, ciò significa che una variazione di 10 dB corrisponde a un aumento o diminuzione della pressione pari a tre volte il valore originario, e con essa della sensazione di fastidio associata all'evento.

<i>Intensità sonora (W/m<sup>2</sup>)</i>	<i>Pressione sonora (Pa)</i>	<i>Livello sonoro (dB)</i>	<i>Esempi</i>
10 <sup>2</sup>	200	140	Soglia del dolore
1	20	120	Vicino motore aereo
10 <sup>-2</sup>	2	100	Vicino martello pneumatico, urlo
10 <sup>-4</sup>	0.2	80	Ciglio autostrada trafficata, voce alta
10 <sup>-6</sup>	0.02	60	Parlato normale
10 <sup>-8</sup>	0.002	40	Voce bassa, sussurro
10 <sup>-10</sup>	0.0002	20	Respiro
10 <sup>-12</sup>	0.00002	0	Soglia udibile (1-4 kHz)

Figura 4: Ordine di grandezza di alcuni fenomeni acustici

Tuttavia occorre evidenziare che l'orecchio umano non ha una sensibilità lineare del rumore, sia per quanto riguarda l'intensità sia per la frequenza, per questo vennero create le curve isofoniche, che descrivono l'andamento della sensibilità umana per i suoni di diversa intensità e frequenza, l'unità di misura di queste curve sono i phon, che riportano la scala decibel secondo la sensibilità dell'orecchio umano.

Da queste curve di sensibilità sono state ricavate le curve di ponderazione, le quali rappresentano un grafico tra intensità decibel e frequenza del suono, e ogni qual volta che si vuole verificare la sensibilità di un orecchio, bisogna sommare l'intensità di pressione tra la curva di ponderazione e il suono, poi riconvertire in dB, in questo modo si conoscerà il valore dB che l'orecchio sente realmente. La curva di ponderazione più utilizzata è la

curva A, perciò si parla di dB(A), il passaggio da dB a dB(A) avviene attraverso dei coefficienti di ponderazione.

frequenza Hz	valori di ponderazione scala dB(A)	frequenza Hz	valori di ponderazione scala a- dB(A)
50	- 30.0	800	-1.0
83	- 26.0	1000	0.0
80	-22.5	1250	+ 0.5
100	- 19.0	1600	+ 1.0
125	- 16.0	2000	+ 1.0
160	-13.5	2500	+ 1.3
200	- 11.0	3150	+ 1.2
250	- 8.5	4000	+ 1.0
315	- 6.5	5000	+ 0.5
400	- 5.0	6300	0.0
500	- 3.0	8000	- 1.0
630	- 2.0	10000	- 2.5

Figura 5: Coefficienti di ponderazione

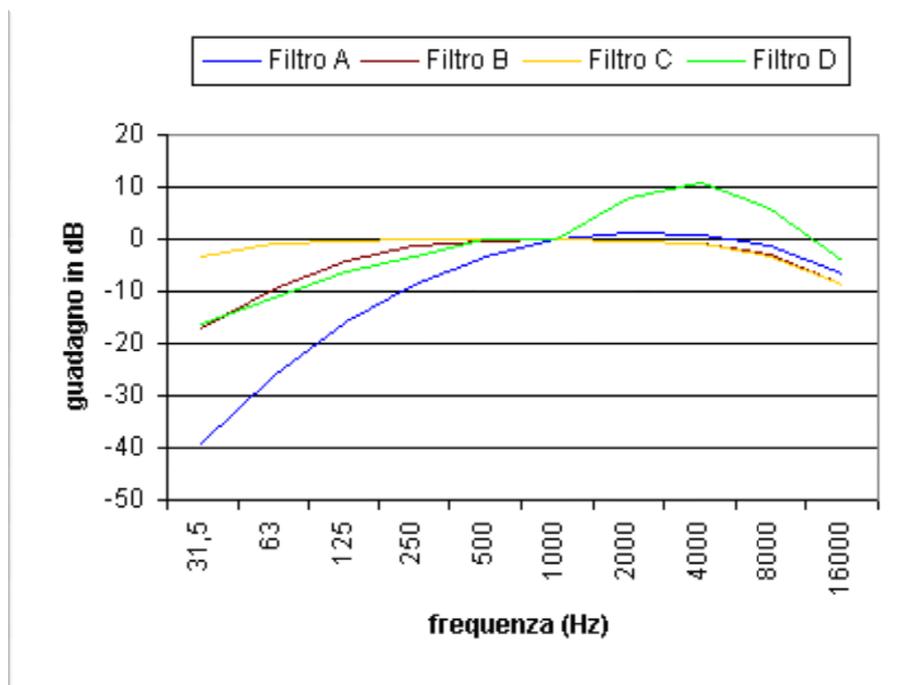


Figura 6: Curve di ponderazione

Il livello di rumore di un singolo evento può essere valutato ricorrendo a vari indicatori, che sostanzialmente mediano il livello di pressione sonora rispetto alla durata dell'evento; la pressione sonora infatti, generalmente, non è costante durante l'evento.

Si considera quindi il livello continuo equivalente sonoro ( $L_{eq}$ ):

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right]$$

Per confrontare due eventi che hanno tempi di riferimento diversi si considera l'indicatore *Single Event Level* (SEL), che rappresenta la normalizzazione di  $L_{eq}$  ad un secondo, ovvero l'evento viene convertito in uno di uguale intensità ma compresso in un secondo:

$$SEL = L_{eq} + 10 \log \frac{T_e}{T_0}$$

#### 2.4. Gli indicatori del rumore aeroportuale

Il rumore aeroportuale viene valutato usando degli indicatori cumulativi che rappresentano il livello sonoro medio generato dagli aeromobili in un dato periodo di tempo.

Si introduce l'indicatore  $L_{den}$ <sup>7</sup> che permette di pesare diversi eventi che si verificano nel corso della giornata attribuendo pesi maggiori ad eventi notturni. E' molto diverso da ogni altro indicatore, in quanto non si basa sul singolo evento. Prevede la suddivisione della giornata in tre periodi: Day, Evening e Night ed è stato sviluppato per la valutazione del rumore aeroportuale:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left( nd 10^{\frac{L_{day}}{10}} + ne 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + nn 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

dove:

---

<sup>7</sup> Introdotta dalla normativa europea 49/2002/CE

- $nd$  è il numero di ore Day, considerando l'intervallo orario 06.00-20.00 si ha  $nd = 14$
  - $ne$  è il numero di ore Evening, considerando l'intervallo orario 20.00-22.00 si ha  $ne = 2$
  - $nn$  è il numero di ore Night, considerando l'intervallo orario 22.00-06.00 si ha  $nn = 8$
  - $L_{day}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A" determinato sull'insieme dei periodi diurni di un anno
  - $L_{evening}$  è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A" determinato sull'insieme dei periodi serali di un anno
  - $L_{night}$ <sup>8</sup> è il livello sonoro medio a lungo termine ponderato "A" determinato sull'insieme dei periodi notturni di un anno
- Agli eventi serali e notturni viene aggiunto un peso pari rispettivamente a 5 e 10 dB(A).

Un altro indicatore del rumore aeroportuale è il "livello di valutazione del rumore aeroportuale"  $L_{VA}$ <sup>9</sup> in scala di ponderazione A:

$$L_{VA} = 10 \log \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N 10^{L_{VAj}/10} \right)$$

dove:

- $N$  è il numero dei giorni del periodo di osservazione e  $L_{VAj}$  è il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale

Il numero di giorni  $N$  del periodo di osservazione del fenomeno, deve essere 21, pari a tre settimane, ciascuna delle quali scelta nell'ambito di seguenti periodi:

1° ottobre – 31 gennaio;

1° febbraio – 31 maggio;

1° giugno – 30 settembre

La settimana di osservazione all'interno di ogni periodo, deve essere quella a maggior numero di movimenti, secondo i dati forniti dal Ministero dei

<sup>8</sup> Gli indicatori  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  e  $L_{night}$  sono definiti dalla norma ISO 1996-2 del 1987

<sup>9</sup> Introdotta dal Decreto Ministeriale del 31/10/97, allegato A

trasporti e della navigazione, oppure rilevati dai sistemi di monitoraggio installati. La misura di rumore, durante ciascuna settimana di osservazione, dovrà essere effettuata di continuo nel tempo.

- Il valore giornaliero del livello di valutazione del rumore aeroportuale ( $L_{VAj}$ ) si determina, considerando tutte le operazioni a terra e di sorvolo che si manifestano nell'arco della giornata compreso tra le ore 00:00 e le 24:00, mediante la relazione sotto indicata:

$$L_{VAj} = 10 \log \left[ \frac{17}{24} 10^{L_{VAd}/10} + \frac{7}{24} 10^{L_{VAn}/10} \right]$$

dove:

-  $L_{VAd}$  e  $L_{VAn}$  rappresentano rispettivamente il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno (06:00-23:00) e notturno (23:00-06:00).

- Il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo diurno ( $L_{VAd}$ ) è determinato dalla seguente relazione:

$$L_{VAd} = 10 \log \left[ \frac{1}{T_d} \sum_{i=1}^{N_d} 10^{SEL_i/10} \right]$$

in cui:

-  $T_d = 61.200$  s è la durata del periodo diurno,  $N_d$  è il numero totale dei movimenti degli aeromobili in detto periodo,  $SEL_i$  è il livello dell'i-esimo evento sonoro associato al singolo movimento.

- Il livello di valutazione del rumore aeroportuale nel periodo notturno ( $L_{VAn}$ ) è determinato mediante la seguente relazione:

$$L_{VAn} = \left[ 10 \log \left( \frac{1}{T_n} \sum_{k=1}^{N_n} 10^{SEL_k/10} \right) + 10 \right]$$

in cui:

-  $T_n = 25.200$  s è la durata del periodo notturno,  $N_n$  è il numero totale dei movimenti degli aeromobili in detto periodo,  $SEL_i$  è il livello sonoro dell'*i*-esimo evento associato al singolo movimento.

- Il livello dell'*i*-esimo evento sonoro associato al singolo movimento di aeromobili ( $SEL_i$ ) è determinato secondo la seguente relazione:

$$SEL_i = 10 \log \left[ \frac{1}{T_0} \int_{t1}^{t2} \frac{P_{A,i}^2(t)}{P_0^2} dt \right] = \left( L_{Aeq,Ti} + 10 \log \frac{T_i}{T_0} \right)$$

in cui:

-  $T_0 = 1$  s è il tempo di riferimento

-  $t1$  e  $t2$  rappresentano gli istanti iniziale e finale della misura, ovvero la durata dell'evento  $T1 = (t2 - t1)$  in cui il livello  $L_A$  risulta superiore alla soglia  $L_{AFmax} - 10\text{dB(A)}$ ;  $P_{Aj}(t)$  è il valore istantaneo della pressione sonora dell'evento *i*-esimo ponderata A

-  $P_0 = 20\mu\text{Pa}$  rappresenta la pressione sonora di riferimento

-  $L_{Aeq,Ti}$  è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A dell'*i*-esimo evento sonoro

-  $L_{AFmax}$  è il livello massimo della pressione sonora in curva di ponderazione A, con la costante di tempo "Fast"<sup>10</sup>, collegata all'evento.

Un altro indicatore estremamente importante in campo aeroportuale è l'*Effective Perceived Noise Level* (EPNL), che si misura in dB ed è l'elemento base su cui si fondano numerose procedure e restrizioni dell'ICAO. Questo indicatore è stato introdotto dalla *Federal Aviation Administration*<sup>11</sup> (FAA) e successivamente recepito dall'ICAO.

Si ricorre alla scala *EPN* per quantificare con precisione il disturbo arrecato dal rumore emesso dagli aerei, in quanto indica il livello effettivo di rumorosità percepita dall'orecchio umano. Essa prevede una correzione per l'effetto della frequenza e dell'intensità, e tiene conto della prominenza del rumore oltre il livello di fondo, la sua durata e la sua evoluzione nel tempo,

---

<sup>10</sup> La costante di tempo Fast è una grandezza utilizzata dai fonometri, strumenti che forniscono i livelli di pressione sonora mediati nel tempo, con una legge esponenziale caratterizzata da una ben definita costante di tempo, e indicata con Slow (1000ms), Fast (125ms) o Impulse (35ms).

<sup>11</sup> Technical Report: Aircraft Noise Evaluation (FAA-NO-68-34) del settembre 1968

ossia tutti i fattori che concorrono a determinare il disturbo effettivo da rumore.

L'annesso 16 alla *Convenzione dell'Aviazione Civile Internazionale* (per l'appunto ICAO) comprende gli standard internazionali e le pratiche raccomandate relativi alla protezione ambientale. In particolare, il Volume 1 riguarda il rumore degli aeromobili.

E' prevista la certificazione acustica di ogni aeromobile, quale estensione delle prove richieste per il rilascio del Certificato di Idoneità alla Navigazione Aerea.

Per aeromobili con propulsione a getto, o turbo fan, si applica la procedura di prova più rigorosa, basata sulla misura dell' $L_{EPN}$ <sup>12</sup> in 3 diverse posizioni, durante manovre sia di atterraggio che di decollo.

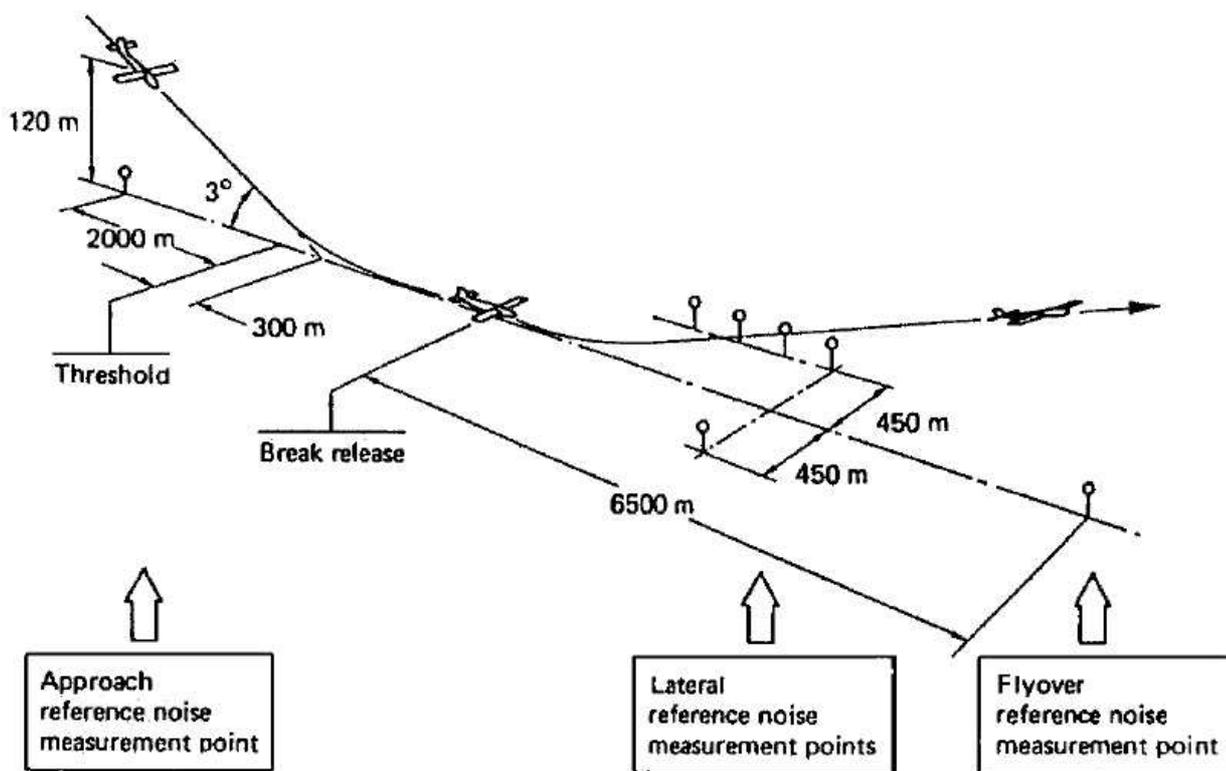


Figura 7: Punti di rilievo acustico per la certificazione di aeromobili subsonici

<sup>12</sup> La procedura di calcolo è descritta nell'annesso 16 Volume 1 Appendice 2 del 1981 dell'ICAO e nelle sue successive modifiche e nella norma ISO 3891 del 1978

Sono definite tre postazioni di rilievo: il punto di “*flyover*” è situato a 6500m dal punto di rilascio freni, sotto la linea di volo. Non viene specificata in alcun modo la quota ed il rateo di salita dell’apparecchio sopra il punto di misura, ma è necessario che vengano seguite le procedure di sicurezza per il decollo come specificato sul manuale dell’apparecchio.

Il secondo punto di rilievo è definito in relazione alla procedura di atterraggio, e si trova sul prolungamento della pista, nella posizione in cui l’apparecchio ha una quota di 120m: poiché la discesa verso la pista è effettuata ad un angolo fisso di 3°, il punto di “*approach*” è solitamente situato ad una distanza di 2000m dalla testata, ipotizzando che il punto di intersezione fra la linea inclinata di discesa e la pista stessa sia situato 300m oltre la testata. In questo caso la posizione del velivolo rispetto al punto di rilievo, e la sua traiettoria, sono ben specificate: resta come unica variabile la spinta applicata dai motori.

Di più difficoltosa determinazione è la posizione del terzo punto di rilievo, “*lateral*”, definito come il punto, situato lungo una linea che corre parallela all’asse della pista, ad una distanza di 450m, in cui viene rilevata la massima rumorosità durante il decollo dell’apparecchio. Pertanto è necessario installare svariate postazioni microfoniche, onde determinare sperimentalmente la posizione di massima rumorosità.

In ciascun punto di rilievo è necessario ottenere 6 rilevamenti validi, cioè privi di contaminazione da rumori estranei, e con condizioni metereologiche che comprese nel campo di accettabilità specificato. Al valore misurato vengono apportate correzioni per tenere conto delle condizioni atmosferiche e della effettiva massa del velivolo, onde riportare tutto all’ipotesi di 25°C, umidità relativa del 70% e massa uguale al valore nominale come da certificato di idoneità alla navigazione aerea.

Il valore medio dei 6 rilievi validi deve risultare inferiore, in ciascun punto, al valore massimo ammissibile per la classe dell’apparecchio in esame: è tuttavia consentito un conguaglio fra i livelli nelle 3 posizioni, a patto che:

- in nessun punto il valore limite sia superato di oltre 3dB
- la somma dei superamenti sia inferiore a 4dB

- il superamento in un punto sia compensato da riduzioni pari o superiori negli altri punti.

### **3. Fonti del rumore**

La rumorosità prodotta dagli aeromobili è caratterizzata da un numero relativamente limitato di eventi nell'arco della giornata, che presentano però livelli di rumore particolarmente elevati nelle aree interessate dai sorvoli. Questi eventi mantengono una loro individualità rispetto alle altre fonti di rumore e tale circostanza ne accresce l'effetto disturbante.

L'aereo produce una tipologia di emissione sonora specifica e molto diversa dalle altre sorgenti acustiche relativamente ad ampiezza, spettro e durata, visto che la propagazione avviene dall'alto verso il basso e il rumore generato da un aeromobile è costituito da un grandissimo numero di sorgenti. Il rumore che un osservatore percepisce è l'involuppo dei fronti d'onda generati dal complesso di sorgenti puntuali dell'aereo, cioè una somma in cui si tiene conto anche dello sfasamento tra le onde acustiche che arrivano all'orecchio dell'osservatore percorrendo distanze diverse o che sono partite dalle varie sorgenti con fasi diverse.

Il rumore prodotto da un aereo dipende da diverse cause:

- il tipo di movimentazione (decollo/atterraggio)
- il motore dell'aeromobile
- le Auxiliary Power Unit
- il rumore aerodinamico

#### **3.1. Movimentazioni**

Tra le diverse fasi della movimentazione aerea che producono rumore nell'intorno di un aeroporto, le più importanti sono quelle di atterraggio e di decollo, che incidono in particolare sull'area circostante l'aerostazione. L'operazione più rumorosa è rappresentata dal decollo, durante il quale

viene impiegata la massima potenza dei propulsori. In questa fase normalmente viene mantenuta una traiettoria in asse con la pista, fino a quando l'aeromobile, raggiunta una determinata quota, può iniziare la manovra di allineamento all'aerovia assegnata.

In condizioni normali l'aereo proseguendo nella sua corsa al decollo, dovrà sorvolare la testata pista ad una quota di 35 piedi ovvero 10,7 metri. Superato l'ostacolo convenzionale il pilota ritrae il carrello, elemento che in questa fase contribuisce maggiormente al rumore aerodinamico, dando così inizio alla traiettoria di decollo. Durante la salita iniziale del velivolo, l'impatto acustico al suolo è imputabile esclusivamente al sistema propulsivo perché la velocità di salita, pari circa a 300 km/h, è tale da rendere di modesta entità il contributo del rumore aerodinamico rispetto al rumore complessivo.

L'atterraggio, generalmente caratterizzato da una minore rumorosità rispetto al decollo, avviene con una traiettoria in asse con la pista. Tutti gli aeromobili in atterraggio, a partire da un punto prestabilito, percorrono rotte ben collimate all'asse pista, coadiuvati dall'ILS (*Instrumental Landing System*), provocando una concentrazione di eventi sonori in una fascia stretta e allungata lungo il sentiero di avvicinamento. Nonostante l'atterraggio sia la fase con meno emissione sonora, il disturbo avvertito è spesso legato alla frequenza dei sorvoli e alla loro concentrazione in una piccola area.

La fase di frenata dell'aeromobile sulla pista comporta una manovra di "reverse", che consiste nell'uso del propulsore per contribuire all'arresto. Il *thrust reverser*, in italiano inversore di spinta, è un congegno meccanico che consente di deviare il flusso di aria in uscita dai motori di un aereo a getto, dirigendolo in senso contrario alla direzione di volo.

Questa inversione, resa possibile dall'azionamento di superfici mobili poste nella cofanatura di rivestimento dei motori, permette di ottenere un effetto frenante che va a sommarsi a quello dei freni propriamente detti, posti sulle ruote del carrello principale, e degli aerofreni. Tale operazione viene effettuata in modo più o meno intenso a seconda della lunghezza della pista

e del peso dell'aeromobile e il rumore causato incide esclusivamente sulle zone limitrofe alla pista.

La preoccupazione di ridurre l'inquinamento acustico nei dintorni degli aeroporti ha portato le autorità aeronautiche a regolamentare l'uso del reverse.



**Figura 8: Thrust reverser di un B737**

Analogo effetto, sebbene di minore intensità, viene prodotto dai movimenti dagli aerei sui corridoi di parcheggio e nelle operazioni di prova motori, condotte dopo gli interventi di manutenzione, in un'area ben definita dello scalo.

### 3.2. I motori

Il rumore aeronautico dovuto al sistema di propulsione può essere suddiviso in tre tipologie di sorgenti diverse, a seconda della sua produzione:

- Il rumore generato dall'aria che entra nel motore, dovuto sia al rumore prodotto dal compressore che al rumore di origine aerodinamica nella presa d'aria
- Il rumore generato dalle vibrazioni della struttura del motore
- Il rumore in uscita prodotto dai gas di scarico, riguarda sia le fasi del moto dei gas interne al motore (camera di combustione e turbina) ma soprattutto la fase a valle dell'ugello di scarico, quando avviene la miscelazione fra il getto ad alta velocità e l'aria esterna. Viene anche chiamato rumore *aerodinamico del getto* ed è la principale fonte di rumore nel funzionamento a piena spinta essendo notevolmente superiore agli altri due per quanto riguarda la potenza sonora prodotta

Ne deriva che il sistema di propulsione impiegato influisce sul tipo di percezione del rumore avvertito dai ricettori presenti nell'ambiente esterno. Nel caso di aerei con motore a turbo reazione di tipo turbo-jet, il rumore dovuto all'ugello varia con una potenza della velocità più elevata di quello dovuto al compressore o alla turbina, quindi una riduzione della velocità dei gas combusti ha un'influenza maggiore di un'equivalente riduzione della velocità del compressore o della turbina. Una riduzione nel livello del rumore si verifica se viene aumentata la velocità di miscelamento o se viene ridotta la velocità dei gas combusti rispetto alla velocità di volo, questo può essere ottenuto agevolando il miscelamento del getto con l'aria attraverso gli ugelli lobati, che aumentano la superficie di contatto tra i due gas.

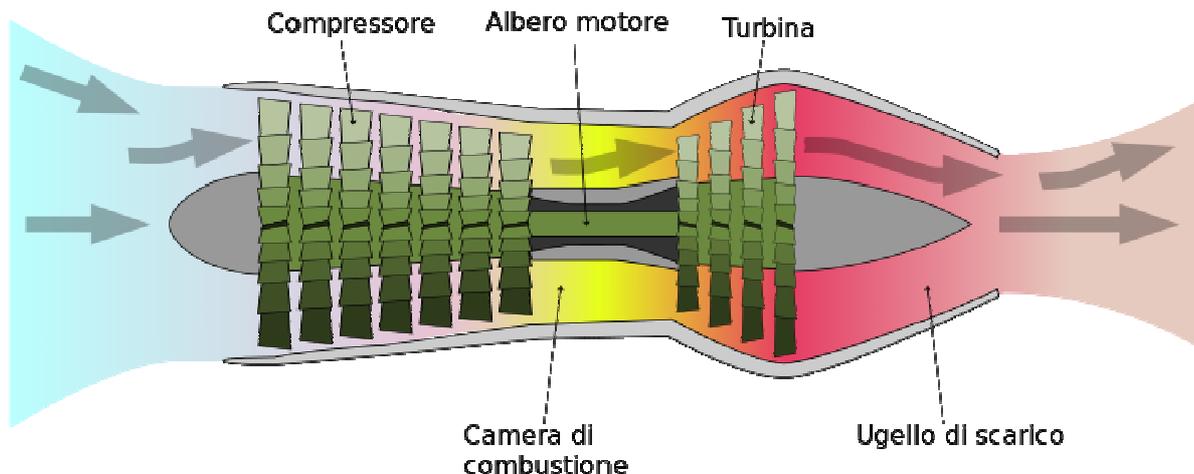


Figura 9: Schema di un motore turbojet

Risultati migliori si ottengono con l'adozione dei turboreattori a doppio flusso, in particolare i *turbofan* (o turbo ventola).

In tal caso si hanno due flussi, uno primario caldo ed uno secondario freddo. Le velocità relative tra i due getti nonché la velocità relativa fra il getto freddo e l'aria ambiente risultano minori rispetto al turboreattore tradizionale. Inoltre il getto secondario avvolge il getto primario con un effetto da barriera sonora. Il rapporto tra il flusso dell'aria del getto secondario ed il flusso d'aria del getto primario si chiama **tasso di diluizione** (*by-pass ratio*). All'aumentare del tasso di diluizione migliora la silenziosità di tali motori, a questo si può aggiungere l'effetto dei rivestimenti fonoassorbenti delle prese d'aria e dei condotti di scarico.

Nei reattori con turbofan a doppio flusso e basso tasso di diluizione, il rumore del getto è ancora predominante, ma i livelli sonori sono nettamente minori. Non si adottano in questo caso i silenziatori del getto, perché questa funzione è assolta dal getto secondario. Il trattamento acustico del motore viene fatto in considerazione della fase di atterraggio, in cui il rumore degli organi rotanti diventa prevalente.

Nei turbofan di terza generazione ad alto tasso di diluizione, il rumore del getto è relativamente basso e quello degli organi rotanti prevale a tutti i regimi. Ma su questo si può fare qualcosa con i trattamenti fono isolanti.

Il rapporto di diluizione è andato aumentando nel tempo: nel 1970 era di 2:1, nel 1980 di 5:1, nel 1990 di 10:1. Ma i benefici sul rumore non crescono in proporzione; infatti il rapporto di diluizione ottimale ai fini sonori è diverso dal decollo all'atterraggio. Il rumore prodotto è la somma di quello prodotto dal getto primario (flusso caldo) e dalla ventola. Il primo diminuisce all'aumentare del rapporto di diluizione mentre l'altro aumenta. Nel decollo prevale il rumore del getto caldo, nell'atterraggio quello della ventola, per cui si avrebbero due valori ottimali per il rapporto di diluizione.

Negli aerei di seconda generazione il rapporto di diluizione ha giocato un forte ruolo, ma, man mano che si attenua il rumore del getto, cominciano a prevalere gli altri rumori legati al motore e al rumore aerodinamico. Pertanto ulteriori riduzioni del rumore del getto con l'aumento del rapporto di diluizione mettono in evidenza gli altri rumori, per i quali non ci sono ancora validi rimedi.

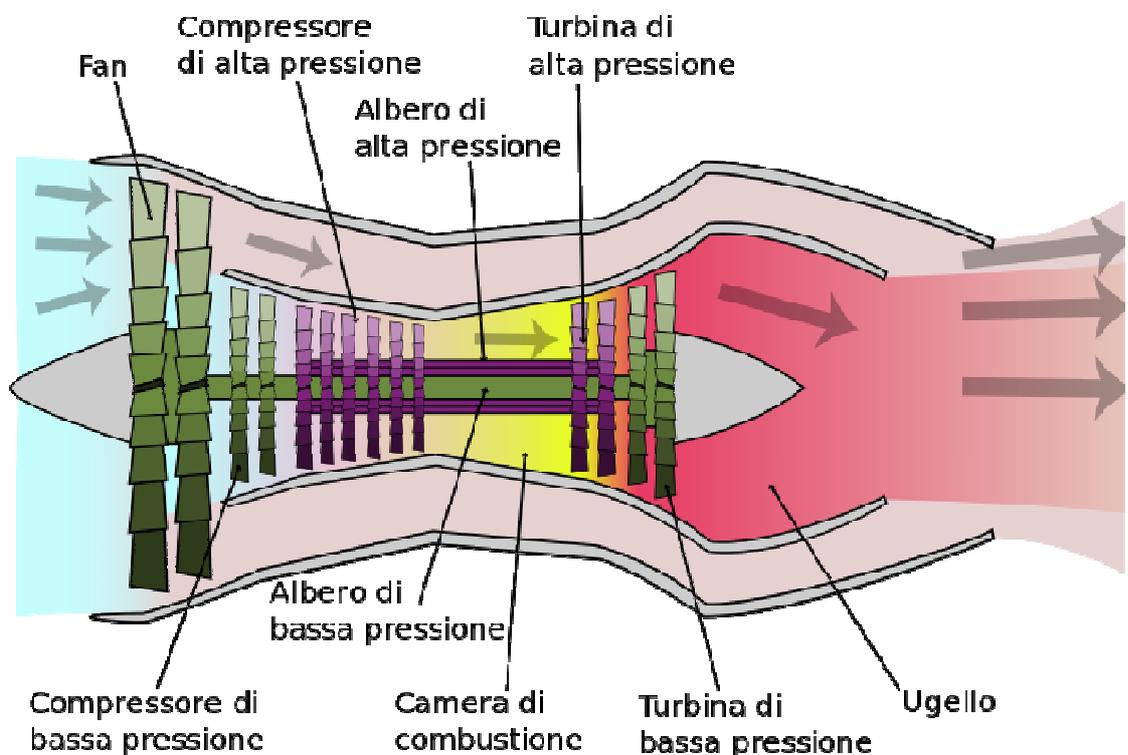


Figura 10: Schema di un motore turbofan

La percezione del rumore da velivolo avvertito a terra non dipende solamente dal tipo di sorgente che lo produce, ma anche da altri fattori. In primo luogo, considerando il rumore prodotto dagli aerei in sorvolo, lo spettro del rumore generato varia durante il passaggio secondo un livello che aumenta fino a un massimo in corrispondenza della verticale. Il rumore presenta componenti predominanti alle alte frequenze nella fase di avvicinamento e componenti predominanti alle basse frequenze in fase di allontanamento. Un turbo-jet che si muove verso l'osservatore produce inizialmente un rumore provocato dal compressore, mentre sulla verticale risulta decisiva l'incidenza del rumore dei gas di scarico, che diventa massima poco dopo il superamento della verticale stessa. Analogamente, per un aereo a turbo-fan, in fase di arrivo e sopra la verticale è predominante il rumore del fan, finché si inizia a sentire il rumore del getto di scarico dei gas che nel caso specifico, genera un'emissione sonora più contenuta rispetto a un turbo-jet.

All'approssimarsi dell'aereo vi è una componente alle alte frequenze (intorno ai 2000 Hz), dovuta all'aria che entra nel motore. Al passaggio sulla verticale, tale componente inizia a diminuire, mentre aumentano quelle a bassa frequenza (sotto i 500 Hz) e, al contempo, è presente una componente ad alta frequenza prodotta dagli scappamenti del fan (3150 Hz). Dopo il passaggio dell'aereo il rumore presenta come dominanti le basse frequenze dovute allo scappamento dei gas di scarico, dalle quali dipende anche la sua lunga persistenza nel tempo. Per il medesimo aereo in fase di atterraggio, la durata del rumore nel tempo risulta minore rispetto a quella di decollo. Le alte frequenze sono più pronunciate sia in avvicinamento che sulla verticale, in quanto l'aereo si trova più vicino al suolo, mentre le componenti a bassa frequenza sono minori a causa dei valori ridotti di potenza del motore, determinando una percezione del rumore più basso.

### 3.3. Auxiliary Power Unit

Una delle sorgenti di rumore che produce i più elevati livelli sul piazzale aeromobili dove svolgono le loro mansioni gli addetti dell'aerostazione è il generatore ausiliario di potenza APU (*Auxiliary Power Unit*), i grandi velivoli dell'aviazione civile per motivi di sicurezza del volo, dispongono di tanti generatori di energia elettrica quanti sono i motori di propulsione ed ognuno di essi è accoppiato ad un motore; in più a bordo è installato un generatore ausiliario (APU) accoppiato ad una piccola turbina a gas alloggiata nell'estremità posteriore della fusoliera; ognuno di questi generatori può alimentare da solo l'impianto elettrico avendo una potenzialità sufficiente a tutto il fabbisogno di energia elettrica dell'aereo.

Quando l'aereo è in volo in condizioni normali viene utilizzato uno dei generatori di energia accoppiati ai motori di propulsione mentre gli altri restano di riserva. Quando l'aereo arriva all'aerostazione, prima dello spegnimento dei motori, viene messo in funzione il generatore ausiliario APU.

L'APU è in grado di produrre anche l'aria compressa per l'avviamento dei motori e quindi deve essere messo in funzione qualche minuto prima (2-3 minuti) della partenza per essere pronto a svolgere questa operazione al momento giusto.

Una ulteriore funzione dell'APU è quella di produrre l'aria compressa necessaria alla climatizzazione di bordo durante la sosta. L'impianto di climatizzazione utilizza infatti per il suo funzionamento aria compressa che in volo è prelevata da una delle turbine dei motori di propulsione mentre quando l'aereo è a terra ed i motori sono fermi è prelevata dal compressore della turbina dell'APU.

Il rumore dell'APU è irraggiato sia dalla presa d'aria della turbina, posta sulla parte alta della fusoliera poco prima degli impennaggi di coda, sia dal condotto di scarico dei gas esausti posto nella parte terminale della fusoliera a valle degli impennaggi; è però dal condotto di scarico che si produce la maggior emissione di rumore. I livelli di emissione sono

notevolmente elevati nonostante la presenza sia nel condotto di presa d'aria che nel condotto di scarico di dispositivi di insonorizzazione.

Dato che la maggior parte dei velivoli montano APU quasi tutti della stessa potenza prodotti dal medesimo costruttore, gli spettri di emissione dell'APU dei vari aeromobili non differiscono sostanzialmente tra loro, come quelli dei motori a propulsione.



**Figura 11: Auxiliary Power Unit di un Boeing 737**

### **3.4. Rumore aerodinamico**

Il flusso dell'aria nelle varie superfici esterne di un aeromobile in volo dà luogo al cosiddetto "rumore aerodinamico di forma" che, in termini di impatto acustico sul territorio circostante, ha cominciato ad assumere importanza dagli inizi degli anni '70 con l'entrata in servizio dei grandi velivoli da trasporto dell'aviazione commerciale, con motori turbofan caratterizzati da una emissione di rumore molto più contenuta. Nell'operazione di avvicinamento alla pista per l'atterraggio, il rumore aerodinamico di forma di questi velivoli, a causa della minore rumorosità

dei loro motori, cominciò infatti a diventare una componente non più trascurabile del rumore complessivo emesso. Il rumore aerodinamico di forma è dunque quello generato da sorgenti diverse dal sistema di propulsione, dall'unità ausiliaria di potenza (APU) e da altri accessori meccanici e, come tale, viene detto anche "rumore delle sorgenti non propulsive"; esso proviene dal flusso dell'aria sia sulle superfici della fusoliera, delle ali, del timone e dei piani di coda, sia sulle superfici dei sistemi di ipersostentamento, dei carrelli di atterraggio e della cavità per il loro alloggiamento, flusso quest'ultimo che si verifica solo durante la fase di atterraggio. Tale tipo di rumore implicito nel movimento di un corpo nell'aria correlato alle necessità operative della manovra di atterraggio, non potrà nel futuro essere molto più contenuto di quello che è attualmente.

Il rumore aerodinamico di forma diventa significativo durante l'avvicinamento alla pista per l'atterraggio, anche perché in tale fase i motori operano a una potenza ridotta pari a circa il 25-30% della massima disponibile; in tali condizioni operative il rumore aerodinamico può al massimo uguagliare in livello il rumore prodotto da una delle molte sorgenti individuali di un motore di propulsione.

Le cause maggiori del rumore di forma sono comunque costituite dal temporaneo dispiegamento delle apparecchiature di incremento della portanza, indispensabili nell'operazione di atterraggio per la ridotta velocità dell'aeromobile e dalla fuoriuscita dai loro alloggiamenti dei carrelli di atterraggio e, nella fase finale, anche dal dispiegamento dei freni aerodinamici. Gli ipersostentatori agiscono mediante la modifica del profilo alare e sono costituiti da alette orientabili disposte sia anteriormente al bordo di attacco dell'ala (*slats*), sia posteriormente al bordo di uscita (*flaps*), questi ultimi agiscono anche come freni aerodinamici; i freni aerodinamici veri e propri, o diruttori (*spoilers*), sono invece costituiti da piani che vengono fatti emergere dalla superficie alare superiore e che rompono il flusso regolare dell'aria con la formazione, a valle degli stessi, di vortici frenanti.

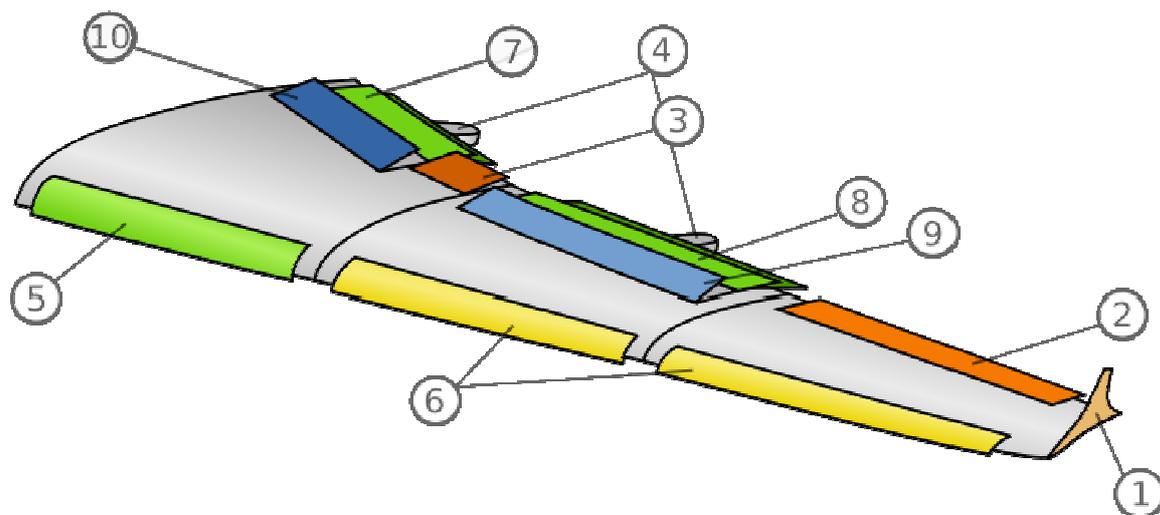


Figura 12: Parti aerodinamiche di un'ala<sup>13</sup>

Senza il dispiegamento delle suddette strutture mobili, cioè nella condizione di forma “pulita”, il livello del rumore causato dalla turbolenza indotta dal solo flusso dell’aria su ali, fusoliera, gondole dei motori, timone di direzione e piani di coda risulta circa 15 dB più basso.

Lo spettro del rumore di forma è omnidirezionale e varia di intensità in dipendenza dei rapporti di massa, di volume e di dimensioni lineari delle principali strutture; dipende infine anche dalla velocità, ma tale dipendenza è poco significativa dato che, in fase di avvicinamento alla pista, la velocità dell’aeromobile viene mantenuta sensibilmente costante e differisce poco da tipo a tipo di aeromobile.

#### 4. Gli effetti del rumore

Il rumore, nell’ambito degli effetti sulla salute, può essere definito come un fenomeno di disturbo acustico per chi lo percepisce. L’esposizione ad una fonte di rumore può provocare nell’organismo danni fisici o psichici anche permanenti. I disturbi più insidiosi indirettamente causati dal rumore

<sup>13</sup> Legenda: 1) aletta d’estremità (*winglet*); 2) alettone d’estremità; 3) alettone interno; 4) carenatura degli attuatori; 5-6) slat; 7-8) flap; 9-10) spoiler

riguardano l'aumento del livello di stress dell'organismo, che, nel lungo periodo, comporta conseguenze significative.

I fattori che possono condizionare la lesività dell'impatto sonoro nei soggetti esposti sono: il livello di pressione sonora, il tempo di esposizione, la frequenza del rumore.

L'impatto può manifestarsi sotto 3 forme: danno, disturbo, fastidio.

Per **danno** si deve intendere ogni alterazione anche parzialmente non reversibile dell'apparato uditivo, ne esistono due forme:

- *danno specifico*: causato ai soggetti che si espongono per periodi prolungati a livelli di 75-80dB(A) recando la perdita temporanea o irreversibile dell'udito (ipoacusia). Si riscontra soprattutto in ambiente lavorativo
- *danno non specifico*: causato da un'esposizione sonora non sufficientemente elevata da recare danni specifici, però può, col tempo, apportare danni al sistema uditivo e causare malesseri di tipo psicofisico. Si riscontra in ambito urbano

Il **disturbo** è definito come un'alterazione reversibile delle condizioni psicofisiche dei soggetti esposti al rumore.

Il **fastidio** (*annoyance*) è causato dal rumore sugli individui, ma anche dalla combinazione di fattori di natura psicologica e sociologica.

L'inquinamento acustico urbano, e in particolare quello dovuto a traffico di veicoli, determina in prevalenza effetti di *annoyance* e di disturbo, mentre assai raramente si può parlare di danno.

Ciò che generalmente si definisce inquinamento da rumore si esplica in diversi effetti specifici quali:

- danneggiamento delle facoltà uditive
- interferenze nel parlato e difficoltà di comunicazione
- disturbo del sonno
- effetti cardiocircolatori
- effetti sulla performance lavorativa, disturbi mentali e di comportamento
- calo dell'apprendimento in età scolare

- perdita di valore delle proprietà immobiliari
- insorgenza d'insoddisfazione nei residenti, esplicabile in una serie di cambiamenti di comportamenti degli esposti, dovuti ad un generale senso di disturbo

Il rumore può produrre effetti socio-comportamentali negli esposti che vanno ben al di là della semplice sensazione di disturbo. Tali effetti sono spesso complessi, indiretti e sottili, risultato di interazioni causali fra variabili non uditive. Tra questi si possono elencare cambiamenti nelle normali azioni quotidiane (chiusura delle finestre, riluttanza nell'uso di balconi e terrazze, innalzamento del volume di televisione e radio), ma anche mutamenti caratteriali come: aggressività, scortesia, disimpegno, scarsa partecipazione sociale, depressione. Vi sono poi alcuni atteggiamenti sociali della popolazione in genere che possono essere ricondotti all'esposizione a rumore, come la mobilità abitativa, l'utilizzo di farmaci, l'occorrenza di incidenti. Può inoltre dar luogo ad effetti non specifici, come l'aggravamento della sintomatologia di una malattia già dichiarata o latente.

Le relazioni tra l'*annoyance* e le attività antropiche disturbate non sono necessariamente dirette. Ci sono situazioni in cui anche un basso livello d'esposizione determina un alto livello di disturbo, il rumore che comporta movimenti vibratorii e con contenuto spettrale in basse frequenze, come il rumore aereo, comporta reazioni di disturbo assai più evidenti di altre tipologie di rumore, come, ad esempio, la tachicardia.

Uguali livelli di rumore, ma prodotti da diverse tipologie di sorgenti, comportano differenti gradi di *annoyance*. Il rumore aereo è più disturbante di quello stradale, a parità del valore assunto dall'indice acustico utilizzato, che a sua volta è più disturbante di quello da traffico ferroviario.

L'*annoyance* della popolazione, tuttavia, non varia solo in relazione alle caratteristiche acustiche di sorgente e livello d'emissione, ma anche secondo una molteplicità di fattori non acustici di carattere sociale, psicologico, economico od educativo. Questi fattori includono, con

evidenti ripercussioni nei risultati di correlazione, la sensibilità personale al rumore, la paura della sorgente rumorosa, il senso di auto-adattamento al rumore, la consapevolezza delle implicazioni economiche correlate all'esercizio di una sorgente di rumore. Altre variabili demografiche come l'età, il sesso o lo status socio-economico esprimono un'associazione più moderata. Le campagne di indagine svolte a livello internazionale mostrano che solo meno del 20% della varianza associata al livello di *annoyance* è spiegabile con i parametri fisici della esposizione sonora.

Per quanto riguarda il rumore da traffico veicolare, che presenta una certa continuità e ripetitività, sembra che l'effetto predominante sia il disturbo sul sonno, in diverse specifiche manifestazioni.

Il sonno è uno stato fisiologico che necessita di tutta la sua integrità per permettere una normale capacità di recupero da parte dell'organismo umano. La sua riduzione o frammentazione, che nel lungo periodo può manifestarsi anche come cronica carenza, induce manifestazioni di stanchezza, scarsa attenzione nelle prestazioni lavorative, riduzione generalizzata della qualità di vita. Gli stimoli acustici, anche esterni all'abitazione, vengono comunque elaborati dalle funzioni sensoriali del dormiente, nonostante egli non abbia una conscia percezione del loro verificarsi.

Il disturbo del sonno può manifestarsi in maniera specifica in vario modo, causando:

- *effetti primari*: difficoltà ad addormentarsi, risveglio notturno, cambiamento negli stadi strutturali, effetti di risveglio inconscio istantaneo, aumento della motilità corporale, temporaneo aumento della pressione sanguigna, cambiamenti del respiro, rilascio di ormoni da stress
- *effetti secondari*: consapevolezza di un calo della qualità del sonno, stanchezza, cattivo umore, abbassamento della prestazione lavorativa, minore apprendimento
- *effetti a lungo termine*: uso cronico di farmaci, cambiamenti caratteriali, irritabilità.

Il disturbo del sonno è considerato uno dei più gravi effetti sanitari negativi del rumore ambientale. *L'Organizzazione Mondiale della Sanità* (OMS) suggerisce che per un riposo notturno fisiologicamente sano nelle sue fasi e durata dovrebbero essere evitati eventi sonori esterni all'abitazione con  $L_{Amax}$  superiore a 45dB(A).

Sembra che le sorgenti di rumore con maggiore influenza sul disturbo del sonno siano, in ordine decrescente, il rumore aereo, il rumore da sorgenti di vicinato e il rumore da traffico stradale.

Uno studio è stato svolto su 418 adulti per verificare l'esistenza di relazioni tra l'esposizione a rumore aereo notturno ed il disturbo del sonno, così come le lamentele riguardanti alterazioni della qualità del sonno, nelle vicinanze dell'aeroporto Schiphol di Amsterdam.<sup>14</sup>

I risultati hanno rivelato che l'uso di farmaci sonno-inducenti e la frequenza del risveglio consapevole del dormiente crescono al crescere del livello d'esposizione all'interno dell'ambiente.

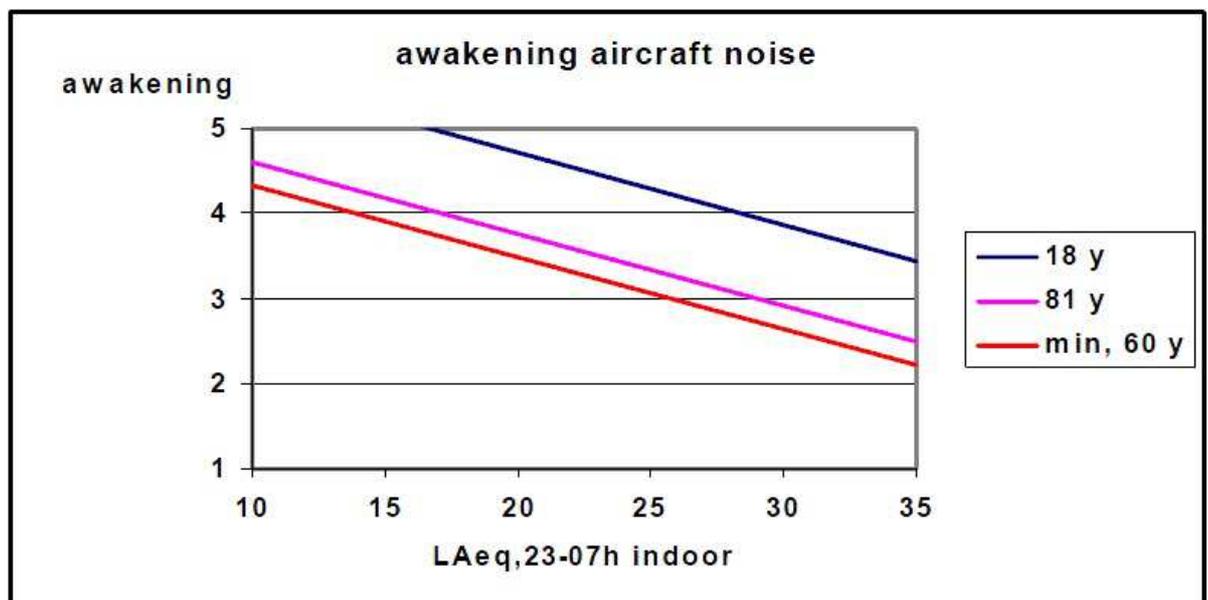


Figura 13: Risvegli dovuti al rumore aereo: 5 mai, 1 ogni notte

<sup>14</sup> *Sleep disturbing and aircraft noise exposure*, W Passchier-Vermeer, TNO Report del 30/06/02

## **CAPITOLO SECONDO**

### **INQUINAMENTO ACUSTICO: QUADRO NORMATIVO**

La legislazione in materia di acustica ambientale presenta un quadro di riferimento molto articolato, con una molteplicità di descrittori utilizzati, limiti, periodi temporali presi a riferimento, metodiche di misura.

In questo capitolo si cercherà pertanto di descrivere l'evoluzione e lo stato di attuazione di questa normativa, riportando succintamente i contenuti delle norme di maggior rilevanza e facendo cenno nella seconda parte alla normativa Europea.

Fino all'emanazione del primo provvedimento in materia di rumore ambientale nel 1991, la materia era regolata da disposizioni contenute in fonti di tutela sanitaria, igiene e sicurezza del lavoro, da articoli del Codice Penale<sup>15</sup> e del Codice Civile<sup>16</sup>, dagli articoli della Costituzione<sup>17</sup> e delle leggi di Pubblica Sicurezza<sup>18</sup>.

#### **1. D.P.C.M. 1° Marzo 1991 “Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno”**

E' stato il primo decreto, in attesa di una legge quadro sull'acustica, a fissare i limiti di accettabilità dei livelli di rumore per tutto il livello nazionale a causa della *“grave situazione di inquinamento acustico attualmente riscontrabile nell'ambito dell'intero territorio nazionale ed in particolare nelle aree urbane..”*.

Particolarmente rilevanti sono l'art. 6, che fissa i limiti di accettabilità per le varie sorgenti sonore fisse in attesa della zonizzazione comunale, e le

---

<sup>15</sup> Art. 650 C.P. “Inosservanza dei provvedimenti dell'Autorità”; Art. 659 C.P. “Disturbo delle occupazioni e del riposo delle persone”

<sup>16</sup> Art. 844 C.C. “Immissioni”

<sup>17</sup> Art. 32 “Diritto alla salute”; Art. 2043 “Risarcimento del danno ingiusto”

<sup>18</sup> Art. 66 del Testo Unico delle Leggi di Pubblica Sicurezza, testo unico emanato con Regio Decreto n. 1846 il 6 novembre 1926 ed approvato il 18 giugno 1931, prevede la sospensione dell'esercizio di professioni e mestieri rumorosi o incomodi nelle ore stabilite dai regolamenti locali o dalle ordinanze del sindaco.

tabelle 1 e 2 che descrivono i criteri di suddivisione del territorio in zone e i limiti per queste zone.

Per la prima volta è stato introdotto l'obbligo per i Comuni di procedere alla classificazione acustica del territorio, vale a dire all'assegnazione a ciascuna porzione omogenea di territorio di una delle sei classi indicate dalla normativa, sulla base della prevalente ed effettiva destinazione d'uso del territorio stesso (zonizzazione acustica). Ad ognuna delle sei classi (I-VI) il decreto ha associato determinati limiti di accettabilità dei livelli sonori, con distinzione fra periodo diurno (ore 6-22) e periodo notturno (ore 22-6).

Zonizzazione	Limite diurno Leq (A)	Limite notturno Leq (A)
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A (decreto ministeriale n. 1444/68)	65	55
Zona B (decreto ministeriale n. 1444/68)	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

Figura 14: Art. 6 limiti per le sorgenti sonore fisse in attesa della zonizzazione acustica<sup>19</sup>

Classi di destinazione d'uso del territorio		Tempi di riferimento	
		Diurno	Notturno
I	- Aree particolarmente protette	50	40
II	- Aree prevalentemente residenziali	55	45
III	- Aree di tipo misto	60	50
IV	- Aree di intensa attività umana	65	55
V	- Aree prevalentemente industriali	70	60
VI	- Aree esclusivamente industriali	70	70

Figura 15: Classi di destinazione d'uso del territorio secondo la Tabella 2 del D.P.C.M.

<sup>19</sup> Zona A e Zona B sono definite nel D.M. del 2 aprile 1968 n. 1444, art. 2

Nel D.P.C.M. vengono affrontati ed abbozzati i principali criteri che ancora oggi disciplinano a livello italiano il settore, tuttavia rimane una profonda mancanza di sistematicità che non consentiva di affrontare in modo completo i diversi aspetti di interesse (criteri, competenze, scadenze, controlli e sanzioni).

## **2. Legge 447 del 26 ottobre 1995 n. 447 “Legge quadro sull’inquinamento acustico”**

Si è dovuto attendere 4 anni per avere l’emanazione della prima disciplina organica, che ha fissato i principi fondamentali, in materia di tutela dell’ambiente esterno e dell’ambiente abitativo dall’inquinamento acustico e ha stabilito le competenze dello Stato e dei suoi vari organi, affidando la funzione centrale di indirizzo al Ministero dell’Ambiente oltre che ai Ministeri della Sanità, dei Lavori Pubblici, dei Trasporti e della Navigazione, dell’Industria, del Commercio e dell’Artigianato.

Questa legge, nota semplicemente come Legge Quadro, ha anche individuato la figura professionale del “tecnico competente in acustica”, che ha il compito di svolgere le attività tecniche connesse alla misurazione dell’inquinamento acustico, alla verifica del rispetto o del superamento dei limiti e alla predisposizione degli interventi di riduzione dell’inquinamento acustico.

La L. 447/95 definisce l’inquinamento acustico come *“l’introduzione di rumore nell’ambiente abitativo o nell’ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti, dell’ambiente abitativo o dell’ambiente esterno o tale da interferire con le legittime fruizioni degli ambienti stessi”*.<sup>20</sup>

Nella legge vengono altresì date le definizioni di sorgenti fisse (comprendenti anche le infrastrutture e i trasporti) e sorgenti mobili, dei

---

<sup>20</sup> Art. 2, comma 1, “Definizioni”

valori limite di emissione ed immissione ed anche dei valori di qualità e di attenzione.

Vengono inoltre individuate le competenze dello Stato, delle Regioni, delle Province e dei Comuni in materia di inquinamento acustico, nonché fornite indicazioni per la predisposizione dei piani di risanamento acustico e per le valutazioni di impatto acustico.

Poiché si tratta di una legge “quadro”, essa fissa comunque solo i principi generali, demandando ad altri organi dello Stato l’emanazione di tutta una serie di provvedimenti di varia forma legislativa, gli argomenti affrontati dai decreti attuativi spaziano dai requisiti acustici delle sorgenti sonore e degli edifici, alla fissazione dei valori limite di emissione, immissione, attenzione e qualità.

## **2.1. Competenze delle Regioni**

In base all’art. 4 le Regioni, entro un anno dall’entrata in vigore della legge, dovranno emanare apposite leggi regionali con le quali:

- definire i criteri (modalità, scadenze e sanzioni) sulla base dei quali i comuni dovranno provvedere ad effettuare la classificazione acustica del territorio
- indicare i soggetti cui attribuire i poteri sostitutivi in caso di inerzia dei comuni
- individuare i criteri e le condizioni per l’individuazione, da parte dei comuni il cui territorio presenti un rilevante interesse paesaggistico, ambientale e turistico, di soglie di rumore inferiori a quelle indicate dalla legge
- individuare le competenze delle Province in materia di inquinamento acustico
- organizzare la rete dei controlli
- individuare i criteri per la predisposizione delle relazioni di valutazioni di impatto acustico
- individuare i criteri per stabilire le priorità negli interventi di bonifica acustica del territorio

## 2.2. Competenze dei Comuni<sup>21</sup>

In base all'art. 6 i compiti dei Comuni sono:

- la prima competenza fissata dalla legge a carico dei Comuni è la classificazione in zone del territorio comunale in funzione della destinazione d'uso del territorio secondo i criteri fissati dalle Regioni
- l'adozione dei piani di risanamento indicando tempi e modalità per la bonifica nel caso si superino i valori di attenzione
- ai Comuni è demandato inoltre il controllo del rispetto della normativa in materia di inquinamento acustico all'atto del rilascio delle concessioni edilizie relative a nuovi impianti ed infrastrutture adibiti ad attività produttive, sportive, ricreative e postazioni di servizi commerciali polifunzionali, dei provvedimenti comunali che ne abilitano l'utilizzo, nonché dei provvedimenti di licenza o di autorizzazione all'esercizio di attività produttive
- adozione di regolamenti di attuazione della normativa statale e regionale
- rilevazione e controllo delle emissioni sonore dei veicoli
- funzioni amministrative di controllo
- adeguamento del regolamento di igiene e sanità o di polizia municipale
- redazione della relazione biennale sullo stato acustico

Le sanzioni amministrative per il superamento dei limiti e l'indicazione degli organismi preposti ai controlli completano il testo.

---

<sup>21</sup> Le competenze affidate alle Province sono quelle dell'art. 14 della legge 142/90 e riguardano le funzioni amministrative di interesse provinciale o sovra-comunale per il controllo delle emissioni sonore. Le Regioni e lo Stato possono delegare loro ulteriori funzioni amministrative

### 3. D.M. del 31 ottobre 1997 “Metodologia di misura del rumore aeroportuale”

E' il primo provvedimento, relativo alla metodologia di misura del rumore aeroportuale. Esso esplicita:

- i criteri di misura del rumore emesso dagli aeromobili nelle attività aeroportuali, in particolare definisce l'indicatore  $L_{VA}$  come descrittore comune del rumore
- le procedure per l'adozione di misure di riduzione del rumore aeroportuale, per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico e per la definizione delle caratteristiche dei sistemi di monitoraggio
- i criteri di individuazione delle zone di rispetto per le aree e le attività aeroportuali nonché quelli che regolano l'attività urbanistica nelle zone di rispetto

Come esplicitato all'ultimo punto sono state stabilite dal decreto, art. 6 e art. 7, le zone di rispetto; in base a quanto disposto, il territorio circostante l'aeroporto è classificato acusticamente secondo la zonizzazione acustica aeroportuale, recepita in sede di piani da parte dei comuni interessati. Essa si compone di tre zone (A, B, C) a ciascuna delle quali corrisponde un determinato vincolo all'utilizzo del territorio e un limite massimo di rumorosità  $L_{VA}$ .

#### **Zone nell'intorno aeroportuale previste dal D.M. 31/10/97**

<b>Zona</b>	<b>Valore di <math>L_{VA}</math></b>	<b>Limitazioni</b>
<b>A</b>	<b>Inferiore a 65 dB(A)</b>	<b>Nessuna</b>
<b>B</b>	<b>Inferiore a 75 dB(A)</b>	<b>Nessuna abitazione</b>
<b>C</b>	<b>Maggiore di 75 dB(A)</b>	<b>Solo attività connesse all'aeroporto</b>

Figura 16 Zonizzazione prevista dal D.M.

I confini delle zone sono identificati da una commissione istituita dall'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC) e presieduta dal direttore della circoscrizione aeroportuale.

Il D.M. nonostante l'apparente titolo di significato squisitamente tecnico, disciplina più ampiamente le procedure per la classificazione degli aeroporti e del loro intorno in relazione al livello di inquinamento acustico prodotto e quelle per la definizione delle caratteristiche dei sistemi di monitoraggio da porre in essere. L'obiettivo è contenere l'inquinamento acustico negli aeroporti civili e in quelli militari aperti al traffico civile. Fanno eccezione alla sua applicazione le attività aeree militari, di emergenza, pubblica sicurezza e protezione civile.

L'art. 4 del decreto ha istituito due Commissioni di valenza nazionale che in tempi brevi dalla loro istituzione hanno predisposto criteri generali per la costruzione di procedure antirumore in tutte le attività aeroportuali, per la definizione di zone di rispetto e per la classificazione degli aeroporti sulla base della loro rumorosità.

Ai lavori delle Commissioni ora citate, ha fatto seguito, a livello di singolo aeroporto, l'istituzione di Commissioni aeroportuali locali, presiedute dal Direttore della circoscrizione aeroportuale, alle quali partecipano rappresentanti degli Enti locali (Comune, Provincia e Regione) sul cui territorio ricade l'aeroporto, oltre a rappresentanti delle società di gestione e dell'organo tecnico di controllo regionale (ARPA). Il compito di queste Commissioni aeroportuali è quello di definire nello specifico le procedure antirumore<sup>22</sup>, che vanno coniugate con gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica vigenti. A cura della Commissione vengono pure definiti i confini delle tre zone di rispetto.

#### **4. D.P.C.M. del 14 novembre 1997 “Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore”**

Questo decreto è particolarmente importante poiché lega i valori limite alla classe di destinazione d'uso del territorio, ovvero alle diverse zone che compongono la classificazione acustica del territorio comunale.

---

<sup>22</sup> Art. 5, comma 1, del Decreto

La tabella allegata al decreto definisce le classi in cui suddividere il territorio:

CLASSE I – aree particolarmente protette: rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo ed allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.

CLASSE II – aree destinate ad uso prevalentemente residenziale: rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale, con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali e artigianali.

CLASSE III – aree di tipo misto: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale o di attraversamento, con media densità di popolazione, con presenza di attività commerciali, uffici con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.

CLASSE IV – aree di intensa attività umana: rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali, le aree con limitata presenza di piccole industrie.

CLASSE V – aree prevalentemente industriali: rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.

CLASSE VI – aree esclusivamente industriali: rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi.

Tabella C: valori limite assoluti di immissione - Leq in dB (A) (art.3)

classi di destinazione d'uso del territorio	tempi di riferimento	
	diurno (05.00-22.00)	notturno (22.00-06.00)
I aree particolarmente protette	50	40
II aree prevalentemente residenziali	55	45
III aree di tipo misto	60	50
IV aree di intensa attività umana	65	55
V aree prevalentemente industriali	70	60
VI aree esclusivamente industriali	70	70

Figura 17: Limiti di immissione

Nella tabella vengono riportati i valori limite assoluti di immissione, definiti come i livelli di rumore che possono essere immessi da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno, misurati in prossimità dei ricettori. A tali valori limite va aggiunto (ad eccezione della classe VI) il rispetto, all'interno degli ambienti abitativi, del valore limite differenziale di immissione.

Il criterio differenziale impone nel periodo diurno il rispetto della differenza di 5dB tra il rumore ambientale<sup>23</sup> ed il rumore residuo<sup>24</sup>, differenza che si riduce a 3dB durante il periodo notturno.

I valori limite di emissione, vale a dire i valori massimi di rumore che possono essere emessi da una sorgente sonora, da misurarsi in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità, per le sorgenti sonore fisse sono strutturati in modo del tutto simile a quelli di immissione, ma sono numericamente di 5dB inferiori.

<sup>23</sup> Rumore con presenza della specifica sorgente disturbante

<sup>24</sup> Rumore in assenza della specifica sorgente disturbante

Anche i valori di qualità<sup>25</sup> sono strutturati in modo simile ai valori limite di immissione ma risultano di 3dB inferiori, tranne che per le aree esclusivamente industriali, ove coincidono.

### **5. D.P.R. dell'11 dicembre 1997 n. 496 "Regolamento recante norme per la riduzione dell'inquinamento acustico prodotto dagli aeromobili civili"**

Il decreto descrive le modalità per il contenimento e l'abbattimento del rumore prodotto dagli aeromobili civili.

Le responsabilità in materia di violazione delle procedure antirumore sono assegnate al direttore della circoscrizione aeroportuale, il quale:

- contesta all'esercente l'aeromobile l'avvenuta violazione
- commina la sanzione amministrativa
- si cura della riscossione della sanzione

La società esercente mantiene e gestisce il sistema di monitoraggio mentre all'ARPAV competono i controlli per la verifica dell'efficienza del sistema di monitoraggio.

L'art. 5 impone delle limitazioni al traffico aereo notturno, infatti vengono vietati i voli di aerei civili negli aeroporti civili e militari, aperti al traffico civile, dalle ore 23 alle ore 6, fatti salvi i voli di emergenza.

Il decreto verrà poi modificato nella parte delle limitazioni ai voli notturni col D.P.R. del 10 novembre 1999 n.476, sancendo la possibilità di effettuare voli notturni ove venga accertato, dagli organi di controllo competenti, il non superamento della zona di rispetto A dell'intorno aeroportuale del valore di 60dB(A)  $L_{van}$ .

I voli notturni, compresi nella fascia oraria dalle ore 23 alle ore 6, diversi da quelli di cui al comma 2, devono essere effettuati con velivoli che

---

<sup>25</sup> Definiti come i valori di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla Legge Quadro

soddisfino i requisiti acustici previsti dal capitolo 3, parte seconda, volume primo, dell'allegato 16 dell'ICAO.

#### **6. D.P.C.M. del 16 marzo 1998 “Tecniche di rilevamento e di misurazione dell'inquinamento acustico”**

Con l'emanazione di questo decreto vengono definite le specifiche tecniche della strumentazione di misura e le procedure da seguire nel rilevamento del rumore. I criteri e le modalità d'esecuzione delle misure, per quanto riguarda l'ambiente esterno ed interno, sono indicati nell'allegato B del decreto, mentre quelli relativi alle modalità di misura del rumore stradale e ferroviario sono, invece, indicate nell'allegato C.

Il decreto individua inoltre una serie di correzioni legate alla presenza di fattori più o meno aggravanti del rumore, in quanto il giudizio che un soggetto esprime di rumore è dipendente da alcuni fattori che possono, a parità di livello, far risultare la percezione sonora più o meno gravosa. In particolare, un tono puro, ossia un rumore generato da una sola frequenza, è maggiormente disturbante di un rumore generato da più frequenze equamente distribuite; analogamente, un rumore di breve durata è meno disturbante di uno che si protrae per lungo tempo.

I fattori correttivi individuati sono:

- componenti impulsive ( $K_I$ ), un evento impulsivo è tipicamente associato al manifestarsi di “colpi” generati, ad esempio, da armi da fuoco, lavori di carpenteria, demolizioni, ecc.
- componenti tonali ( $K_T$ ), sono generate da impianti o macchinari che hanno parti meccaniche in movimento a velocità costante, sono prevalenti nel caso aeroportuale
- componenti in bassa frequenza ( $K_B$ )
- presenza di rumore a tempo parziale

**7. D.M. del 20 maggio 1999 “Criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio per il controllo dei livelli di inquinamento acustico in prossimità degli aeroporti nonché criteri per la classificazione degli aeroporti in relazione al livello di inquinamento acustico”**

Il decreto contiene i criteri per la progettazione dei sistemi di monitoraggio del livello sonoro in prossimità degli aeroporti e classifica gli aeroporti in base al livello di inquinamento acustico rilevato.

I sistemi di monitoraggio devono essere in grado di:

- rilevare il livello sonoro prodotto dalle varie operazioni di decollo e atterraggio
- verificare il rispetto con le procedure antirumore già definite
- registrare in continuo i dati di ogni singolo evento
- gestire le eventuali lamentele dei cittadini

I sistemi di monitoraggio devono comprendere<sup>26</sup>:

- stazioni periferiche di misura del livello sonoro
- stazioni di misura dei parametri meteo-climatici
- centro di elaborazione dati che deve essere in grado di calcolare l'indice LVA, eseguire in maniera automatica la correlazione tra rumore misurato e dati identificativi del velivolo, tenere archivio dei dati registrati, segnalare eventuali superamenti dei valori limite stabiliti secondo le procedure antirumore e fornire le curve di isolivello al suolo.

Nell'articolo 5 si descrive quale deve essere l'ubicazione delle stazioni di rilievo, il luogo in cui posizionarle va scelto solo dopo un'indagine strumentale preliminare per individuare il luogo in cui la differenza tra  $L_{AFmax}$  dell'evento e il valore di  $L_{Aeq}$  del rumore residuo è maggiore di 20dB.

Le stazioni possono essere posizionate anche in base a quanto richiesto dalle normative internazionali ICAO, annesso 16, volume 1.

Inoltre ogni stazione di monitoraggio deve rendere disponibili:

---

<sup>26</sup> D.M. 20/05/99 art. 3

- ubicazione del sistema
- data e ora dell'evento
- valore di SEL dell'evento
- valore di  $L_{AFmax}$  dell'evento
- valore del rumore ambientale in assenza dell'evento
- correlazione fra evento e traiettorie e dati identificativi del velivolo
- fornire le curve di isolivello

L'articolo 7 fornisce le linee guida per classificare gli aeroporti in base all'estensione dell'intorno aeroportuale, all'estensione delle zone A, B, C e delle aree residenziali ricadenti nelle predette zone e della densità abitativa. Secondo il comma 4 dell'articolo, le azioni di risanamento previste dalla Legge Quadro<sup>27</sup>, sono rivolte a ridurre gli indici che classificano gli aeroporti.

Viene inoltre costituita una commissione allo scopo di predisporre criteri generali per la definizione di procedure antirumore, delle zone di rispetto per le aree e le attività aeroportuali e dei criteri per regolare l'attività urbanistica nelle zone di rispetto.

### **8. D.M. del 3 dicembre 1999 “Procedure antirumore e zone di rispetto negli aeroporti”**

Le procedure antirumore e le zone di rispetto per le aree e le attività aeroportuali sono stabilite secondo i seguenti criteri:

- le curve isofoniche devono essere elaborate sulla base dei dati forniti da ENAC, ENAV e società di gestione, nell'ambito delle rispettive competenze, mediante i più avanzati modelli matematici validati dall'ANPA, tenendo conto delle rotte di ingresso ed uscita dagli aeroporti, pubblicate sul volume AIP Italia, redatto dall'ENAV.

---

<sup>27</sup> Art. 10, comma 5, della legge 26 ottobre 1995 n. 447

Le procedure vanno applicate quando l'aeromobile manovra in aria e seguono i criteri generali di seguito riportati:

- ottimizzare le proiezioni al suolo delle rotte a tutela delle popolazioni esposte
- disegnare le proiezioni al suolo delle rotte antirumore nelle fasi di decollo e di atterraggio in accordo con quanto previsto dalle commissioni locali
- disegnare, in accordo coi decreti ministeriali<sup>28</sup> e con le regolamentazioni ICAO, le rotte di partenza e di arrivo in modo tale da essere percorse, fatte salve esigenze di sicurezza delle operazioni di volo, da tutti gli aeromobili in possesso di certificazione conforme ai decreti ministeriali<sup>29</sup>
- recepire integralmente e senza modificazioni i profili di atterraggio e decollo come definiti dalla normativa ICAO
- utilizzare la spinta inversa superiore al minimo nei soli casi di necessità

Vengono regolate anche le prove motori, in ogni aeroporto deve essere individuata un'area apposita per tali operazioni, che devono comunque osservare determinati criteri:

- i tempi di prova motore devono essere contenuti il più possibile e comunque le prove devono essere svolte in accordo con quanto previsto dai manuali tecnici
- l'orientamento del velivolo deve ridurre al massimo possibile la generazione di rumore verso le zone abitate
- adeguati schermi fonoassorbenti e/o fonoisolanti possono essere utilizzati per la riduzione del rumore immesso in corrispondenza di luoghi abitati.

---

<sup>28</sup> Decreto ministeriale n.38-T del 30 marzo 1998

<sup>29</sup> Decreto ministeriale del 3 dicembre 1983

**9. D.M. del 29 novembre 2000 “Criteri per la predisposizione, da parte delle società e degli enti gestori dei servizi pubblici di trasporto o delle relative infrastrutture, dei piani degli interventi di contenimento e abbattimento del rumore”**

Dal momento che le infrastrutture dei trasporti costituiscono la principale e più diffusa sorgente sonora, l’emanazione di questo decreto, relativo al risanamento di tali infrastrutture, costituisce un passaggio di grande rilevanza strategica al fine del perseguimento degli obiettivi di tutela dall’inquinamento acustico: in tale decreto vengono infatti definiti obblighi, criteri e scadenze con cui le società e gli enti gestori dei servizi pubblici e di trasporto e delle relative infrastrutture predispongono i piani degli interventi di contenimento del rumore.

Il decreto prevede che i gestori individuino dapprima le aree in cui sia stimato o rilevato il superamento dei limiti di immissione: gli esiti di questa fase di analisi acustica devono essere trasmessi a Comuni e Regioni entro 18 mesi dall’entrata in vigore del decreto. I piani di contenimento e abbattimento del rumore devono essere predisposti secondo le modalità indicate dal decreto e presentati a Comuni e Regioni entro i successivi 18 mesi.

Le tempistiche previste per l’attuazione degli interventi sono differenziate secondo la tipologia di infrastruttura e possono essere variate dalle Regioni, d’intesa con le autonomie locali.

Il decreto definisce un criterio oggettivo sulla base del quale deve essere stabilito, di norma, il grado di priorità dei diversi interventi di risanamento da attuare: l’indice di priorità introdotto da un allegato del decreto<sup>30</sup> tiene in considerazione da un lato l’entità del superamento dei limiti, dall’altro il numero delle persone esposte.

Il decreto definisce inoltre gli obiettivi delle attività di risanamento, fissando anche un criterio di valutazione delle percentuali di tale attività da ascrivere a più sorgenti sonore che contribuiscano all’immissione di

---

<sup>30</sup> Allegato 1 “Indice di priorità degli interventi di risanamento”, contiene la documentazione per il calcolo dell’indice di priorità *P*

rumore in uno stesso sito. Vengono altresì fornite in allegato<sup>31</sup> indicazioni relative ai criteri di progettazione degli interventi di risanamento ed al campo di impiego, all'efficacia ed ai costi delle diverse tipologie di interventi possibili.

#### **10. D.Lgs. del 17 gennaio 2005 n.13 “Attuazione della direttiva 2002/30/CE relativa all'introduzione di restrizioni operative ai fini del contenimento del rumore negli aeroporti comunitari”**

Con il presente decreto, riguardante il recepimento della direttiva 2002/30/CE, si stabiliscono le condizioni e le modalità per l'adozione, negli aeroporti, delle restrizioni operative volte a ridurre o vietare l'accesso di velivoli in un determinato aeroporto, nonché delle altre misure ritenute utili a favorire il raggiungimento di obiettivi di riduzione dell'inquinamento acustico a livello dei singoli aeroporti, tenuto conto, in particolare, della popolazione esposta.

Nell'affrontare i problemi dell'inquinamento acustico negli aeroporti si adotta un “approccio equilibrato”, al fine di individuare le misure più idonee ad ottenere il massimo beneficio ambientale al minor costo, salvaguardando le esigenze del mercato interno, e possono essere presi in considerazione, se del caso, incentivi di ordine economico.

Per approccio equilibrato si intende il metodo in base al quale sono prese in considerazione le misure disponibili per affrontare il problema dell'inquinamento acustico in un aeroporto tenuto conto dei criteri e delle linee guida pubblicati dall'Organizzazione Internazionale per l'Aviazione Civile, l'ICAO. Gli Stati membri prendono in considerazione le misure disponibili per affrontare il problema del rumore in un aeroporto situato nel loro territorio, in particolare l'effetto prevedibile di una riduzione alla fonte del rumore degli aeromobili, la pianificazione e la gestione del territorio, procedure operative di riduzione del rumore e restrizioni operative.

---

<sup>31</sup> Allegato 2 “Criteri di progettazione degli interventi di risanamento”

L'articolo 3 restringe il campo di applicazione del decreto in esame, prendendo in considerazione unicamente gli aeroporti aventi un traffico superiore a 50.000 movimenti per anno solare, in Italia tali aeroporti sono: Roma Fiumicino, Milano Malpensa, Milano Linate, Venezia, Bologna, Roma Ciampino, Catania, Napoli e Bergamo.

Viene inoltre definito il concetto di *restrizioni operative*, essendo queste le misure mediante le quali viene limitato, oppure vietato nel caso di velivoli marginalmente conformi<sup>32</sup>, l'accesso di velivoli civili in uno specifico aeroporto. Queste limitazioni sono parziali quando incidono sull'attività dei velivoli per un lasso di tempo determinato e sono adottate a seguito di una complessa valutazione tecnica<sup>33</sup>, solo qualora altre misure di contenimento acustico si rivelino inefficaci e tenendo conto del rapporto tra costi e benefici, nonché delle caratteristiche dell'aeroporto.

L'articolo 5 stabilisce la facoltà per l'ENAC di adottare, negli aeroporti metropolitani presenti sul territorio nazionale, misure più restrittive, con riferimento ai velivoli marginalmente conformi.

E' prevista all'articolo 6 l'istituzione di un comitato tecnico, entro 90 giorni dall'entrata in vigore del decreto, con il compito di emanare linee guida per l'adozione di restrizioni operative, nonché per individuare e proporre all'ENAC le ipotesi di misure restrittive idonee a evitare il ripetersi del superamento dei limiti; il comitato opera tenendo conto delle proposte delle commissioni aeroportuali e delle osservazioni dei soggetti interessati.

Per un periodo di 10 anni dall'entrata in vigore del decreto sono previste particolari deroghe, nell'articolo 8, per i velivoli immatricolati nei paesi in via di sviluppo.

L'Allegato 2 è relativo alla valutazione del superamento dei limiti di zonizzazione aeroportuale, che prelude all'adozione delle restrizioni

---

<sup>32</sup> Si riferisce ad aerei subsonici civili a reazione che soddisfano i limiti di certificazione definiti nel volume 1, parte II, capitolo 3, dell'annesso 16 dell'ICAO con margine cumulativo non superiore a 5 EPN dB

<sup>33</sup> Descritta nell'Allegato 2 del D.Lgs.

operative; i dati e le informazioni da considerare e da riportare sono raggruppati in 6 sezioni:

1. **Situazione attuale**, devono essere fornite tutte le informazioni relativamente a:

- ubicazione dell'aeroporto e caratteristiche del suo intorno, volumi e composizioni del traffico aereo, piste disponibili e loro utilizzo
- obiettivi ambientali acustici fissati per l'aeroporto nel contesto nazionale
- curve isofoniche degli anni precedenti, stima della popolazione interessata dal rumore degli aeromobili
- descrizione della rumorosità aeroportuale e indicazione delle misure eventualmente già adottate; particolare attenzione va posta agli strumenti di pianificazione e gestione del territorio, all'impiego di piste preferenziali e di rotte a minor impatto acustico, alla limitazione o divieto di voli notturni e all'introduzione di imposte sul rumore

2. **Previsioni in assenza di nuove misure**, devono essere fornite tutte le informazioni relativamente a :

- programmi di modifiche e/o ampliamenti dell'aeroporto e indicazioni sui vantaggi attesi dalla realizzazione di questi programmi
- effetti sull'ambiente in assenza di misure di mitigazione e indicazione delle misure già previste
- curve isofoniche previste e stima del numero di persone interessate al rumore a interventi realizzati
- valutazione dei costi e delle conseguenze di un eventuale peggioramento dell'inquinamento acustico in assenza di interventi volti ad attenuarne gli effetti

3. **Valutazione di misure diverse dalle restrizioni operative**, devono essere fornite le informazioni relativamente a:

- sintesi delle misure cui si può fare ricorso in accordo al principio dell'approccio equilibrato, anche considerando eventuali incentivi di ordine economico; descrizione approfondita di queste misure e indicazione del numero di persone che dovrebbero beneficiarne, valutazione dell'efficacia globale delle singole misure
  - valutazione del rapporto costi/benefici, degli effetti socio-economici sugli operatori aerei, sui viaggiatori e sugli enti locali
  - panoramica sui possibili effetti che le misure proposte potrebbero avere sul clima acustico
4. **Valutazione delle restrizioni operative**, nel caso in cui si reputino necessarie vanno riportate informazioni relativamente a:
- piani di intervento, in funzione dei diversi scenari analizzati
  - descrizione delle principali ragioni che motivano la scelta, anche in relazione alle esigenze di sviluppo del mercato del trasporto aereo
5. **Riepilogo di natura non tecnica**, per fornire le indicazioni alle persone interessate dalle immissioni sonore
6. **Valutazione dell'esposizione al rumore**, con il calcolo delle curve isofoniche e la stima delle persone colpite

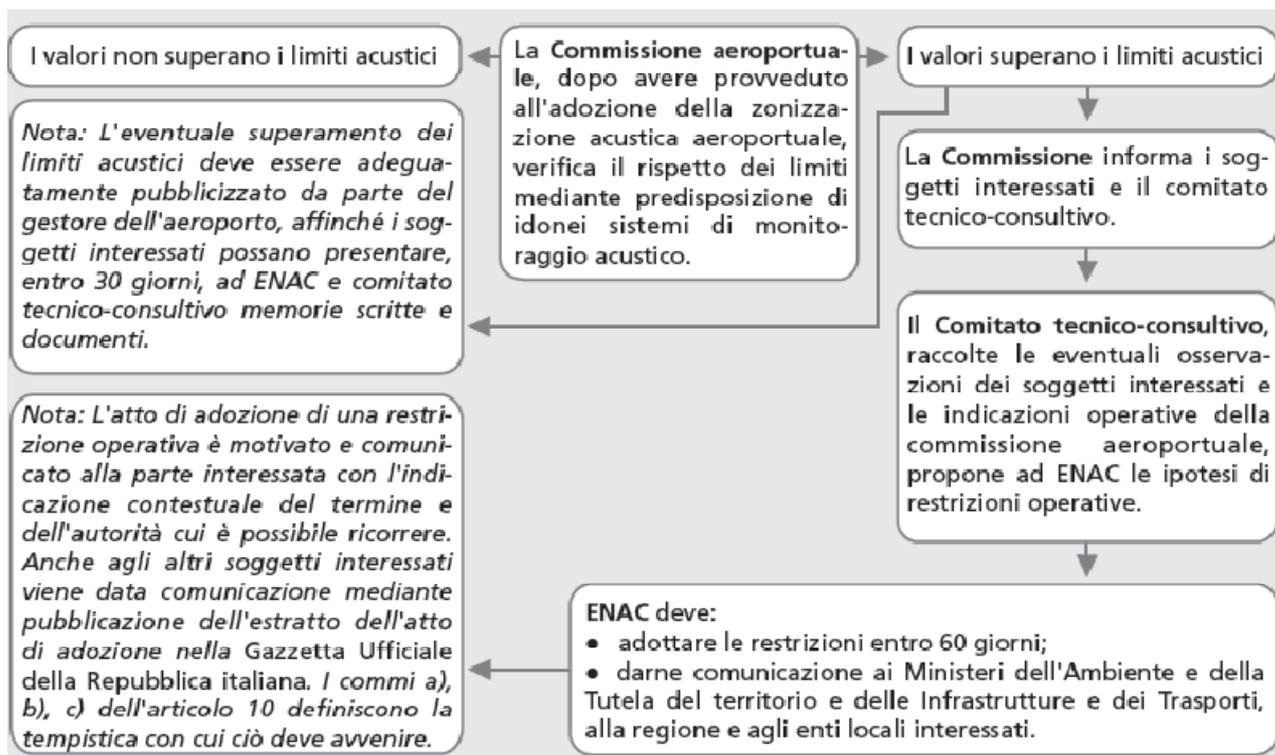


Figura 18: Sintesi della procedura di adozione di restrizioni operative

## 11. D.Lgs. del 19 agosto 2005 n.194 “Attuazione della direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale”

Con questo decreto si recepisce la direttiva 2002/49/CE relativa alla determinazione e alla gestione del rumore ambientale. Il presente decreto, al fine di evitare, prevenire o ridurre gli effetti nocivi dell’esposizione al rumore ambientale, compreso il fastidio, definisce le competenze e le procedure per:

- l’elaborazione della mappatura acustica e delle mappe acustiche strategiche
- l’elaborazione e l’adozione dei piani di azione volti ad evitare e a ridurre il rumore ambientale laddove necessario, in particolare, quando i livelli di esposizione possono avere effetti nocivi per la salute umana, nonché ad evitare aumenti del rumore nelle zone silenziose

- assicurare l'informazione e la partecipazione del pubblico in merito al rumore ambientale ed ai relativi effetti

Tuttavia gli aspetti tecnici di rilievo vengono demandati all'emanazione di successivi decreti, entro il 2006 doveva essere istituito un comitato tecnico di coordinamento ai fini dell'adozione dei decreti riguardanti le modifiche necessarie per coordinare la normativa vigente in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

I soggetti cui il decreto assegna specifici adempimenti sono definiti nell'articolo 2 e sono le autorità per gli agglomerati urbani con più di 100.000 abitanti e i gestori delle principali infrastrutture di trasporto, le sorgenti che ricadono nel campo di applicazione del decreto sono pertanto tutte le principali infrastrutture di trasporto e, all'interno degli agglomerati, il traffico aeroportuale, ferroviario, veicolare nonché siti di attività industriale, compresi i porti.

Nell'articolo 3 si fa riferimento all'attività di mappatura finalizzata al monitoraggio dello stato acustico e dell'esposizione della popolazione, nel decreto si intende per "*mappatura acustica*" la rappresentazione di dati relativi a una situazione di rumore in una zona, relativa ad una determinata sorgente, e per "*mappatura acustica strategica*" una mappa finalizzata alla determinazione dell'esposizione globale al rumore in una certa zona a causa di varie sorgenti di rumore, i dati raccolti devono poi essere comunicati alla Commissione.

Nell'articolo 4 e nell'allegato 5, viene definito il piano d'azione come quello strumento che punta ad una complessiva riduzione dell'inquinamento acustico e dei suoi effetti, gli elementi costitutivi di questi piani sono:

- una sintesi dei risultati della mappatura acustica ed una stima del numero di persone esposte al rumore
- l'individuazione dei problemi e delle situazioni critiche o da migliorare
- le priorità di intervento ed i criteri con cui sono state individuate

- le eventuali misure già intraprese ed i progetti in corso
- per le diverse tipologie di problemi e criticità individuate, le modalità con cui l'autorità competente intende intervenire nei successivi 5 anni, pianificando e distinguendo gli interventi secondo la scala di priorità sorgente/propagazione/ricettore
- nel caso degli agglomerati, l'individuazione dei soggetti a cui compete la progettazione e la realizzazione degli interventi previsti
- le strategie di lungo termine
- le informazioni di carattere finanziario, quali la stima dei costi, dei fondi stanziati e un'analisi costi/benefici
- una stima in termine di riduzione, a seguito dell'attuazione delle diverse misure previste, del numero complessivo di persone esposte al rumore
- le modalità previste per la verifica periodica dell'attuazione del piano e dei risultati ottenuti
- le modalità previste per le consultazioni del pubblico e un resoconto delle stesse

L'articolo 5 e 6, e gli allegati 1 e 2, definiscono i descrittori acustici da utilizzare ai fini dell'elaborazione delle mappature e della determinazione degli effetti nocivi, questi indicatori sono  $L_{den}$  e  $L_{night}$ .

Il decreto stabilisce l'utilizzo di tali descrittori per la caratterizzazione dell'esposizione della popolazione e per il reporting alla Commissione Europea e quindi le autorità competenti dovranno provvedere alla conversione dei valori misurati con gli indicatori delle Legge Quadro.

Nell'articolo 11 sono descritte le sanzioni amministrative pecuniarie che devono essere comminate alle società o enti gestori di servizi o le infrastrutture che non adempiono alla legge, le Regioni sono le autorità incaricate di irrogare le sanzioni.

## **12. Imposta Regionale sulle Emissioni Sonore degli Aeromobili (IRESA)**

Con la legge del 21 novembre 2000<sup>34</sup> è stata introdotta l'Imposta Regionale sulle Emissioni Sonore degli Aeromobili, IRESA, in vigore dall'anno 2001. Il relativo gettito è destinato prioritariamente al completamento dei sistemi di monitoraggio acustico, al disinquinamento acustico e all'eventuale indennizzo delle popolazioni residenti nelle zone A e B dell'intorno aeroportuale. Nella legge sono esplicitati i soggetti obbligati al versamento e quelli esenti nonché i criteri per la modulazione della tassa. L'imposta è determinata, sulla base dell'emissione sonora dell'aeromobile civile, come indicata nelle norme sulla certificazione acustica internazionale, e in funzione del peso massimo al decollo.

Con il D.Lgs. del 26 maggio 2011<sup>35</sup>, l'imposta sulle emissioni sonore degli aeromobili, di cui agli articoli da 90 a 95 della legge del 21 novembre 2000, viene trasformata in tributi propri regionali.

La legge del 2000, però, non è stata applicata da tutte le Regioni, al momento solo da Lazio (L.R. n.2/13), Lombardia (L.R. n.18/12), Emilia Romagna (L.R. n.15/12), Campania (L.R. n.5/13), Calabria (L.R. n.69/12) e Marche (L.R. n.45/12).

E' stata fatta, per tale motivo, un'inchiesta da parte della Corte dei Conti dalla quale è emersa la mancanza dei decreti del Ministero delle finanze in merito alle modalità applicative. L'art.90 comma 4 recita infatti *“Con uno o più decreti del Ministero delle finanze, emanati ai sensi dell'articolo 17, comma 3, della legge 23 agosto 1988, n.400, di concerto con il Ministero dei trasporti e della navigazione e con il Ministero dell'ambiente, sentita la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano, da emanare entro 90 giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, sono stabilite le modalità applicative dell'imposta”*.

---

<sup>34</sup> Legge del 21 novembre 2000 n.342 “Misure in materia fiscale”, articoli dal 90 al 95

<sup>35</sup> D.Lgs. del 26 maggio 2011 n.68 “Disposizioni in materia di autonomia di entrata delle regioni a statuto ordinario e delle province, nonché determinazione dei costi e dei fabbisogni standard nel settore sanitario”, capo I, art.8

Oltre alla Corte dei Conti si è espressa sull'IRESA anche l'Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato<sup>36</sup>, facendo presente che l'aver trasformato l'imposta in un tributo regionale ha generato rilevanti differenziazioni sul territorio nazionale, in grado di alterare le corrette dinamiche competitive nel settore del trasporto aereo.

Nonostante la Conferenza Stato Regioni, per garantire uniformità sul territorio nazionale, abbia approvato un documento<sup>37</sup> riportante in allegato uno schema tipo di proposta di legge regionale, l'imposta è stata applicata in modo assai difforme da una regione all'altra.

Tale difformità, tuttavia, non trova giustificazione in ragioni di carattere tecnico e/o geografico e risulta in grado di alterare le condizioni di redditività dei vettori che fanno scalo in alcuni aeroporti rispetto ad altri, con conseguente distorsione del profilo concorrenziale.

Il quadro normativo attualmente vigente non solo è difforme da Regione a Regione, particolarmente in termini di incidenza del tributo, ma soprattutto non risulta ispirato a criteri di efficienza e non rispecchia la natura di imposta di scopo dell'IRESA, essendo talvolta (come per la Regione Lazio) destinata solo per il 10% alla gestione dei costi sociali delle emissioni sonore provenienti dagli aerei.

Sempre secondo l'Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, le problematiche concorrenziali evidenziate possono essere superate attraverso la definizione con legge dello Stato di criteri uniformi per il calcolo dell'imposta; tali criteri dovrebbero in ogni caso condurre ad una definizione del livello dei tributi univoca per tipologia e caratteristiche del veicolo, al fine di evitare la creazione di arbitrarie discriminazioni tra scali e tra imprese. Inoltre si deve garantire che il gettito dell'imposta venga effettivamente destinato in via prevalente al sostegno del costo degli interventi necessari per contenere il rumore e compensare la popolazione residente.

---

<sup>36</sup> AS 1071 del 27 agosto 2013

<sup>37</sup> Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, IRESA: modalità applicative, 6 dicembre 2012

La Regione Emilia Romagna ha pubblicato la Legge Regionale del 21 dicembre 2012 n.15 “*Norme in materia di tributi regionali*”, dove viene istituita l’imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili, sempre come tributo regionale. L’IRESA è dovuta per l’emissione sonora prodotta dagli aeromobili civili dall’esercente dell’aeromobile per ogni singolo decollo e per ogni singolo atterraggio effettuato negli aeroporti del territorio regionale. Il soggetto provvede ad effettuare il pagamento delle somme dovute entro il giorno successivo a quello nel quale si è verificato il decollo o l’atterraggio dell’aeromobile e, in ogni caso, entro l’ultimo giorno del trimestre in cui si è costituito il presupposto impositivo. Il pagamento è effettuato a favore della società di gestione, la quale riversa con cadenza trimestrale alla Regione le relative riscossioni, entro il mese successivo al trimestre di riferimento.

Le entrate derivanti dall’applicazione dell’IRESA sono destinate in misura pari al 50% al completamento dei sistemi di monitoraggio acustico e disinquinamento acustico e all’eventuale indennizzo per i residenti nelle zone A e B dell’intorno aeroportuale.

Ad oggi, l’IRESA è sospesa.

L’imposta è determinata tenendo conto del peso massimo al decollo (Max Take-Off Weight, MTOW) e del livello delle emissioni sonore dell’aeromobile, accertate all’atto dell’immatricolazione dell’aeromobile, previste dall’annesso 16, volume I, dell’ICAO, nelle seguenti misure:

1. **Classe 1:** euro 0,62 per ogni tonnellata o frazione di tonnellata per le prime 25 tonnellate ed euro 0,82 per ogni successiva tonnellata o frazione di tonnellata di peso massimo al decollo per gli aeromobili privi di certificazione acustica o con certificazione che non raggiunge le prestazioni richieste per la conformità ai capitoli 2, 3, 4 dell’annesso 16, volume I dell’ICAO
2. **Classe 2:** euro 0,46 per ogni tonnellata o frazione di tonnellata per le prime 25 tonnellate ed euro 0,60 per ogni successiva tonnellata o frazione di tonnellata di peso massimo al decollo per gli aeromobili con certificazione acustica che raggiunge le prestazioni richieste

per la conformità al capitolo 2 dell'annesso 16, volume I dell'ICAO

**3. Classe 3:**

- **3a:** euro 0,16 per ogni tonnellata o frazione di tonnellata per le prime 25 tonnellate ed euro 0,20 per ogni successiva tonnellata o frazione di tonnellata di peso massimo al decollo per gli aeromobili con certificazione acustica che raggiunge le prestazioni richieste per la conformità al capitolo 3 dell'annesso 16, volume I dell'ICAO
- **3b:** per gli aeromobili con certificazione acustica che raggiunge le prestazioni richieste per la conformità al capitolo 3 dell'annesso 16, volume I dell'ICAO che in più non eccedono in nessuno dei tre punti di rilevazione i limiti ed hanno un margine cumulativo, differenza tra valore limite e valore di certificazione dell'aeromobile, maggiore o uguale a 5 EPNdB, l'imposta è determinata nella misura fissata per la classe 3a con la riduzione del 25%

- 4. Classe 4:** per gli aeromobili con certificazione acustica che raggiunge le prestazioni richieste per la conformità al capitolo 4 dell'annesso 16, capitolo I dell'ICAO, l'imposta è determinata nella misura fissata per la classe 3a con la riduzione del 50%

### **12.1. Modalità di calcolo**

Per come stabilito dalla legge il gestore aeroportuale deve imporre un'imposta, modulata sullo specifico aereo, al vettore aereo. Essa viene modulata in funzione dello standard acustico e del peso massimo al decollo, riportati nella certificazione acustica dell'aeromobile.

 <b>IRISH AVIATION AUTHORITY</b> <b>IRELAND</b> <b>IRISH AVIATION AUTHORITY</b>		<b>3. Document number:</b> <b>5844</b>
<b>4. NOISE CERTIFICATE</b>		
<b>4. Nationality and registration marks:</b> <b>EI-RNC</b>	<b>5. Manufacturer and Manufacturer's designation of aircraft:</b> <b>Embraer ERJ 190-100 STD</b>	<b>6. Aircraft Serial number:</b> <b>19000503</b>
<b>7. Engine:</b> <b>General Electric CF34-10E5 G07</b>	<b>8. Propeller:</b> <b>N/A</b>	
<b>9. Maximum Take-off Mass (kg):</b> <b>47,790</b>	<b>10. Maximum Landing Mass (kg):</b> <b>43,000</b>	<b>11. Noise Certification Standard:</b> <b>Chapter 3 (Three)</b>
<b>12. Noise abatement technology for the purpose of compliance with the applicable noise certification standard:</b> <b>PN 341-3001-501, Improved acoustic chevron nozzle (IACN), Block 2</b>		
<b>13. Lateral/Power Noise Level:</b> <b>91.6 EPNdB</b>	<b>14. Approach Noise Level:</b> <b>92.5 EPNdB</b>	<b>15. Flyover Noise Level:</b> <b>83.4 EPNdB</b>
		<b>16. Overflight Noise Level:</b> <b>N/A</b>
<b>17. Takeoff Noise Level:</b> <b>N/A</b>		
<b>18. This Noise certificate is issued pursuant to Annex 16, Volume I to the Convention on International Civil Aviation dated Dec. 7, 1944 and Regulation (EC) No. 1682/2002, Article 6 in respect of the above-mentioned aircraft, which is considered to comply with the indicated noise standard when maintained and operated in accordance with the relevant airworthiness requirements and operating limitations.</b>		
<b>19. Date of issue:</b> <b>15 DEC 2011</b>	<b>20. Signature:</b> 	
 <b>SAFETY REGULATION DEPARTMENT</b>		

Figura 19: Certificazione acustica di un Embraer 190

Le informazioni utili sono, come precedentemente detto, lo standard acustico e il peso massimo al decollo, segnalate nella figura rispettivamente coi colori blu e rosso. Per gli aeromobili di classe 3 sono necessarie ulteriori informazioni poiché per distinguere un aereo di classe 3° e 3b è necessario valutare il margine cumulativo, differenza tra valori limite e valori di certificazione dell'aeromobile.

I valori di certificazione sono quelli evidenziati in verde nella figura e sono i valori acustici rilevati in fase di atterraggio (*approach*), in fase di decollo lateralmente alla traiettoria di volo (*lateral*) e in fase di decollo lungo il sentiero di sorvolo (*flyover*)<sup>38</sup>.

I valori massimi, invece, si ricavano in funzione del peso massimo al decollo, come mostrato nella seguente figura:

<sup>38</sup> Vedi anche paragrafo 2.4 del Capitolo 2 della presente tesi

M= Maximum take-off mass in 1000 kg										
		0	20.2	28.6	35	48.1		280	385	400
Lateral full-power noise level (EPNdB) All aeroplanes		94		$80.87 + 8.51 \log M$					103	
Approach noise level (EPNdB) All aeroplanes		98		$86.03 + 7.75 \log M$			105			
Flyover noise levels (EPNdB)	2 engines or less	89		$66.65 + 13.29 \log M$				101		
	3 engines	89		$69.65 + 13.29 \log M$				104		
	4 engines or more	89		$71.65 + 13.29 \log M$				106		

Figura 20: Leggi per il calcolo dei valori acustici massimi

Per il calcolo del margine cumulativo occorre fare la somma della differenza tra i valori massimi e quelli di certificazione. A titolo di esempio si riporta il calcolo dell'IRESA per un Embraer 190, la cui certificazione è riportata in Figura 19.

EMBRAER 190			
Punti di misura delle emissioni	valori di certificazione [EPNdB]	valori massimi [EPNdB]	differenza tra valori massimi e valori di certificazione [EPNdB]
lateral	91,6	95,2	3,6
approch	92,5	99,0	6,5
flyover	83,4	89	5,6

massa [t]	47,79
-----------	-------

margine cumulativo [EPNdB]	15,7
margine cumulativo > 5EPNdB : classe 3b	

IRESA [€]	6,42
-----------	------

Figura 21: Calcolo dell'IRESA per un Embraer 190

***CAPITOLO TERZO***  
**METODOLOGIE DI CONTROLLO DEL RUMORE**  
**AERONAUTICO**

Sebbene il rumore sia stato considerato un vero e proprio problema ambientale solo di recente, già nel 1966 a Londra si era tenuta una conferenza internazionale (*London Noise Conference*) nel corso della quale si era convenuto che il problema del rumore aeronautico andava affrontato su base internazionale e che occorrevano mezzi di controllo appropriati per impedire che il problema dell'inquinamento acustico degli aeromobili diventasse un ostacolo allo sviluppo del trasporto aereo. L'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile (ICAO) già negli anni '60 aveva intuito l'importanza di un approccio integrato che tenesse conto da una parte della necessità di soddisfare la crescente domanda di mobilità e dall'altra la salvaguardia dell'ambiente. Per far fronte al problema del rumore l'ICAO nel 1968 ha costituito un comitato sulle emissioni sonore dei velivoli (*CAN – Committee on Aeroplane Noise*), per definire ed elaborare norme riguardanti le emissioni sonore dei velivoli. Questa commissione ha pubblicato un elenco di misure preventive e di mitigazione che ancora oggi sono la base di qualsiasi politica volta alla riduzione del rumore di origine aeroportuale; gli strumenti per l'ottimizzazione del clima acustico aeroportuale sono:

- minore rumorosità degli aerei
- limitazione operative
- monitoraggio del rumore
- pianificazione territoriale
- programmi di insonorizzazione
- tassa sul rumore
- procedure antirumore
- ottimizzazione dello *slot-allocation*

## 1. Minore rumorosità degli aerei

Lo sviluppo tecnologico negli ultimi 30-40 anni ha portato alla realizzazione di motori sempre più efficienti in termini di contenimento dei consumi energetici, dell'inquinamento atmosferico ed acustico. Sebbene le emissioni sonore degli aeromobili siano diminuite grazie a tecnologie costruttive migliori e alla progressiva eliminazione degli aviogetti più rumorosi, la problematica del rumore generato dal traffico aereo rimane ancora prioritaria a causa della continua crescita della domanda di mobilità con questo mezzo di trasporto.

Nel 1977 si è modificata la normativa in materia di emissioni sonore per gli aerei a reazione subsonici civili, rendendola più rigorosa, e che fa parte del volume 1 dell'annesso 16 dell'ICAO sul rumore aeronautico. Secondo i capitoli 2 e 3 tutti gli aviogetti civili subsonici, i cui progetti sono stati approvati dopo il 1.1.1969, devono essere certificati sotto il profilo delle emissioni sonore in base alla data di accettazione del certificato di navigabilità relativo al prototipo.

I 3 capitoli in cui sono stati suddivisi gli aeromobili sono:

- **Capitolo 1:** appartiene a questa categoria la prima generazione di motori degli anni '50 e '60 (turbogetto), estremamente rumorosi e ritirati a partire dal 1990 dall'operatività negli aeroporti civili; aeroplani i cui prototipi hanno ricevuto il certificato di navigabilità prima del 1.1.1969 e che quindi non sono certificati sotto il profilo delle emissioni sonore. Tra essi: B707, B727, DC-8, DC-9/10-50, Caravelle III/VI, B727, B737, VC-10, Trident, BAC 1-11
- **Capitolo 2:** il motore di questa tipologia di aeromobili (turbofan) è reso meno rumoroso e maggiormente efficiente rispetto al turbogetto grazie ad una tecnologia di costruzione più avanzata; aeromobili i cui prototipi hanno ricevuto il certificato di navigabilità dopo il 1.1.1969 ma prima del 6.10.1977. Tra essi: DC-9/80, DC-10, Tristar, B747 nella maggioranza delle sue versioni, A300, aeroplani del primo capitolo prodotti dopo il

1.1.1976 oppure prima, ma modificati per adeguarne le emissioni sonore a quanto previsto dal capitolo 2

- **Capitolo 3:** i moderni motori sono meno rumorosi ed inquinanti grazie ad un maggior utilizzo di materiale fonoassorbente e l'impiego di più turbine, sono immatricolati in questa categoria anche gli aviogetti dotati di silenziatore ricertificati; aeromobili i cui prototipi hanno ricevuto il certificato di navigabilità dopo il 6.10.1977. Tra di essi: B747 ultime serie, B757, B767, BAe146, A310, A320, B737/300-400-500, F100, F70, MD-80.

Nel settembre 2001, sulla base delle raccomandazioni della Commissione per la Protezione Ambientale<sup>39</sup>, l'ICAO ha adottato un nuovo capitolo:

- **Capitolo 4:** rappresentano i motori più recenti, è entrato in vigore per gli aerei prodotti a partire dal 1.1.2006, sono condizioni più stringenti di circa 10 dB rispetto al Capitolo 3

---

<sup>39</sup> *Committee on Aviation Environmental Protection*, gennaio 2001, quinta riunione, CAEP/5

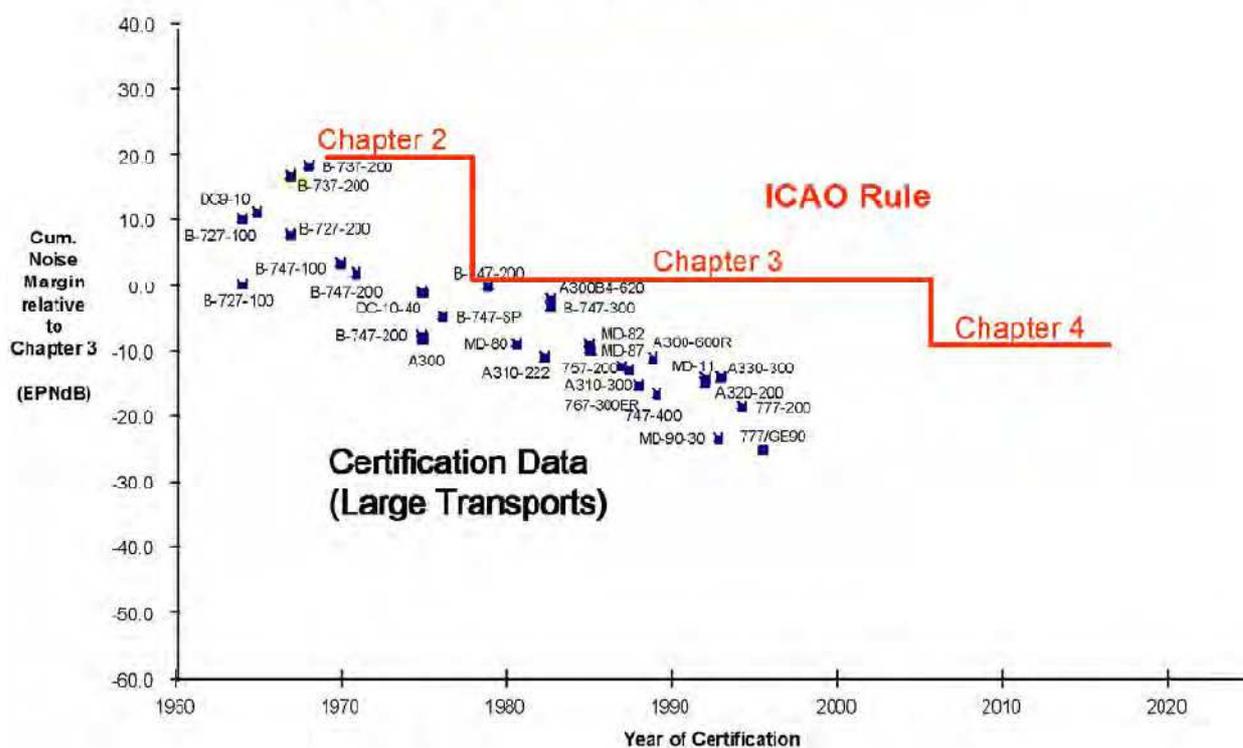


Figura 22: emissioni di rumore e normative ICAO nel tempo

Di fatto i paesi in cui le comunità sono più sensibili al problema del rumore hanno introdotto limitazioni alle categorie di aeromobili più rumorosi.

La Comunità Europea ha vietato l'iscrizione nei registri aeronautici degli stati membri degli aeromobili non certificati, quelli del capitolo 1, ha inoltre vietato l'atterraggio sul suo territorio degli aeromobili del capitolo 1 registrati nei registri aeronautici di altri paesi non membri della Comunità.

Per gli aeromobili del capitolo 2 è sorto invece un problema in quanto i vettori fanno notare che la messa al bando anticipata (la vita media di questi aeromobili è di 25-30 anni) degli aeromobili del capitolo 2 avrebbe costi elevati perché gli aeromobili del capitolo 3 ad essi equivalenti hanno dei costi nettamente maggiori.

Inoltre una parte considerevole degli aerei rumorosi è immatricolata presso quei paesi che ancora non prevedono limitazioni e quindi i loro vettori

sarebbero penalizzati nei traffici con i paesi nei quali invece esistono limitazioni.

La 28<sup>a</sup> Assemblea Straordinaria dell'ICAO, tenutasi nell'ottobre 1990, di fatto ha sancito che dal 2002 non potranno più operare gli aeromobili facenti parte del capitolo 2.

Per venire incontro ai vettori dei paesi in via di sviluppo, l'Assemblea dell'ICAO ha chiesto che vengano concesse esenzioni a tali vettori a partire dal 2002, se questi vettori hanno ordinato ma ancora non posseggono aeromobili che soddisfino i requisiti del capitolo 3.

Per evitare il fallimento delle piccole compagnie, l'industria aeronautica ha prodotto un particolare tipo di silenziatore (*Hush-kit*<sup>40</sup>) che, applicato ai motori di vecchia fabbricazione, è in grado di portare i livelli di rumorosità nei limiti richiesti per il capitolo 3; in questo caso diminuisce la pressione acustica, mentre non cambia il carico inquinante in atmosfera che risulta maggiore negli aerei "ricertificati" rispetto a quello degli aeromobili di nuova immatricolazione appartenenti al capitolo 3.

AEROMOBILI		
	Ricertificato B727-200	Equivalente A321-131
Rumore al decollo (EPNdB)	96,3	86,1
Rapporto di scambio acustico : 10,5		
AEROMOBILI		
	Ricertificato B737-200	Equivalente MD90-30
Rumore al decollo (EPNdB)	91,1	77,5
Rapporto di scambio acustico : 23		

Figura 23: confronto tra aeromobili del capitolo 2 ricertificati e gli equivalenti del capitolo 3

Come si può notare dalla figura a parità di prestazione in termine di potenza, capacità, etc, i motori di costruzione capitolo 3 sono meno rumorosi dei capitolo 2 ricertificati; per esempio, il rumore generato al

<sup>40</sup> Si tratta praticamente dell'introduzione di materiale fonoassorbente che converte l'energia generata dalla pressione su questi pannelli in energia termica da frizione

decollo con un B727-200 ricertificato a capitolo 3 è pari a quello generato da 10,5 decolli eseguiti da un A321-131, suo equivalente di produzione capitolo 3; analogamente un'operazione effettuata da un B737-200 silenziato può essere sostituita con 23 operazioni eseguite dal suo equivalente MD90-30.

La quota di aeromobili rispondenti agli standard del capitolo 3 ICAO è sempre maggiore, inoltre sono in via di sostituzione gli aviogetti ricertificati o capitolo 3 di più vecchia concezione, con altri più recenti già rispondenti ai nuovi standard di rumorosità ICAO non ancora in vigore.

Aircraft Type	Chapter ICAO	CERTIFIED NOISE LEVEL (EPNdb)		
		Lateral	Approach	Flyover
Embraer 170-200	3	92,1	95	83,3
Embraer 190-100	3	91,6	92,5	83,4
Airbus A319-111	4	91,0	93,2	81,5
Airbus A319-112	4	92,3	92,4	81,3
Airbus A320-214	4	93,5	95,5	84,7
Airbus A320-216	4	92,0	95,5	85,8
Airbus A321-112	3 - 4	95,6 - 96,7	95,7 - 96,1	86,2 - 86,8
Airbus A330-200	4	99,7	98,9	91,8
Boeing 777-200 ER	3	96,4	98,1 - 98,1	90,9

Figura 24: livelli di rumorosità degli aeromobili della flotta Alitalia

## 2. Limitazione operative all'uso dell'aeroporto

Fra le misure atte a ridurre il disturbo da rumore degli aerei, si devono considerare le limitazioni orarie all'uso dell'aeroporto, fra le quali l'interdizione nelle ore notturne, che rappresenta la misura più efficace, e la possibilità di fissare un limite di rumore da raggiungersi in un prefissato periodo temporale.

## **2.1. Limitazione ai voli notturni**

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 10dB, l'eliminazione di tali eventi comporta un beneficio in termini di mitigazione del disturbo da rumore. La durata del periodo notturno è variamente interpretata a seconda anche delle consuetudini locali, in Italia nel D.M. del 31.10.97 viene definito, come periodo notturno, quello compreso tra le 23.00 e le 06.00, limitandolo pertanto a 7 ore.

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. Molti aeroporti, pertanto, in presenza di situazioni critiche di inquinamento acustico, limitano le operazioni più rumorose, di solito le partenze di grossi aerei, dalla mezzanotte alle sei del mattino.

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

A livello europeo quasi tutti gli scali adottano delle restrizioni parziali o totali dei voli notturni, le motivazioni che hanno ostacolato la totale chiusura notturna degli aeroporti sono connesse a fattori di ordine economico; innanzitutto l'inattività si ripercuoterebbe principalmente sui corrieri aerei, impossibilitati di fatto a lavorare in quanto i voli devono essere necessariamente notturni per poter partire dopo la chiusura dei centri di produzione ed arrivare a destinazione al mattino presto, prima dell'apertura dei centri di smistamento e consegna della merce.

## 2.2. Imposizione di un tetto massimo di movimenti

Oltre alle restrizioni ai velivoli marginalmente conformi o alla chiusura di notte, anche l'applicazione di "quote rumore" può essere considerata una restrizione<sup>41</sup>.

Strumenti di questo tipo si basano sulla definizione, per un determinato aeroporto, di un limite di rumore da raggiungersi in un prefissato periodo temporale, all'interno del quale un singolo aereo contribuisce per una quota parte proporzionale al suo valore acustico di certificazione.

Si basano sul sistema *British Quota Count*, fissato quindi un budget disponibile di rumore, questo può essere efficacemente ed equamente ripartito considerando la classificazione acustica degli aeromobili.

Questa metodologia consente di definire un tetto massimo di aeromobili o può essere usato per limitare a talune tipologie di aeromobili l'uso di alcuni aeroporti.

Le quote rumore non applicano direttamente restrizioni operative a un velivolo specifico, a differenza di quanto avviene con le restrizioni applicabili di notte e ai velivoli marginalmente conformi, ma limitano l'accesso della flotta nel suo insieme. Queste quote limitano il rumore totale per un certo periodo di tempo, che può essere stagionale o annuale e, in quanto tale, possono essere considerate più come una restrizione operativa sull'aeroporto che sulle compagnie aeree.

L'uso delle quote è preferito da molti aeroporti rispetto all'applicazione di restrizioni operative a un velivolo specifico, soprattutto nel Regno Unito dove viene utilizzato negli scali londinesi di Heathrow, Gatwick e Stansted.

- **L'esempio di Heathrow**

Dal 1962 al 1993, i voli erano soggetti a una semplice limitazione al numero di movimenti degli aerei permessi durante il periodo

---

<sup>41</sup> Metodo che è stato introdotto anche nella direttiva 2002/30/CE

notturmo<sup>42</sup>. Nel 1993 venne introdotto un nuovo sistema, detto *Quota Count*, basato sulle certificazioni acustiche degli aeromobili. Ogni tipologia di velivolo è classificata e gli viene assegnato un valore (QC) che dipende dalla quantità di rumore generato, gli aeromobili sono classificati separatamente per decollo e atterraggio. Più l'aereo è silenzioso minore è il valore QC. Questa la suddivisione in classi in vigore dal 2007:

Certified noise level (EPNdB)	Quota count
More than 101.9	QC / 16
99 – 101.9	QC / 08
96 – 98.9	QC / 04
93 – 95.9	QC / 02
90 – 92.9	QC / 01
87 – 89.9	QC / 0.5
84 – 86.9	QC / 0.25

**Figura 25: Classi e valori di QC in uso nel Regno Unito**

Fatta eccezione per alcuni casi di rifornimento, una volta che l'aeroporto raggiunge la quota, non sono più possibili movimenti nel periodo notturno.

Le quote a disposizione di ogni aeroporto che utilizzano questo sistema, vengono ridotte anno per anno in modo da raggiungere, nel lungo termine, le riduzioni sull'impatto acustico prefissate.

L'aeroporto di Heathrow proibisce agli aerei più rumorosi della categoria QC/2 di operare di notte, mentre non ci sono limitazioni per gli aeromobili che producono meno di 84dB.

Oltre agli aeroporti britannici già citati, in Europa sono presenti limitazioni dello stesso tipo anche ad Amsterdam Schiphol, Madrid Barajas, Manchester e Zurigo.

<sup>42</sup> Nel Regno Unito il periodo notturno è compreso tra le 23.30 e le 06.00

Summer							
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Movement Limit	3250	3250	3250	3250	3250	3250	3250
Noise Quota	5610	5610	5460	5460	5340	5220	5100

Figura 26: Numero di movimenti massimi e quote disponibile nel periodo estivo per l'aeroporto di Heathrow

### 3. Monitoraggio del rumore

Altro strumento della politica di mitigazione è il monitoraggio del rumore dovuto al sorvolo degli aeromobili; esso è obbligatorio per tutti gli aeroporti aperti al traffico civile e viene effettuato grazie all'integrazione dei dati di rumore, rilevati da apposite centraline, con i tracciati radar dei movimenti aerei. Ciò permette non solo di risalire ai singoli eventi sonori e ad eventuali superamenti dei livelli, ma anche di valutare la superficie del territorio e la quantità di popolazione esposta ad inquinamento acustico di origine aeroportuale e di valutare l'efficacia delle procedure antirumore.

In generale le centraline sono situate nei comuni limitrofi al sedime aeroportuale, in posizione strategica rispetto alle rotte di decollo e atterraggio degli aeromobili, in modo da rilevare il massimo rumore percepibile nell'intorno dell'aeroporto, ovvero in quelle zone soggette ad impatto acustico il cui livello di rumore sia superiore a 60dB.

La normativa in vigore richiede l'istituzione di apposite Commissioni per la definizione dell'intorno aeroportuale e la sua suddivisione in tre zone, di clima acustico crescente da A a C; in tali zone sono disciplinate le attività permesse. L'individuazione di tali aree è operata graficamente tramite linee di uguale livello sonoro, dette *curve isofoniche*.

#### **4. Pianificazione territoriale**

L'aeroporto costituisce una grande fonte di lavoro diretto per tutti coloro che sono impegnati nel settore, ma è anche un centro di attrazione per tutte quelle attività che possono beneficiare della vicinanza dell'aeroporto stesso, come ad esempio attività di trasporto merci e alberghiere; questo porta inevitabilmente ad una urbanizzazione del territorio circostante l'aeroporto che finisce per porre vincoli al suo sviluppo futuro o ad una estesa utilizzazione nel presente per motivi di inquinamento acustico.

La mancanza di una valida politica di pianificazione territoriale in prossimità degli aeroporti ha reso sempre più difficile la ricerca di un equilibrio tra gli interessi legittimi delle varie parti interessate. Vista l'impossibilità di spostare le aree residenziali che si trovano in prossimità degli aeroporti, è importante migliorare la situazione nel quadro delle attività future di costruzione e ampliamento degli aeroporti. Se si desidera che i vantaggi derivanti da una riduzione dell'inquinamento acustico alla fonte non vengano vanificati dallo sviluppo di nuove zone residenziali e dall'adozione di altre misure inadatte nei pressi degli aeroporti, è indispensabile provvedere ad una pianificazione del territorio che tenga conto della presenza degli aeroporti.

L'idea generale è quella di impedire l'uso del territorio in prossimità degli aeroporti per fini residenziali. Un'applicazione rigorosa di questa misura potrebbe teoricamente eliminare l'inquinamento acustico.

L'esempio dell'aeroporto di Zurigo è emblematico della difficoltà di razionalizzare l'uso del territorio.

Nel 1967 il Governo Federale decise di costruire un gruppo di lavoro con lo scopo di definire un indice di misura per il rumore aereo e di dotarsi, sulla base di tali indici, di un piano di utilizzo delle aree urbane per gli aeroporti di Zurigo, Ginevra e Basilea.

Nel 1977, dopo aver stabilito quale indice di misurazione adottare, venne pubblicato il piano di utilizzo delle aree circostanti l'aeroporto di Zurigo, ma, a seguito di forti proteste delle comunità limitrofe, esso venne modificato nel 1982 per trovare applicazione solo nel 1987.

Nel frattempo, le autorità locali adottarono piani urbanistici che di fatto ignoravano la presenza aeroportuale, tanto che nel periodo 1980-1990 la comunità che vive nella zona di rispetto dell'aeroporto è cresciuta del 91%.

L'ICAO ha dedicato un apposito manuale alla pianificazione del territorio circostante gli aeroporti<sup>43</sup>, prevede di fatto una zonizzazione del territorio circostante gli aeroporti, individuando le attività compatibili con il livello di rumorosità in esse presente.

Volendo sintetizzare quello che le differenti normative nazionali, oltre all'ICAO ed alla FAA, prevedono in fatto di zonizzazione territoriale, si può fare riferimento all'indice WECPNL<sup>44</sup> ed alle isofone in tale indice misurate o previste per l'aeroporto.

Le curve più significative ai fini della pianificazione per gli aeroporti caratterizzati da rilevanti volumi di traffico sono l'isofona di 75 WECPNL e quella di 88 WECPNL, queste curve delimitano tre zone al suolo

- La zona esterna, quella caratterizzata da valori dell'indice WECPNL < 75EPNdB, in corrispondenza della quale, dal punto di vista acustico, non si rende necessaria alcuna restrizione all'uso o allo sviluppo dei terreni, salvo casi particolari quali scuole, ospedali ecc dovrà essere fatta un'analisi acustica per definire in sede di progetto i requisiti di insonorizzazione
- La zona intermedia, compresa tra i 75 e gli 88 EPNdB, in corrispondenza della quale si rende necessario imporre specifiche restrizioni a taluni usi e sviluppi dei terreni e l'analisi dei requisiti di insonorizzazione per le nuove costruzioni.
- La zona interna, per la quale si ha WECPNL > 88, in corrispondenza della quale dovrebbero svolgersi unicamente attività legate alle funzioni aeroportuali.

---

<sup>43</sup> *Airport Planning Manual, part 2: land use and environmental control*, DOC 9184-AN901, ICAO, 1985

<sup>44</sup> *Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level*, rappresenta il livello di un rumore costante che durante tutto l'arco delle 24 ore produrrebbe lo stesso disturbo nella posizione considerata del rumore variabile indotto dal traffico aeroportuale

## 5. Insonorizzazione

Gli interventi di mitigazione a terra, tra i quali gli interventi di isolamento acustico, le barriere e la costruzione di rilevati in terra, sono direttamente collegati all'esistenza di una pianificazione territoriale.

Gli interventi di isolamento acustico negli ambienti di lavoro o domestici situati nei dintorni di arterie di grande comunicazione stradale o ferroviaria e, nel nostro specifico, degli aeroporti, sono assolutamente necessari per garantire il mantenimento di condizioni di benessere nell'ambiente, lasciando per quanto più possibile al di fuori i fenomeni di disturbo.

In Italia la legge che stabilisce i requisiti acustici degli edifici in base alla loro destinazione d'uso è il D.P.C.M 5/12/97<sup>45</sup>, individuando le seguenti categorie<sup>46</sup>:

- categoria A: edifici adibiti a residenza o assimilabili
- categoria B: edifici adibiti ad uffici e assimilabili
- categoria C: edifici adibiti ad alberghi, pensioni ed attività assimilabili
- categoria D: edifici adibiti ad ospedali, cliniche, case di cura e assimilabili
- categoria E: edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli e assimilabili
- categoria F: edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili
- categoria G: edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili

e individua i seguenti parametri di prestazione acustica:

- Indice del potere fono isolante apparente ( $R'_w$ )
- Indice di valutazione dell'isolamento acustico standardizzato di facciata ( $D_{2m,nT,w}$ )
- Indice di valutazione del livello apparente normalizzato di rumore da calpestio di solai ( $L'_{n,w}$ )

---

<sup>45</sup> *Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici*

<sup>46</sup> Tabella A – classificazioni degli ambienti abitativi, art. 2

- Livello massimo di pressione sonora ponderata A per i servizi a funzionamento discontinuo ( $L_{ASmax}$ )
- Livello continuo equivalente di pressione sonora ponderata A per i servizi a funzionamento continuo ( $L_{Aeq}$ )

Tabella B					
Requisiti acustici passivi degli edifici e degli impianti tecnologici					
Categorie di cui alla tabella A	Parametri				
	$R'_w$ (*)	$D_{2m,nT,w}$	$L'_{n,w}$	$L_{ASmax}$	$L_{Aeq}$
D	55	45	58	35	25
A,C	50	40	63	35	35
E	50	48	58	35	25
B,F,G	50	42	55	35	35

Figura 27: Limiti prescritti dal D.P.C.M 5/12/97<sup>47</sup>

Il rumore aereo non si trasmette all'interno dell'edificio solamente attraverso la facciata esposta verso la sorgente, ma anche attraverso le pareti interne e i solai, quanta energia venga riflessa, assorbita o trasmessa dipende dalle caratteristiche fisiche del materiale impiegato, descritti da due indici:

- Coefficiente di assorbimento acustico  $\alpha$ , che indica quanta energia sonora viene assorbita da un materiale
- Coefficiente di trasmissione acustica  $\tau$  per onda normale, se invece l'onda è inclinata si definisce il potere fono isolante  $R(\theta)$

Detto ciò, gli interventi principali di isolamento acustico possono essere:

- Elementi antivibranti, che garantiscono un isolamento di 3-4 dB
- Pareti divisorie costituite da due strati di laterizio separate da uno strato di lana di roccia. Per migliorare ulteriormente è bene

<sup>47</sup> Tabella B – Requisiti acustici passivi degli edifici, dei loro componenti e degli impianti tecnologici, art. 3

costruire le tramezze con spessori o masse diverse per evitare fenomeni di vibrazione. Il beneficio può arrivare anche a 50 dB

- Rivestimento di pareti con materiale fono isolante (es fibre di legno) attaccato alla parete e poi intonacato
- Rivestimenti con materiale fono isolante dei ponti acustici fra esterno ed interno, per esempio i cassettei per gli avvolgibili dei serramenti
- Finestre con battente a ribalta costituite da vetri a strato multiplo e di spessori diversi, telaio realizzato con taglio acustico



i e su pareti in laterizio

E' poi consigliabile prevedere l'installazione di alcuni strumenti di protezione passiva dal rumore per aumentare la lunghezza del percorso dalla sorgente al ricevitore, quali filari alberati, barriere acustiche, rilevati in terra e muri in mattoni.

Per quanto riguarda le barriere, esse sono molto utili come strumenti di protezione dal rumore stradale o ferroviario, meno nei riguardi di quello aeroportuale, il loro compito è quello di abbassare il livello sonoro prodotto all'esterno dalle attività che si svolgono in ambito aeroportuale, al

livello del suolo (rullaggio, corse di decollo e di atterraggio, messa in moto dei reattori, prova motori).

La costruzione di barriere acustiche, sebbene sia una soluzione spesso attuata dagli aeroporti, ha una limitata utilità in quanto è totalmente inutile quando gli aerei sono in aria, tuttavia in certi casi l'impatto visivo può influenzare in maniera positiva la percezione del rumore e di conseguenza le persone possono percepire livelli di intensità minore solo perché sono separati dagli aerei.

Servono quindi a creare una sorta di isolamento fra l'ambito aeroportuale e l'esterno. Si distinguono in:

- Barriere vegetali
- Barriere semiartificiali e artificiali

Le barriere vegetali assorbono e riflettono parte dell'energia acustica con leggi influenzate dallo spessore, dall'altezza e dalla densità della recinzione: la diffusione del suono prevale sull'assorbimento che è fortemente influenzato dalla frequenza. Il fogliame è più efficiente per le alte frequenze e l'efficienza aumenta con lo spessore, la densità e la lunghezza delle foglie.

Per quanto riguarda la distanza fra barriera e sorgente di rumore e fra barriera e ricevitore, è conveniente mettere la barriera più vicina alla sorgente che non al ricevitore.

L'effetto schermante della barriera è efficace quando la fonte del rumore è vicina al terreno e diminuisce man mano che l'aeromobile prende quota.

In questo caso è importante la tipologia del suolo sopra il quale avviene il sorvolo, un suolo costituito da terreno con alberi attenua meglio il rumore di una pavimentazione o di un suolo nudo. Nella scelta della barriera vegetale occorre utilizzare piante con foglie di natura sempreverde, affinché la protezione sia efficace in ogni stagione, e i cui semi non siano degli attrattori per i volatili che, invece, potrebbero costituire ostacoli notevoli per la navigazione aerea.

Per migliorare le caratteristiche schermanti ed estetiche delle barriere naturali può essere conveniente accoppiarle con schermi rocciosi o in

calcestruzzo; sono state realizzate anche barriere interamente artificiali, sulla tipologia dei muraglioni.

## 6. Slot allocation

Come ulteriore strumento di ottimizzazione e ad integrazione delle politiche locali, la Commissione Europea<sup>48</sup> ha avviato un progetto che consiste nell'integrazione degli attuali criteri di assegnazione dell'orario di decollo degli aerei (*Slot allocation*) con quello della rumorosità degli aviogetti.

Lo *slot* è una finestra temporale entro la quale un aeromobile ha il permesso di decollare o atterrare in un determinato aeroporto. L'istante di riferimento per uno *slot* è il CTOT (*Calculated Take-Off Time*) mentre la finestra temporale ha una durata di 15 minuti (con inizio 5 minuti prima del CTOT e fine 10 minuti dopo).

Lo slot viene assegnato stagionalmente dal ordinatore nazionale (per l'Italia Assoclearance) per permettere alle compagnie di costruire il proprio orario e viene poi modificato giornalmente dall'ente di controllo dei flussi di traffico aereo (per l'Europa il *Central Flow Management Unit* di Eurocontrol) solo quando è necessario applicare restrizioni all'orario di partenza, arrivo e destinazione, o sorvolo di un punto della rotta, solitamente per motivi di congestione del traffico.

L'usuale assegnazione degli slot è nata con lo scopo di assicurare un flusso ottimale del traffico aereo, aumentando la sicurezza e diminuendo i ritardi; in Europa viene eseguita da Eurocontrol<sup>49</sup>, a Bruxelles. Il progetto europeo mira anche all'ottimizzazione dell'impatto acustico tramite la sua ripartizione tra i singoli voli, in modo da evitare sovrapposizioni temporali tra eventi rumorosi provocati da particolari aviogetti.

Al momento di definire criteri di priorità per la distribuzione degli slots si potrebbe, ad esempio, accordare una certa preferenza ai voli di aeromobili

---

<sup>48</sup> Introdotto dal regolamento n. 95 del 1993 e modificato dal regolamento n. 793 del 2004

<sup>49</sup> Progetto di gestione dei flussi di traffico aereo e coordinamento dei vari centri ATC (*Air Traffic Control*) dall'unità centrale di Bruxelles sullo spazio aereo europeo

più silenziosi. Il potenziale interesse dell'introduzione di criteri legati alle prestazioni ambientali nel sistema di redistribuzione degli slots non riguarda unicamente le prospettive di miglioramento della situazione sul piano ambientale. Abbinato ad un sistema di limitazione globale delle emissioni sonore in ogni aeroporto, l'incentivo ad utilizzare aeromobili più silenziosi ai fini di ottenere gli slots incrementerebbe anche la capacità complessiva degli aeromobili e metterebbe fine alla tendenza attuale che consiste nel risolvere i problemi ambientali limitando il numero totale delle operazioni.

Il progetto europeo è applicato in via sperimentale presso lo scalo di Amsterdam Schiphol, che si è cimentato in questo campo con lo scopo di ottimizzare l'utilizzazione della capacità di rumore disponibile; a tal fine la disponibilità di slot sull'aeroporto di Schiphol è condizionata dalla capacità di rumore annuo disponibile.

## **7. Tassazione sul rumore**

L'imposizione di tasse proporzionate alla rumorosità degli aeromobili è prevista dalle disposizioni ICAO<sup>50</sup>, essa è diretta in primo luogo ad incoraggiare i vettori ad utilizzare aeromobili più silenziosi e, in secondo luogo, ad acquisire i fondi necessari per finanziare le attività svolte dal gestore o dal Governo per controllare e minimizzare il fenomeno (indennizzi, acquisizioni, insonorizzazioni).

Va osservato che il documento ICAO afferma che i singoli stati hanno la libertà di decidere quale metodo di tassazione applicare.

La tassazione può assumere la forma di supplementi alle tasse di atterraggio o di tassa specifica sull'inquinamento acustico.

Fino a pochi anni or sono normalmente queste tasse erano basate sui criteri di rumorosità previsti nell'Annesso 16, Volume 1. Ma il fatto che sovente gli standard previsti in tale documento non rappresentano più l'attuale

---

<sup>50</sup> Documento 9082/4, *Statement by the Council of Contracting States on noise related charges for Airports and Navigation Services*, aggiornato durante la Conferenza ICAO su Airport and Route Facility Management (CARFM) del 1992

situazione tecnologica, ha fatto sì che alcuni Governi o autorità aeroportuali stiano cominciando ad adottare altri metodi per classificare gli aeromobili.

Uno di questi metodi è quello di classificarli sulla base dell'effettivo rumore prodotto nelle vicinanze dell'aeroporto, senza tener conto della definizione contenuta nell'Annesso 16.

Questo assicura le popolazioni vicine all'aeroporto che la classificazione degli aeromobili e la relativa loro tassazione avviene in relazione al reale disturbo arrecato, e che la situazione è continuamente monitorata.

L'aeroporto di Francoforte è stato il primo, nel 1974, ad introdurre una tassazione sul rumore.

Attualmente in Germania il sistema di tassazione è basato sui criteri di rumorosità previsti nell'Annesso 16.

Nell'aeroporto di Monaco si tiene però anche conto del numero dei passeggeri a bordo, del peso massimo al decollo e dell'ora in cui l'aeromobile opera.

La Francia ha introdotto una tassa sugli aeromobili nel 1973 per finanziare l'insonorizzazione di abitazioni limitrofe all'aeroporto di Parigi, ma l'imposta non era correlata all'inquinamento acustico effettivamente prodotto e non è stata, pertanto, differenziata sulla base del tipo di aereo, l'imposta è stata abolita nel 1987. Successivamente, a seguito di una legge promulgata nel 1992, è stata istituita una "Tassa per l'Attenuazione del Rumore nelle vicinanze di un Aeroporto", essa è calcolata sul peso massimo al decollo dell'aeromobile, sul gruppo acustico di appartenenza (Annesso 16), sulla categoria di aeroporto e sull'ora del decollo.

La tassa è erogata ad una agenzia che, sentite le commissioni previste in ogni aeroporto e composte, sulla base di un'ordinanza del settembre 1994, da rappresentanti dello Stato, dei vettori, dell'autorità aeroportuale e dei comuni interessati, né decide l'utilizzo.

In Inghilterra, la tassazione è stata introdotta nel 1980 per gli aeroporti di Heathrow, Gatwick e Stansted, dapprima sotto forma di uno sconto del 15% sui diritti di atterraggio per quegli aeromobili conformantisi alle

specifiche dell'Annesso 16 e successivamente, con una differente tariffa dei diritti di atterraggio tra gli aeromobili del Capitolo 2 e del Capitolo 3.

In Italia, dal 1994 al 2000, gli aeromobili sono stati tassati in base al Capitolo ICAO di appartenenza; i proventi sono stati ripartiti tra Ministero dei Trasporti e Ministero dell'Ambiente e destinati rispettivamente alle opere di disinquinamento acustico e al potenziamento dei servizi tecnici di controllo dello stato dell'ambiente.

Per agevolare il reperimento e l'impiego dei fondi da reinvestire per la lotta al rumore di origine aeroportuale, la legge finanziaria del 2000 ha abrogato le precedenti imposte istituendo l'imposta regionale sulle emissioni sonore degli aeromobili civili (IRESA) e stabilendo i principi per l'utilizzo dei fondi derivati dalla riscossione. Questa tassa fino ad ora non è stata applicata.

Le tasse sul rumore sono un'importante metodologia di gestione del rumore, applicata con l'obiettivo di stimolare le compagnie aeree all'utilizzo di aeromobili più efficienti. È un provvedimento di tipo *market-based* e che quindi non riguarda l'operatività delle compagnie e degli aeromobili. L'idea è quella di tassare le compagnie aeree in funzione del danno arrecato alle popolazioni limitrofe. Con questi strumenti è possibile internalizzare i costi ambientali, infatti, i costi sono normalmente reinvestiti in programmi di isolamento acustico o più in generale per gli interventi volti a ridurre al minimo l'esposizione al rumore delle comunità locali. L'ICAO raccomanda che i proventi raccolti vengano utilizzati per mitigare gli impatti ambientali negativi e non per incrementare il reddito dello Stato.

I ricavi possono essere utilizzati nei seguenti modi:

- Per compensare i danni provocati dall'inquinamento acustico e dalle emissioni
- per coprire i costi delle misure di mitigazione
- Per investire nel miglioramento del traffico aereo (questo può ridurre il ritardo dei voli a causa dei sistemi ATC inefficienti che si traduce in una riduzione delle emissioni)

- Per investire in aerei e motori più ecologici

Tali tasse devono essere proporzionali al disturbo arrecato dagli aeromobili. Per applicare una tassazione proporzionale al numero di persone assoggettate al rumore occorre quantificare il danno.

I diversi metodi utilizzabili tendono a misurare le preferenze dirette ed esplicite per i beni/danni ambientali utilizzando essenzialmente due tecniche:

- *Il metodo del prezzo edonico*
- *Il metodo della valutazione contingente*

### **7.1. Il metodo del prezzo edonico**

Il metodo del prezzo edonico sembra essere quello più adatto a tale scopo, questo metodo stima il valore di un certo effetto, in questo caso ambientale, sulla base dei prezzi di un mercato che risente fortemente (si avvantaggia o svantaggia, perciò edonico) di tale effetto. Nel caso in esame ci si avvale di tecniche economiche capaci di analizzare l'influenza del rumore sul mercato immobiliare. Sostanzialmente le abitazioni limitrofe all'aeroporto subiscono una riduzione del valore di mercato, l'indice che esprime tale riduzione è il cosiddetto *Noise Depreciation Index* (NDI). Quest'ultimo è definito come "la quota di riduzione del valore delle proprietà immobiliari per unità di rumore espresso in decibel". Mediamente i valori stimati oscillano tra lo 0.6÷0.8 di deprezzamento per dB.

Questo metodo sfrutta la differenziazione che esiste nel mercato immobiliare tra una proprietà ed un'altra in funzione di attributi o caratteristiche di localizzazione.

Gli individui dimostrano la loro disponibilità a pagare per evitare l'esposizione al rumore, i consumatori quindi rivelano il valore implicito della quiete, o edonico, dalle scelte che fanno nel mercato immobiliare.

Per misurare in termini economici la quiete questo modello sfrutta, quindi, la differenziazione che esiste nel mercato immobiliare tra una proprietà ed un'altra in funzione di attributi o caratteristiche di localizzazione.

E' raro che due immobili residenziali siano identici in tutto e per tutto, di conseguenza, al fine di isolare un dato prezzo edonico, è necessario controllare statisticamente le altre variabili che influenzano i valori di mercato, quali la dimensione dell'abitazione, la qualità di costruzione, il design, il quartiere e i suoi servizi, i tassi di criminalità e così via.

Ogni abitazione è data da una combinazione unica di caratteristiche e di attributi di localizzazione, il che significa che la decisione di acquistare un dato immobile è complessa; tuttavia se le caratteristiche e gli attributi sono forniti in varie combinazioni, è possibile stimare una funzione di prezzo implicito che mostra come questi valori variano condizionatamente ad una data caratteristica.

Si deve quindi definire un modello di regressione multipla ottenuto con prezzi di mercato di proprietà simili, rilevati per un certo periodo di anni o, più frequentemente, su un campione di immobili diversi, ma riferiti allo stesso periodo di tempo.

In questa fase è importante identificare bene le caratteristiche (variabili) che influenzano le scelte degli acquirenti: eventuali omissioni potranno portare ad una distorsione in difetto o in eccesso della stima.

Il passo ulteriore consiste nel calcolo della derivata parziale della funzione trovata con la regressione rispetto alla variabile ambientale da valutare. Per il nostro caso è di particolare importanza la meta-analisi atta a studiare la relazione negativa tra l'esposizione al rumore aeroportuale e i valori delle proprietà residenziali.

La meta-analisi consiste in una serie di metodi matematico-statistici per integrare i risultati di diversi studi, mirando ad ottenere un unico indice quantitativo di stima che permetta di trarre conclusioni più forti di quelle tratte sulla base di ogni singolo studio.

La meta-analisi richiede, quindi, la misura dell'*effect size* che, in statistica, è la misura della forza della relazione esistente tra due variabili. Utilizzato nella meta-analisi, l'*effect size* è un indice che misura l'entità del danno recato dall'aeroporto, si quantifica l'effetto attraverso la percentuale di

deprezzamento per ogni aumento di decibel del rumore aeroportuale (NDI).

Il prezzo marginale per rumore aumenta in funzione del valore della proprietà e pertanto abitazioni di maggior valore risentono maggiormente di quelle di minor valore.

E' così possibile ricavare il valore marginale della caratteristica, cioè la disponibilità marginale a pagare. Da questa si potrà quindi risalire ad una funzione di domanda del bene ambientale oggetto di valutazione.

- ESEMPIO DI APLICAZIONE DEL PREZZO EDONICO SU AEROPORTI DEL CANADA E DEGLI STATI UNITI

J.P. Nelson nel 2004<sup>51</sup> presenta una meta-analisi degli effetti del rumore aeroportuale sui valori delle proprietà in prossimità di aeroporti civili in Canada e negli Stati Uniti. Sono stati inclusi nell'analisi venti differenti studi fornendo 33 stime di NDI per gli aeroporti di Canada e Stati Uniti. Tutte le stime sono per l'anno 1967 e successivi. Viene effettuata un'analisi di meta regressione utilizzando il seguente set di informazioni:

- Caratteristiche del campione:
  - L'aeroporto e il paese
  - Il periodo di tempo
  - Le dimensioni del campione
  - I dati del censimento o vendite individuali
  - Il valore medio di proprietà
- Specificazione econometria e risultati:
  - Stima dell'NDI e l'errore standard
  - Forma funzionale logaritmica vs lineare
  - Coefficiente di determinazione
  - Specifiche per l'accessibilità all'aeroporto

Dato questo set di informazioni è stata condotta un'analisi di regressione per un campione di 29-31 osservazioni. Sono state fatte sei differenti

---

<sup>51</sup> *“Meta-analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values: problems and prospects”*  
Journal of Transport Economics and Policy

regressioni, usando le due regressioni più affidabili l'effetto del rumore aeroportuale sui valori immobiliari degli Stati Uniti è pari a 0.51% e 0.67% per dB. In conclusione i risultati di questo studio mostrano che l'NDI medio è pari a  $0.50 \div 0,60\%$  per dB.

## **7.2. Il metodo della valutazione contingente**

Quando non si dispone di un mercato sostitutivo (come quello immobiliare) o non si consideri soddisfacente tale metodo, si può utilizzare un altro metodo di valutazione diretta ma che presenta un maggior livello di aleatorietà. E' il metodo della valutazione contingente o dell'indagine diretta sulla disponibilità a pagare dei consumatori per un dato bene ambientale senza dover simulare tutte le operazioni di un mercato organizzato.

Questo metodo consiste, fondamentalmente, nel chiedere agli utenti quanto siano disposti a pagare per un beneficio, come l'incremento della qualità ambientale, o quanto siano disposti a ricevere a titolo di compensazione per sopportare una riduzione nella disponibilità di un bene ambientale.

Viene quindi ricercata la valutazione personale dell'intervistato relativamente a incrementi o decrementi della quantità di un certo bene stimato. E' quindi necessario che questo mercato ipotetico, formato dall'intervistatore, dal questionario e dall'intervistato, sia il più possibile simile ad un mercato reale.

Ad essere più precisi, più che ad un vero e proprio mercato economico, questo metodo risulta più simile ad un "mercato politico" dove le preferenze sono espresse attraverso la votazione per la fruizione di un determinato bene o servizio che viene proposto nella scheda voto.

L'attendibilità della valutazione è strettamente influenzata dall'attenzione con cui vengono descritte le caratteristiche dello scenario che viene ipotizzato.

La raccolta di informazioni avviene attraverso un'indagine che può essere effettuata tramite interviste personali, telefoniche o postali.

Il questionario utilizzato per le interviste si articola in tre parti:

- La parte introduttiva, finalizzata alla raccolta delle informazioni sulla sensibilità dell'intervistato sulle tematiche ambientali e sull'esperienza passata del soggetto relativamente alle attività da valutare
- La parte contenente la descrizione del mercato ipotetico e la richiesta della disponibilità a pagare o ad accettare
- La parte conclusiva con le domande relative alle caratteristiche socio-economiche dell'intervistato e/o del suo nucleo familiare

Nelle stime delle risorse ambientali la valutazione contingente è risolutiva, dato che riesce a catturare aspetti economici altrimenti non valutabili con altri metodi. Per la natura ipotetica del metodo, però, vari fattori possono influenzare i risultati.

Il metodo della valutazione contingente, nonostante i problemi aperti, offre comunque indicazioni di valore che, in assenza di mercato, possono indirizzare il decisore. In particolare questo metodo è l'unico che permette di:

- Stimare monetariamente in assenza di dati di mercato di beni di riferimento
- Adottare un approccio ex-ante e non solo ex-post
- Tenere conto dell'incertezza stimando il valore d'opzione
- Valutare aspetti del valore esterni all'uso immediato quali il valore di lascito ed il valore di esistenza

La validità dei valori ottenuti può essere inoltre verificata confrontandoli con quelli ottenuti con altri metodi non di mercato, pur nei limiti che questi presentano.

Una delle ragioni per cui l'applicazione del metodo della valutazione contingente al rumore risulta molto limitata, risiede proprio nelle difficoltà di costruire una buona indagine per valutare economicamente le riduzioni del rumore stesso.

### **7.3. La modellazione delle tasse ambientali**

L'idea base è quella di applicare una tassazione in proporzione al numero di persone soggette al rumore aeroportuale, il metodo del prezzo edonico è risultato essere, da molte ricerche effettuate nel corso degli anni, quello più utilizzato per la valutazione del costo sociale. Una volta individuato il valore di NDI da utilizzare, il passo successivo è definire le modalità con cui attribuire le tasse alle compagnie che operano in un determinato aeroporto in funzione della rumorosità prodotta.

La determinazione delle performance acustiche degli aeromobili si configura come l'aspetto primario per l'individuazione e la calibrazione di metodologie finalizzate all'attribuzione delle tasse ambientali. In particolare si distinguono due tipologie di valutazione delle prestazioni acustiche in ambito aeronautico:

- Quelle legate al singolo evento, attraverso le quali vengono determinate le prestazioni dei singoli aeromobili. Queste permettono di classificare gli aeromobili secondo le prestazioni acustiche intrinseche sulla base dei valori derivanti dallo schema acustico di certificazione previsto dall'ICAO, anche se spesso vengono utilizzati, ai fini della determinazione delle tasse, i valori realmente registrati in particolari punti del territorio.
- Quelle legate ai valori cumulativi, queste performance consentono di stimare l'impatto degli aeroporti sul territorio e sommano la rumorosità registrata all'interno di un determinato periodo considerando dei pesi, variabili da paese a paese, che sono utilizzati per imporre una maggiore importanza agli eventi sonori nei periodi sensibili, ovvero giorno e notte.

Ai fini della determinazione delle tasse ambientali o delle metodologie previste per la modulazione delle tasse aeronautiche in base ad una componente che tenda ad internalizzare il costo del rumore, la maggior parte delle esperienze si è basata sulle performance assolute dei singoli aeromobili, ma il modo in cui tali valori vengono aggregati varia moltissimo.

Tra i metodi utilizzati per la modulazione delle tasse aeronautiche vale la pena citare:

- La metodologia proposta da C.H.Y Lu e P. Morrell e applicata all'aeroporto di Amsterdam Schipol che evidenzia come l'attuale tassa imposta dal governo olandese è molto più bassa del costo sociale effettivo del rumore risultante dai movimenti degli aeromobili.
- La metodologia attribuibile a Pearce&Pearce che è in funzione del tipo di aeromobile e riflette i danni marginali prodotti dall'inquinamento acustico, viene applicata all'aeroporto di Heathrow.
- La metodologia dell'*Aircraft Noise Equivalent Factor (ANEF)* proposta da Gualandi e Mantecchini che consente la contestualizzazione del problema della valutazione delle prestazioni acustiche degli aeromobili con quello dell'utilizzo di strumenti di noise management, come la modulazione di tasse da rumore e l'imposizione di restrizioni operative

## 8. Interventi sulle piste

Uno degli interventi sulle infrastrutture aeroportuali che meglio permettere di raggiungere ottimi risultati dal punto di vista della mitigazione dell'inquinamento acustico è la rilocalizzazione delle piste oppure la variazione del loro orientamento e la loro estensione.

Il cambiamento dell'orientamento della pista è una misura che ha lo scopo di diminuire il rumore sulle zone densamente popolate situate in prossimità delle piste aeroportuali e che si trovano sotto i sentieri di volo degli aeromobili, e in quegli aeroporti in cui non è possibile attuare le *Noise Abatement Procedures* a causa della troppa vicinanza delle abitazioni, tale da non permettere il raggiungimento, da parte dell'aereo, di una sufficiente quota.

Questo tipo di intervento è realizzabile solo in quegli aeroporti che hanno un'urbanizzazione attorno al proprio sedime che lo permetta, ed è stato sviluppato allo scopo di distribuire il traffico aereo sulle aree scarsamente popolate.

E' il caso dell'aeroporto O'Hare di Chicago dove è stata realizzata questa tecnica di intervento col duplice scopo di diminuire i livelli di rumore sulla comunità locale e di potenziare la capacità dell'aeroporto stesso.

Attualmente l'O'Hare ha 7 piste, le quali si intersecano tutte ad eccezione di una. L'O'Hare Modernization Programme (OMP), che è il nome del piano che riconfigurerà l'intero aeroporto, è iniziato nel 2003 e mira ad riorganizzare le piste e le infrastrutture in una più efficiente disposizione parallela.

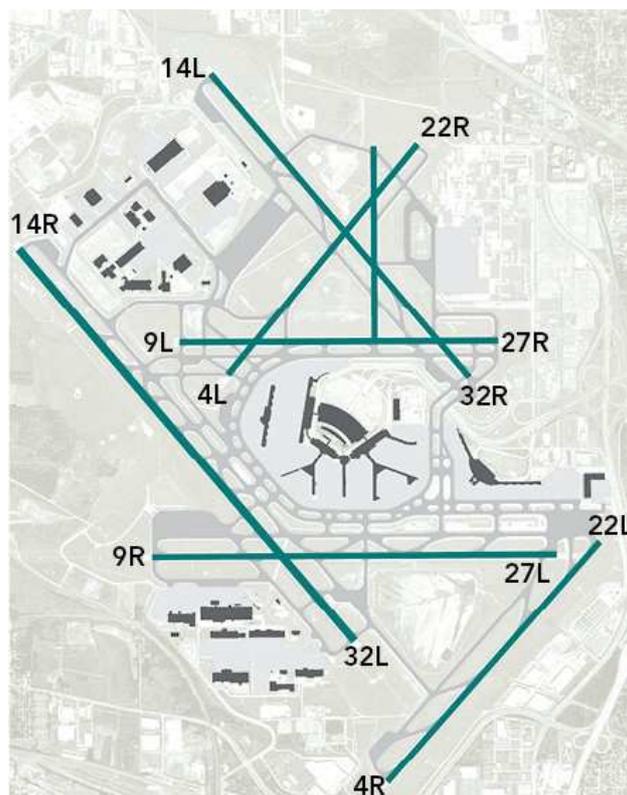


Figura 29: Configurazione dell'aeroporto nel 2003

L'intero progetto è organizzato in 3 fasi.

La prima prevede la costruzione e l'apertura della pista settentrionale (Future Runway 9L-27R), una volta operativa, questa pista consentirà una riduzione dei ritardi durante il maltempo. Infatti quando le condizioni meteo sono avverse è attualmente possibile il traffico solamente in due piste, la pista consentirà all'aeroporto di mantenere tra flussi.

Il secondo punto del progetto prevede l'allungamento di una pista già esistente (Future Runway 10L-28R), costruire e aprire una nuova pista (Future Runway 10C-28C) e chiudere l'attuale pista 18-36. Prevederebbe inoltre la creazione di ulteriori gate per l'imbarco. Con ciò si otterrebbe una maggior lunghezza delle piste, un aumento della capacità e flessibilità operativa.

La fase finale del progetto di ampliamento comporta l'allungamento di una pista (Future Runway 9R-27L), la costruzione di due nuove piste parallele (Future Runway 9C-27C e 10R-28L) e la chiusura dell'esistente Runway 14L-32R e 14R-32L. A seconda del comportamento dei mercati, questa

fase potrebbe prevedere la costruzioni di ulteriori strutture per i passeggeri e le operazioni di imbarco e inoltre la creazione di una nuova strada d'accesso all'aeroporto.

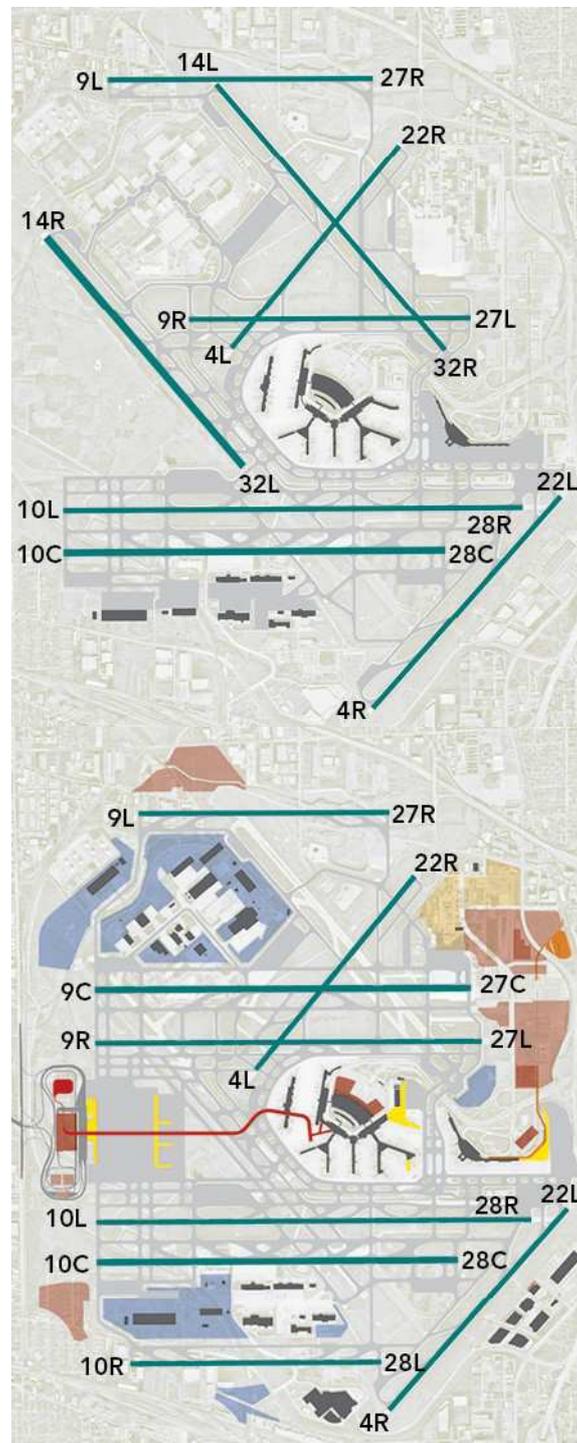


Figura 30: Configurazione dell'aeroporto nel 2013 e a fine progetto

Il programma, un investimento da 8.7 miliardi di dollari, avrebbe anche un positivo impatto sull'inquinamento acustico dei sobborghi cittadini situati in prossimità dell'aeroporto, come mostrato dalla seguente immagine:

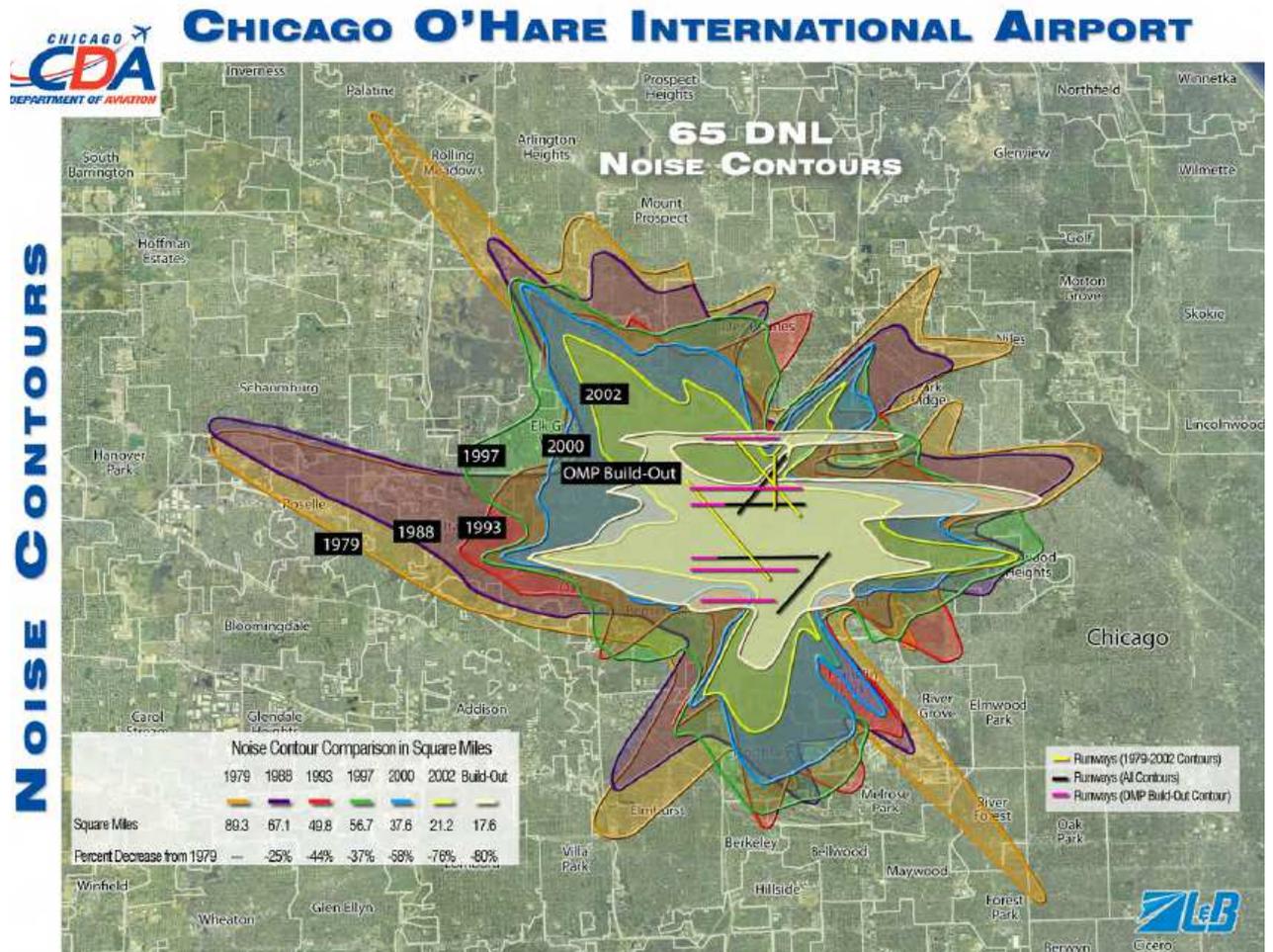


Figura 31: Evoluzione del rumore attorno all'aeroporto

Tuttavia questo tipo di intervento di mitigazione è caratterizzato da alti costi poiché richiede la modifica sostanziale dell'area di movimento degli aeromobili, inoltre è applicabile solo se esistono dei corridoi di volo con bassa densità abitativa. Se però viene perseguita, è una tecnica che permette un considerevole aumento della capacità acustica dell'aeroporto senza dover cambiare il luogo in cui l'aeroporto sorge.

E' un intervento che ha senso sostanzialmente solo per i grandi hub la cui posizione strategica, per la vicinanza a strutture ad elevata incidenza

economica o per l'alta concentrazione di industrie nella zona, rappresenta un fattore che esula dalla ricollocazione dell'aeroporto.

Un'altra metodologia di intervento sulle infrastrutture aeroportuali, meno invasiva della precedente, e che porta comunque a buoni risultati nella diminuzione dell'inquinamento acustico è l'estensione della pista, che permette di aumentare la capacità acustica dell'aeroporto con costi molto inferiori rispetto alla tecnica precedente.

E' una misura di mitigazione che si può utilizzare solo in quegli aeroporti in cui una soglia della pista si trova nelle vicinanze di un'area densamente popolata, mentre l'altra soglia è in prossimità di una zona meno abitata.

Lo scopo di questo tipo di modifica è semplice, si basa sul fatto che avendo a disposizione uno spazio maggiore, gli aeromobili possono anticipare il punto di distacco quando sorvolano le aree abitate, raggiungendo una quota maggiore sopra di esse e rendendo inoltre possibile l'applicazione delle noise abatement procedures.

I costi per l'allungamento della pista in genere sono elevati poiché può essere necessario acquisire terreni circostanti e si possono avere interferenze con infrastrutture nelle vicinanze, come ad esempio strade o ferrovie, tuttavia rappresenta un'ottima strategia di intervento a medio e lungo termine.

I benefici di questa tipologia di intervento mitigatore è stata valutata nel caso dell'aeroporto G. Marconi di Bologna.

Nel luglio 2004 si sono conclusi i lavori per l'allungamento della pista di volo in direzione ovest, la cui lunghezza è stata portata da 2450m a 2800m. A seguito di tale intervento gli aeromobili in decollo per RWY12 hanno la possibilità di sorvolare i centri abitati ad una quota maggiore e anticipare la virata verso nord.

In tal modo sulla base dei rilevamenti acustici eseguiti, il livello di rumore sui centri abitati è diminuito mediamente di 1.5dB(A).

Una problematica che si è dovuta affrontare durante i lavori è stata l'interramento della linea ferroviaria della cintura di Bologna, destinata

prevalentemente al trasporto merci e che costituiva l'ostacolo vincolante ad ogni ipotesi di prolungamento della pista.

Queste due metodologie di intervento sulle infrastrutture permettono significativi aumenti della capacità acustica dell'aeroporto ma l'investimento da effettuare è considerevole, quindi nel breve termine andrebbero considerate altre misure di mitigazione prima di pensare di intervenire sulla lunghezza delle piste o, addirittura, sulla loro ricollocazione.

## **9. Procedure operative antirumore**

Le procedure antirumore, dette *Noise Abatement Procedures (NAP)*, applicate dagli aerei in fase di decollo, 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 la salita iniziale in fase 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.

Il prossimo capitolo si occuperà di descrivere nel dettaglio queste procedure.

## ***CAPITOLO QUARTO***

### **LE NOISE ABATEMENT PROCEDURES**

Molti studi e ricerche patrocinati e finanziati sia dall'Unione Europea (progetto Sourdine), sia da altri enti statali (per esempio la NASA negli Stati Uniti) o dalle stesse industrie aeronautiche (Boeing e Airbus) hanno evidenziato che l'unico mezzo per intervenire a breve termine in modo efficace sul problema dell'inquinamento acustico e del disturbo causato alla popolazione dal traffico aereo e dalle operazioni a terra è un intervento di innovazione sulle procedure di volo, di decollo e di atterraggio.

Questa metodologia di controllo del rumore aeronautico è sempre più frequentemente utilizzata negli aeroporti grazie alla sua applicabilità nel breve termine e alla sua limitata incidenza sul costo, inoltre permette un significativo aumento della capacità acustica se accuratamente valutata e messa in pratica.

Si tratta di interventi che riguardano:

- Le rotte da seguire in fase di decollo ed atterraggio per ridurre all'atto del sorvolo a bassa quota il disturbo sulla popolazione preferendo il sorvolo di aree meno densamente abitate (*Noise Preferential Runway* e *Minimum Noise Routings*)
- Accorgimenti e procedure, una volta definite le rotte, che limitino la produzione di rumore al suolo (*Operational Noise Abatement Procedures NAP*)

#### **1. Le fasi del volo**

L'aviazione civile opera tipicamente secondo le regole del volo strumentale (*Instrumental Flight Rules IFR*), ciò significa che ogni aeromobile utilizza una serie di strumentazioni e sistemi che gli forniscono la guida necessaria per seguire una determinata rotta. Queste rotte vengono precedentemente studiate, disegnate e pubblicate dalle autorità competenti,

vengono chiamate procedure (se riguardano le manovre di decollo, atterraggio o avvicinamento) o aerovie (se sono per la fase en-route).

La progettazione delle procedure e delle aerovie garantisce l'assenza di ostacoli e la giusta distanza tra i diversi velivoli in avvicinamento o in partenza dall'aeroporto. Questo tipo di organizzazione dello spazio aereo aiuta nella gestione e nel controllo del traffico.

Ogni fase del volo ha alcune particolarità che la rendono diversa dalle altre, oltre ad una particolare rotta da seguire, a seconda della fase in cui si trova, l'aereo assumerà diverse configurazioni, velocità e altitudini.

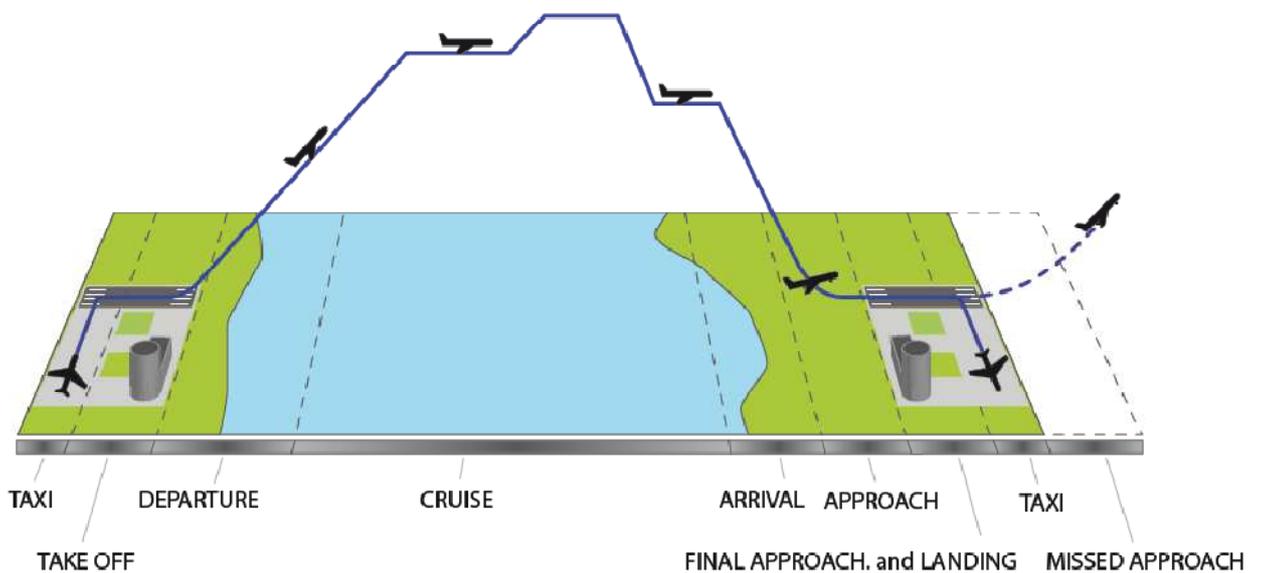


Figura 32: Le diverse fasi di un volo IFR

Il volo di crociera avviene lungo le aerovie, che sono sostanzialmente dei segmenti che congiungono più **VOR**. Il VOR, *Very High Frequency Omnidirectional Radio Range*, è un radiofaro che trasmette onde VHF captate da un ricevitore presente a bordo, ogni VOR ha la sua propria frequenza. L'indicatore VOR di bordo indica l'angolo tra il nord magnetico e la radiale congiungente la stazione emittente e quella ricevente (posizione planimetrica) ma non fornisce indicazioni sulla quota dell'aeromobile.

Il **DME**, *Distance Measuring Equipment*, è un dispositivo di radionavigazione che, integrato ad un VOR, fornisce la distanza obliqua fra l'emettitore e il ricevitore, nota la quota è possibile ricavare in maniera precisa la distanza orizzontale.

Negli ultimi decenni, la navigazione aerea si è basata su rotte determinate dalla radioassistenza (VOR/DME), tuttavia questo tipo di navigazione si è rivelata poco efficiente e con rotte poco flessibile, causando talvolta congestione e problematiche ambientali e quindi voli non efficienti. Tuttavia, con l'avvento di nuove tecnologie anche in campo avionico, che hanno portato nella strumentazione di bordo all'integrazione tra i diversi sistemi, sono state rese possibili nuove soluzioni per superare gli svantaggi della navigazione convenzionale.

Il primo passo verso delle nuove tecniche di navigazione è stato fatto con l'introduzione del concetto di *Area Navigation* (RNAV), gli aeromobili equipaggiati con questo sistema possono percorrere rotte definite tra dei punti arbitrari e non più, come nella radioassistenza tradizionale, tra due punti fissi. Questa flessibilità è una delle chiavi che permettono la definizione di nuove procedure con un miglior impatto ambientale, come le NAP.

Il decollo è la manovra che consente al velivolo di staccarsi dal suolo per raggiungere poi la quota di volo assegnatagli. Poiché dalle caratteristiche di decollo dipendono le lunghezze delle piste degli aeroporti, le norme stabiliscono che deve intendersi per distanza di decollo la distanza necessaria al velivolo, che parte da fermo, per il superamento di un ostacolo alto 15 metri posto al termine della pista.

Il decollo può essere diviso in 3 fasi:

- **Fase di rullaggio:** l'aereo parte da fermo in corrispondenza della testata della pista, percorre un tratto della stessa fino a raggiungere la velocità di rotazione  $V_R$ , maggiore di quella di decisione  $V_1$ <sup>52</sup>

---

<sup>52</sup> La velocità di decisione è quella velocità entro la quale il pilota può decidere di abortire il decollo, superata questa velocità può essere pericoloso arrestare il decollo, in quanto la

- **Fase di manovra:** l'aereo prosegue la sua corsa in accelerazione sulla pista, appoggiando solo i pneumatici del carrello posteriore, fino a raggiungere la portanza massima. Al termine di questa fase si avvia il distacco dal suolo alla velocità  $V_L$  (per ragioni di sicurezza  $V_L \approx 1.2 V_S$  essendo  $V_S$  la velocità di stallo, cioè la velocità al di sotto della quale non si ha la portanza necessaria a garantire la completa sustentazione del velivolo)
- **Fase di salita:** l'aereo si stacca dalla pista ed inizia la traiettoria di involo in modo da raggiungere, al termine della pista, un'altezza minima pari a 10.70 m (35 ft) rispetto al piano della pista. Successivamente inizia la traiettoria di decollo alla velocità  $V_2$  (*initial climb-out speed*), che rappresenta la velocità minima alla quale il pilota può salire.

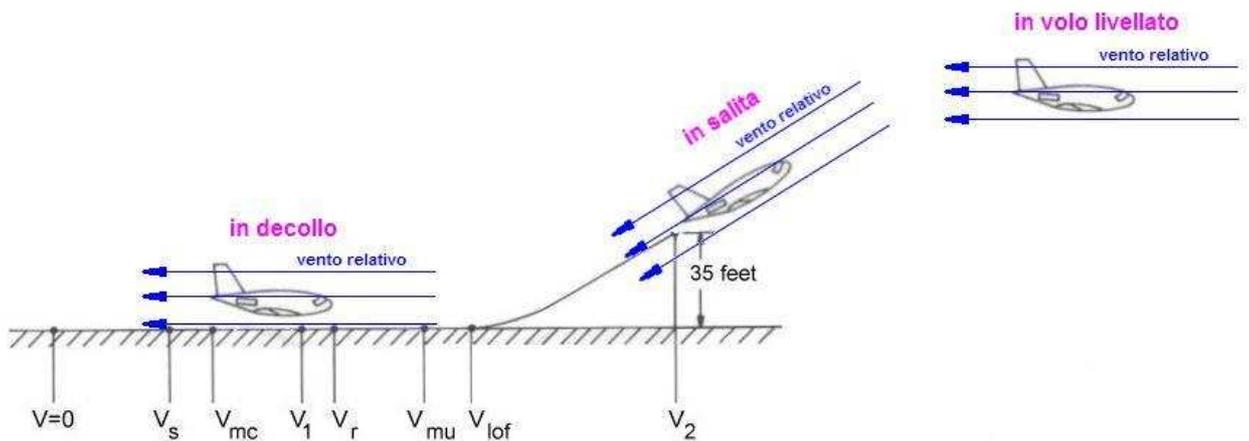


Figura 33: Fasi del decollo e relative velocità

Le **SID** (*Standard Instrument Departure*) sono rotte di partenza dagli aeroporti, istituite nelle zone di controllo per separare il traffico strumentale in decollo dagli ostacoli sottostanti durante la salita iniziale.

Le SID rendono più scorrevole il flusso del traffico aereo, evitano la congestione delle frequenze del servizio di controllo del traffico aereo e

---

lunghezza della pista potrebbe risultare insufficiente. E' riportata sui manuali di impiego dei singoli velivoli, redatti dalla casa costruttrice

terminano sulla prima radioassistenza dislocata in rotta; nella costruzione di una SID si tiene conto degli ostacoli fisici presenti attorno all'aeroporto, delle restrizioni dello spazio aereo, dei centri abitati e delle normative antirumore.

Ogni SID è identificata dal nome della radioassistenza sulla quale essa termina, da un numero, da una lettera e dalla parola *departure*.

Le SID indicano la rotta da mantenere, riferita alle radioassistenze, le quote minime per avere le dovute separazioni dagli ostacoli e per rispettare le eventuali restrizioni ed i livelli minimi di attraversamento che garantiscono la separazione dal più alto ostacolo presente nel raggio di 5 Nm.

Con atterraggio si intende l'insieme delle fasi di volo che consentono, in condizioni di sicurezza, di portare il velivolo da una condizione di volo sostenuto in aria alla condizione di contatto col suolo a velocità nulla.

In particolare la manovra di atterraggio inizia quando il velivolo si trova ad una quota posta convenzionalmente a 15.24 m (50 ft) al di sopra della pista di atterraggio per terminare con l'aereo fermo sulla pista. Può essere schematizzata in 4 step successivi:

- La prima fase, conosciuta come **volo librato** (o planato), è una fase eseguita dal velivolo con poca o addirittura nulla spinta dei motori, che si conclude quando l'aeromobile è situato alla quota convenzionale di 50 ft
- Nella **fase di raddrizzamento** il velivolo si pone in posizione orizzontale ad 1 metro dal terreno
- La fase di *flare-out* prevede una riduzione graduale della velocità, ciò crea un repentino decremento della portanza, così quando questa diviene uguale o inferiore al peso dell'aereo avviene il cosiddetto *touch-down*
- Dopo la toccata ha inizio la quarta e ultima fase, conosciuta come **corsa di atterraggio**, nella quale il velivolo si muove lungo una

direzione retta a velocità gradualmente decrescente, fino a che esso è portato ad una completa stasi.

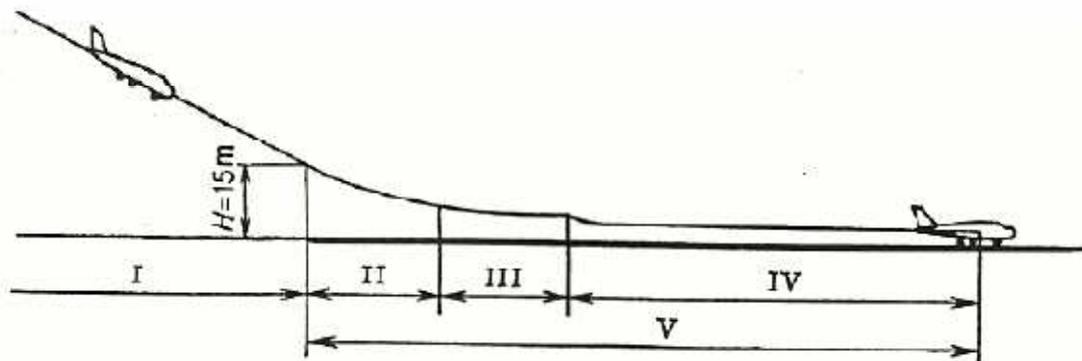


Figura 34: Fasi componenti la manovra di atterraggio: I Discesa; II Raddrizzamento; III Flare-out; IV Corsa di atterraggio; V Distanza di atterraggio

Le **STAR** (*Standard Terminal Arrival Routes*) sono rotte di arrivo negli aeroporti, così come le SID le STAR sono state istituite per separare il traffico strumentale in arrivo dagli ostacoli sottostanti durante la discesa finale.

Le STAR iniziano sull'ultima radioassistenza dislocata in rotta e terminano sul FAF (*Final Approach Fix*) dal quale ha inizio la procedura strumentale di avvicinamento (*Instrumental Landing System ILS*).

L'**ILS** è un sistema di ausili che consente al pilota di atterrare in perfetto allineamento con la pista, lungo un sentiero di discesa ideale, entro ampi limiti di sicurezza anche in condizioni di visibilità scarsa o nulla. I componenti di un ILS sono:

- Localizzatore (*localizer*), che genera due segnali modulati su due frequenze diverse (dette area gialla e area blu) che si intersecano in corrispondenza dell'asse della pista, creando l'allineamento ottimale. L'aereo riceve questi segnali con un ricevitore che presenta un ago detto Track Bar o TB, il quale viene azionato dal localizer tramite questa coppia di segnali.

Quando l'aereo è allineato con il prolungamento della centerline, il ricevitore capta i due segnali con la stessa intensità e pertanto il TB risulterà perfettamente allineato al centro dello strumento stesso.



Figura 35: Funzionamento del localizer di un sistema ILS

- *Glide slope* (o trasmettitore del sentiero di discesa) fornisce al pilota la cosiddetta guida verticale, i segnali sono forniti da un trasmettitore di terra UHF e sono allineati uno sopra l'altro e si vengono a sovrapporre nella parte centrale che è l'area del sentiero di discesa.

L'ampiezza dell'area di sovrapposizione è pari a  $1.4^\circ$  con un'escursione quindi di  $0.7^\circ$  sopra il sentiero ottimale e  $0.7^\circ$  sotto lo stesso. Ovviamente la pendenza del sentiero può variare a seconda della conformazione del suolo e degli ostacoli a terra, in genere una pendenza del sentiero può oscillare da  $2.5^\circ$  a  $3^\circ$  a seconda dei casi.

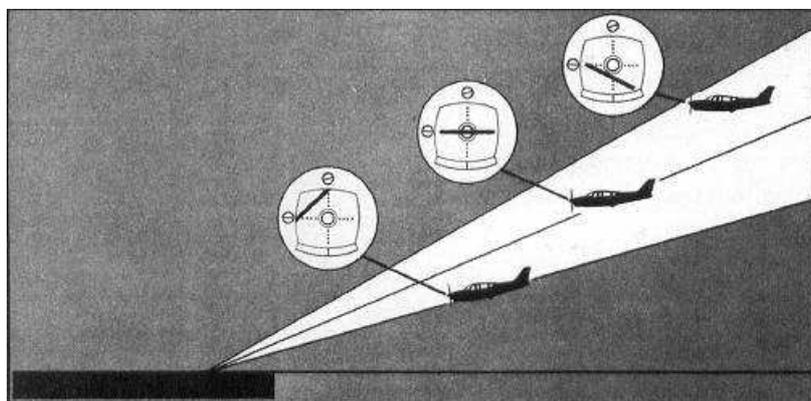


Figura 36: Funzionamento del glide slope

- *Markers*, forniscono al pilota informazioni riguardanti la distanza dalla soglia pista identificando dei determinati punti lungo il tratto finale di avvicinamento.

L'*Outer Marker* (OM) o marker esterno, è posto ad una distanza dalla soglia pista che può variare da 3.5 NM a 6 NM, fornisce al

pilota l'indicazione del punto sulla rotta di avvicinamento in cui si intercetta il GS e quindi il punto iniziale del segmento finale dell'avvicinamento.

Il *Middle Marker* (MM) o marker medio, è localizzato approssimativamente da 0.5 a 0.8 NM dalla soglia pista sul prolungamento della centerline.

L'*Inner Marker* (IM) è invece posto in genere in prossimità della soglia pista.

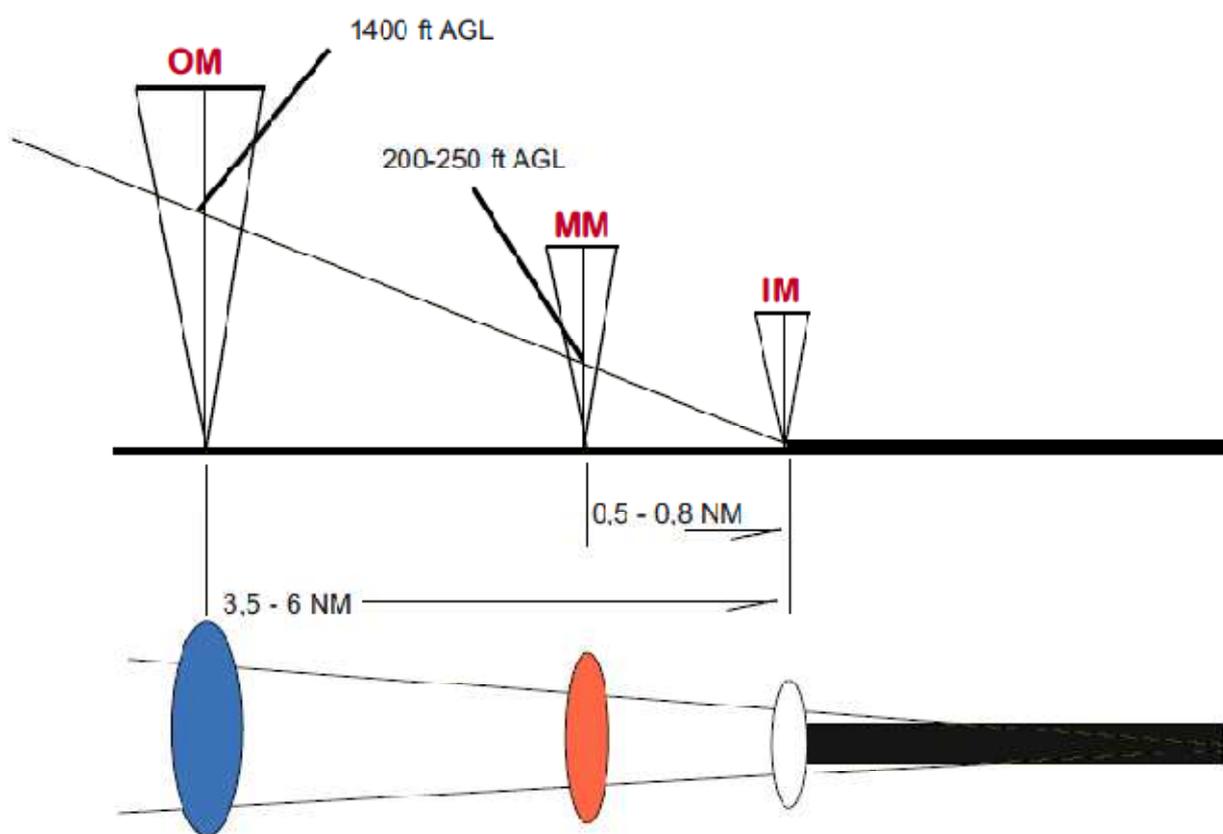


Figura 37: Il sistema dei markers

- Dispositivi di illuminazione del tratto finale di discesa chiamato ALS (*Approach Lighting System*), sono di grande ausilio in condizioni di scarsa visibilità dovuta alle condizioni meteo o durante le ore notturne

Queste componenti consentono di allineare l'aereo con la pista, percorrere la linea di planata ideale e conoscere istantaneamente la distanza tra aereo e pista.

Gli impianti ILS vengono classificati in categorie, a seconda delle capacità che possiedono le apparecchiature installate a terra. In funzione della distanza di visibilità (RVR) e della quota (DH) a cui è obbligatorio vedere la pista ad occhio nudo per effettuare l'atterraggio. Migliore è la qualità, superiore sarà la categoria.

	CAT I	CAT II	CAT IIIA	CAT IIIB	CAT IIIC
RVR	800 mt	400 mt	200 mt	50 mt	0 mt
DH	200 ft	100 ft	0 ft	0 ft	0 ft

Figura 38: Categorie dell'ILS

## 2. NAP

Le *Noise Abatement Procedures* sono secondo l'ICAO<sup>53</sup> uno dei pilastri portanti dell'approccio equilibrato, ciò implicata la necessità di continuare a sviluppare e ottimizzare queste procedure per poter minimizzare l'impatto acustico dell'aviazione civile. Queste misure di mitigazione possono essere implementate con le attuali flotte di velivoli e hanno il potenziale per giungere a immediati risultati sia dal punto di vista dell'inquinamento acustico che nelle emissioni di sostanze inquinanti e nel risparmio del carburante, un altro motivo per cui ci si deve concentrare su questo tipo di interventi è per aumentare la consapevolezza di tutte le parti coinvolte, dagli enti gestori degli aeroporti, alle compagnie aeree, alle comunità circostanti le piste di volo.

---

<sup>53</sup> *Review of Noise Abatement Procedure Research & Development and Implementation Results*, ICAO 2007

In seguito ai numerosi studi condotti dall'ICAO i benefici che deriverebbero dall'uso delle NAP sono quantificabili in:

- da 3 a 12 dB in meno e dall'8 al 36% di riduzione dell'impronta acustica, nella fase di avvicinamento
- da 2 a 9 dB in meno e dal 23 al 42% di riduzione dell'impronta acustica, nella fase di decollo
- fino al 35% di riduzione nelle emissioni di CO<sub>2</sub>, idrocarburi e NO<sub>x</sub> e da 20 a 450 kg di carburante risparmiato in fase di atterraggio
- da 90 a 630 kg di CO<sub>2</sub> e da 25 a 200 kg di carburante in meno per decollo

Le procedure operative che analizzeremo possono essere suddivise in due categorie:

**1. *Noise Abatement Arrival Procedures (NAAP)***

- Continuous Descent Approach (CDA)
- Three Degree Decelerating Approaches (TDDA)
- Low Drag Low Power approaches (LDLP)
- Aumentare l'altezza a cui si intercetta il segnale ILS
- Maggior pendenza del sentiero ILS

**2. *Noise Abatement Departure Procedures (NADP)***

- ICAO-A
- ICAO-B

**2.1. Continuous Descent Approach (CDA)**

Le procedure di avvicinamento convenzionali prevedono dei segmenti di volo orizzontale, intervallati da tratti in cui l'aeromobile si abbassa di quota fino ad incontrare il sentiero ideale definito dall'ILS. Questo tipo di manovra necessita di una grande spinta dei motori, ciò produce un forte rumore e molto inquinamento.

La procedura CDA è stata progettata per ridurre il rumore al suolo, l'uso di carburante e le emissioni attraverso una maggior quota di volo, un utilizzo

dei motori a più bassi regimi e una configurazione del velivolo che garantisca una minor resistenza aerodinamica.

## Continuous Descent Approach

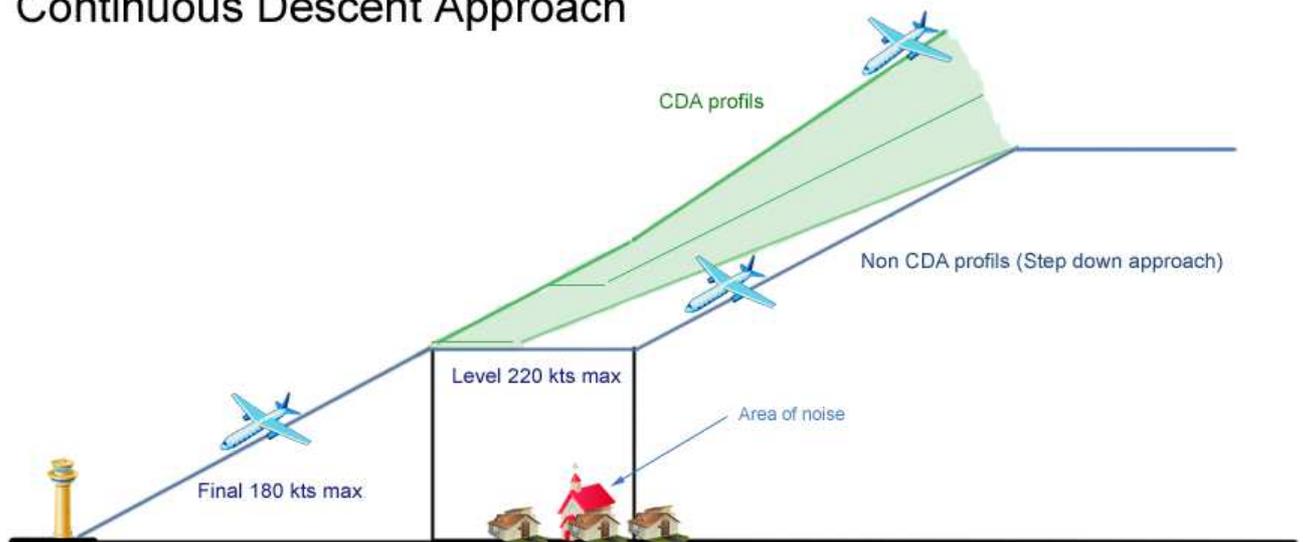
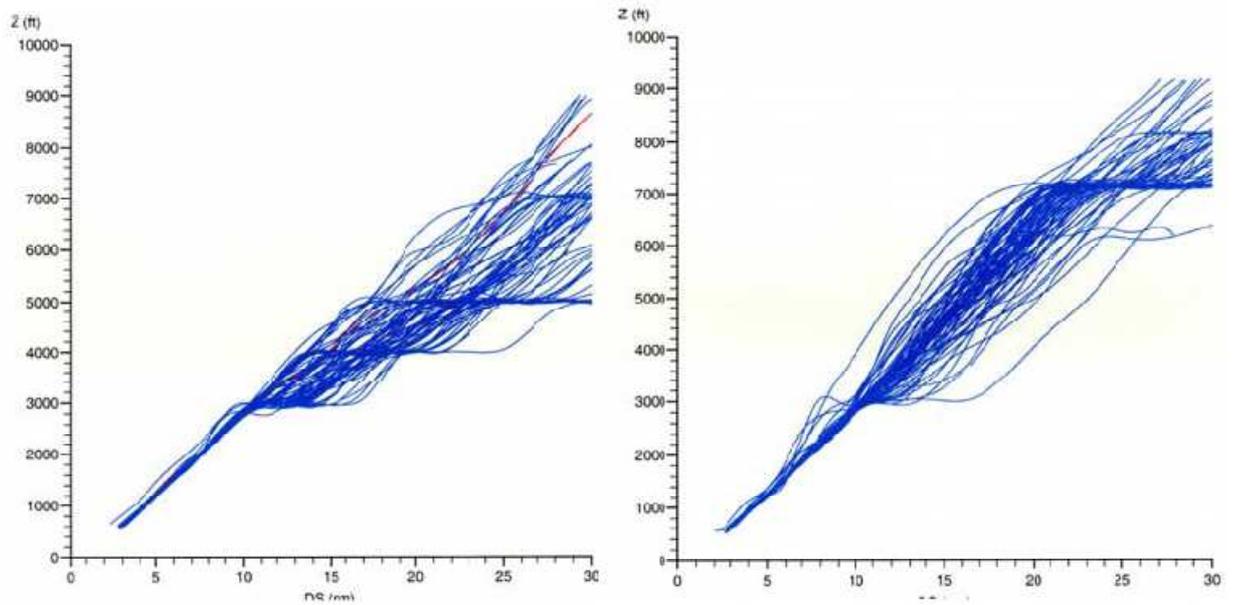


Figura 39: Profilo di una CDA

Il profilo verticale ottimale ha la forma di un sentiero di discesa continuo con un'unica variazione di pendenza nel tratto finale, dove l'aereo deve rallentare e configurarsi per l'atterraggio. L'inclinazione attualmente non è fissata ma dipende da numerose variabili, come la tipologia di aeromobile, il suo peso, il vento, la temperatura dell'aria, la pressione atmosferica e altre variabili dinamiche.

Prima di intercettare il tratto di avvicinamento finale l'aereo deve estendere i flaps, gli slats e estrarre il carrello.



**Figura 40: Tracciati di volo di un avvicinamento tradizionale a sinistra e di uno con CDA a destra**

Con le attuali tecnologie sono possibili due diverse tipologie di CDA, una in cui viene fissato il profilo della velocità di discesa, lasciando al pilota la gestione del profilo verticale, e una in cui i parametri fissi sono quelli relativi al profilo verticale.

Queste procedure riducono significativamente il rumore durante l'avvicinamento ma hanno anche un aspetto negativo che riguarda le operazioni di gestione del traffico e la capacità dell'aeroporto; ciò a causa della maggior separazione richiesta tra due aerei che utilizzano la stessa procedura.

Un altro aspetto negativo della CDA è che una volta che la discesa coi motori al minimo è iniziata è poi più difficoltoso reagire alle istruzioni degli addetti al controllo del traffico. Alla luce di questi aspetti negativi, molti grandi aeroporti che utilizzano la CDA hanno deciso di impiegarla solamente nei periodi di minor traffico, soprattutto nelle operazioni notturne.

Uno dei primi aeroporti a livello europeo ad utilizzare la CDA è stato lo Schiphol di Amsterdam dove è stata proposta anche una versione avanzata della CDA.

## Il caso dello Schiphol di Amsterdam<sup>54</sup>

L'aeroporto di Amsterdam Schiphol è il quarto a livello europeo per traffico passeggeri e cargo, si trova a sud della città ed è circondato da numerose comunità, spaziando dalla capitale a piccole cittadine. Attualmente possiede 6 piste con altrettanti sistemi ILS e dal 2000 è stato installato anche il sistema MLS (*Microwave Landing System*, un sistema di supporto all'atterraggio che differisce dall'ILS per il tipo di tecnologia utilizzata e che consente l'atterraggio con angolazioni maggiori e maggior traffico).

Sin dal novembre 1996 sono state imposte delle limitazioni dal governo olandese alle operazioni di arrivo e partenza per lo Schiphol, è stata definita un'area di rispetto del rumore attorno all'aeroporto, tuttavia a causa della grande crescita di traffico il rispetto del contorno acustico definito dal governo è a forte rischio.

Per questo motivo dallo stesso anno è iniziata la sperimentazione sulla CDA.

Gli aeromobili arrivano da uno dei 3 *Initial Approach Fixes* (IAF): ARTIP, SUGOL o RIVER al FL<sup>55</sup> 70 per un avvicinamento alla pista 06. La CDA inizia, per ognuna delle 3 direzioni di arrivo, a 27 NM dalla pista. Quando il pilota è pronto inizia a scendere dal FL 70 in modo da che il segnale ILS venga intercettato a 760 m (2500 ft) con i motori al minimo o quasi.

La procedura è possibile sia per gli aerei equipaggiati col sistema RNAV che quelli sprovvisti.

Gli studi però hanno dimostrato come, per poter mantenere una distanza di sicurezza tra due velivoli, l'intervallo di atterraggio sia passato da 1.8 a 4 minuti.

Dalle registrazioni delle tracce verticali e laterali dei voli, si può notare come non ci sia un'unica rotta, specialmente nel piano verticale, prima di

---

<sup>54</sup> *Research on noise abatement procedures*, L.J.J. Erkelens 1997

<sup>55</sup> FL = Flight Level, un livello di volo rappresenta, idealmente, una superficie a pressione costante computata a partire da quella standard di riferimento (1013.2 hPa) corrispondente al suolo medio. I FL sono indicati dividendo la quota corrispondente in piedi per 100 (così FL 70 corrisponde a 7000 piedi ovvero 2130 metri)

intercettare il sentiero ILS. Questo a causa delle diverse strumentazioni degli aerei e delle diverse condizioni (del velivolo e meteorologiche). A causa di questa incertezza nella distribuzione dei sentieri di discesa, per aumentare la sicurezza l'intervallo di atterraggio è maggiore di 4 minuti, questo però consente l'utilizzo della CDA nelle sole ore notturne, quando cioè il traffico è molto basso.

Per migliorare la CDA, è iniziato un progetto di ricerca condotto dall'NLR (*National Aerospace Laboratory*) sull'*Advanced Continuous Descent Approach*.

L'ACDA permette agli aerei, dopo aver superato l'IAF, di iniziare una discesa costante verso la pista lungo un percorso curvilineo a guida sia laterale che verticale.

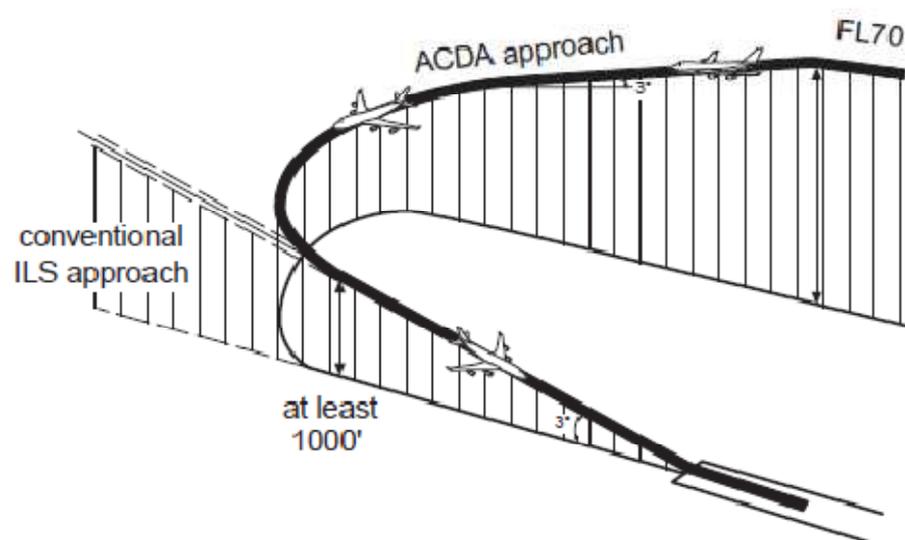


Figura 41: Profilo della ACDA

Il sentiero di avvicinamento curvo, così come prospettato nell'ACDA, si compone di segmenti retti e circolari.

Un sentiero di discesa ad inclinazione costante (normalmente 3°) è mantenuto lungo tutto l'avvicinamento, comprese le virate; la posizione dell'aereo è definita da 3 parametri:

- *Along Track Distance* (ATD), la distanza dell'aereo dalla soglia della pista, misurata lungo il sentiero predefinito; fornisce dati sul volo in avvicinamento in maniera simile al DME

- *Cross Track Deviation* (CTD), fornisce la deviazione orizzontale dal sentiero
- *Vertical Track Deviation* (VTD), fornisce la deviazione sulla verticale dal sentiero

Per percorrere correttamente i tratti curvilinei, durante le virate viene inviato un segnale al computer di bordo che controlla il rollio e vengono fornite le distanze di inizio e fine virata.

Se comparata con le attuali procedure, i vantaggi economici e ambientali della ACDA sono:

- sostanziale riduzione del rumore sulle comunità, grazie a:
  - a) Maggior altitudine durante la maggior parte dell'avvicinamento
  - b) Motori che girano a regimi più bassi e configurazione “pulita” del velivolo
  - c) Maggior flessibilità nella definizione (laterale) della geometria del sentiero di avvicinamento grazie alla traiettoria curvilinea. Questo permette agli addetti di progettare rotte distanti dalle aree abitate e aumenta la sicurezza in volo
- Minori emissioni, poiché si applica una configurazione “pulita”
- Maggior risparmio di carburante rispetto agli avvicinamenti standard
- Riduzione della durata della fase di avvicinamento

I risultati di questo studio sull'ACDA mostrano che la configurazione “pulita” è mantenuta finché il carrello di atterraggio non viene esteso, mentre nell'approccio tradizionale la potenza dev'essere aumentata anticipatamente durante la medesima fase.

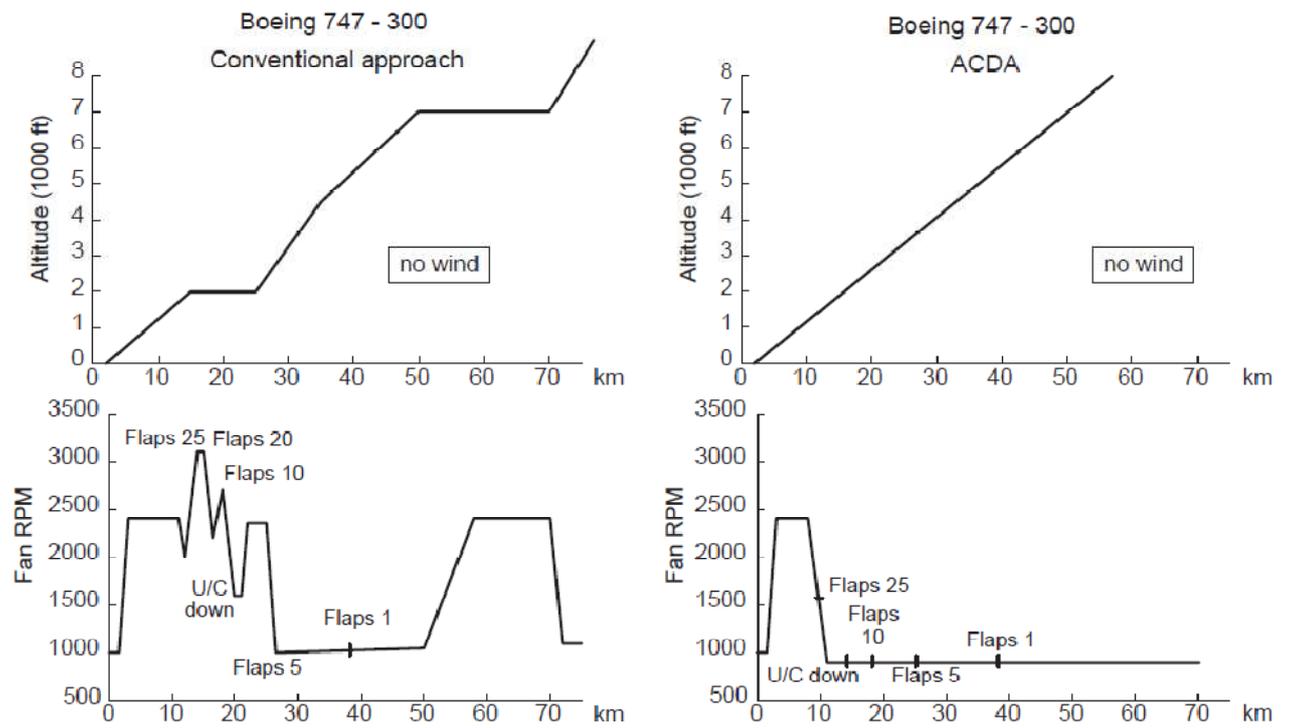


Figura 42: Confronto tra un avvicinamento tradizionale e uno con ACDA per un Boeing 747-300, i grafici superiori mostrano la differenza dei profili altimetrici mentre quelli inferiori le condizioni di utilizzo dei motori

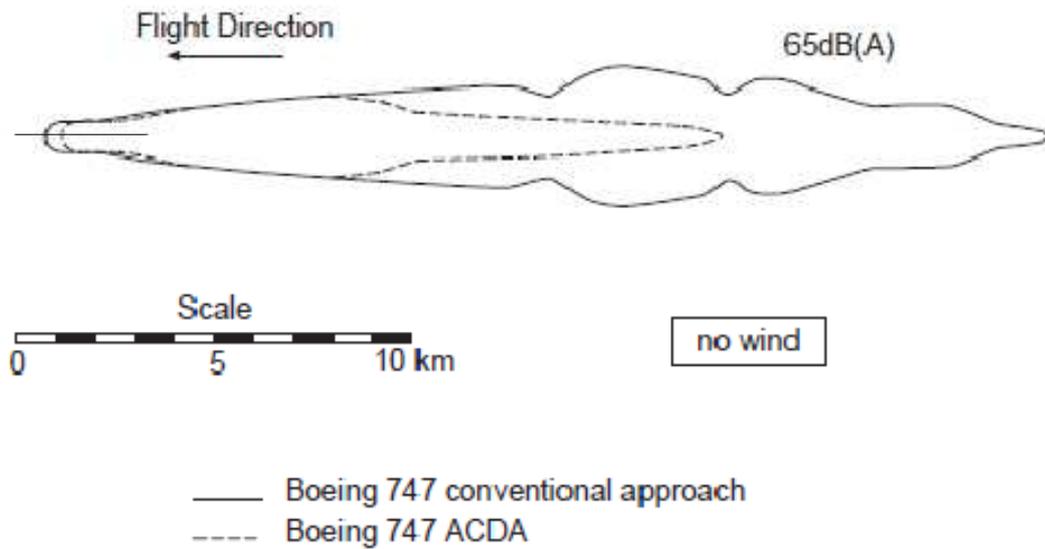


Figura 43: Impronte acustiche [65 dB(A)] di un Boeing 747 per un approccio standard e un ACDA

## 2.2. Three Degree Decelerating Approach

La TDDA è una procedura di avvicinamento caratterizzata da un profilo rettilineo con un angolo di discesa costante e pari a  $3^\circ$ , la procedura inizia quando l'aereo intercetta il prefissato sentiero di discesa ad un'altezza (circa 7000-10000 ft pari a 2000-3000 metri), ben al di sopra della quota a cui viene intercettato il sentiero dell'ILS. Inizialmente il velivolo mantiene una velocità costante.

La TDDA risolverebbe anche alcuni problemi di capacità che invece sorgono con la CDA, infatti nella tecnica vista nel paragrafo precedente la scarsa prevedibilità delle traiettorie possibili porta a un maggior intervallo tra gli arrivi, la soluzione proposta nella TDDA e studiata da Clarke e Ren<sup>56</sup> prevede di trasferire la responsabilità della spaziatura tra gli arrivi ai piloti, così facendo la capacità dell'aeroporto risulterebbe inferiore del solo 2% rispetto alle procedure tradizionali.

Per ottenere la giusta distanza tra due arrivi è necessario controllare la fase di discesa, la TDDA da al pilota due tipi di controlli, il primo è l'altitudine a cui effettuare la riduzione di spinta dei motori e quindi la riduzione di velocità, aumentando l'altezza la discesa risulta più lenta. Il secondo tipo di controllo è la configurazione dei flap una volta ridotta la spinta, quando l'aereo comincia a rallentare, agendo sui flap, si può controllare la decelerazione lungo il sentiero di discesa.

In questo modo, oltre a ridurre i problemi di capacità e la dispersione delle tracce degli aeromobili, si rende più accettabile ai piloti l'utilizzo delle procedure alternative poiché il carico di lavoro è inferiore a quello di una CDA.

## 2.3. Low Drag Low Power Approach (LDLP)

Attualmente questa tecnica è molto diffusa e guida il velivolo in configurazione "pulita" (con flap e slat retratti) e col carrello non ancora

---

<sup>56</sup> *Achieving low approach noise without sacrificing capacity*, L. Ren e J.P. Clarke, Digital Avionics System Conference 2003

estratto per il maggior tempo possibile. Il rumore aerodinamico prodotto da questi elementi è fortemente ridotto, anche se l'aereo deve necessariamente volare a velocità maggiori e questo aumenta il rumore aerodinamico anche se in misura minore.

L'estensione del carrello di atterraggio è una delle maggiori fonti di rumore perché, oltre al rumore di forma, l'aumento di attrito deve essere compensato con una maggiore spinta del motore.

La LDLP porta con sé meno complicazioni alla capacità dell'aeroporto e alla gestione del traffico aereo rispetto alla CDA; tuttavia, la configurazione dei flap durante l'avvicinamento finale comporta una maggiore velocità finale, che in alcuni casi, può portare ad un maggior tempo di occupazione della pista.

Il *Low Drag Low Power Approach* è stato studiato nell'ambito del progetto europeo Sourdine II e applicato all'aeroporto di Vienna<sup>57</sup>.

#### **2.4. Maggior pendenza del sentiero ILS e maggiore altezza cui il segnale è intercettato**

L'angolo con cui il sentiero ILS viene intercettato è solitamente 3° e, secondo il documento ICAO che ne regola l'utilizzo<sup>58</sup>, l'angolo massimo è 3.5° per una CAT-I e rimane 3° per CAT-II o CAT-III.

Tuttavia in casi eccezionali questo angolo può essere aumentato, come ad esempio nel caso del London City Airport. La ragione principale per aumentare queste pendenze è in genere il permettere la necessaria distanza dagli ostacoli nel segmento dell'avvicinamento finale, tuttavia la potenziale riduzione del rumore rimane un effetto collaterale di queste procedure.

Un grosso svantaggio di questa tecnica di avvicinamento è dovuto al fatto che richiede uno speciale addestramento dell'equipaggio e una specifica certificazione dell'aereo che la utilizza.

---

<sup>57</sup> *Study of Optimisation Procedures for Decreasing the Impact of Noise*, 2003, Report D9-1

<sup>58</sup> *Procedures for air navigation services-aircraft operations (PAN-OPS) – volume II, constructions of visual and instrument flight procedures*, ICAO 2006, Doc 8168

Evidentemente una maggiore inclinazione del sentiero di discesa dell'ILS può migliorare la situazione acustica delle popolazioni al di sotto del tracciato grazie ad una maggior distanza dalla fonte del rumore, inoltre il corridoio ad alta intensità sonora potrebbe aumentare grazie ad una minore dispersione laterale delle rotte portando ad una maggior concentrazione delle tracce acustiche.

Oltre ad aumentare la pendenza si può procedere con innalzare la quota alla quale un aeromobile intercetta il segnale dell'ILS, in genere questo segnale è captato ad un'altezza variabile dai 2000 ai 3000 ft (circa 600-900 m). Aumentando questa quota si mantiene una distanza maggiore tra l'aereo e il terreno in una fase in cui la spinta dei motori è ancora elevata. Questa procedura non influenza la capacità degli aeroporti, sebbene comporti un maggior carico di lavoro per gli operatori addetti al controllo del traffico aereo in quanto devono seguire ogni aeromobile per un tempo maggiore.

## **2.5. Noise Abatement Departure Procedure ICAO-A e ICAO-B**

Per quanto riguarda la fase di decollo, le procedure più utilizzate sono le *Noise Abatement Departure Procedures* (NADP) definite dall'ICAO<sup>59</sup> e conosciute come ICAO-A e ICAO-B.

La procedura A è stata pensata per salvaguardare le aree abitate localizzate nelle vicinanze di un aeroporto, mentre la B quelle lontane.

Ogni procedura specifica il profilo delle velocità che dovrebbe essere mantenuto durante la salita iniziale così come le quote alle quali effettuare la riduzione della spinta. La differenza sostanziale tra le due procedure è che la ICAO-A dà maggiore importanza a salire il più velocemente possibile e successivamente accelerare e guadagnare velocità, mentre la ICAO-B implica prima la fase di accelerazione e poi di salita.

---

<sup>59</sup> *Procedures for air navigation services-aircraft operations (PAN-OPS) – volume I, flight procedures*, ICAO 2006, Doc 8168

Il problema principale di queste metodologie di riduzione dell'inquinamento acustico è che sono generiche e quindi non riescono a risolvere le esigenze specifiche di cui può soffrire ogni aeroporto. Ad esempio non tengono conto dell'effettiva distribuzione della popolazione nell'intorno dell'aeroporto, questo è dovuto a diversi fattori, come l'impossibilità di definire una procedura generica che tenga conto degli specifici problemi di carattere ambientale, di gestione del traffico, di vincoli della capacità e soprattutto delle varie tecnologie a bordo di ogni singolo aereo.

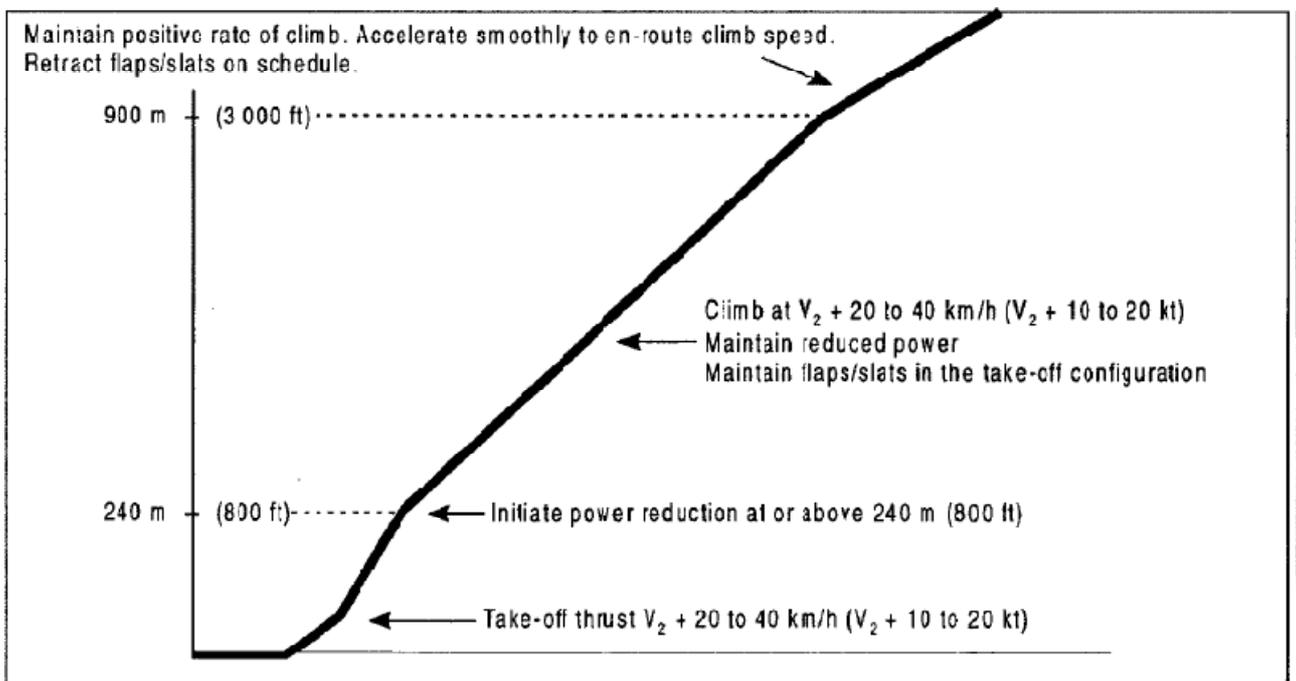


Figura 44: Procedura ICAO-A

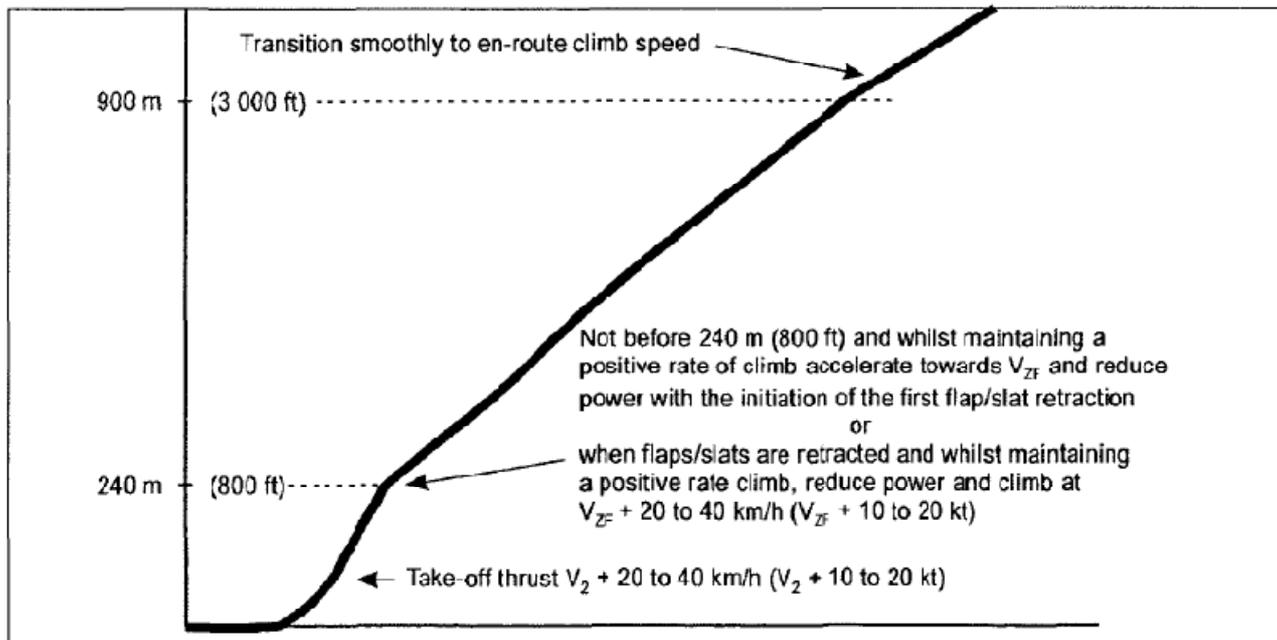


Figura 45: Procedura ICAO-B

Fase	Impostazioni principali	ICAO A	ICAO B
Dal decollo alla quota stabilita		1500 ft AGL	1000 ft AGL
	Potenza	Decollo	Decollo
	Flap	Come decollo	Come decollo
	Velocità	$V_2+10 \div 20$ nodi	$V_2+10 \div 20$ nodi
Alla quota stabilita		1500 ft AGL	1000 ft AGL
	Potenza	Ridurre a potenza di salita	Decollo
	Flap	Come decollo	Iniziare retrazione
	Velocità	$V_2+10 \div 20$ nodi	Accelerare a $V_{ZF}$
Salita dalla quota stabilita a 3000 ft		Da 1500 a 3000 ft AGL	Da 1000 a 3000 ft AGL
	Potenza	Di salita	Di salita
	Flap	Come decollo	retratti
	Velocità	$V_2+10 \div 20$ nodi	$V_{ZF} + 10$ nodi
A 3000 ft			
	Potenza	Di salita	Di salita
	Flap	Iniziare retrazione	retratti
	Velocità	Accelerare a velocità di salita in rotta	Accelerare a velocità di salita in rotta

Figura 46: Differenti configurazioni e velocità delle due procedure

### **3. Noise Preferential Runway**

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.

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 dall'intensità del vento lo consentano.

Ad esempio nell'ambito del progetto "*Fly Quiet Program*" adottato dall'aeroporto di San Francisco, durante le ore notturne si tende a massimizzare gli arrivi e le partenze da quelle piste che portano a sorvolare la baia piuttosto che i centri abitati. Questo è possibile solo in caso di condizioni meteorologiche favorevoli e con condizioni di traffico limitato.

### **4. Minimum Noise Routings**

Le rotte preferenziali di partenza (SID) devono essere scelte in modo da evitare il sorvolo delle aree più densamente abitate; tali scelte però implicano inevitabilmente un maggior rumore dovuto ai sorvoli di aeromobili su aree meno densamente abitate.

In merito a questa tecnica per ridurre il rumore aeronautico, nel prossimo capitolo si prenderà in esame il caso specifico dell'aeroporto G. Marconi di Bologna e la valutazione dell'impatto acustico conseguente l'introduzione di una nuova procedura di salita iniziale per i decolli dalla pista 12.

## *CAPITOLO QUINTO*

### **IL CASO DELL'AEROPORTO G. MARCONI DI BOLOGNA**

In questo capitolo viene analizzata l'attuale situazione dell'aeroporto G. Marconi di Bologna, il quale ha approntato una procedura di salita iniziale dalla pista 12 in modo da ridurre l'inquinamento acustico su una ben precisa area abitata sottostante.

#### **1. L'aeroporto**

La storia dell'aeroporto di Bologna, intitolato al fisico e inventore Guglielmo Marconi, ha le sue radici nell'Aero Club Bologna agli inizi degli anni '20 con funzioni di addestramento dei piloti, nel corso degli anni '30 viene formato un vero e proprio campo di aviazione. Intanto, dal 1933, si organizzano voli commerciali con direttrice Milano-Bologna-Rimini andata e ritorno.

Nel periodo che precede la seconda Guerra Mondiale l'aeroporto diventa militare, intitolato a Fausto Pesci, ma si inaugura anche la linea commerciale Bologna-Roma, successivamente vengono coperte altre direttrici verso Milano, Ancona, Bari, Venezia e l'Albania.

Ma l'aviazione bolognese, e l'aeroporto, scompaiono dopo la guerra in conseguenza dei gravi danni subiti durante il conflitto, e per circa quindici anni Bologna svanisce dalle rotte aeree malgrado l'importanza della città.

Finalmente, nel 1961, la Camera di Commercio di Bologna e l'Aeroclub si attivano per l'apertura dello scalo civile, e di intesa con categorie economiche e Enti Pubblici nasce la società Aeroporto civile di Bologna insieme al progetto di realizzazione del nuovo scalo, l'anno successivo venne realizzata una pista di 1200 metri, larga 45, una pista di rullaggio larga 23 mentre la torre di controllo era una vecchia costruzione di origine bellica, caduta poi di stenti negli anni '90.

L'aeroporto vide uno sviluppo abbastanza rapido già tra la fine degli anni '60 ed i primi anni '70, la pista iniziò ad essere allungata sequenzialmente

prima a 1500 e poi a 1800 metri, nel 1978 l'aeroporto viene intitolato a Guglielmo Marconi e nello stesso anno entra Alitalia con il lancio di due collegamenti internazionali per Parigi e Francoforte, nel 1980 è il turno di British Airways.

Negli anni '80 inizia il vero e proprio boom dello scalo, la pista viene allungata a 2450 metri, viene inaugurato il collegamento Bologna-New York e nel 1986 atterrano perfino i Concorde di Air France e British Airways; in quegli anni l'ILS passa in Cat. 2.

E' solo nel 1990 che Bologna beneficia della prima deregulation, quella comunitaria, che porta numerosi vettori di punta (come Air France, KLM, Lufthansa) a programmare rotte su questo scalo.

Nel 2004 SAB ha effettuato delle modifiche infrastrutturali, quali l'allungamento della pista e l'introduzione di un'area di attesa. L'allungamento è stato effettuato lato ovest ed è pari a 350m, in totale l'aeroporto è attualmente dotato di una pista di 2800m, la costruzione è durata due mesi ed ha comportato l'interrimento della ferrovia.

La nuova pista ha permesso lo sviluppo del traffico a lungo raggio con collegamenti intercontinentali fino a 5000 miglia nautiche e costituisce beneficio dal punto di vista del rumore.

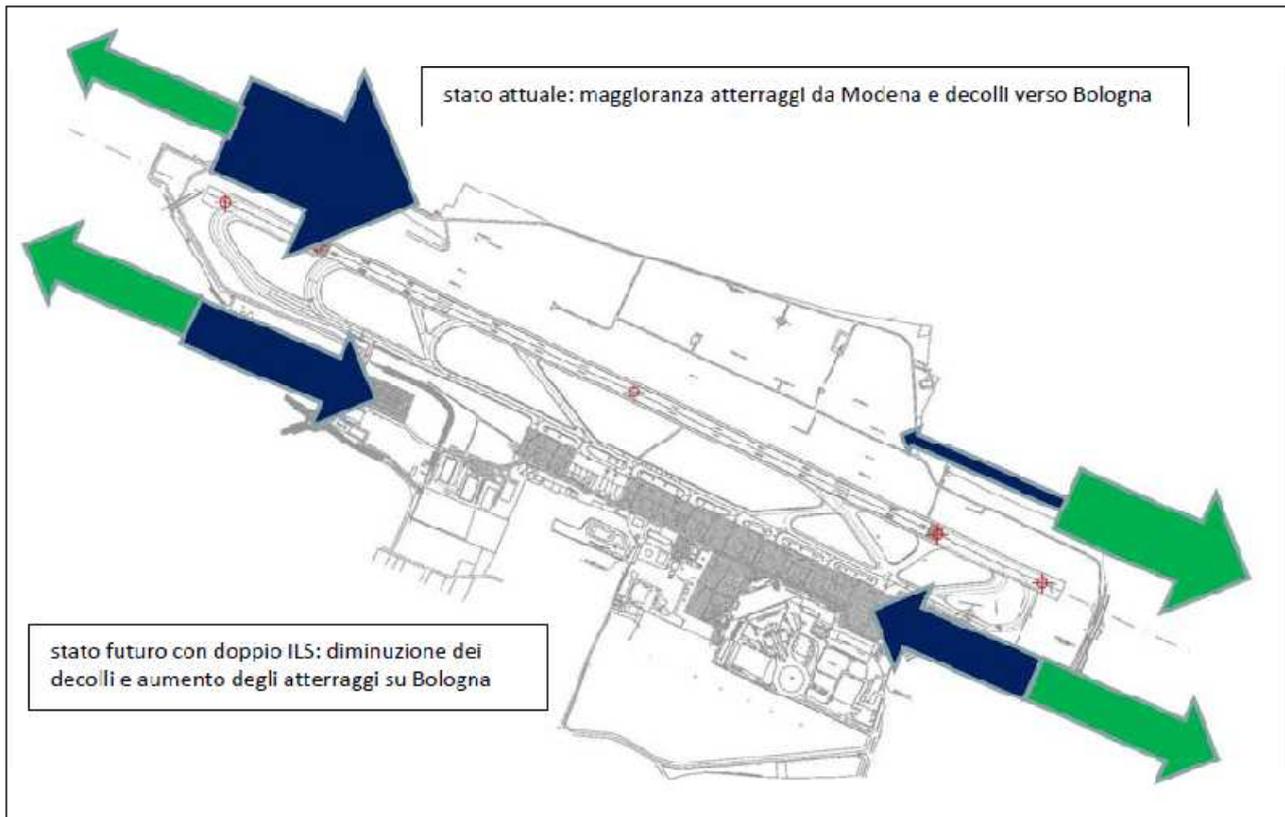
Attualmente l'aeroporto di Bologna è il principale scalo dell'Emilia-Romagna, oltre ad essere uno dei principali aeroporti del nord Italia, nel 2011 è stato registrato un numero di movimenti di poco inferiore a 70.000 e un numero di passeggeri quasi pari a 6.000.000. Nel 2013 con 6.193.783 di passeggeri e 33.555.947 tonnellate di merci è risultato essere uno dei pochi aeroporti italiani ad avere un trend positivo rispetto al 2012. Nel 2009 è stato insignito dell'*ACI Europe Best Airport Reward* nella categoria aeroporti da 1 a 5 milioni di passeggeri.

E' composto da due terminal, il Terminal principale e il Terminal Est; è dotato di un'unica pista, con una lunghezza pari a 2800 m e una larghezza di 45 m. Essa è orientata a 123° o a 303°, a seconda della direzione di utilizzo. Le sigle riportate sulle due testate sono rispettivamente 12 e 30 e

rappresentano l'angolo misurato in senso orario ed espresso in decine compreso tra il nord magnetico e la direzione dell'asse della pista.

Sia la pista 12 che la 30 utilizzano il sistema PAPI (*Precision Approach Path Indicator*), è un sistema costituito da 4 luci bicromatiche poste a lato pista che permette di mantenere la corretta altitudine nel sentiero di discesa agli aeromobili durante la fase di avvicinamento e atterraggio su una pista. Presso l'aeroporto di Bologna è stato implementato il sistema strumentale ILS per gli atterraggi Pista 30, i possibili benefici ambientali ottenibili da tale azione sono legati alle criticità ambientali connesse all'utilizzo di un unico lato per gli atterraggi, Pista 12, situato in un contesto territoriale ad alta densità abitativa.

Infatti finora la quasi totalità degli atterraggi (meno rumorosi) avvenivano da Ovest, implicando una maggiore percentuale di decolli in direzione Est verso il territorio abitato del Comune di Bologna, si prevede che l'installazione del secondo apparato strumentale ILS pista 30, attualmente in fase di collaudo, consentirà una più equa distribuzione degli atterraggi fra le due direttrici di movimento, con possibili benefici ambientali in termini di rumore al suolo.



**Figura 47: Indicazione della nuova configurazione dei movimenti tra le direttrici**

L'obiettivo di lungo periodo dell'aeroporto Marconi è di realizzare entro il 2023 un'infrastruttura capace di accogliere un volume di traffico fino a 10 milioni di passeggeri: una crescita, rispetto ai 5,9 milioni del 2011, di circa il 70%.

L'aeroporto Marconi è ubicato a Nord della città di Bologna, area densamente abitata; in direzione Modena, corrispondente alla direzione 30 della pista, vi è subito a ridosso dell'infrastruttura un'area industriale e oltre un'area prevalentemente agricola, invece in direzione Bologna, corrispondente alla direzione 12 della pista, vi è il quartiere Navile.



**Figura 48: Assetto territoriale dell'intorno aeroportuale in termini di densità abitativa**

Essendo l'aeroporto un'infrastruttura di trasporto e un nodo di connessione fondamentale per il territorio, il servizio che viene fornito è pubblico. L'attività delle società di gestione ed i parametri qualitativi dei servizi sono rigidamente disciplinati da attori che regolamentano il settore, sia internazionali che nazionali. In Italia la gestione delle norme in materia aeronautica è di competenza dell'Ente Nazionale per l'Aviazione Civile (ENAC), mentre la gestione del traffico aereo è di competenza dell'Ente Nazionale Assistenza al Volo S.p.A. (ENAV), dell'Aeronautica Militare. L'Italia è membro dell'ICAO, un'agenzia ONU, ed applica i documenti normativi approvati da questa organizzazione. Fa parte inoltre dell'ECAC, omologo europeo dell'ENAC, e di Eurocontrol, l'organizzazione dei fornitori europei di servizi al traffico aereo.

In Italia, la gestione degli aeroporti civili è spesso svolta da compagnie di gestione locali. Il Contratto di Programma è l'atto che regola i rapporti economici e patrimoniali tra ENAC e le società di gestione aeroportuale, in particolare per quanto riguarda le tariffe applicate per i servizi offerti agli utenti (compagnie aeree, handler..), la realizzazione del piano degli investimenti e il rispetto degli obiettivi di qualità e di tutela ambientale.

La gestione dell'aeroporto di Bologna è affidata a **S.A.B. S.p.A.** La società sulla base della concessione ottenuta nel 2004 dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e valida fino al 2044, è incaricata della gestione complessiva dell'aeroporto, con il compito di amministrare, sviluppare e gestire le infrastrutture aeroportuali e di coordinare e controllare le attività dei vari attori che vi operano.

La **Società Aeroporto Bologna** è una società per azioni ed è disciplinata dall'ordinamento giuridico, in particolare dal D.M. n.521 del 1997<sup>60</sup>, che stabilisce che almeno un quinto del capitale sociale debba essere posseduto, in qualsiasi momento, da Enti o Soci pubblici. Per questa ragione il 35.55% del capitale sociale di SAB è detenuto dalle istituzioni locali (Comune, Provincia e Regione) mentre la metà delle azioni sono possedute dalla Camera di Commercio di Bologna. Le restanti quote sono possedute da soggetti privati:

- Camera di Commercio di Bologna: 50.55%
- Comune di Bologna: 16.75%
- Provincia di Bologna: 10%
- Regione Emilia-Romagna: 8.80%
- Aeroporti Holding S.r.l.: 7.21%
- altri soci: 6.69%

Nei confronti delle compagnie aeree SAB si occupa del coordinamento operativo dello scalo, gestisce cioè le assegnazioni e le sequenze di occupazione giornaliera delle piazzole di sosta e delle infrastrutture del Terminal.

Nel coordinamento complessivo del sistema aeroporto SAB è responsabile di fronte a ENAC e alle istituzioni dei livelli di qualità del servizio fornito ai passeggeri, sia per quanto riguarda le attività svolte in maniera diretta, che quelle svolte dagli altri soggetti che operano nell'aeroporto (vettori, handler..).

---

<sup>60</sup> D.M. n.521 del 12 novembre 1997, “Regolamento recante norme di attuazione delle disposizioni di cui all’articolo 10, comma 13, della legge 24 dicembre 1993, n.537, con cui è stata disposta la costituzione di società di capitali per la gestione dei servizi e infrastrutture degli aeroporti gestiti anche in parte dallo Stato”

## 2. Il sistema di monitoraggio

In base agli articoli 6 e 7 del D.M. 31/10/97, relativo alla metodologia di misura del rumore aeroportuale, sono state stabilite le zone di rispetto; in base a quanto disposto, il territorio circostante l'aeroporto è classificato acusticamente secondo la zonizzazione acustica aeroportuale, recepita in sede di piani da parte dei comuni interessati.

Essa si compone di tre zone a ciascuna delle quali corrisponde un determinato vincolo all'utilizzo del territorio e un limite massimo di rumorosità  $L_{VA}$ . A ulteriore restrizione di quanto stabilito dalla legge, il Comune di Bologna, su sollecito di SAB, in fase di recepimento della zonizzazione acustica aeroportuale, a maggior tutela della popolazione, ha inteso estendere il divieto di localizzare ulteriori edifici residenziali a tutto l'intorno aeroportuale, applicando anche alla zona A gli stessi limiti di utilizzo previsti per la zona B.



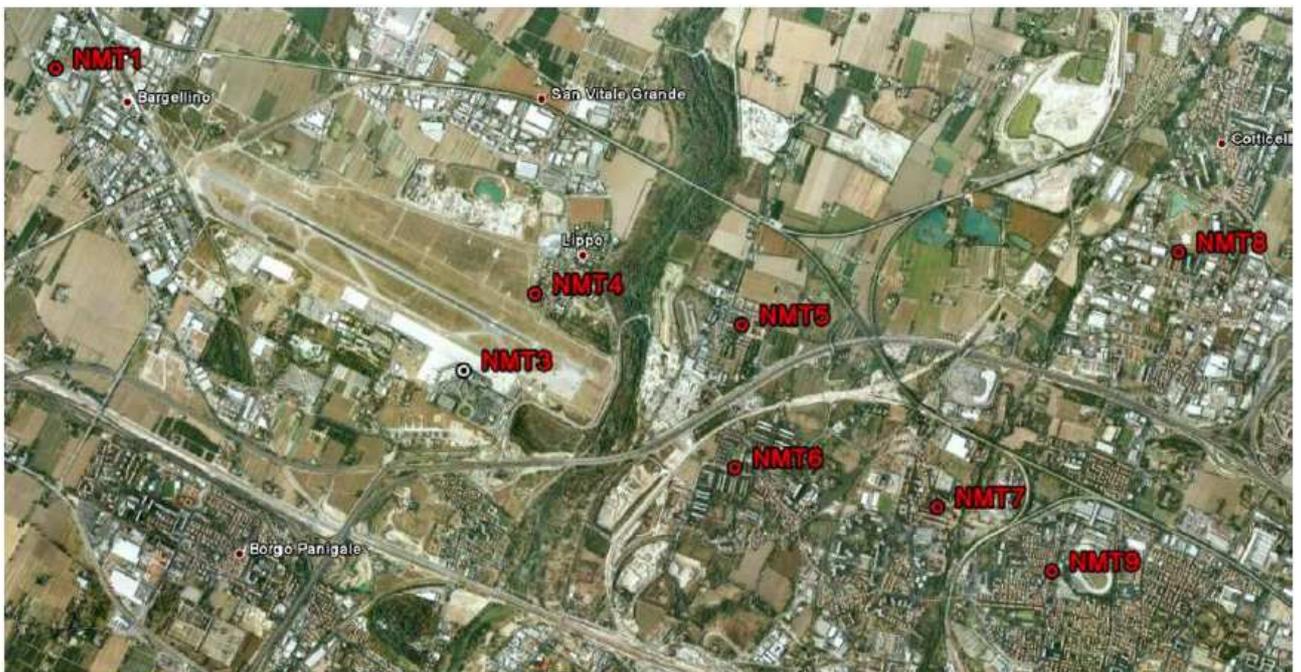
Figura 49: Zonizzazione acustica aeroporto di Bologna

Tale zonizzazione è stata adottata nel 2002 e, in previsione di un eventuale sviluppo, le zone sono più ampie di quelle che all'epoca erano necessarie, tanto che nel 2013 sono ancora valide e rispettate.

Si può notare che è inclusa nella zonizzazione una porzione del quartiere Navile, comunque soggetto a rumore inferiore al valore limite previsto dalla norma.

Presso l'aeroporto di Bologna è attivo il sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale integrato con la traccia radar, che costituisce lo strumento con il quale SAB conduce con continuità la propria attività di misura del rumore prodotto dalle attività di volo.

Il sistema comprende otto unità di rilevamento acustico (NMT, *Noise Monitoring Terminal*) dislocate nell'intorno aeroportuale in corrispondenza delle proiezioni al suolo delle direttrici di decollo e atterraggio, come si può vedere dalla seguente immagine:



**Figura 50: Localizzazione delle postazioni di misura del rumore aeroportuale**

Ciascuna NMT è costituita da un microfono ad alta precisione che rileva ogni evento acustico e un fonometro per l'elaborazione dei segnali; ognuna di esse è, inoltre, opportunamente calibrata per registrare gli eventi che superano determinati valori di intensità, in tal modo è possibile avere una

prima discriminazione tra gli eventi causati dal passaggio di un aeromobile e quelli derivanti dall'ambiente circostante, come ad esempio il traffico veicolare. Di ogni evento registrato la centralina è in grado di fornire le seguenti informazioni:  $L_{eq}$ , SEL,  $L_{max}$ , i valori  $L_n$  percentili,  $L_{peak}$  e  $L_{UWpeak}$  (i valori di picco pesati e non). Inoltre è presente sulla NMT 3 (Aeroporto) un'unità di rilevamento dei dati meteo quali temperatura, pressione atmosferica e umidità dell'aria, precipitazioni, intensità e direzione del vento.

La strumentazione installata in sette delle otto centraline consiste in un fonometro Symphonie prodotto dalla 01dB equipaggiato con sistema microfonico per esterni modello 41DM della GRAS. La strumentazione utilizzata sulla centralina NMT7, alimentata ad energia solare, consiste in un fonometro Larson&Davis 824 con sistema microfonico per esterni modello Larson&Davis 426A12.

Inoltre la postazione NMT 3 installata presso l'aerostazione passeggeri è equipaggiata con una stazione meteorologica VAISALA WXT-520 in grado di rilevare i parametri di direzione/velocità del vento, temperatura, umidità, pressione e quantità di pioggia.

Le centraline sono connesse al centro elaborazione dati tramite una connessione GPRS/UMTS sempre attiva, tramite l'utilizzo di SIM dati, con APN dedicato per le VPN mylan.omnitel.it ed il software Client Juniper Network Connect.

Le centraline sono equipaggiate con un router 3G della DIGICOM per la connettività al Centro, di un'antenna omnidirezionale UMTS posizionata esternamente per migliorare la qualità del segnale 3G, di un PC industriale del produttore T-Pole sul quale sono installati, oltre agli applicativi per l'acquisizione del rumore, il software Juniper Network Connect.

Il sistema consente l'acquisizione e l'elaborazione dei dati traccia radar forniti da ENAV Spa. Le tracce radar contengono tutte le informazioni che consentono di identificare il volo e il tipo di aeromobile, nonché le caratteristiche geometriche della rotta seguita dall'aeromobile.

Una volta acquisiti i dati di rumore dalle postazioni di misura, e i dati di traccia radar, il sistema effettua la correlazione fra i due set di dati, consentendo di associare a ciascun volo i livelli di rumore che esso ha generato sulle postazioni di misura.

Gli eventi acustici di natura aerea così individuati concorrono a formare l'LVA, livello di valutazione del rumore aeroportuale, partendo dal SEL fornito dalle centraline e calcolato secondo la procedura analitica nell'Allegato A del D.Lgs. 31/10/97<sup>61</sup>.

Di seguito si riporta una sintetica descrizione delle postazioni fisse di misura:

Centralina	Sito	Posizione
<b>P1</b>	Zona industriale - Via Bargellino, Calderara di Reno	Strada
<b>P3</b>	Aerostazione - Bologna	Tetto
<b>P4</b>	Via della Surrogazione – Calderara di Reno	Giardino
<b>P5</b>	Via Zanardi 393 – Bologna	Strada
<b>P6</b>	Via Agucchi – Bologna	Campo sportivo
<b>P7</b>	Via della Beverara – Bologna	Giardino
<b>P8</b>	Via Roncaglio – Bologna	Giardino
<b>P9</b>	Via dell' Arcoveggio - Bologna	Strada

La posizione di misura P2 risulta rubata da alcuni anni e mai più ripristinata, tuttavia è rimasta invariata la nomenclatura delle altre postazioni per mantenere coerenza nei dati storici.

Per ciascuna delle postazioni di misura, a cadenza mensile, viene svolto il calcolo del livello  $L_{VA}$  medio giornaliero e mensile. I dati ottenuti sono pubblicati sul sito internet dell'aeroporto, a disposizione del pubblico; inoltre, viene predisposta apposita documentazione tecnica da condividere con gli Enti territoriali (ARPA, Comune di Bologna, Comune di Calderara di Reno) preposti alla supervisione dell'attività di monitoraggio svolta da SAB. La documentazione include non solo i dati di rumore aeronautico, ma anche il dettaglio delle caratteristiche operative del traffico aereo, con analisi della distribuzione dei movimenti fra le fasce orarie e fra le direttrici di movimento, con particolare riguardo all'analisi del traffico in

<sup>61</sup> Vedi Capitolo 2 paragrafo 2.4 della presente Tesi

decollo RWY12, che implica il sorvolo delle zone urbane ad alta densità insediativa.

Inoltre ogni anno SAB procede con il calcolo del livello di rumore annuale LVA, secondo quanto stabilito dal D.M. 31/10/97.

I dati di rumore ottenuti con l'ausilio del sistema di monitoraggio hanno una duplice finalità: da un lato, come già detto, sono utilizzati per scopi di comunicazione con il territorio, tramite loro pubblicazione sul sito internet, e con gli Enti territoriali a mezzo di specifici rapporti tecnici periodici (mensili e annuali). Dall'altro, i rilevamenti svolti hanno la finalità, come si vede di seguito, di validare i risultati delle simulazioni acustiche condotte con il modello analitico previsionale INM.

### **3. Il modello analitico previsionale INM**

La simulazione degli scenari di impatto acustico è svolta con l'ausilio del modello analitico previsionale **INM** (*Integrated Noise Model*, versione 6.2a). Il software INM è stato sviluppato dalla FAA negli Stati Uniti, allo scopo di calcolare le curve di isolivello, relative a indicatori acustici opportunamente scelti, nei pressi di impianti aeroportuali. Il programma consente di analizzare in dettaglio gli effetti ambientali acustici legati alle procedure operative di un aeroporto, ed è in grado altresì di simulare gli effetti derivanti da eventuali modifiche di queste. Tali prestazioni rendono l'INM il simulatore più utilizzato negli Stati Uniti e in molti paesi europei, tra cui l'Italia, per le valutazioni di impatto ambientale e negli studi di tipo ambientale in genere.

Nota la caratterizzazione del traffico, il modello valuta l'impatto acustico sul territorio in funzione della variazione dei vari parametri di ingresso, in modo da poter ottenere altresì la situazione previsionale futura di impatto acustico, in termini sia di impronta acustica al suolo (curve isofoniche), sia di livello di rumore in corrispondenza di determinati punti significativi sensibili dell'intorno aeroportuale, quali ad esempio scuole, ospedali, luoghi di culto, ecc.

INM contiene un database che comprende quasi tutti i tipi di aeromobili oggi operanti. Per ciascun aeromobile (modello e motorizzazione), tipologia di manovra (atterraggio, decollo, ecc..) ed assetto di volo (potenza motori, profilo altimetrico, ecc..) il database contiene la curva NPD (*Noise Power Distance*) che mette in relazione il descrittore acustico (per la legislazione italiana il livello di singolo evento sonoro SEL) con la distanza (*slat distance*) tra l'aeromobile e il ricevitore.

Per lo svolgimento dei calcoli, il modello si basa su algoritmi elaborati dalla SAE (*Society of Automotive Engineers*), in particolare:

- Il documento SAE-AIR-1845 “*Procedure for the calculation of airplane noise in the vicinity of Airports*” del marzo 1986, utilizzato per il calcolo della rumorosità e dei profili dei velivoli
- Il documento SAE-AIR-1751 “*Prediction method for lateral attenuation of airplane noise during takeoff and landing*” del marzo 1991, per il calcolo dell'attenuazione laterale

Le curve di isolivello acustico sono ottenute mediante l'interpolazione dei valori assunti dal prescelto descrittore acustico in corrispondenza dei punti di intersezione delle maglie di una griglia centrata sull'aeroporto.

I dati di ingresso richiesti dal modello per la elaborazione degli scenari sono:

- Dati di operatività
  - configurazione delle piste con indicazione di direzione, lunghezza, superficie, piani di estensione (orografia del terreno, ecc..)
  - uso delle piste, in funzione delle condizioni locali di vento in combinazione con la destinazione del traffico sulle specifiche traiettorie
- Dati di traffico
  - situazione di traffico esistente e/o futuro
  - numero di operazioni, eventualmente suddivise in categorie di traffico
  - distribuzione del traffico annuale

- distribuzione del traffico settimanale e giornaliero
- distribuzione delle operazioni sulle piste di volo e sulle singole testate
- distribuzione del traffico per tipo di aeromobile

Il modello INM, così come qualunque modello analitico, prevede la modellazione standardizzata delle sorgenti emissive, non tiene conto delle effettive caratteristiche degli aeromobili operanti o delle condizioni operative ed atmosferiche (traiettorie di volo, temperatura, direzione e velocità del vento, pressione atmosferica, ecc..). Nonostante la buona pratica professionale consenta una calibrazione iniziale del modello, risulta inevitabile uno scostamento sistematico di circa 1-2 dB(A) rispetto ai dati reali, individuabile confrontando i risultati delle simulazioni con quanto restituito dalle campagne di monitoraggio acustico. Tale scostamento può aumentare con la distanza della sorgente emissiva dal terreno e con la distanza dal campo di volo, ove si ha maggiore dispersione delle traiettorie di volo.

### **3.1. Calibrazione del modello**

Il modello analitico previsionale INM possiede una banca dati contenente le tipologie di aeromobili civili attualmente in circolazione, ciascuna caratterizzata da numerosi parametri tecnici quali il tipo di motore, massima spinta al decollo, curve di rumorosità, oltre ai parametri di configurazione aerodinamica durante le procedure di volo. Ciascuno di questi elementi caratteristici può essere modificato dall'utente al fine di definire le reali caratteristiche fisiche degli aeromobili utilizzati, pur essendo però assai improbabile poterne stabilire i reali valori per ciascuno degli aeromobili operanti. Inoltre, INM consente di caratterizzare il sito di indagine dal punto di vista dei parametri climatici, ovvero pressione atmosferica, temperatura media e direzione del vento, per ciascuno dei quali, però, il modello consente l'inserimento di un unico valore medio.

In alternativa alla modifica dei suddetti parametri, e disponendo dei dati acustici forniti dal sistema di monitoraggio del rumore aeroportuale, è possibile operare in via preliminare effettuando la calibrazione del modello rispetto allo stato di inquinamento acustico effettivamente rilevato. A tal fine, gli aeromobili realmente operanti vengono descritti attraverso i modelli previsti dal database INM, eventualmente modificati attraverso un sistema di quote di velivoli, aventi caratteristiche confrontabili come ad esempio il tipo di motore, basandosi sulla comparazione tra i valori di livello acustico restituiti dal modello per ogni singolo aereo e quelli rilevati dalle stazioni di monitoraggio. Avremo, ad esempio, che un velivolo MD82 risulterà simulato in ambito di scenario INM, utilizzando per il 90% l'MD82/JT8D-217A e per il 10% il DC9-30/JT8D-9. In tal modo è possibile modellare le reali prestazioni acustiche delle singole tipologie di aeromobile che operano nell'aeroporto potendo tenere conto in maniera implicita di alcuni parametri altrimenti difficili da definire, come ad esempio il livello di usura del mezzo o le esatte condizioni meteorologiche insistenti nella zona.

La validità del processo di calibrazione è dimostrata dalla corrispondenza dei dati acustici registrati dalle centraline di monitoraggio con i valori restituiti dal modello INM in corrispondenza dei punti geografici coincidenti con la localizzazione delle stesse centraline.

E' opportuno però specificare che il grado di precisione del modello INM diminuisce all'aumentare della distanza della sorgente dalla pista di volo e dal suolo, con scostamenti che possono arrivare anche a 2-3 dB(A), a prescindere dall'accuratezza con la quale è svolta la calibrazione.

Di seguito si riporta l'elenco dei dati di calibrazione utilizzati, in merito alle tipologie di aeromobile costituenti il database del modello INM, nel caso dell'aeroporto di Bologna.

ICAO code	Codifica INM		
	INM esteso	Cod. INM	% calib.
<b>A30B</b>	A300B4-200/CF-6-50C2	A300	100%
<b>A318</b>	Airbus A319-131/V2522-A5 Engines	A319	80%
	A300B4-200/CF6-50C2	A300	20%

<b>A319</b>	Airbus A319-131/V2522-A5 Engines	A319	80%
	A300B4-200/CF6-50C2	A300	20%
<b>A320</b>	Airbus 320-21 CFM56-5A1	A320	80%
	A300B4-200/CF6-50C2	A300	20%
<b>A321</b>	Airbus A321	A321	80%
	A300B4-200/CF6-50C2	A300	20%
<b>A330</b>	Airbus A330	A310	100%
<b>A332</b>	Airbus A330	A310	100%
<b>AT42</b>	Avions de Transport Regional ATR-42	DHC8	80%
	Avions de Transport Regional ATR-72	HS748A	20%
<b>AT45</b>	Avions de Transport Regional ATR-42	DHC8	80%
	Avions de Transport Regional ATR-72	HS748A	20%
<b>AT72</b>	Avions de Transport Regional ATR-42	DHC8	80%
	Avions de Transport Regional ATR-72	HS748A	20%
<b>B461</b>	BAE146-200/ALF502R-5	BAE146	100%
<b>B462</b>	BAE146-200/ALF502R-5	BAE146	100%
<b>B463</b>	BAE146-300/ALF502R-5	BAE300	100%
<b>B732</b>	B737/JT8D-9	737	100%
<b>B733</b>	B737-300/CFM56-3B-1	737300	100%
<b>B734</b>	B737-400/CFM56-3B-1	737400	100%
	B737/JT8D-9	737	0%
<b>B735</b>	B737-500/CFM56-3B-1	737500	100%
<b>B736</b>	B737-500/CFM56-3B-1	737500	100%
<b>B737</b>	Boeing 737-700/CFM56-7B	737700	100%
<b>B738</b>	B737-800/CFM56-7B26	737800	100%
<b>B752</b>	B757-200/RB211-535E4	757PW	100%
<b>B763</b>	B767-300/PW4060	767300	100%
<b>B767</b>	B767-300/PW4060	767300	100%
<b>BA11</b>	BAC111/SPEY MK511-14	BAC111	100%
<b>BA46</b>	BAE146-200/ALF502R-5	BAE146	100%
<b>BE40</b>	BAE146-200/ALF502R-5	BAE146	100%
<b>C130</b>	C-130H/T56-A-15	C130	100%
<b>C25A</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	100%
<b>C30J</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	100%
<b>C525</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	30%
	Cessna 560 Citation Bravo / PW530A	CNA55B	70%
<b>C550</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	30%
	Cessna 560 Citation Bravo / PW530A	CNA55B	70%
<b>C551</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	30%
	Cessna 560 Citation Bravo / PW530A	CNA55B	70%
<b>C56X</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	30%
	Cessna 560 Citation Bravo / PW530A	CNA55B	70%
<b>C650</b>	Cessna 560 Citation V	MU3001	30%
	Cessna 560 Citation Bravo / PW530A	CNA55B	70%
<b>CL60</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>CRJ2</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>CRJ7</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>CRJ9</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>DH8C</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>DH8D</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>E120</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%

<b>E145</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>E170</b>	Canadair Regional Jet	CL601	100%
<b>F100</b>	F100/TAY 650-15	F10065	100%
<b>F27</b>	F100/TAY 650-15	F10065	100%
<b>F27H</b>	F100/TAY 650-15	F10065	100%
<b>F50</b>	Fokker 70	F10062	100%
<b>F70</b>	Fokker 70	F10062	100%
<b>B762</b>	B767-200/CF6-80A	767CF6	100%
<b>F900</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>FA10</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>FA50</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>GLEX</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>GLF4</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>GLF5</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>H25B</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>L101</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>LJ45</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>LJ55</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>LJ60</b>	LEARJET 35/TFE731-2-2B	LEAR35	100%
<b>MD80</b>	MD-82/JT8D-217A	MD82	90%
	DC9-30/JT8D-9	DC930	10%
<b>MD82</b>	MD-82/JT8D-217A	MD82	90%
	DC9-30/JT8D-9	DC930	10%
<b>MD83</b>	MD-82/JT8D-209A	MD81	90%
	DC9-30/JT8D-17&15	DC9Q9	10%
<b>MD87</b>	MD-82/JT8D-209A	MD81	90%
	DC9-30/JT8D-17&15	DC9Q9	10%
<b>MD88</b>	MD-90/V2525-D5	MD9025	100%
<b>MD90</b>	MD-90/V2525-D5	MD9025	100%
<b>P180</b>	BAE146-200/ALF502R-5	BAE146	100%
<b>PA34</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>RJ1H</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>RJ85</b>	RJ70	BAE146	100%
<b>SB20</b>	SAAB 2000	DHC8	20%
	Fokker 50	HS748A	80%
<b>T154</b>	TUPOLEV 154	727D17	100%
<b>T204</b>	TUPOLEV 204	757RR	100%

#### 4. Procedure operative adottate

Prima di entrare nel merito dell'analisi acustica, nel seguito si propone una descrizione delle **ICP** (*Initial Climb Procedures*) D12, evidenziando le diversi fasi che hanno condotto alla loro adozione da parte della Commissione.

Di seguito si descrivono le ICP D12 in vigore presso l'aeroporto di Bologna, specificando che la nomenclatura tecnica prevede

l'identificazione dei movimenti in termini di tipo di operazione (decollo, atterraggio) e direzione di movimento, secondo la seguente convenzione:

- D12: decolli in direzione Sud-Est Bologna
- D30: decolli in direzione Nord-Ovest Modena
- A30: atterraggio da Est
- A12: atterraggi da Ovest (con sistema di atterraggio strumentale ILS)

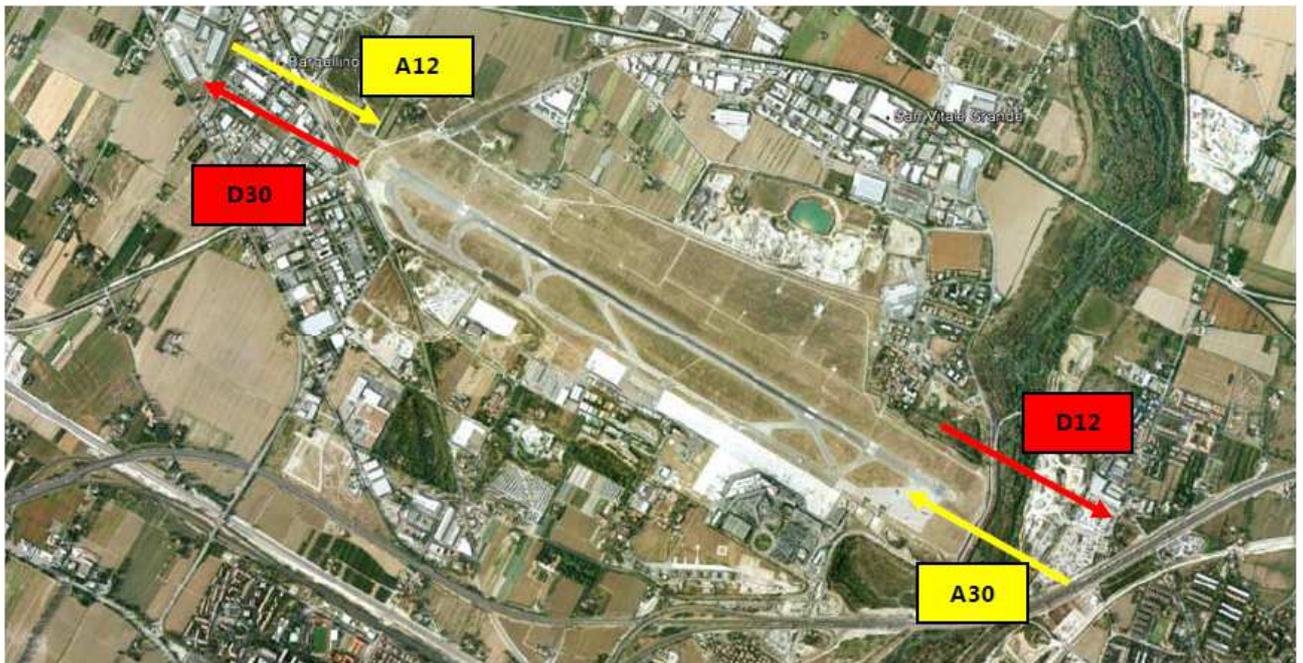


Figura 51: Diretrici di movimento

#### 4.1. Situazione pre-variante

Le ICP D12 pre-variante risultavano in vigore all'aeroporto di Bologna dal 1996, anno in cui furono elaborate e introdotte con provvedimento Civilavia<sup>62</sup>. In occasione del primo incontro della Commissione aeroportuale (avvenuto il 30/05/2000), istituita ai sensi del D.M. 31/10/97, le ICP D12 pre-variante venivano ritenute idonee per le finalità di riduzione dell'impatto ambientale, e quindi recepite quali procedure di

<sup>62</sup> Direzione generale dell'aviazione civile, predecessore dell'attuale ENAC

decollo antirumore ai sensi dello stesso decreto. Da allora tali procedure non hanno mai subito alcuna modifica o aggiornamento.

Grazie anche all'attività di monitoraggio del rumore aeroportuale e analisi delle tracce radar, nel corso degli anni sono state rilevate alcune criticità delle ICP, legate alla loro stessa descrizione, anche in relazione alle caratteristiche del territorio circostante l'aeroporto e soggetto al sorvolo degli aeromobili.

In termini generali, le ICP D12 sono definite con lo scopo di ridurre il sorvolo delle zone residenziali densamente abitate del Comune di Bologna. L'intorno aeroportuale è infatti caratterizzato dalla presenza a Est di nuclei ad alta densità residenziale, mentre a Ovest si sviluppa il complesso residenziale Bargellino e, oltre, ampie zone ad uso prevalentemente rurale del Comune di Calderara di Reno.

Anche in virtù di tale assetto territoriale, le ICP D12 prevede due differenti traiettorie di salita in funzione delle rotte che gli aerei dovranno seguire.

La prima traiettoria consiste in una virata verso Nord, da intraprendere al raggiungimento degli 800ft di quota ovvero delle 2Nm di distanza, quale delle due condizioni di verifica prima, ad un rateo minimo di salita pari al 5%.

La seconda traiettoria si sviluppa lungo il prolungamento dell'asse pista di volo, senza cambi di direzione, da eseguirsi con un rateo di salita del 7%, maggiore rispetto alla prima traiettoria; l'autorizzazione all'utilizzo della seconda traiettoria può avvenire solo a discrezione di ENAV.

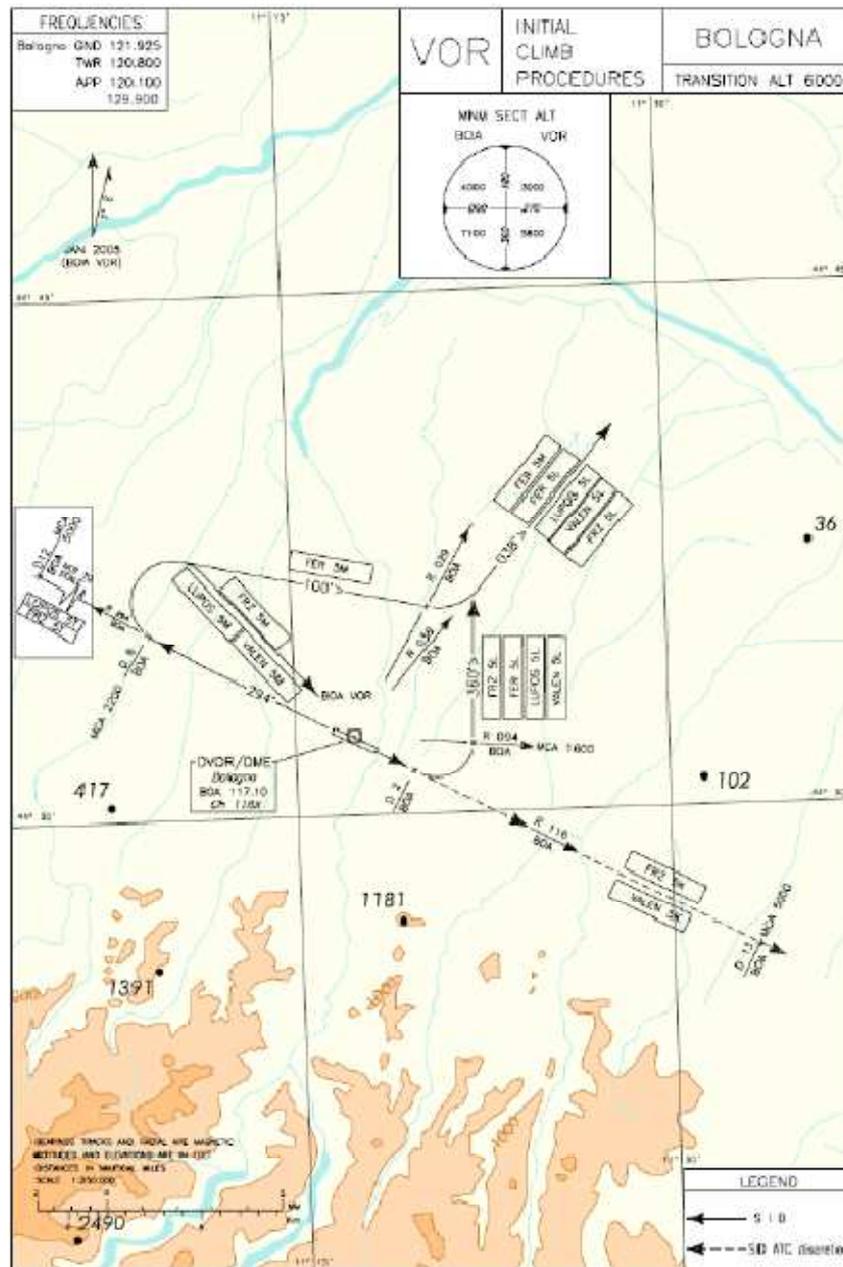
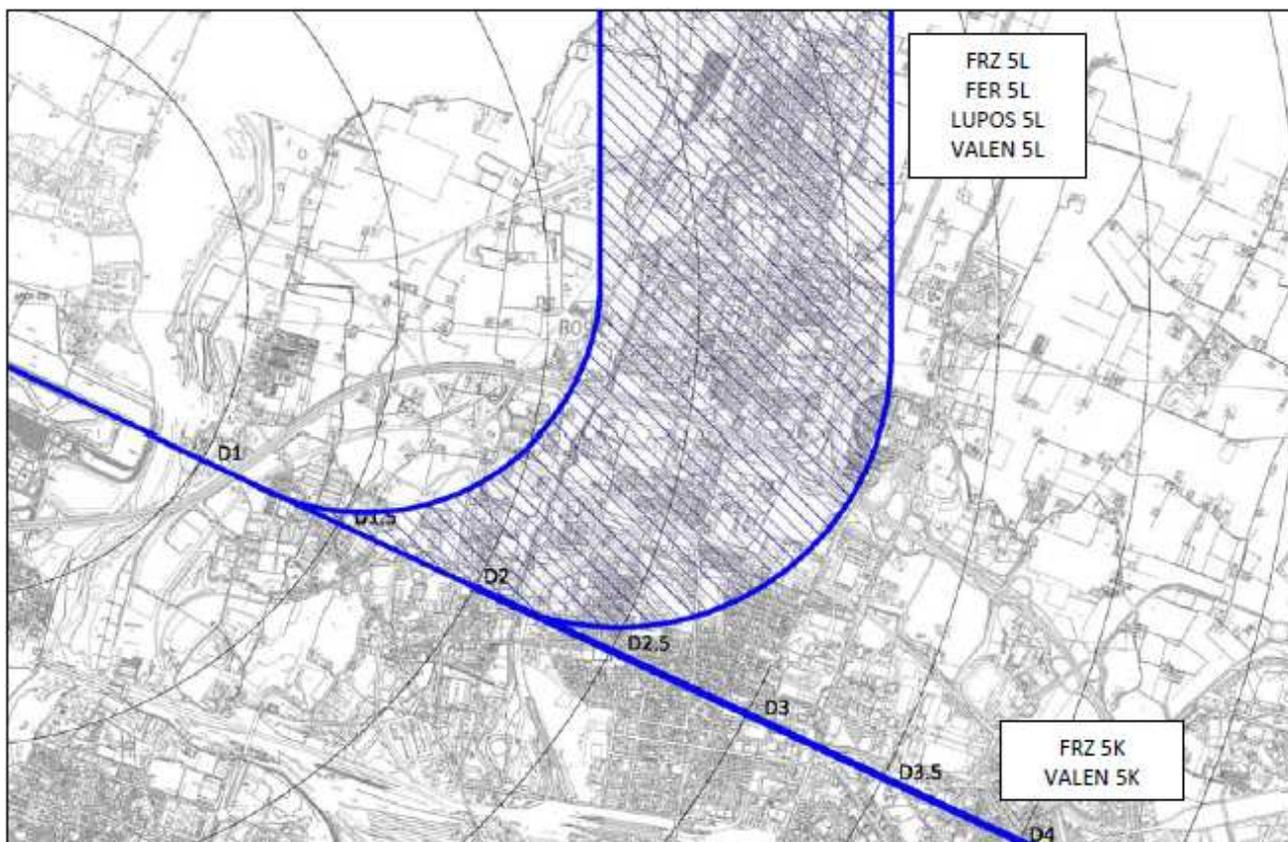


Figura 52: Estratto delle procedure ICP

La virata verso Nord consente quindi agli aeromobili di limitare il sorvolo di una buona parte dell'abitato, mentre la rotta rettilinea (indicata con linea tratteggiata), risulta assai critica dal punto di vista ambientale, dato che implica il sorvolo dell'intero abitato del Comune di Bologna per tutta la sua estensione. Per tale ragione, le procedure prevedono che tale rotta sia utilizzata solo a discrezione di ENAV, in casi di particolare necessità operativa (sicurezza del volo, condizioni meteo).

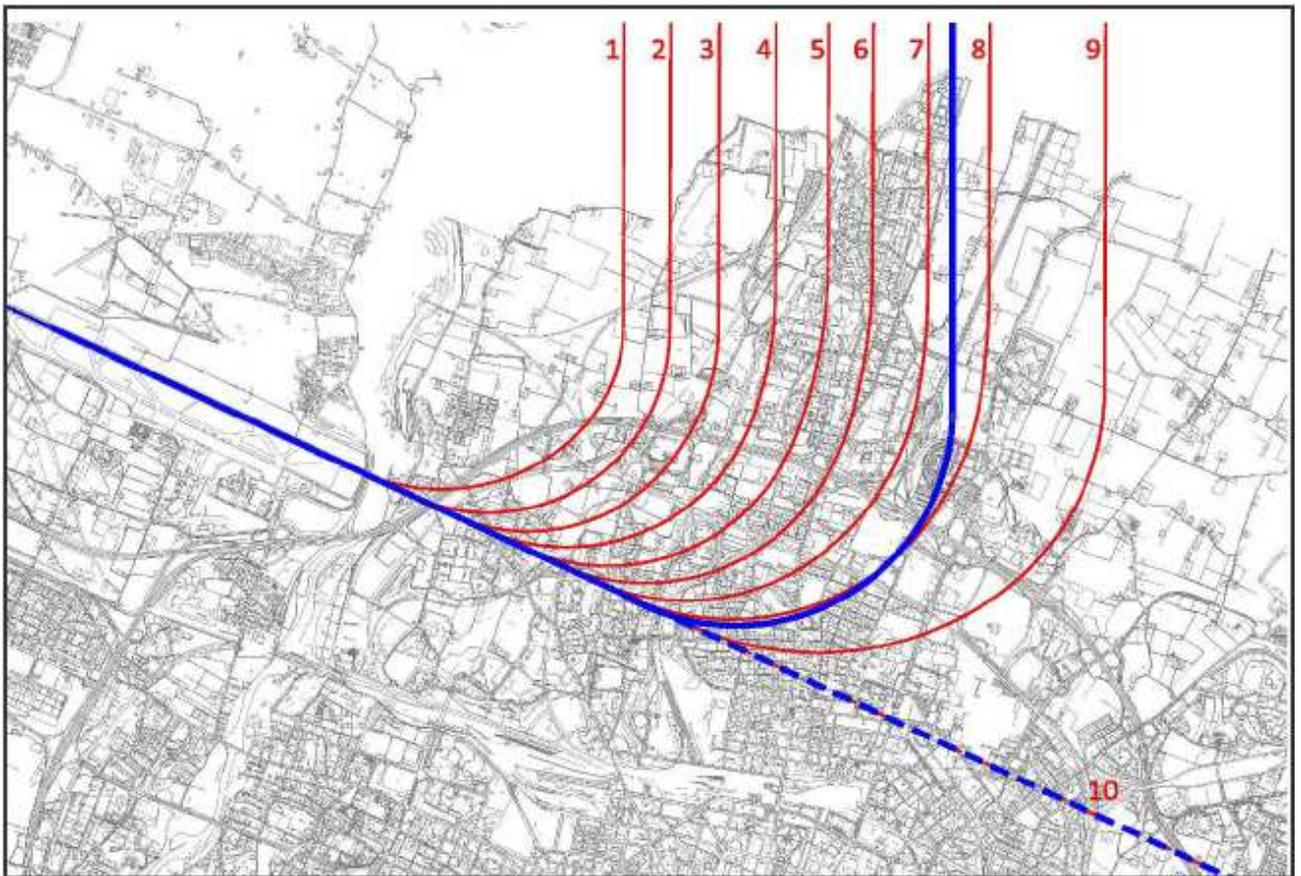
L'immagine seguente mostra la geometria delle ICP D12 elaborate su base cartografica. La traiettoria di virata, condizionata al rispetto di due differenti parametri (800ft e 2Nm) è rappresentabile con un areale di sorvolo sotteso da due differenti traiettorie: la più interna rappresenta la traiettoria indicativa teorica seguita in caso di virata ad 800ft di quota, mentre quella esterna è seguita qualora il punto di virata sia 2Nm.



**Figura 53: Rappresentazione cartografica delle ICP D12 pre-variante**

Grazie anche all'attività di monitoraggio del rumore aeroportuale ed analisi dei tracciati radar, è stato possibile rilevare alcune criticità delle ICP pre-variante, legate principalmente al fatto che nella maggior parte dei casi gli aerei in decollo D12 raggiungono la quota di 800ft ad una distanza media di circa 1Nm, ben prima quindi delle 2Nm indicate dalla procedura. Nonostante quanto prescritto gli aerei, raggiunta la quota di 800ft, non intraprendono la virata se non al raggiungimento, e spesso al superamento, delle 2Nm. Questo induce la generazione di un'ampia dispersione delle

rotte di decollo attorno alle traiettorie nominali, e quindi il sorvolo di un'ampia zona abitata.



**Figura 54: Rotte statistiche di dispersione delle tracce radar per decolli D12**

Come si evince anche dall'immagine seguente, se tutti gli aerei intraprendessero la virata raggiunti gli 800ft senza attendere il raggiungimento (o superamento) delle 2Nm, è ragionevole ipotizzare una maggiore concentrazione delle tracce nelle prime rotte statistiche (prime quattro o prime cinque), e conseguente limitazione del sorvolo su aree a minore densità abitativa. In realtà, circa un terzo delle rotte di decollo (escludendo quelle che percorrono la rotta 10) risultano fuori del range statistico atteso.

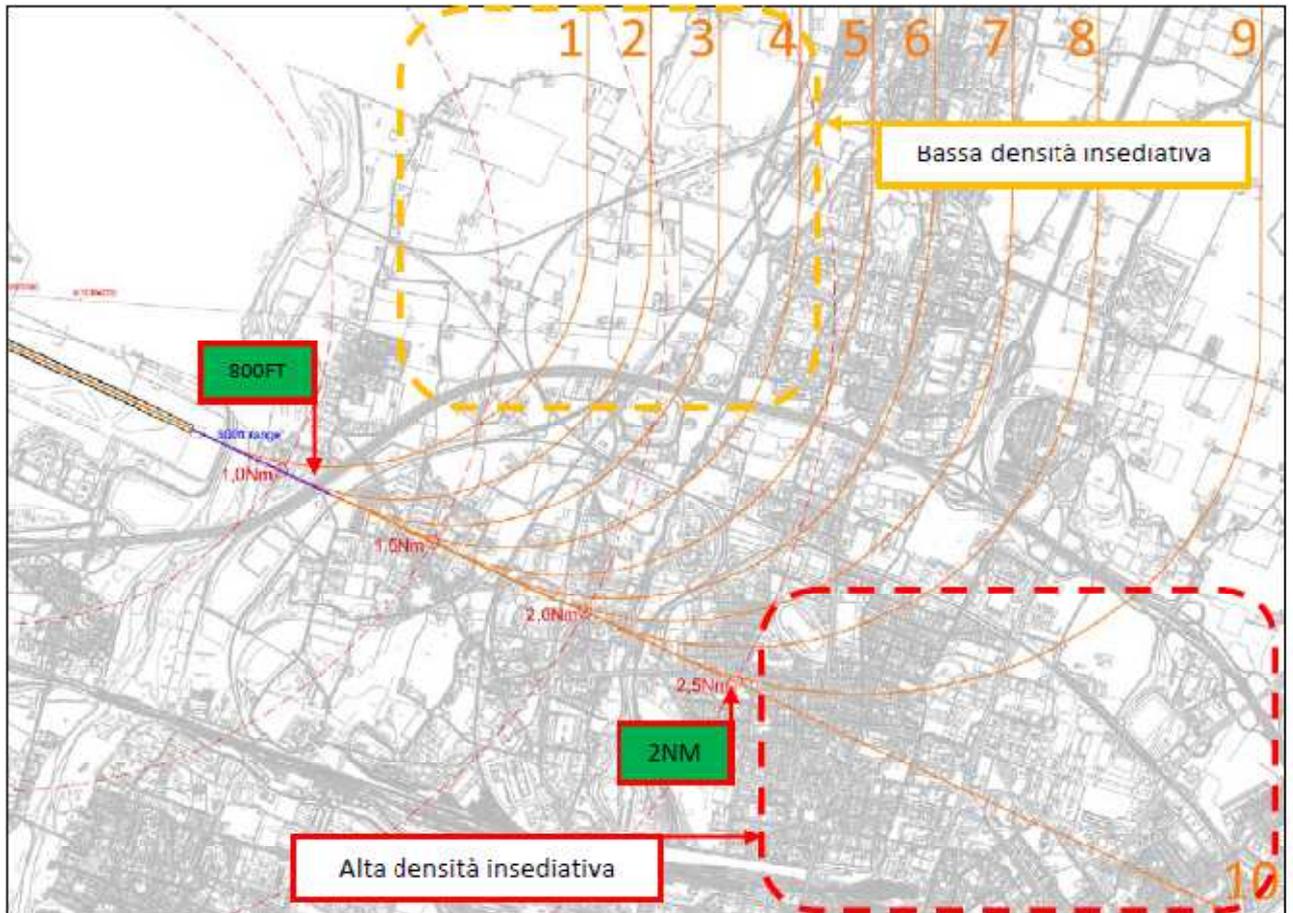


Figura 55: Rotte dei tracciati radar per decolli D12

I motivi che inducono a tale grado di dispersione possono essere di diversa natura, tra cui:

- a) Alcuni aeromobili sono equipaggiati con sistemi di navigazione che consentono di tenere sotto controllo, durante il decollo, un solo parametro, e ciò può comportare difficoltà per il pilota di verificare se sono raggiunti prima gli 800ft di quota o le 2Nm
- b) La virata viene compiuta con traiettoria più ampia a seguito di specifica indicazione di ENAV, per soddisfare esigenze primarie di sicurezza alla navigazione aerea (separazione del traffico), oppure a seguito di particolari condizioni meteo nello spazio aereo circostante l'aeroporto
- c) Il pilota intraprende una virata diversa rispetto a quanto previsto dalla procedura di decollo, per sua libera iniziativa

In ragione della ipotesi a), un possibile elemento di miglioramento delle procedure è quello di ridurre i parametri di virata ad uno solo, ancor meglio se il più vicino possibile all'aeroporto.

In merito all'ipotesi b), le modalità di gestione del traffico aereo, condizionate prima di tutto da aspetti di sicurezza del volo, conducono inevitabilmente al verificarsi di scenari operativi diversi da quanto può essere previsto dalle procedure. In merito all'ipotesi c), solo l'attuazione di un regime sanzionatorio può ridurre il numero di violazioni alle procedure di decollo.

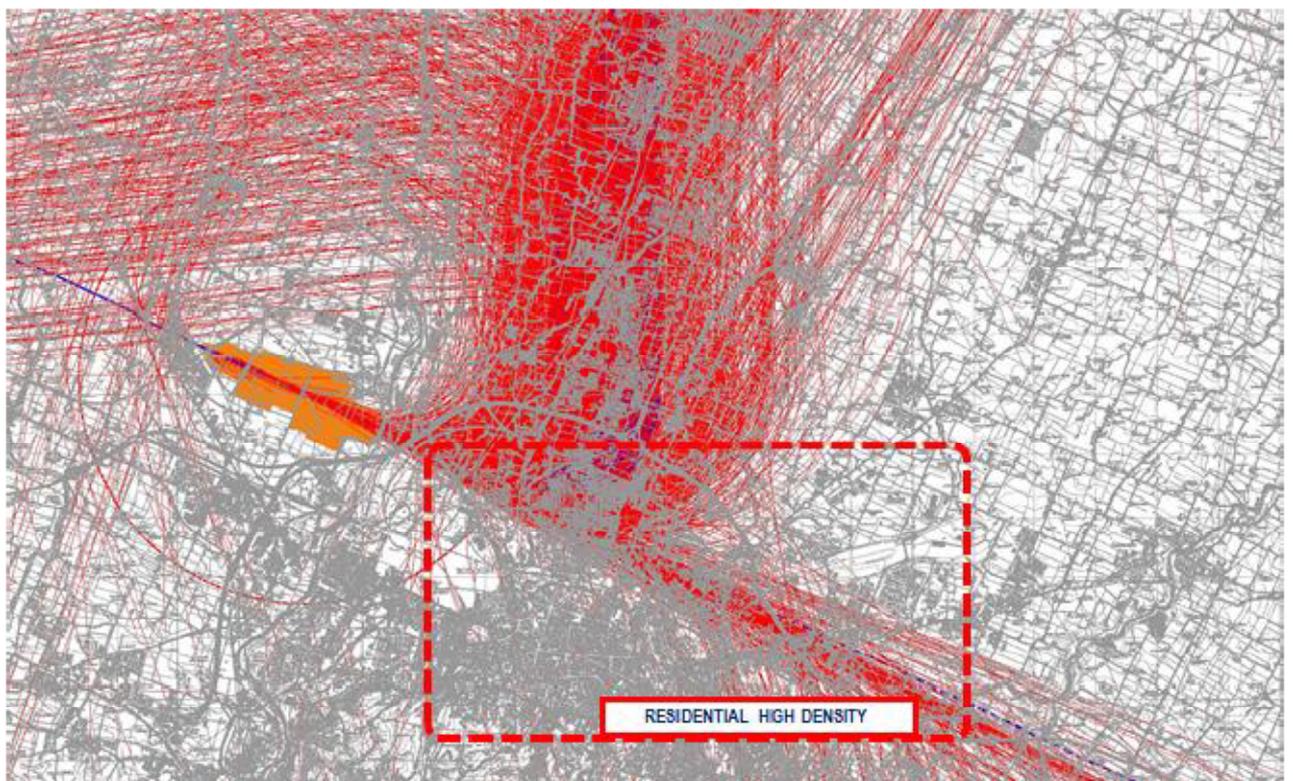


Figura 56: Dispersione tracce radar

#### 4.2. Nuova procedura di salita iniziale per decolli Pista 12

L'azione consiste nella definizione di una nuova traiettoria nominale di salita iniziale per i decolli Pista 12, e che implicano il sorvolo delle aree abitate del Comune di Bologna a Est del sedime aeroportuale.

L'iter di progettazione, valutazione ed attuazione della variante ha incluso il coinvolgimento della Commissione aeroportuale ex D.M. 31/10/97, presieduta da ENAC e costituita dai rappresentanti: ENAV, SAB, Vettori Aerei, ISPRA, Regione Emilia-Romagna, Provincia di Bologna, Comune di Bologna, Comune di Calderara di Reno, Comune di Anzola Emilia, ARPA.

In data 07 settembre 2012 la Commissione ha approvato l'introduzione della variante, in data 10 gennaio 2013 questa è entrata in vigore e divenuta operativa.

Tenuto conto della distribuzione abitativa del territorio, nonché delle esigenze tecnico/operative, le nuove procedure di salita iniziale sono state concepite allo scopo di ridurre la porzione di territorio abitato interessato dal sorvolo degli aeromobili in decollo, e conseguentemente il numero di persone ed edifici soggetti al rumore aeroportuale.

La nuova procedura prevede:

- a) Immediatamente dopo la staccata, una prima virata di 15° verso sinistra rispetto all'asse di prolungamento pista
- b) Virata verso Nord raggiunti univocamente gli 800ft. In tal caso, risulta eliminato il parametro di distanza 2Nm che inizialmente generava il corridoio
- c) La rotta nominale che si sviluppava lungo il prolungamento pista di volo risulta sostituita con una nuova traiettoria (C) che si sviluppa in prossimità della cintura tangenziale/autostrada A14

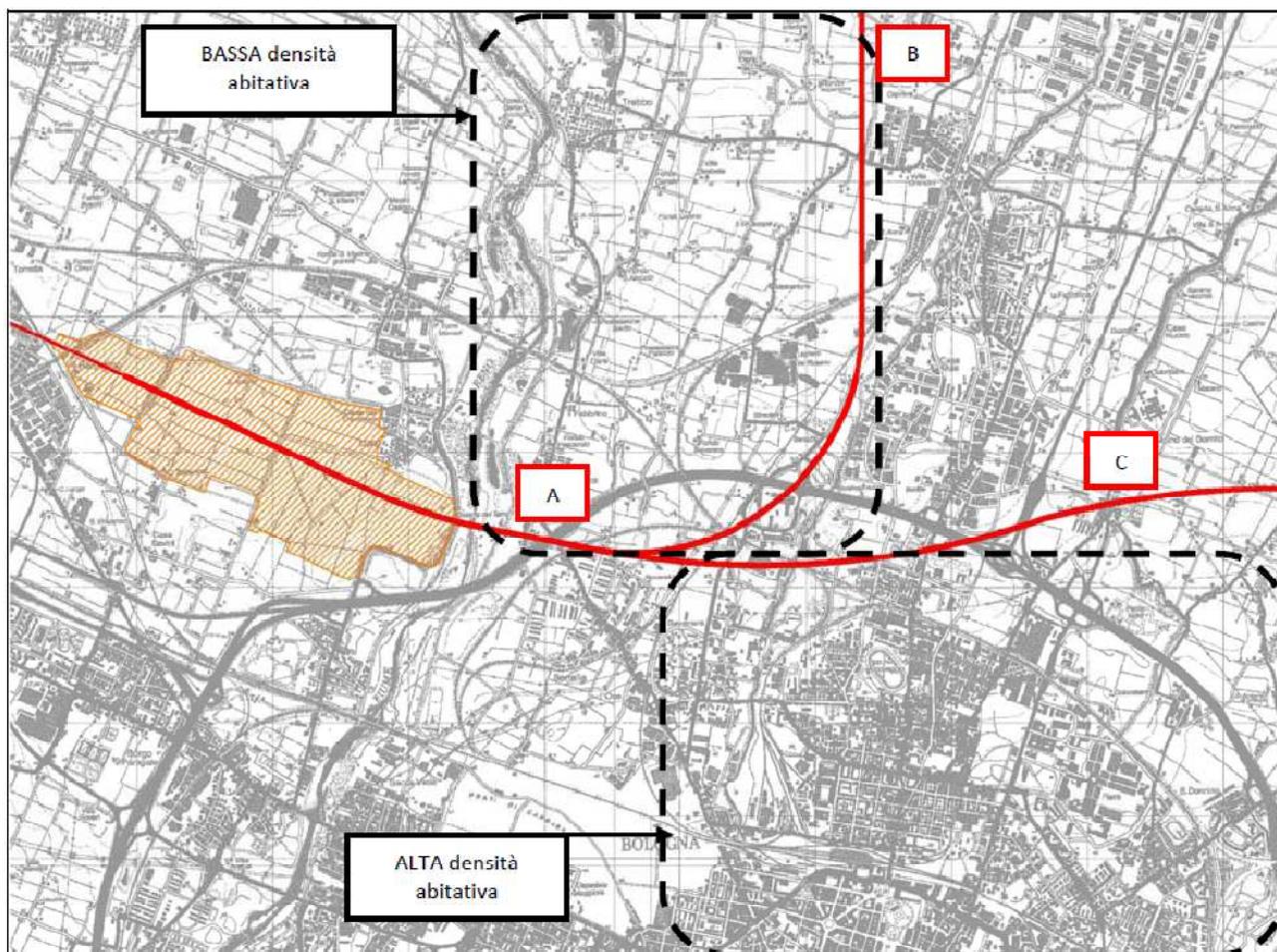


Figura 57: Procedura di salita iniziale post-variante

Ai fini della verifica dello stato di attuazione della nuova procedura e dei suoi effetti ambientali in termini di impatto acustico, sono stati posti a confronto due scenari di studio:

- Stato *ante-operam* – 2012: media giornaliera del traffico aereo registrato nelle tre settimane di punta del 2012, individuate secondo i criteri stabiliti dal D.M. 31/10/97
- Stato *post-operam* – 2013: scenario di traffico relativo al periodo Gennaio-Agosto 2013. Coerentemente con il criterio adottato per la determinazione dello stato ante-operam, si considera la media giornaliera delle due settimane di maggior traffico registrate nei seguenti due quadrimestri: Gennaio-Aprile 2013 e Maggio-Agosto 2013

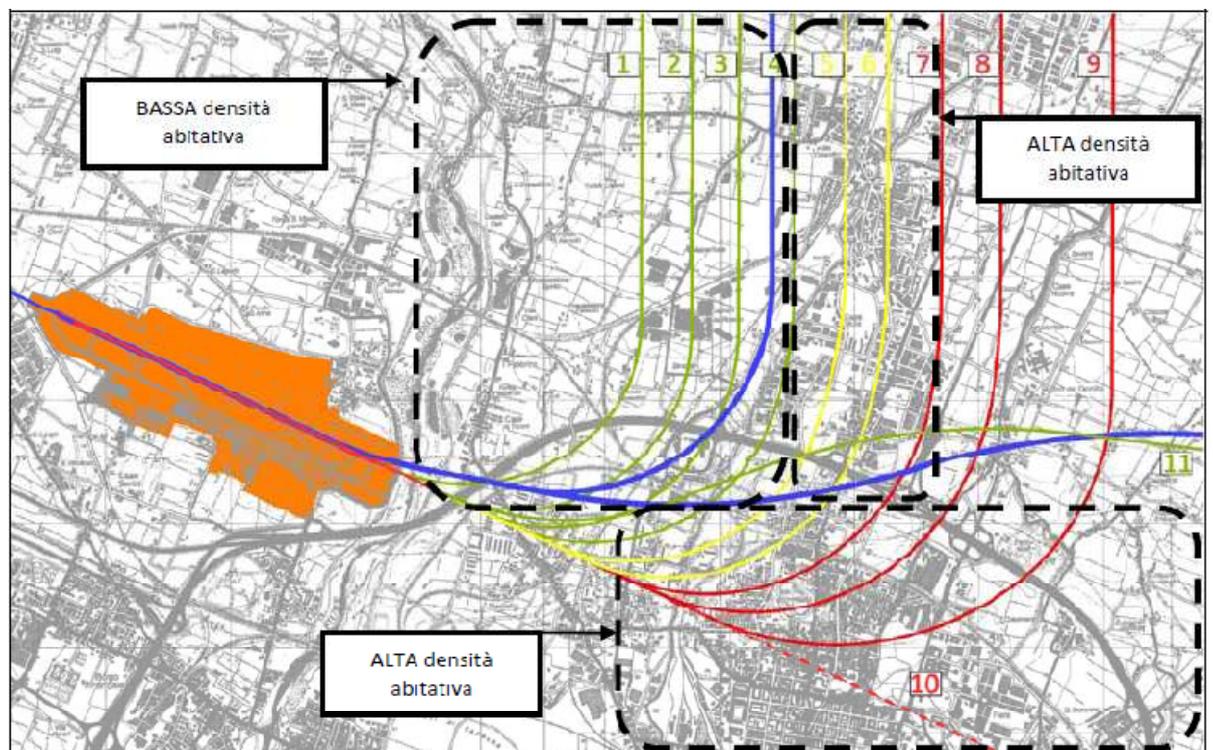
Nel seguito si riportano i principali dati caratteristici del traffico aereo registrato nei due periodi di riferimento.

La tabella seguente riporta il volume di traffico in decollo registrato nei due periodi, dal quale si evince che nel periodo di punta 2013 si è avuto un numero di decolli maggiore rispetto al periodo di punta 2012.

	2012	2013
Periodo di riferimento	Tre settimane di punta ex DM31/10/97	Tre settimane di punta ex DM31/10/97
N° movimenti medio giornaliero	192	189
% decolli Pista 12	61%	64%
N° decolli Pista 12	59	61

**Tabella 1: Volume di traffico**

Dal punto di vista operativo, l'utilizzo della nuova procedura di decollo, avendo modificato la traiettoria nominale di salita iniziale, presuppone una diversa distribuzione delle rotte di decollo seguite dagli aeromobili in sorvolo sull'abitato del Comune di Bologna.



**Figura 58: Sistema di rotte statistiche di distribuzione delle tracce radar per decolli Pista 12**

Per quanto riguarda l'utilizzo delle procedure di salita iniziale, i seguenti grafici mostrano la distribuzione sul sistema statistico registrata nei due scenari di riferimento.

Il grafico mostra inoltre come l'introduzione della nuova procedura, inducendo una diversa distribuzione delle tracce in decollo per Pista 12, abbia condotto ad una maggiore concentrazione delle tracce nelle prime rotte statistiche, che a loro volta interessano porzioni di territorio a minore densità abitativa.

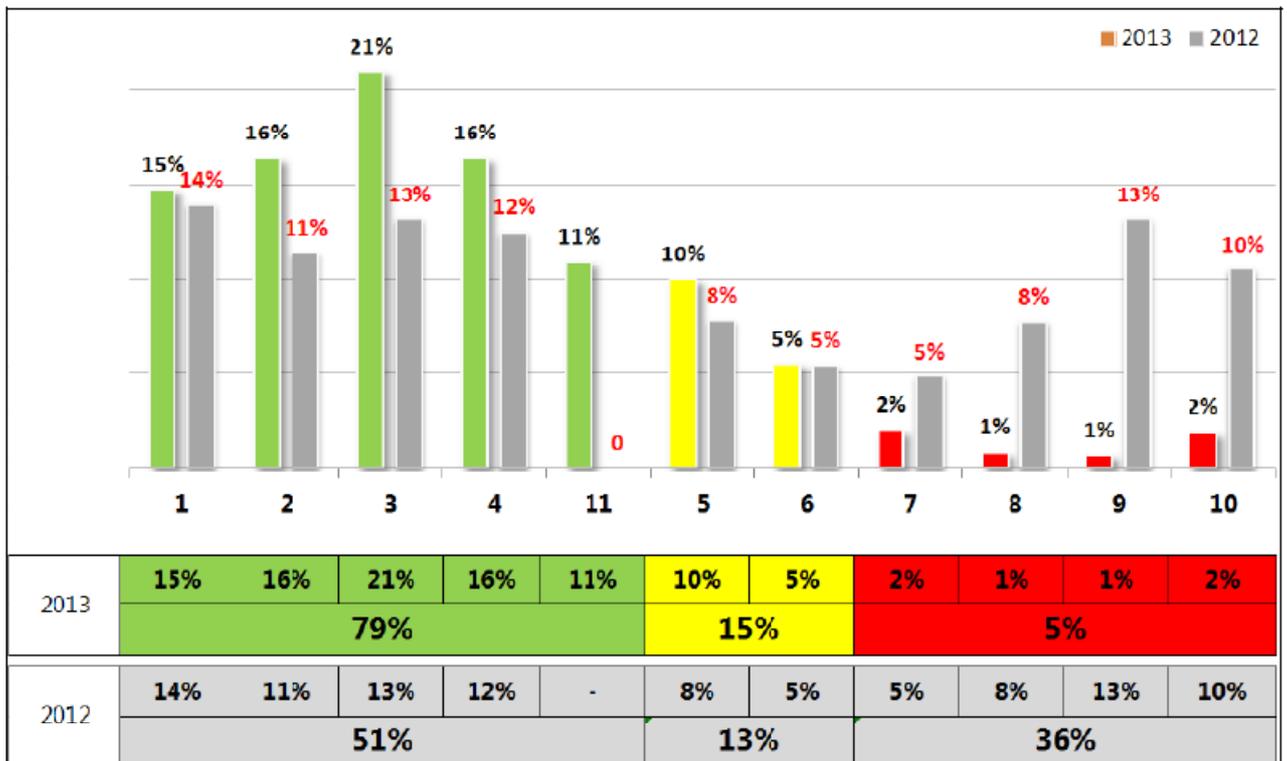


Figura 59: Distribuzione statistica decolli Pista 12

Il fenomeno risulta meglio evidente se si osservano i tracciati radar, nella figura seguente sono proposti i tracciati radar relativi ai decolli Pista 12, registrati nel periodo di Agosto 2012 (tracce rosse) e 2013 (tracce blu).

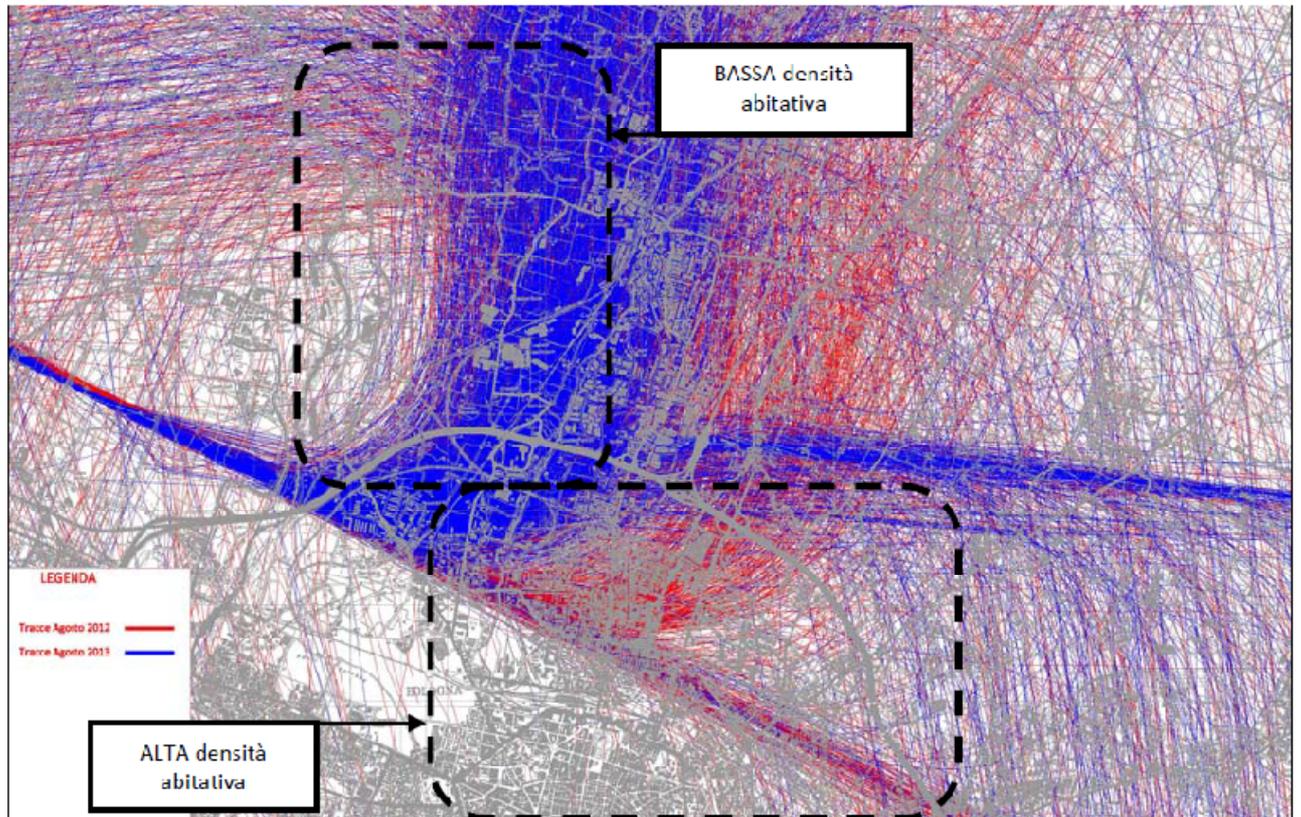


Figura 60: Confronto tracce radar decolli Pista 12

Di seguito si riporta la rappresentazione grafica delle curve isofoniche  $Leq_{diurno}$ ,  $Leq_{notturno}$  e  $L_{VA}$ , comparando i due scenari 2012 e 2013. Dalle immagini si evince come, a seguito dell'introduzione delle nuove procedure, vi sia un arretramento del fronte di impatto acustico rispetto alle aree abitate, e contestuale spostamento del rumore verso Nord, in corrispondenza dell'alveo del fiume Reno e delle aree a minore densità abitativa.

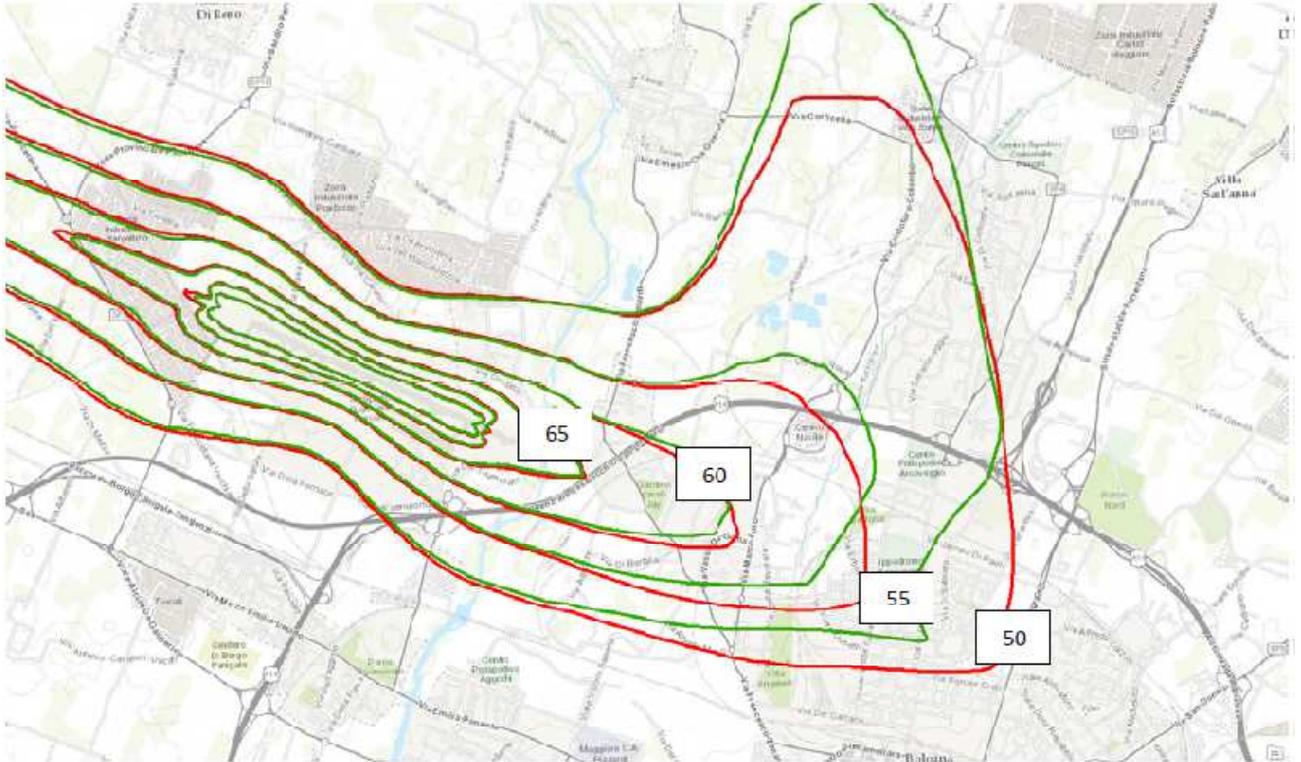


Figura 61: Curve isofoniche  $Leq_{DIURNO}$  - Confronto scenario 2012 (rosso) e 2013 (verde)

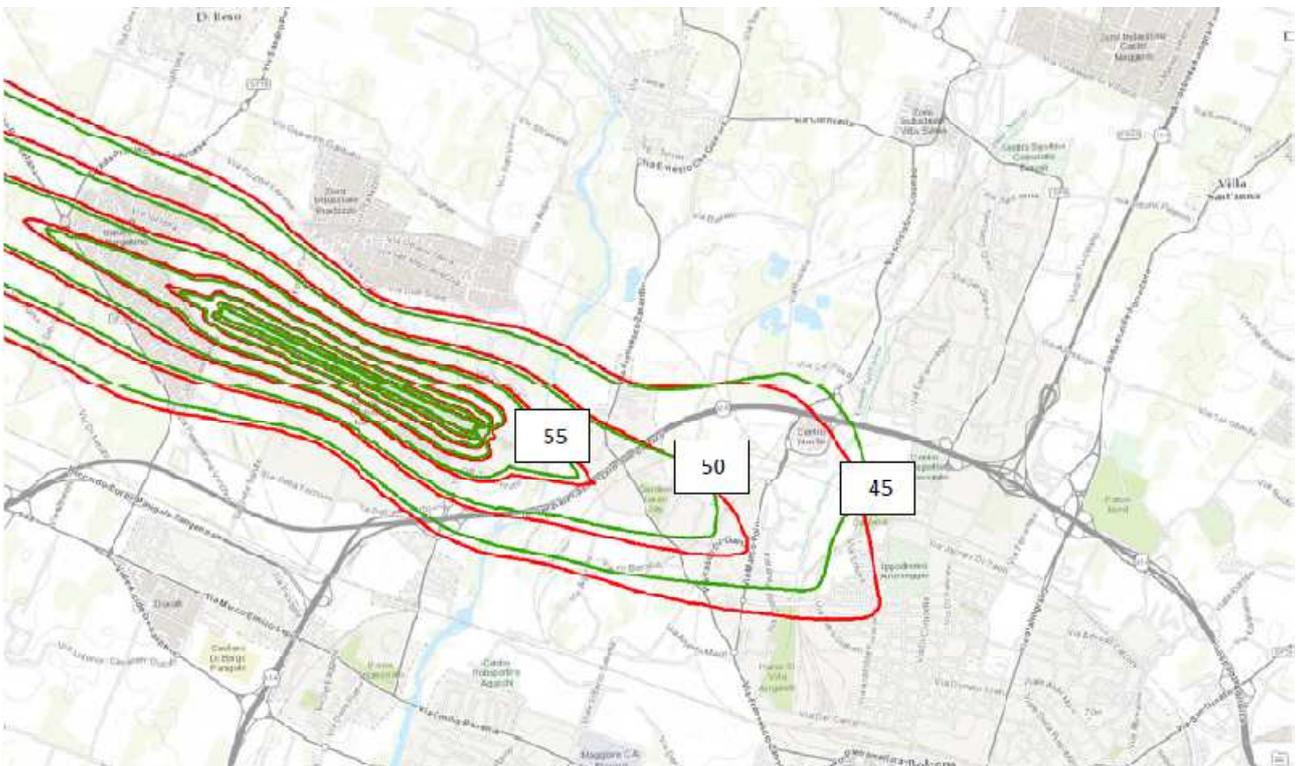
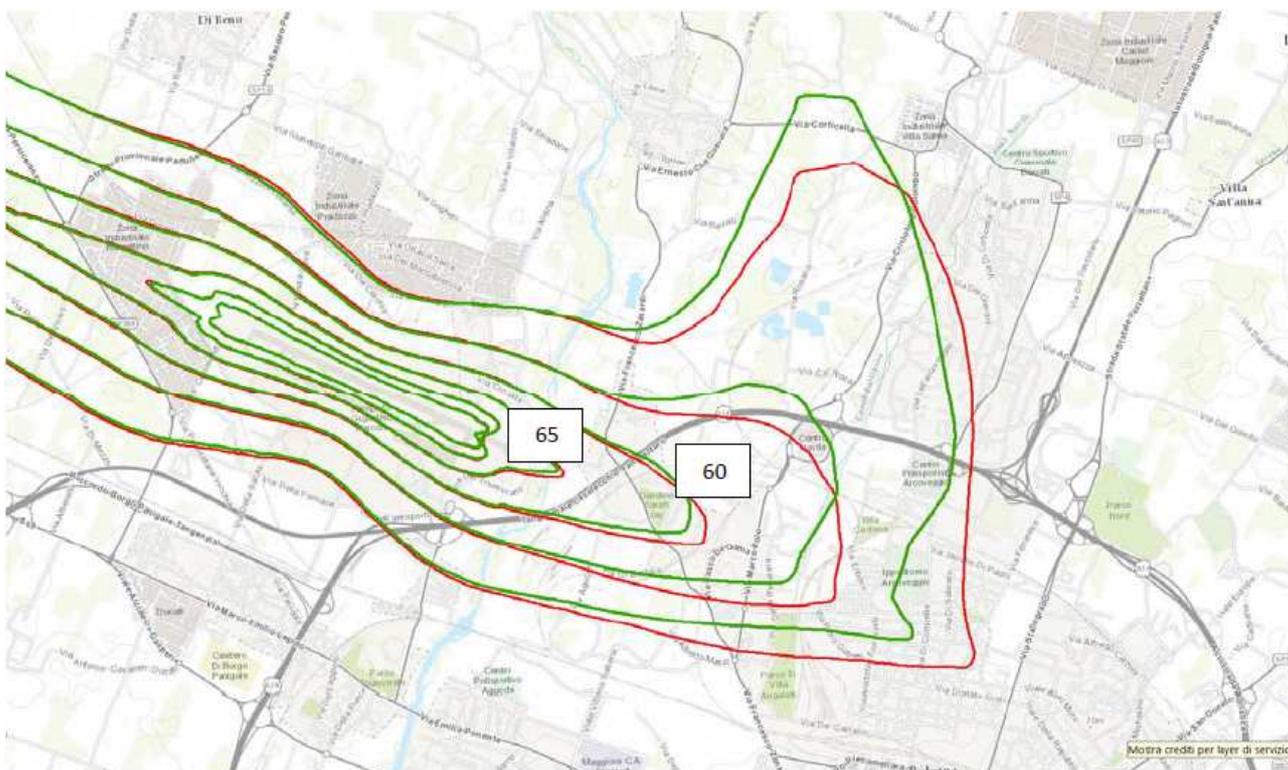


Figura 62: Curve isofoniche  $Leq_{NOTTURNO}$  - Confronto scenario 2012 (rosso) e 2013 (verde)



**Figura 63: Curve isofoniche LVA - Confronto scenario 2012 (rosso) e 2013 (verde)**

La valutazione dei benefici ambientali è stata quantificata in termini di popolazione ed edifici (civici) esposti ai diversi intervalli di rumorosità. Come mostrato nelle tabelle seguenti, l'introduzione della variante alla procedura di salita iniziale ha comportato una significativa riduzione del numero di persone ed edifici soggetti ai livelli di rumorosità. Nello specifico, i benefici si osservano al di fuori dell'intorno aeroportuale, ossia, quell'ambito soggetto ad un livello LVA > 60dB, ove la differenza tra i due scenari di impatto risulta nulla. Ciò è attribuibile al fatto che le nuove procedure operative implicano una variazione della distribuzione del traffico a partire da una certa distanza dall'aeroporto, prima della quale, invece, il traffico in decollo rimane invariato.

In ambito di area vasta, si registra una diminuzione di popolazione e di civici, rispettivamente del 44% e del 38% nel territorio interessato dal rumore aeroportuale, inteso con livelli di rumore  $Leq_{diurno}$  maggiore di 50dB(A).

<b>Leq_D [dB]</b>	<b>popolazione</b>		<b>edifici</b>	
> 50	-20.045	-44%	-1.532	-38%
> 55	-5.263	-35%	-367	-25%
> 60	-986	-22%	-94	-21%
> 65	-20	-71%	-7	-64%
> 70	0	0	0	0
> 75	0	0	0	0
<b>TOT</b>	<b>-20.045</b>	<b>-44%</b>	<b>-1.532</b>	<b>-38%</b>

Tabella 2: Livello Leq<sub>diurno</sub> - confronto tra scenari

<b>Leq_N [dB]</b>	<b>popolazione</b>		<b>edifici</b>	
> 45	-6.825	-41%	-585	-35%
> 50	-2.313	-48%	-240	-49%
> 55	-10	-27%	-3	-21%
> 60	-5	-28%	-2	-33%
> 65	0	0	0	0
> 70	0	0	0	0
> 75	0	0	0	0
<b>TOT</b>	<b>-6.825</b>	<b>-41%</b>	<b>-585</b>	<b>-35%</b>

Tabella 3: Livello Leq<sub>notturno</sub> - Confronto tra scenari

<b>LVA [dB]</b>	<b>popolazione</b>		<b>edifici</b>	
> 50	-14.210	-40%	-1.214	-36%
> 55	-2.939	-27%	-245	-22%
> 60	2	0%	1	0%
> 65	-2	-10%	-1	-13%
> 70	0	0%	0	0%
> 75	0	0%	0	0%
<b>TOT</b>	<b>-14.210</b>	<b>-40%</b>	<b>-1.214</b>	<b>-36%</b>
<b>TOT intorno apt LVA &gt; 60</b>	<b>2</b>	<b>0%</b>	<b>1</b>	<b>0%</b>

Tabella 4: Livello LVA - Confronto tra scenari

## ***CONCLUSIONI***

Il rumore causato dagli aeromobili nelle varie operazioni aeroportuali è uno dei problemi più sentiti dalle popolazioni che risiedono nelle aree adiacenti gli aeroporti.

Nonostante i progressi fatti dal punto di vista tecnologico, che hanno portato a una notevole riduzione del fenomeno, il continuo aumento della domanda di traffico aereo ha ridotto l'efficacia di queste migliorie tecniche, anche a causa di una scarsa pianificazione territoriale nel corso degli anni.

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.

Le politiche di controllo ambientali riguardanti il rumore aeronautico dovrebbero svilupparsi soprattutto a livello internazionale in modo da essere armonizzate tra loro, evitando la proliferazione di regolamenti e normative locali che inevitabilmente porterebbero più a generare difficoltà che a risolvere i problemi di inquinamento acustico. Un esempio è la sorte toccata all'IRESA, utile strumento per ridurre gli effetti del rumore aeroportuale che, a causa di una non omogeneità nazionale, non è stata attuata dalla maggior parte delle regioni e quindi ha perso la sua potenzialità andando a creare anche scompensi nel mercato.

A seguito di tali azioni, nonostante la crescita del traffico aereo negli ultimi 30 anni, vi è stata una continua riduzione delle emissioni delle sorgenti di rumore, 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 effetti positivi.

In tempi più recenti, vista la ridotta possibilità di fare ulteriori passi avanti significativi di riduzione del rumore alla sorgente, si è passati ad utilizzare

metodi più economici e di immediata efficacia come le procedure antirumore, che vanno ad operare sulle fasi di decollo e atterraggio.

In questa tesi sono state studiate le misure prese dalla società che gestisce l'aeroporto di Bologna, la SAB, per tentare di risolvere il problema dell'inquinamento acustico sopra la città.

Si è visto come le nuove procedure di salita iniziale siano un ottimo strumento di abbattimento del rumore e che porta a risultati significativi nel breve periodo con un modesto investimento. Inoltre questa tipologia di NAP, essendo proattiva, coinvolge tutti gli stakeholders del sistema aeroporto anche perché deve necessariamente armonizzarsi con le procedure molto complesse previste per gli aeromobili che operano sullo scalo, definite per assicurare la massima sicurezza ad ogni operazione.

## BIBLIOGRAFIA

- Accattatis F., *Il rumore aeronautico*, Seminario UniRoma 2013
- AIRBUS, *Noise Abatement Procedures: International standards, recommended practices and guidance, Regional seminar*, 2013
- ARPA Lazio, *Il rumore aeroportuale*, 2012
- Autorità Garante della Concorrenza e del Mercato, AS 1071 del 27 agosto 2013
- Baistrocchi C., Rocco L. , *Il contenimento del rumore aeronautico sulle aree urbane*
- Callegari A., Poli M., *Il quadro legislativo vigente in materia di inquinamento acustico: la Legge Quadro n. 477/95 ed i principali decreti attuativi*,
- Clarke J. P., *A systems analysis methodology for developing single event noise abatement procedures*, MIT 1997
- *Committee on Aviation Environmental Protection*, gennaio 2001, quinta riunione, CAEP/5
- Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome, IRESA: modalità applicative, 6 dicembre 2012
- Di Bella A., Tombolato A., *Contenimento del rumore aeroportuale: novità dal D.Lgs. 17 gennaio 2005, n.13*, Ambiente&Sicurezza – Il Sole 24 Ore, 29 marzo 2005, n.7
- Erkelens L. J. J., *Research on noise abatement procedures*, 1997
- Eurocontrol, *7-year IFR Flight Movements and Service Unit Forecast 2013-2019*
- FAA, *Aircraft Noise Evaluation*, Technical Report, 1968 e successive modifiche
- Gualandi N., *Aircraft Noise Performance Evaluation and Airport Noise Management*
- Gualandi N., Mantecchini L. Paganelli F., *Tasse ambientali: il caso del rumore aeronautico*

- ICAO, *Procedures for air navigation services-aircraft operations (PAN-OPS) – volume I, flight procedures*, ICAO 2006, Doc 8168
- ICAO, *Airport Planning Manual, part 2: land use and environmental control*, DOC 9184-AN901, 1985
- ICAO, Documento 9082/4, *Statement by the Council of Contracting States on noise related charges for Airports and Navigation Services*, aggiornato durante la Conferenza ICAO su Airport and Route Facility Management (CARFM) del 1992
- ICAO, *Manual for Continuous Descent Operations*, Aprile 2009
- ICAO, *Procedures for air navigation services-aircraft operations (PAN-OPS) – volume II, constructions of visual and instrument flight procedures*, ICAO 2006, Doc 8168
- ICAO, *Review of Noise Abatement Procedure Research & Development and Implementation Results*, 2007
- ICAO, *Study of Optimisation Procedures for Decreasing the Impact of Noise*, 2003, Report D9-1
- ISPRA, *Valutazione dell'esposizione al rumore della popolazione: stato dell'arte, analisi critica, proposte operative*, 2010
- Istat, *report trasporto aereo*, 7 gennaio 2013
- Nelson J. P., “*Meta-analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values: problems and prospects*” *Journal of Transport Economics and Policy*
- Poli M., *La normativa sull'inquinamento acustico e ambientale: stato di attuazione, criticità e prospettive*, Vercelli, 2009
- Ren L. e Clarke J.P., *Achieving low approach noise without sacrificing capacity*, , Digital Avionics System Conference 2003
- Scicchitano S., *Metodi Marked-Based per il controllo del rumore aeroportuale: Applicazione all'Aeroporto G. Marconi di Bologna*
- *Sleep disturbante and aircraft noise exposure*, W Passchier-Vermeer, TNO Report del 30/06/02
- Wijnen R. A. A, Visser H. G., *Optimal departure trajectories with respect to sleep disturbante*, 2001
- Xavier Prats i Menédez, *Contributions to the optimisation of aircraft noise abatement procedures*, 2011

## WEB SITES

Aeroporto di Bologna ([www.bologna-marconi.it](http://www.bologna-marconi.it))

Aeroporto di Chicago ([www.flychicago.com/ohare](http://www.flychicago.com/ohare))

Aeroporto di Heathrow ([www.heathrowairport.com](http://www.heathrowairport.com))

Aeroporto di San Francisco ([www.flysfo.com](http://www.flysfo.com))

Aeroporto di Schiphol ([www.schiphol.nl](http://www.schiphol.nl))

Airbus ([www.airbus.com](http://www.airbus.com))

Alitalia ([www.alitalia.it](http://www.alitalia.it))

Boeing ([www.boeing.com](http://www.boeing.com))

ENAC Ente Nazionale Aviazione Civile ([www.enac.gov.it](http://www.enac.gov.it))

ENAV Ente Nazionale Assistenza al Volo ([www.enav.it](http://www.enav.it))

EUROCONTROL ([www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int))

FAA Federal Aviation Administration ([www.faa.gov](http://www.faa.gov))

IATA International Air Transport Association ([www.iata.org](http://www.iata.org))

ICAO International Civil Aviation Organization ([www.icao.int](http://www.icao.int))

NLR National Aerospace Laboratory ([www.nlr.nl](http://www.nlr.nl))

Progetto Sourdine II ([www.sourdine.org](http://www.sourdine.org))

[www.volabologna.it](http://www.volabologna.it)

## **RINGRAZIAMENTI**

E ora la parte probabilmente più difficile, ringraziare tutti coloro che mi sono stati vicini e che nel corso degli anni mi hanno fatto diventare la persona che sono.

E visto che mi sento un po' come WW alla fine della sua avventura, li scrivo sulle note di *Baby Blue*.

Ringrazio la mia famiglia, un pilastro che nonostante tutti i terremoti che ha passato non è crollato e, almeno per me, non crollerà mai. Ringrazio *i miei genitori* perché non mi hanno mai fatto mancare nulla, soprattutto dal punto di vista affettivo, e mi hanno trasmesso quei valori e quelle motivazioni che sono la mia stella polare. Ringrazio *le mie sorelle* perché, anche se spesso le ho odiate, sono le uniche donne che non smetterò mai di amare.

Ringrazio *Dario* perché, come lui mi ripete sempre, “mi ha preso per mano” in questi anni bolognesi dando inizio a un’amicizia che sono sicuro durerà a lungo, anche perché senza di me come faresti??

Ringrazio anche gli altri *fantastici della Grada*, mi avete fatto sempre sentire a casa con la vostra ospitalità, mi avete adottato e sfamato più di una volta, grazie veramente.

Grazie anche a *Stefano*, il fratello maggiore che non ho mai avuto, e alle mie amiche *le Valentine*, unite dal nome e dalla pazienza che hanno avuto con me e dalla quantità industriale di consigli che mi hanno dato.

Ringrazio anche il *Prof. Mantecchini* per la disponibilità e per essere stato uno dei pochi che mi abbia veramente fatto appassionare a quello che studiavo.

Ringrazio il mio idolo *Paolo Maldini*.

Infine, ringrazio voi *Bagiane*, perché con voi ho condiviso tutto, siamo cresciuti insieme, ho sempre potuto contare su di voi e so che potrò farlo sempre.